

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

LUANE ARAÚJO LIMA

CALIBRAÇÃO EM SERVIÇO DA CÂMARA EMBARCADA NO MAVIC 2 PRO

MONTE CARMELO

2021

LUANE ARAÚJO LIMA

CALIBRAÇÃO EM SERVIÇO DA CÂMARA EMBARCADA NO MAVIC 2 PRO

Trabalho de Conclusão de Curso, como exigência para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo.

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

MONTE CARMELO

2021

LUANE ARAÚJO LIMA

CALIBRAÇÃO EM SERVIÇO DA CÂMARA EMBARCADA NO MAVIC 2 PRO

Trabalho de Conclusão de Curso, como exigência para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia, campus Monte Carmelo.

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

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis (Orientador)
Universidade Federal de Uberlândia

Profa. Dra. Luziane Ribeiro Indjai (Convidada)
Universidade Federal de Uberlândia

Engenheiro Fabiano Barbosa de Lima (Convidado)
Membro Externo

MONTE CARMELO

2021

*“Que os nossos esforços desafiem as
impossibilidades. Lembrai-vos de que as
grandes proezas da história foram
conquistadas do que parecia impossível”.*

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado força, saúde, perseverança e por todos os obstáculos propostos em toda a minha vida, visto que por meio deles foi possível adquirir discernimento para enfrentar todos os desafios na graduação.

Agradeço aos meus pais, Lucas e Delma, por todo carinho, esforço, educação e amor incondicional ao longo da minha vida, sendo meu alicerce e motivação para encarar as dificuldades encontradas na graduação.

Agradeço ao meu namorado Vandson, pelo amor, paciência, risadas, conforto nos momentos difíceis e companheirismo em toda essa etapa final do curso.

Agradeço aos meus irmãos, avôs, tias, primos, família em geral, pelo amor, pelas orações e apoio nos meus objetivos.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis pelo apoio, ensinamentos e orientação ao longo de toda minha graduação.

Agradeço aos membros da banca, Prof. Dra. Luziane Ribeiro Indjai e o Engenheiro Fabiano Barbosa de Lima por aceitarem meu convite e contribuírem neste trabalho.

Agradeço em especial, Thayane, Isadora, Rhafisa, Maria Luísa, Maria Cecília, Monara, Thaynara e João Batista, pelos conselhos, risadas, experiências compartilhadas e apoio.

Agradeço aos amigos pela contribuição na trocas de experiências nessa caminhada tão especial e marcante na minha vida que foi a graduação.

Agradeço ao senhor Luiz Fernando Pucci pela amizade e indicação de estágio na empresa MGC Tecnologia, e a mesma pela oportunidade de dar a oportunidade de estagiar e executar o levantamento dos dados para a elaboração do meu TCC 2, visto que era um problema devido a pandemia e a mesma se solidarizou e deu todo o suporte para realização do campo e processamento dos dados adquiridos.

Agradeço aos meus colegas da MGC Tecnologia, Wilson, Fabiano e Aline pela ajuda, ensinamentos no período do estágio e em campo, na execução do voo e compartilhamento de experiências da profissão.

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 de alguma forma colaboraram de forma indireta ou direta no decorrer da minha graduação.

Reconheço todas essas pessoas e tenho gratidão!

RESUMO

A Calibração de Câmaras de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) é um processo importante que interfere diretamente na precisão e confiabilidade da geração do produto final, sendo necessária para os usuários do equipamento, a aplicação em câmaras de pequeno formato, são de dois tipos: Em Serviço ou Autocalibração. Este estudo de caso visa a Calibração em Serviço da Câmara Embarcada na ARP Mavic 2 Pro da DJI na Fazenda Paraíso II, uma área rural com 13,3 hectares, sendo a 21 quilômetros do Setor Central de Goiânia, localizada no Setor Sítio Recreio Paraíso Tropical, interligada pela rodovia GO-462 (Sentido de Goiânia, Santo Antônio de Goiás a Nova Veneza no estado de Goiás), onde será utilizado o método matemático da Equação de Colinearidade ajustada para o Método de BROWN (1971) onde foi utilizada para determinar os parâmetros internos da câmara e criar o Certificado de Calibração. Para a execução deste trabalho, foram utilizados: ARP Mavic 2 Pro da DJI embarcada com a Câmara Hasselblad RGB, Receptor GNSS Hiper SR da *Topcon* e os alvos materializados em campo feito com folhas de E.V.A. A metodologia para a obtenção dos dados foram: a escolha da área de estudo na cidade de Goiânia - Goiás, conhecimento prévio do local, planejamento do voo no aplicativo *Pix4D Capture*, distribuição dos pontos de controle em campo, levantamento geodésico com o receptor Hiper SR da *Topcon*, voo aerofotogramétrico com o Mavic 2 Pro, etapa de descarregar as informações adquiridas pelo receptor em campo no software PCCDU da *Topcon*, processamento dos pontos coletados em campo para correção da base no software *Topcon Tools* da *Topcon* e por meio do método do Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP – IBGE), processamento fotogramétrico e calibração da câmara - baseada no modelo de (BROWN, 1971) no software *Agisoft Metashape* e validação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) estabelecida pelo Decreto nº 89.817 de 1984 no software GeoPEC, utilizou-se os pontos de check e as coordenadas tomadas na foto para validação sendo *Classe A* na escala de 1/2000 tanto para a Planimetria quanto na Altimetria com curvas de equidistâncias de 1 m, portanto, conclui-se que o PCD é confiável e preciso.

Palavras-chave: Fotogrametria, Calibração de Câmaras, ARP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Deslocamento entre o ponto principal e o centro fiducial.	28
Figura 2 – Modelos e Características das ARPs.	32
Figura 3 – Modelo de ARP de Asa Rotativa (Mavic 2 Pro da DJI).	33
Figura 4 – Modelo de ARP de Asa Fixa (eBee <i>Classic</i> da SenseFly).	34
Figura 5 – Mapa de localização da área de estudo.	37
Figura 6 – Mavic 2 Pro.	38
Figura 7 – Câmara Mavic 2 Pro.	43
Figura 8 – Alvo Real para o Ponto de Controle.	47
Figura 9 – Alvo Real para o Ponto de Check.	47
Figura 10 – Receptor GNSS Hiper SR Topcon.	48
Figura 11 - Sistema de Referência Fotográficas (x, y) e imagem (u, v) para uma imagem M (Peso – W) por N (Altura – H) pixels.	52
Figura 12 –Notebook.	55
Figura 13 – Fluxograma.	56
Figura 14 – Alvo Simulado para o Ponto de Controle.	58
Figura 15 – Alvo Simulado para o Ponto de Check.	59
Figura 16 – Representação da área de estudo no <i>Google Earth</i> .	60
Figura 17 – Aplicativo KML/KMZ <i>Waypoint Reader Free</i> .	60
Figura 18 - Colocação dos Pontos em campo na área de estudo.	61
Figura 19 – Marcação do Ponto Com Estaca para Instalação da Base.	62
Figura 20 - Receptor GNSS Hiper SR (Base).	63
Figura 21 - Receptor GNSS Hiper SR (Rover).	63
Figura 22 – Representação modificada da área de estudo no <i>Google Earth</i> .	64
Figura 23 – Sobreposição Longitudinal e Lateral do Voo.	65
Figura 24 – Project List no <i>Pix4D Capture</i> .	66

Figura 25 – Configurações do voo no <i>Pix4D Capture</i> .	66
Figura 26 – Descarregando dados do Receptor GNSS – Configuração dos parâmetros.	67
Figura 27 – Interface do rastreamento dos separação dos Satélites GPS e GLONASS.	67
Figura 28 – Configurações importadas da base no <i>Topcon Tools</i> .	68
Figura 29 – PPP – IBGE.	68
Figura 30 – ZIP - PPP – IBGE.	69
Figura 31 – Base e Rovers no <i>Topcon Tools</i> .	71
Figura 32 – Processamento finalizado dos pontos de controle e check.	72
Figura 33 – Dados extraídos das fotografias e parâmetros iniciais (a priori) para a calibração.	74
Figura 34 – Parâmetros ajustado pela calibração da câmara.	75
Figura 35 – Parâmetros de distorção da câmara estimados pela calibração em serviço.	76
Figura 36 – Ferramenta para filtragem dos alvos.	77
Figura 37 – Filtragem do alvo para o ponto de controle.	78
Figura 38 – Filtragem do alvo para o ponto de check.	78
Figura 39 – Planimetria - Cálculos estatísticos.	80
Figura 40 – Planimetria - Estatística Vizinho Mais Próximo.	80
Figura 41 – Planimetria - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.	81
Figura 42 – Planimetria - Teste de Normalidade T-Student, Média Direcional e Variância Circular.	81
Figura 43 – Planimetria - Gráfico das discrepâncias da amostra de acordo com o T-Student.	82

Figura 44 – Planimetria - Padrões do Decreto e Classificação.	82
Figura 45 – Planimetria - Acurácia Final.	82
Figura 46 – Altimetria - Cálculos estatísticos.	83
Figura 47 – Altimetria - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.	83
Figura 48 – Altimetria - Teste de Normalidade T-Student (tendência).	84
Figura 49 – Altimetria - Gráfico das discrepâncias de acordo com o T-Student.	84
Figura 50 – Padrões do Decreto e Classificação.	85
Figura 51 – Altimetria - Acurácia Final.	85
Figura 52 - Nuvem de pontos densificada.	87
Figura 53 - Nuvem de pontos densificada e classificada.	88
Figura 54 - MDT.	88
Figura 55 - Curvas de nível.	89
Figura 56 – Ortofoto da área.	90
Figura 57 – Resíduos gerados na imagem após a calibração da câmara.	91
Figura 58 – Localização da câmara e estimativa dos erros.	92
Figura 59 – Distribuição dos GCPS e estimativa dos erros.	93
Figura 60 – Coeficientes de Calibração e Matriz de Correlação.	93
Figura 61 – Pontos de Controle.	94

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças do ARP de asa fixa e rotativa.	34
Tabela 2 – As Classificações das Cartas pela PEC.	36
Tabela 3 – Especificações da ARP Mavic 2 Pro.	38
Tabela 4 – Especificações da Câmara Mavic 2 Pro.	44
Tabela 5 – Especificações do Receptor GNSS Hiper SR.	49
Tabela 6 – Parâmetros para o voo com a ARP.	57
Tabela 7 – Sumário do Processamento da Base.	70
Tabela 8 – Coordenadas SIRGAS de 2000.4.	71
Tabela 9 – Confiabilidade interna do processamento.	71
Tabela 10 – Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro (Inicial).	74
Tabela 11 – Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro (Ajustada).	75
Tabela 12 – Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro (GPS/INS Offset).	76
Tabela 13 – PEC – PCD (Planimetria).	86
Tabela 14 – PEC – PCD (Altimetria).	89
Tabela 15 – Calibração da Câmara da ARP.	90

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

A	Unidade de medida de intensidade de corrente elétrica: ampères.
AEB	<i>Bracketing</i> de Exposição Automática.
AM	<i>Ante Meridiem</i> .
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil.
Android	Sistema operacional de aparelho móvel Android
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada.
ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> .
Bits	Menor unidade de informação: <i>Binary Digits</i> .
CCD	Charge Coupled Device.
CE	<i>Conformité Européene</i> .
CID	<i>Charge Injection Device</i> .
cm	Unidade de medida de comprimento: centímetros.
CMR	<i>Compact Measurement Record</i> .
CTD	<i>Charge Transfer Device</i> .
CMOS	<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i> .
CPU	<i>Central Process Unit</i> .
cos	Cosseno.
CSRS - GPSS	<i>Precise Point Positioning</i> .
dBm	Unidade de Medida em Potência em áudio: decibéis miliwatt (dBmW).
DD	Duplas Diferenças.
DJI	<i>Dà-Jiāng Innovations Science and Technology</i>
Dlog-M	Sistema de Cores de 10 bits.
DNG	<i>Digital Negative</i> .
DWG	Extensão de arquivos de desenho em 2D e 3D do AutoCAD.
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i> .
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i> (Potência Isotrópica Radiada Equivalente).
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i> .
EP	Erro Padrão

Eqd	Curvas de equidistância.
EV	Quantidade de controle de luz.
E.V.A	Etil, Vinil e Acetato.
EV Bias	Unidade de variação da exposição automática.
ET-CQDG	Norma de Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais.
EXIF	<i>Exchangeable image file format.</i>
FAT	<i>File Allocation Table.</i>
FCC	<i>Federal Communications Commission.</i>
FHD	<i>Full High Definition.</i>
FOV	<i>Field of Camera.</i>
fps	<i>Frames per Second.</i>
g	Unidade de Medida de Massa: gramas.
GB	Unidade de medida de informação: <i>Gigabytes.</i>
GCS	<i>Ground Control Stations.</i>
GCPs	<i>Ground Control Points.</i>
GMS	Graus, Minutos e Segundos.
GO	Estado de Goiás.
GO-462	Rodovia de ligação entre Goiânia, Santo Antônio de Goiás e Nova Veneza no estado de Goiás.
GPS	<i>Global Positioning System.</i>
GLONASS	<i>Russian Global Navigation Satellite System.</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System.</i>
GHz	Unidade de medida de frequência de ondas: <i>GigaHertz.</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance.</i>
Ha	Unidade de medida de área: Hectares.
HATANAKA	Formato de compressão de dados RINEX.

HDR	<i>High Dynamic Range.</i>
HEVC	<i>High Efficiency Video Coding.</i>
HLG	<i>Hybrid Log Gamma.</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access.</i>
Hz	Unidade de Medida de Frequência: Hertz.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IMU	<i>Inertial Measurement Unit.</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária.
INDE	Instituto Nacional de Dados Espaciais.
IOS	Sistema operacional de aparelho móvel <i>Iphone: Iphone OS.</i>
IP67	Certificado de Proteção contra poeira e resistênciana água de até 1 metro de profundidade por 30 minutos.
ISPRS	<i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing.</i>
ITRF	<i>International Terrestrial Reference Frame.</i>
JPEG	<i>Joint Photographic Experts Group.</i>
kg	Unidade de medida de massa: quilogramas.
kgf	Unidade de medida de força: quilograma-força.
km	Unidade de medida de comprimento: quilômetros.
km/h	Unidade de medida de velocidade: quilômetros por hora.
km²	Unidade de medida de superfície: quilômetros por metros quadrados.
KML	<i>Keyhole Markup Language.</i>
KMZ	Arquivo com extensão KMZ semelhante ao ZIP que permite criar um pacote de vários arquivos.
kph	Unidade de medida de velocidade: quilômetros por hora.
L1/L2	Receptor de dupla frequência com ondas portadoras L1/L2.
LiPO 4S	Bateria de LiPO (<i>Lithium Polymer Battery</i>) modelo 4S.
m	Unidade de medida de comprimento: metros.

mA	Unidade de medida de intensidade da grandeza física de corrente elétrica: milésimo de ampère.
mAh	Unidade de medida de capacidade de baterias: miliampere por hora.
MDS	Modelo Digital de Superfície.
MDT	Modelo Digital de Terreno.
Mbps	Megabits por segundo.
MIC	Distância Máxima de Transmissão sem interferências.
MICRO SD	<i>Micro Secure Digital.</i>
MINTER	Painel MINTER do Receptor GNSS.
mm	Unidade de medida de comprimento: milímetro.
Modo P	Configuração dos modos de voo no Mavic 2 Pro: Modo de Posicionamento.
Modo S	Configuração dos modos de voo no Mavic 2 Pro: Modo de Sport.
MOV	Um formato de arquivo para o <i>QuickTime</i> desenvolvido pela <i>Apple</i> .
MP	<i>Megapixel</i> – unidade equivalente a um milhão de pixels.
MP4	Formato de vídeo - MPEG-4 part 14, extensão.
MPEG	<i>Moving Picture Expert Group.</i>
mph	Unidade de medida de velocidade: milhas por hora.
m/s	Unidade de medida de velocidade: metros por segundos.
m²	Unidade de medida de superfície: metros quadrados.
N	Unidade de medida de força: Newton.
NBR	Norma Técnica Brasileira.
NBR 13133	Norma Técnica Brasileira em que estabelece a Execução de Levantamento Topográfico.
NMEA	<i>National Marine Electronics Association.</i>
NrCan	<i>Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada.</i>
OcuSync 2.0	Tecnologia sem fio OcuSync 2.0 que permite que o ARP possa voar mais longe.

p	Unidade de medida da qualidade de transmissão ao vivo.
PCD	Produtos Cartográficos Digitais.
PDI	Processamento Digital de Imagens.
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica.
Pixel	<i>Picture element.</i>
PMD	Peso Máximo de Decolagem.
POI	Parâmetros de Orientação Interior.
ppm	Unidade de concentração em partes por milhão.
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso.
QZSS	<i>Quasi-Zenith Satellite System.</i>
RAM	Unidade de medida de funcionamento de memória: Random Access Memory.
RAW	Formato de dados cujos parâmetros de processamento podem ser ajustados.
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS.
RGB	<i>Red, Green, Blue.</i>
RINEX	<i>Receiver Independent Exchange Format.</i>
RSS	<i>Really Simple Syndication.</i>
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RTCM	<i>Radio Technical Commission for Maritime Services.</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic.</i>
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System.</i>
SBAS	<i>Satellite Based Augmentation System.</i>
sen	Seno.
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro.
SIEG	Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográficas – Goiás.
SIG	Sistema de Informações Geográficas.

SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas.
SRRC	Distância Máxima de Transmissão sem interferências.
TPS	<i>Throttle Position Sensor.</i>
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle.</i>
UFV	Universidade Federal de Viçosa.
UFU	Universidade Federal de Uberlândia.
UHS	<i>Ultra High Speed.</i>
USB	<i>Universal Serial Bus.</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator.</i>
V	Unidade de Medida de Tensão Elétrica: Volts.
W	Unidade de Medida de Potência: Watt.
Wh	Unidade de Medida de Energia Gerada: Watt por hora.

LISTA DE SÍMBOLOS

2D	<i>Two-Dimension.</i>
f	Distância focal da câmara
(x₀,y₀)	Coordenadas de distorção da lente.
(k₁,k₂,k₃)	Coeficientes de distorção da lente.
(P₁,P₂)	Coeficientes de distorção descentrada.
x	Coordenada x da imagem.
y	Coordenada y da imagem.
ξ	Coordenada x de um ponto da imagem.
ξ₀	Coordenada x do centro de perspectiva da câmara na imagem.
c	Valor da distância focal.
r_{ij}	Elementos da matriz de rotação R.
i	Elemento i da linha da matriz R.
j	Elemento j da coluna da matriz R.
(X,Y,Z)	Coordenadas do espaço-imagem.
(X₀,Y₀,Z₀)	Coordenadas do objeto paralelo ao sistema-imagem.
η	Coordenada y de um ponto da imagem.
η₀	Coordenada y do centro de perspectiva da câmara na imagem.
ξ	Letra grega: <i>Csi</i> .
η	Letra grega: <i>Eta</i> .
φ	Letra grega: <i>Fi</i> .
κ	Letra grega: <i>Capa</i> .
ω	Letra grega: <i>Ômega</i> .
R	Elemento R da matriz de rotação.
(x,y)	Coordenadas da imagem fotográfica.
(u,v)	Sistema de coordenadas da imagem.
M	Dada uma imagem M.
W	Peso.

N	Dada uma imagem N.
H	Altura.
x'	Coordenadas x da imagem corrigida.
x	Coordenada x da imagem.
K1	Coeficiente do polinômio da distorção radial.
r²	Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal ao quadrado.
K2	Coeficiente do polinômio da distorção radial.
r⁴	Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal elevado a quarta.
K3	Coeficiente do polinômio da distorção radial.
r⁶	Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal elevado a sexta.
P1	Parâmetro da distorção tangencial em P1.
P2	Parâmetro da distorção tangencial em P2.
y'	Coordenadas y da imagem corrigida.
y	Coordenada y da imagem.
r	Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal.
√	Raiz quadrada.
x²	Coordenada da imagem fotográfica em x elevada ao quadrado.
y²	Coordenada da imagem fotográfica em y elevada ao quadrado.
u	Coordenada da imagem em u.
N	Dada uma imagem N.
Cx	Posição do ponto principal em relação ao centro da imagem em x.
x'	Coordenada da imagem corrigida em x.
f	Distância focal.
b1	Coeficiente de transformação de afinidade e inclinação (não ortogonalidade) em b1
b2	Coeficiente de transformação de afinidade e inclinação (não ortogonalidade) em b2
Cy	Posição do ponto principal em relação ao centro de imagem em y.
M	Dada uma imagem M.
C	Temperatura em Graus <i>Celsius</i> .

%	Símbolo matemático: Porcentagem.
°	Graus.
s	Segundos.
°/s	Grau por segundo.
±	Símbolo matemático: Mais ou Menos.
-	Símbolo matemático: Sinal negativo ou menos.
≤	Símbolo matemático: Menor ou igual.
>	Símbolo matemático: Maior.
”	Segundos.
f	Abertura focal da câmara.
∞	Símbolo matemático: infinito.
’	Minutos.

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Determinação das coordenadas x de um ponto na imagem.	25
Equação 2 - Determinação das coordenadas y de um ponto na imagem.	25
Equação 3 - Determinação da matriz de rotação R .	26
Equação 4 - Elementos da matriz de rotação R .	26
Equação 5 - Coordenadas da imagem corrigidas para x' .	28
Equação 6 - Coordenadas da imagem corrigidas para y' .	29
Equação 7 - Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal.	29
Equação 8 - Determinação da coordenada para a imagem (u).	30
Equação 9 - Determinação da coordenada para a imagem (v).	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
2	OBJETIVOS	23
2.1	Objetivo geral	23
2.2	Objetivo específico	23
3	JUSTIFICATIVA	23
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
4.1	Câmaras digitais	24
4.2	Equações de colinearidade	25
4.3	Calibração	27
4.4	Certificado de Calibração	31
4.5	ARP	31
4.6	Posicionamento GNSS	35
4.7	PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica)	35
5	MATERIAIS E MÉTODOS	36
5.1	Área de Estudo	36
5.1.1	Localização da Área de Estudo – Campo de calibração: Fazenda Paraíso II em Goiânia (GO)	36
5.2	Materiais	37
5.3	Métodos	56
6	RESULTADOS	90
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
	REFERÊNCIAS	99
	ANEXOS	107
	APÊNDICE	126

1 INTRODUÇÃO

Segundo a ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), fundada em 1910 define-se que a Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, é a ciência e tecnologia direcionada na extração de informações de uma imagem tridimensional a partir de uma fotografia e da distância entre os pontos demarcados na mesma. Por meio das tomadas de fotos oriundas da fotogrametria utilizam-se as imagens tridimensionais, com as aplicações para mapeamentos voltados na agricultura de precisão, monitoramento de obra, preservação ambiental, pulverização de aditivos químicos em plantações, mapeamento urbano das cidades e entre outros.

A Fotogrametria Aérea (Aerofotogrametria) é uma das áreas da Fotogrametria, em que as imagens tomadas são realizadas por uma câmara de alta precisão montada em uma aeronave, assim, tem-se a fotografia do terreno. Existem dois termos: a Fotogrametria Espacial, a câmara se mantém fixa na terra, lua, planeta ou satélite e a Fotogrametria Terrestre, as imagens são originadas a partir de uma posição fixa no terreno – na maioria dos casos esse ponto é conhecido (TOMASELLI et al., 1999).

A calibração de câmaras é um processo indispensável atualmente, devido a facilidade de aquisição e manuseio da ARP (Aeronave Remotamente Pilotada), visto que sua atribuição e funcionalidade pode ser englobada em diversas áreas, devido à acessibilidade de custo desse equipamento e ser capaz de gerar um produto cartográfico confiável e preciso.

Dessa maneira, a calibração faz parte das análises: geométrica, nas quais relacionadas com os ângulos e distâncias e na fotogramétrica, onde, têm-se o estudo da captação da imagem interligado com a correção dos parâmetros internos (distância focal, ponto principal e distorções) e os externos, variações intempéries, como o vento, ocorrendo o deslocamento das coordenadas dos pontos. A calibração é um processo aplicado para câmaras de pequenos formatos, sendo alguns fatores facilitadores para a tomada das fotos, diferente das câmaras fotogramétricas (OLIVEIRA, 2016).

Contudo, no decorrer dos anos foram desenvolvidas duas técnicas para o processo de Calibração: em Serviço (*On-The-Job*) e a da Autocalibração (*Self-Calibration*), sendo importante para estimar a geometria interna da câmara e as distorções que ocorrem na tomada das imagens. No entanto, o que particulariza a Autocalibração é que não existe a necessidade de utilizar pontos de apoio no espaço-objeto (OLIVEIRA, 2016) e a partir da mesma estabelecer as coordenadas dos pontos para definir o tamanho do pixel da imagem em relação ao ambiente, caso contrário, a imagem capturada pode sofrer distorção e prejudicar centro, bordas e

ortogonalidade, que é quando a imagem é projetada baseada sobre um plano. Deve-se usar modelos matemáticos para a correção dessas questões.

A Autocalibração é a realização da calibração da câmara e da nuvem de pontos automatizada, sendo a qualidade final geralmente inviável, pois depende de um valor alto de pontos que deverão correlacionar com a imagem e o terreno, gerados diretamente no processamento das fotos. Além disso originam erros nesse processo e o usuário não sabendo da existência dele prejudica a qualidade do produto. Na Calibração em Serviço, o usuário acompanha todo o processo, são estimados os parâmetros internos como: distância focal, ponto principal e distorções – sendo essas controladas e analisadas. Dessa maneira gera-se uma boa qualidade com a utilização de modelos matemáticos para que a calibração seja precisa, confiável e obtenha bons resultados para o produto final.

Esse trabalho visa a Calibração em Serviço da Câmara da ARP Mavic 2 Pro da DJI e sobretudo a geração do certificado de calibração da câmara através da determinação dos parâmetros internos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Calibrar a câmara embarcada na ARP Mavic 2 Pro no campo de calibração construído na Fazenda Paraíso II.

2.2 Objetivos específicos

- Detalhar a metodologia empregada na calibração da câmara (sensor) Mavic 2 Pro embarcada na ARP;
- Determinar os parâmetros de calibração da câmara não métrica embarcada na ARP;
- Elaborar um Certificado de calibração da câmara da ARP.

3 JUSTIFICATIVA

Na Aerofotogrametria as imagens do terreno são tomadas por sensores ou câmaras embarcadas em uma aeronave. Nesse caso, uma metodologia para a calibração da câmara embarcada da ARP se mostra uma etapa bastante importante e necessária para os usuários desse

equipamento.

Dessa maneira deve-se realizar periodicamente a calibração da ARP, pois por meio dela é possível analisar a estabilidade geométrica da câmara e também a qualidade geométrica das fotos com um padrão de exatidão aceitável para o uso de acordo com a finalidade do produto.

Portanto, segundo Andrade (2003) são usados modelos matemáticos para calibrar câmaras digitais sendo que para estabelecer a junção da geometria do espaço objeto e o da imagem torna-se viável a aplicação de equações de colinearidade.

As equações de colinearidade descrevem o procedimento de geração da imagem (Hasegawa, 1997).

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse tópico serão apresentadas as bibliografias para o estudo voltado para calibração de câmaras em ARP.

4.1 Câmaras digitais

As câmaras digitais são instrumentos que possuem uma superfície de sensores onde são compostas por componentes fotodetectores (transformação da energia eletromagnética para elétrica), diferente das câmaras padrões que possuem uma película fotográfica sensível. Desta maneira, os fotodetectores são divididos em: varredura de ótico-mecânico (possui um ou mais elementos sensores, o sinal é feito por varredura através de espelhos rotativos ou oscilantes), sensores de arranjo linear (a varredura é feita por meio da movimentação de toda câmara ou através da linha de sensores dentro da câmara) e os sensores de arranjo matricial (sensores ordenados em uma matriz bidimensional, emprega-se o modelo das equações de colinearidade). (GALO, 1993).

De acordo com (GALO, 1993) as câmaras possuem sensores CCD (*Charge Coupled Device*), CID (*Charge Injection Device*) ou fotodiodo. No entanto, os sensores CCD são os mais utilizados, onde é composta por um modelo matricial e tem um dispositivo de deslocamento de carga. Então, as câmaras que possuem esse tipo de sensor são direcionadas para o grupo CTD (*Charge Transfer Device*).

Para SOUZA e CARDOZA (2012) o sensor CCD consiste na entrada da luz solar incidente na superfície da placa responsável para a captação, assim a energia é absorvida pelo dispositivo e transforma-se a energia térmica em elétrica, a matriz da imagem amplifica-se

sendo processada e gerada de forma parcial ou integral, o resultado desse sensor é uma imagem com alta qualidade e baixo nível de ruído.

Com a evolução dos sensores CCD presente nas câmaras digitais, sendo eles construídos em linhas e matrizes possibilita que no mapeamento a imagem seja em alta resolução tanto nos satélites (tamanho do pixel no terreno sendo menor do que 1,0m x 1,0m) quanto nas câmaras digitais fotogramétricas (SILVA et al., 2005).

4.2 Equações de colinearidade

As equações de colinearidade descrevem matematicamente o procedimento de formação da imagem, nas quais interligam coordenadas dos pontos no espaço-objeto e espaço-imagem (Hasegawa, 1997).

Na Fotogrametria Digital, são utilizadas as equações de colinearidade para correlacionar parâmetros da orientação exterior, coordenadas fotográficas de um ponto e coordenadas tridimensionais de um mesmo ponto no sistema referencial do terreno ou espaço-objeto, sendo esses pertencentes a uma mesma reta (Koyama, 2001).

Segundo Brito & Coelho Filho (2007) as equações de colinearidade são expressadas matematicamente, pelas fórmulas dadas: na Equação 1, determina-se as coordenadas x de um ponto na imagem e Equação 2, determina-se as coordenadas y de um ponto na imagem.

Equação 1 - Determinação das coordenadas x de um ponto na imagem.

$$\xi = \xi_0 + c \cdot \frac{r_{11}(X-X_0)+r_{21}(Y-Y_0)+r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (1)$$

Equação 2 - Determinação das coordenadas y de um ponto na imagem.

$$\eta = \eta_0 - c \cdot \frac{r_{12}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (2)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- ξ – coordenada x de um ponto na imagem;
- ξ_0 – coordenada x do centro de perspectiva da câmara na imagem;
- c – valor da distância focal com sinal trocado;
- r_{ij} – elementos da matriz de rotação R;

- (X, Y, Z) – coordenadas do espaço-imagem;
- (X_0, Y_0, Z_0) – coordenadas do objeto paralelo ao sistema-imagem;
- η – coordenada y de um ponto na imagem;
- η_0 – coordenada y do centro de perspectiva da câmara da imagem.

Na matriz de rotação R do espaço-imagem para o espaço-objeto, tem-se na Equação 3, a determinação da matriz de rotação do elemento R . Nas quais os elementos das matriz são representados pelas letras gregas:

- ξ – *Csi*
- η – *Eta*.
- ϕ – *Fi*.
- κ – *Capa*.
- ω – *Ômega*

A matriz de rotação R , do espaço-imagem para o espaço-objeto, são representados na Equação 3, por meio da determinação da matriz de rotação R .

Equação 3 - Determinação da matriz de rotação R.

$$R = \begin{bmatrix} \cos \phi \cdot \cos \kappa & -\cos \phi \cdot \sin \kappa & \sin \phi \\ \cos \omega \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa & \cos \omega \cdot \cos \kappa - \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa & -\sin \omega \cdot \cos \kappa \\ \sin \omega \cdot \sin \kappa - \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa & \sin \omega \cdot \cos \kappa + \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa & \cos \omega \cdot \sin \phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dessa maneira por meio da Equação 4, são dispostos os elementos na posição r_{ij} da matriz de rotação R . Eles possuem essa notação devido ao r_{ij} , sendo: i para o elemento da linha e j para a coluna.

Equação 4 - Elementos da matriz de rotação R.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Portanto, as equações de colinearidade é um modelo matemático que pode ser usado para diversas aplicações, sendo uma delas a calibração de câmaras.

4.3 Calibração

A calibração é uma metodologia para definir um conjunto de parâmetros específicos da câmara, tornando possível a reconstituição do feixe perspectivo onde originou a imagem (GALO, 2003).

Então, para calibrar uma câmara utiliza-se a equação da colinearidade, na qual relaciona-se tanto espaço-objeto quanto espaço-imagem, tendo como viés os pontos: centro perspectivo, ponto imagem e ponto objeto em uma mesma reta. Dessa maneira, para a Fotogrametria é muito importante a calibração, pois por ela é possível estimar POI (Parâmetros de Orientação Interior) de cada câmara relativamente com os desvios padrões, no entanto os parâmetros podem mudar de acordo com a câmara utilizada e devido ao emprego de câmaras métricas em diversas finalidades, torna-se necessário conhecer o conjunto de POI de cada uma delas (GALO et al., 2008).

O processo de calibração possui a funcionalidade de determinar o POI, desta maneira, em muitas das vezes esse processo é realizado em laboratório e campo. (OLIVEIRA, 2016).

Para a calibração de câmara, são determinados os seguintes parâmetros, como: distância focal da lente (f); parâmetros das coordenadas do centro de projeção da imagem - ponto principal (x_0, y_0) e coeficientes de distorção da lente (k_1, k_2, k_3, P_1, P_2), no qual as variáveis k_i são os coeficientes de distorção radial da lente e o P_1 e P_2 os coeficientes de distorção descentrada devido a dispersão ocasionada nos elementos da lente (ANDRADE, 2003) (BROWN, 1971).

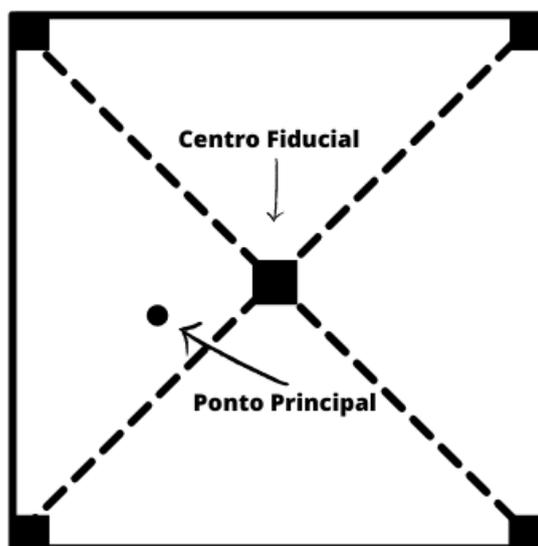
No sistema fotogramétrico torna-se fundamental a eliminação dos erros sistemáticos, onde as causas podem ser identificadas ou possam solucioná-las pelas parametrização matemática das equações de colinearidade (MITISHITA; OLIVAS, 2001).

Contudo, existem outros parâmetros, nas metodologias de (BROWN, 1971) e (REMONDINO; FRASER, 2006) são empregadas para a calibração, onde tem-se uma ou mais variáveis nos diversos softwares de processamento de imagens de ARP. A partir dessa proposta, são usados modelos matemáticos para calibrar câmaras digitais. Então tem-se a autocalibração usando as equações de colinearidade. Dessa maneira, a equação de colinearidade pode ser remodelada para equações mais básicas de projeções e aplicadas no processo de calibração. No entanto, nesse tipo de equação geralmente são necessários cinco ou mais correspondentes nas imagens.

Dessa maneira para compreender o deslocamento causado na Figura 1, deve-se entender dois conceitos: o ponto principal da imagem, é onde está o eixo principal em formação de uma

imagem imprópria e o centro fiducial, é impresso pela câmara no instante da tomada de fotos (LIMA, 2018) e então a partir disso ocorre o deslocamento do ponto principal (x_0, y_0) devido a não coincidência do eixo óptico da câmara e o centro fiducial da fotografia.

Figura 1 – Deslocamento entre o ponto principal e o centro fiducial.



Fonte: Adaptado de MAZON, ZACCHI, MARTINS (2011).

Os maiores valores absolutos de coordenadas fotográficas serão de 0,75 para x e 0,50 para y (GONÇALVES; PINHAL, 2018).

No modelo (BROWN, 1971) são usados parâmetros para calibração de câmaras em Fotogrametria. Para as coordenadas da imagem corrigidas, têm-se as seguintes equações (5) e (6) para x' . Na Equação 5, serão determinadas as coordenadas da imagem corrigidas para x' e Equação 6, serão determinadas as coordenadas da imagem corrigidas para y' :

Equação 5 – Coordenadas da imagem corrigidas para x' .

$$x' = x (1 + K1r^2 + K2r^4 + K3r^6) + (P1(r^2 + 2x^2) + 2P2xy) \quad (5)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Coordenadas imagem corrigidas (x');
- Coordenada fotográfica (x);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica ($K1$);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^2);

- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K2);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^4);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K3);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^6);
- Parâmetros da distorção tangencial (P1);
- Parâmetros da distorção tangencial (P2);
- Coordenadas fotográficas (x,y).

Equação 6 – Coordenadas da imagem corrigidas para y' .

$$y' = y (1 + K1r^2 + K2r^4 + K3r^6) + (P2(r^2 + 2y^2) + 2P1xy) \quad (6)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Coordenadas imagem corrigidas (y');
- Coordenada fotográfica (y);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K1);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^2);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K2);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^4);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K3);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^6);
- Parâmetros da distorção tangencial (P2);
- Parâmetros da distorção tangencial (P1);
- Coordenadas fotográficas (x,y).

Para o cálculo das coordenadas para as imagens (u,v), na Equação 7 será determinado o raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal.

Equação 7 – Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (7)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r);
- Coordenadas fotográficas (x,y).

Para a determinação das coordenadas para as imagens (u, v), têm-se nas equações (8) e (9): na Equação 8, determinação da coordenada para a imagem (u) e na Equação 9, determinação da coordenada para a imagem (v).

Equação 8 – Determinação da coordenada para a imagem (u).

$$u = \frac{N}{2} + Cx + x'f + x'b1 + y'b2 \quad (8)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Sistema de coordenadas da imagem (u,v);
- Imagem M (Peso – W) por N (Altura – H) em pixels;
- Posição do ponto principal em relação ao centro de imagem (Cx);
- Coordenada imagem corrigida (x');
- Distância focal (f);
- Coeficiente de transformação de afinidade e inclinação (não ortogonalidade) (b1);
- Coordenada imagem corrigida (y');
- Coeficiente de transformação de afinidade e inclinação (não ortogonalidade) (b2).

Equação 9 – Determinação da coordenada para a imagem (v).

$$v = \frac{M}{2} + Cy + y'f$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Sistema de coordenadas da imagem (u,v);
- Imagem M (Peso – W) por N (Altura – H) em pixels;
- Posição do ponto principal em relação ao centro de imagem (Cy);
- Coordenadas imagem corrigidas (y');
- Distância Focal (f).

Portanto, por meio dessas equações poderão ser calculados os parâmetros exigidos para a calibração de câmaras em serviço da ARP.

4.4 Certificado de Calibração

O certificado de calibração de uma câmara fotogramétrica é importante para facilitar na tomada de decisão no processo de correção, medição e validação, visto que é uma variante que quando não calibrada sofre total influência na qualidade, precisão e confiabilidade do produto final.

Nos certificados de calibrações são ideais que sejam realizados em laboratórios, onde deverão ser especificadas algumas informações, como: área testada, altura do voo, números de faixas, área de sobreposição lateral e longitudinal, resolução espacial, sentido das faixas levantadas, nome do laboratório onde foi feita a calibração, o mesmo deve ser um local de referência afim de ter o resultado preciso e confiável; especificação técnica do produto que será testado: nome do equipamento, nome do fabricante, qual o modelo e número de série do equipamento, tipo de câmara empregada, tipo de lente usada, distância focal, ponto principal, distorções encontradas, caso exista quais foram as variações intempéries; o procedimento utilizado para calibração: método, POI, como foi realizada a tomada de fotos, número de fotos tomadas, quantidade de pontos de apoio, quantidade de pontos de *check*, qual escala, quantidade de alvos representados em campo, qual o modelo matemático usado e quais foram os padrões que foram seguidos, qual método de validação do produto cartográfico usado e entre outros.

Portanto, para mapeamentos são necessárias câmaras com alta estabilidade geométrica e o POI deve ser especificado no certificado de calibração, dessa maneira, as coordenadas medidas sobre as imagens poderão ser alinhadas para a finalidade de retificar os erros sistemáticos e os produtos gerados possam ser de boa qualidade e precisão (TOMMASELLI et al., 2010).

4.5 ARP

O UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*) são equipamentos de baixo custo e é uma ferramenta utilizada para fins de mapeamentos. O UAV se refere a qualquer veículo que possa voar e ser controlado remotamente, sem a necessidade de uma pessoa a bordo para controle da aeronave (Eisenbeiss., 2004).

No entanto o UAV também denominado como ARP, é utilizado para observação, manutenção, monitoramento em geral, sendo seu uso para diversas finalidades. Dessa maneira, os modelos de ARP estão representados na Figura 2, ele é composto por uma *Ground Control Stations* (GCS) assim, pode-se programar, executar e visualizar um voo todo acompanhado

remotamente, sendo possível acompanhar o mesmo e ter uma localização de referência. Na ARP têm-se *Global Positioning System* (GPS) acoplado e *Inertial Measurement Unit* (IMU) que garante a precisão e eficiência do equipamento. A ARP possui limitação quanto à capacidade de carga a bordo e tanto nas questões das condições climáticas. Por ele é possível ter em tempo real os dados recolhidos, sendo possível ter vários usos, mas, geralmente é empregada para fins militares (BERNARDI et al., 2014).

Figura 2 – Modelos e Características das ARPs.



Fonte: Adaptado de Andrade (2013).

Os principais componentes das ARPs, são: frame - corpo de asa fixa ou rotativa, onde são empregados os sensores e demais componentes; controladora - local onde encontra-se a central do comando, sendo responsável pela comunicação dos periféricos, entre outros; GPS - sensor de posicionamento para mapeamento aéreo automático; motores e hélices - visam a sustentação do equipamento no ar e baterias - fornecem energia para o equipamentos (Senar, 2018).

Os modelos de ARPs são projetados para as mais diversas finalidades, dessa maneira deve-se saber tanto suas características e aplicações para sua escolha. As ARPs são de asa rotativa - ele é do tipo helicóptero ou multirotor (com mais de um rotor), asa fixa - as asas dele são utilizadas de forma similar a de um avião e asa híbrida - as aeronaves possuem asa fixa e rotativa simultaneamente, no entanto ainda é um produto experimental em fase de testes. Então, serão mostrados dois tipos de ARPs: Asa rotativa (Figura 3) e Asa fixa (Figura 4), as ARPs

possuem diferenças de acordo com o algumas características, como: projeto, aplicações mais comuns, velocidade do voo, autonomia da bateria, cobertura de área de voo, pilotagem manual, modelo e área de decolagem/pouso e modo de orientação da imagem representado na Tabela 1.

Figura 3 – Modelo de ARP de Asa Rotativa (Mavic 2 Pro da DJI).



Fonte: A autora (2021).

Figura 4 – Modelo de ARP de Asa Fixa (eBee *Classic* da SenseFly).



Fonte: A autora (2021).

Tabela 1 – Diferenças do ARP de asa fixa e rotativa.

Tipos	ARP de Asa fixa	ARP de Asa Rotativa
Projeto	Mapeamento e monitoramento de médias e grandes áreas.	Mapeamento e monitoramento de pequenas áreas, além de inspeção de obras e recursos naturais.
Aplicações mais comuns	Agricultura, mineração, topografia, monitoramento de perímetro (fronteiras), monitoramento da vida selvagem, engenharia, entre outros.	Agricultura, inspeção e fiscalização ambiental, mercado imobiliário, videografia, topografia, emergência, entre outros.
Velocidade de voo	Maior	Menor
Autonomia de bateria	Maior	Menor
Cobertura de área de voo	Maior	Menor
Pilotagem manual	Mais difícil	Mais fácil
Modo de decolagem e pouso	Horizontal	Vertical
Área de decolagem e pouso	Maior	Menor
Modo de orientação das imagens	Vertical	Vertical e oblíqua (Panorâmica)

Fonte: Adaptado de Senar - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2018).

4.6 Posicionamento GNSS

O GPS é capaz de determinar a posição de objetos em relação a um referencial e época, no entanto, eles podem ser realizados de diferentes metodologias, com alta precisão alcançando a casa milimétrica (NAKAO; KRUEGER, 2017).

O princípio básico de navegação define-se que o usuário em qualquer ponto que esteja na superfície terrestre, ou próximo, tenha disponível no mínimo quatro satélites para rastreamento (MONICO, 2000).

O Posicionamento por Ponto Preciso (PPP-IBGE) é uma plataforma online e gratuita para realização do pós-processamento de dados GNSS, utiliza-se o software CSRS – PPP (GPS *Precise Point Positioning*) criado pelo NRCan (*Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada*), sendo possível que os usuários de receptor GLONASS e GPS possam referenciar as coordenadas do SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) e ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) para seu levantamento geodésico por meio do método de Posicionamento Por Ponto Preciso. No PPP - IBGE os dados GNSS para serem processados deverão ser no formato RINEX ou HATANAKA, onde deve-se especificar qual modelo e altura de antena foi utilizada e um email válido (sendo disponibilizado um link para o acesso para o resultado final do processamento), quanto aos receptores são de uma ou duas frequências (L1 e L2) e os tipos de posicionamento estático ou cinemático (IBGE, 2009).

Segundo BERNARDI e LANDIM (2002), no Posicionamento Relativo Estático Rápido, existem dois ou mais receptores (Base e Rover) que rastreiam ao mesmo tempo, os satélites visíveis por um determinado período, adota-se a Dupla Diferença (DD) da fase da onda portadora, ou seja, a diferença da pseudodistância. Para um produto acurado utiliza-se duas observáveis. Esse método é preciso e indicado para levantamentos geodésicos, visto que devido ao longo período de rastreamento usa-se a fase de onda portadora, na qual a precisão é maior do que a da pseudodistância.

4.7 PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica)

O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é definido pelo Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, onde foram estabelecidas as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, sendo atribuídos critérios para classificação de cartas quanto a exatidão e questões de distribuição de erros ao longo das mesmas, visto que as imagens eram obtidas por processos analógicos.

O PEC é um indicador estatístico da qualidade posicional do produto cartográfico que é

gerado, sendo calculado da seguinte maneira (90% da amostra sendo menor ou igual ao valor tabelado na PEC ou 1,6449 multiplicado pelo erro padrão. Então, para que o produto seja aceito como Referência Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PCD) é indispensável de que sejam alcançados os valores previstos na Tabela 2.

Tabela 2 – As Classificações das Cartas pela PEC.

Carta (Classes)	PEC Planimetria	PEC Altimetria	EP Planimetria	EP Altimetria
Classe A	0,5 mm x Escala	1/2 equidistância	0,3 mm x Escala	1/3 equidistância
Classe B	0,8 mm x Escala	3/5 equidistância	0,5 mm x Escala	2/5 equidistância
Classe C	1,0 mm x Escala	¾ equidistância	0,6 mm x Escala	½ equidistância

Fonte: Adaptado de Decreto - Lei 89.817 de 1984.

5 MATERIAIS E METODOS

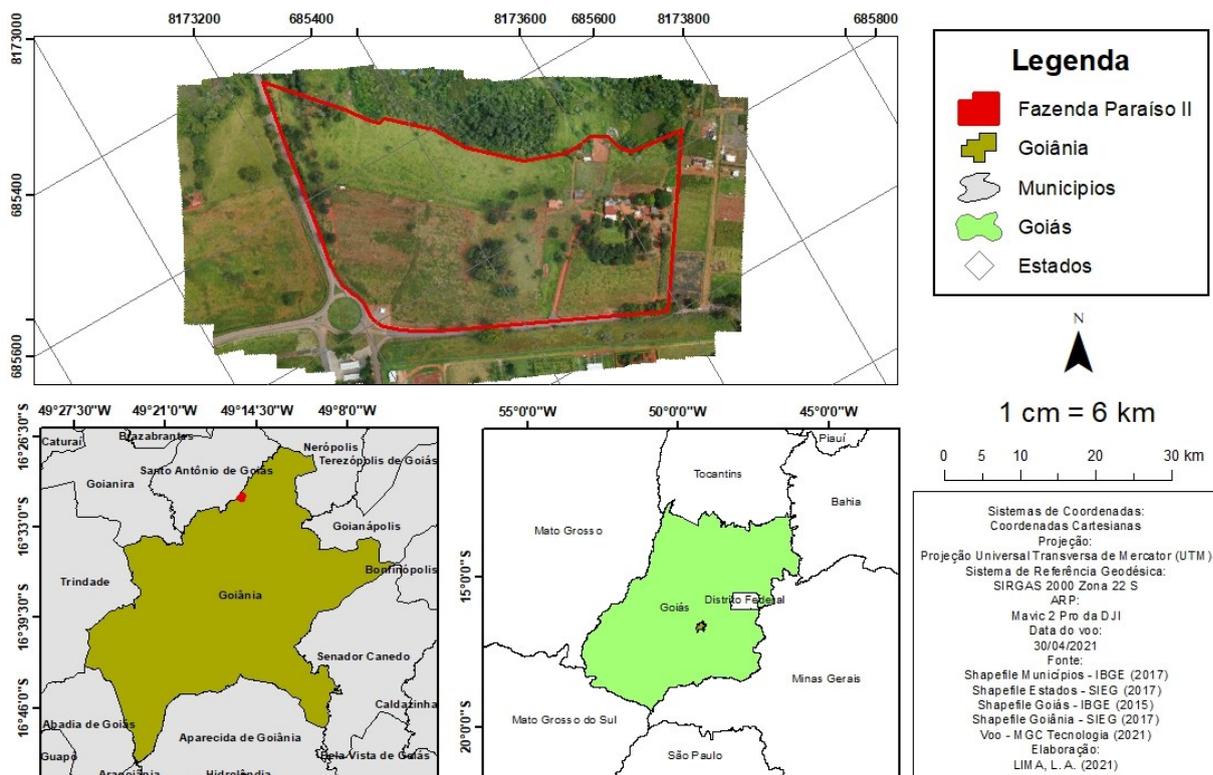
5.1 Área de Estudo

5.1.1 Localização da Área de Estudo – Campo de Calibração: Fazenda Paraíso II em Goiânia (GO).

A área de estudo está localizada na Fazenda Paraíso II, próxima do posto Tassara Paraíso Tropical, com área rural de 13,3 hectares no Setor Sítio Recreio Paraíso Tropical, localizada na rodovia GO-462 que se inicia na cidade de Goiânia a Santo Antônio de Goiás, sendo a 21 quilômetros do Setor Central da cidade de Goiânia, no estado de Goiás no qual encontra-se na mesorregião do Centro Goiano (Figura 5).

Figura 5 – Mapa de localização da área de estudo.

LOCALIZAÇÃO DA FAZENDA PARAÍSO II - GOIÂNIA - GO



Fonte: A autora (2021).

Goiânia está situada a 203 quilômetros do Distrito Federal, foi fundada em 24 de outubro de 1933, a estimativa é de 1.536.097 habitantes, sendo 1776,74 por quilômetros quadrados (IBGE, 2020). É a segunda maior cidade do Centro-Oeste, estabelecida no bioma Cerrado, possui o maior índice de qualidade de vida do país, sendo o município com maior número de área verde por habitante (94 m²), localizada na região do Planalto Central do Brasil, foi planejada para ser a capital política e administrativa de Goiás, tornou-se uma região de muita importância devido a indústria, medicina, moda e agricultura.

5.1 Materiais

Os materiais utilizados são os especificados abaixo:

1. Mavic 2 Pro da DJI.

O modelo utilizado da ARP, pertence a empresa MGC Tecnologia LTDA, localizada em Goiânia – Goiás, no qual é o Mavic 2 Pro (Figura 6) da fabricante chinesa DJI, fundada em 2006, onde suas tecnologias são comprovadas com a utilização de ARP para coleta e análise de

dados geoespaciais, sendo útil para profissionais da agricultura, topografia, engenharia entre outros.

Figura 6 – Mavic 2 Pro.



Fonte: A autora (2021).

O Mavic 2 Pro foi utilizado para a execução do voo, possui frequência de rádio padrão de 2,4 a 5,8 GHz, é uma ARP de asas rotativas utiliza-se para: mapeamentos e monitoramentos de áreas, inspeções de obras e preservação de recurso natural. Além disso as aplicações em diversos contextos, como: agricultura de precisão, inspeção e fiscalização ambiental, topografia e entre outros. Dessa maneira, uso dessa ARP é indicado para pequenas áreas, essa tecnologia auxilia o trabalho de profissionais da área, a pilotagem são de duas formas: manual ou automática, modo de decolagem e pouso no sentido vertical, a autonomia de voo de 31 minutos, alcance máximo de 8 km e o modo de orientação das imagens são: verticais e oblíquas (panorâmica), entre outras características representadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Especificações da ARP Mavic 2 Pro.

Especificações da ARP Mavic 2 Pro	
Aeronave	
Peso de decolagem	Mavic 2 Pro: 907 g
Dimensões	<u>Dobrado:</u> 214 x 91 x 84 mm

	(comprimento x largura x altura) <u>Montado:</u> 322 x 242 x 84 mm (comprimento x largura x altura)
Distância diagonal	354 mm
Velocidade máxima de subida	5 m/s (modo S), 3 m/s (modo P)
Velocidade máxima de descida	3 m/s (modo S), 3 m/s (modo P)
Velocidade máxima	72 km/h (modo S) (próximo ao nível do mar, sem vento)
Teto máximo de serviço acima do nível do mar	6000 m
Tempo máximo de voo	31 minutos (25 kph constantes, sem vento)
Tempo máximo de voo estacionário	29 minutos (sem vento)
Tempo geral de voo	25 minutos (em voo normal, 15% no nível restante de bateria)
Distância máxima de voo	18 km (constantes 50 km/h sem vento)
Resistência máxima à velocidade do vento	29 a 38 km/h
Ângulo máximo de inclinação	35° (modo S, com controle remoto) 25° (modo P)
Velocidade angular máxima	200°/s
Faixa de temperatura operacional	-10°C até 40°C
GNSS	GPS + GLONASS
Alcance de precisão do voo estacionário	<u>Vertical:</u> ±0,1 m (quando o posicionamento da visão está ativo) ±0,5 m (com posicionamento GPS) <u>Horizontal:</u> ±0,3 m (quando o posicionamento da visão está ativo) ±1,5 m (com posicionamento GPS)

Frequência de funcionamento	2.400 – 2.4835 GHz 5.725 – 5.850 GHz
Potência de transmissão (EIRP)	<u>2,4 GHz</u> FCC: ≤ 26 dBm CE: ≤ 20 dBm SRRC: ≤ 20 dBm MIC: ≤ 20 dBm <u>5,8 GHz</u> FCC: ≤ 26 dBm CE: ≤ 14 dBm SRRC: ≤ 26 dBm
Armazenamento interno	8 GB
Estabilizador	
Faixa mecânica	<u>Inclinação</u> : -135 a 45° <u>Movimento panorâmico</u> : -100 a 100° <u>Rotação</u> : -45 a 45°
Faixa controlável	<u>Inclinação</u> : -90 a 30° <u>Pan</u> : -75 a 75°
Estabilização	Triaxial (inclinação, rotação e movimento panorâmico)
Velocidade máxima de controle (inclinação)	120°/s
Faixa de vibração angular	± 0,01°
Sistema de detecção	
Sistema de detecção	Sensor de obstáculos omidirecional
FOV	<u>Para frente</u> : Horizontal: 40° Vertical: 70° <u>Para trás</u> : Horizontal: 60° Vertical: 77° <u>Descendente</u> :

	<p>Dianteira e traseira: 100°</p> <p>Esquerda e direita: 83°</p> <p><u>Lateral:</u></p> <p>Horizontal: 80°</p> <p>Vertical: 55°</p>
Alcance do sensor de obstáculos	<p><u>Para frente</u></p> <p>Faixa de medição de precisão: 0,5 – 20 m</p> <p>Faixa detectável: 20 – 40 m</p> <p>Velocidade eficaz para detecção ≤ 14 m/s</p> <p><u>Para trás</u></p> <p>Faixa de medição de precisão: 0,5 – 16 m</p> <p>Faixa detectável: 16 – 32 m</p> <p>Velocidade eficaz para detecção ≤ 12 m/s</p> <p><u>Ascendente</u></p> <p>Faixa da medição de precisão: 0,1 – 8 m</p> <p>Faixa detectável: 11 – 22 m</p> <p><u>Descendente</u></p> <p>Faixa da medição de precisão: 0,5 – 11 m</p> <p>Velocidade eficaz para detecção ≤ 8 m/s</p>
Ambiente operacional	<p>Superfícies com padrão nítido e iluminação adequada (lux > 15)</p> <p>Detecta superfícies reflexivas difusas (>20%) (paredes, árvores, pessoas, entre outros)</p>
Faixa de velocidade	≤ 50 km/h a 2 metros acima do solo
Faixa de altitude	0,1 a 11 m
Faixa operacional	0,3 a 50 m
Controle Remoto	
Frequência de Funcionamento	<p>2.400 – 2.4835 GHz</p> <p>5.725 – 5.850 GHz</p>
Distância máxima de transmissão	<p>FCC: 1000 m</p> <p>CE: 6000 m</p> <p>SRRC: 6000 m</p> <p>MIC: 6000 m</p>

	(sem obstrução, livre de interferência)
Faixa de temperatura operacional	0°C a 40°C
Bateria	3950 mAh
Potência de transmissão (EIRP)	<u>2,4 a 2.4835 GHz</u> FCC: ≤ 26 dBm CE: ≤ 20 dBm SRRC: ≤ 20 dBm MIC: ≤ 20 dBm <u>5,725 a 5,850 GHz</u> FCC: ≤ 26 dBm CE: ≤ 14 dBm SRRC: ≤ 26 dBm
Corrente/tensão de operação	1800 mA a 3,83 V
Tamanhos dos dispositivos móveis suportados	<u>Comprimento máximo:</u> 160 mm <u>Espessura máxima:</u> 6,5 a 8,5 mm
Tipos de portas USB suportadas	Iluminação, Micro USB (Type-B), USB-C
Carregador	
Entrada	100 a 240 V, 50/60 Hz, 1.8 A
Saída	<u>Principal:</u> 17,6 V = 3,41 A ou 17,0 V = 3,53 A <u>USB:</u> 5 V = 2 A
Tensão	17,6 ± 0.1 V ou 17,0 V = 3,53 A
Potência Nominal	60 W
Bateria de voo inteligente	
Capacidade	3850 mAh
Tensão	15,4 V
Tensão máxima de carga	17,6 V
Tipo de bateria	LiPo 4S
Energia	59,29 Wh
Peso líquido	297g

Faixa de temperatura de carregamento	5°C a 40°C
Potência máxima de carga	80 W
Aplicativo	
Sistema de transmissão de vídeo	OcuSync 2.0
Nome	DJI GO 4
Qualidade de transmissão ao vivo	<u>Controle remoto:</u> 720p a 30 fps / 1080p a 30fps
Latência (depende das condições do ambiente e do dispositivo móvel)	120 – 130 ms
Sistema de operação exigido	<u>IOS</u> – 10.0.2 ou posterior <u>Android</u> – 4.4 ou posterior

Fonte: Adaptado de Manual de Usuário - Mavic 2 Pro/Zoom DJI (2018).

2. Câmara Mavic 2 Pro.

A câmara embarcada na ARP é a *Hasselblad* RGB, pertence a empresa MGC Tecnologia LTDA, (Figura 7) onde suas especificações estão contidas na Tabela 4. Essa câmara é um sensor de referência em campo, nela são obtidas imagens aéreas nítidas e detalhadas para a geração de ortomosaicos e modelos tridimensionais digitais de alta qualidade e precisão, fabricada pela *Hasselblad Foundation* (empresa de câmaras e materiais fotográficos), originada na Suécia em 2017 foi adquirida pela fabricante chinesa DJI.

A câmara *Hasselblad* L1D-20C proporciona uma imagem com alta qualidade de 20 MP (*MegaPixel*), sensor CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) de 1” com abertura do diafragma de f 2.8 a 11 ajustável e captura de vídeos 4K HDR (*High Dynamic Range*).

Figura 7 – Câmara Mavic 2 Pro.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 4 – Especificações da Câmera Mavic 2 Pro.

Especificações da Câmera Mavic 2 Pro	
Câmara	
Sensor	CMOS de 1” Píxeis efetivos: 20 milhões Megapixel: 20 MP
Tipo de Sensor	<i>Hasselblad</i> RGB
Modelo da câmara	L1D-20c
Lentes	<u>FOV</u> : aproximadamente 77° <u>Formato equivalente 35 mm</u> : 28 mm <u>Abertura</u> : <u>Alcance da foto</u> : 1 m a ∞
Faixa ISO	<u>Vídeo</u> : 700 - 6400 <u>Foto</u> : 100 – 3200 (auto) 100 – 12800 (manual)
Tamanho da imagem	5472 x 3648 pixels
Velocidade do obturador	<u>Velocidade do obturador eletrônico</u> : 8 -1/8000s
Tamanho da imagem com alvo imóvel	5472 x 3648
Modos de fotografia com alvo	<u>Disparo único</u>

imóvel	<p><u>Disparo sequencial</u>: 3/5 disparos</p> <p><u>Bracketing de Exposição Automática (AEB)</u>: 3/5 quadros enquadrados a 0,7 EV Bias Intervalo (2/3/5/7/10/15/20/30/60s) RAW: (5/7/10/15/20/30/60s)</p>
Resolução de vídeo	<p><u>4K</u>: 3840 x 2160 24/25/30p</p> <p><u>2.7K</u>: 2688 x 1512 24/25/30/48/50/60p</p> <p><u>FHD</u>: 1920 x 1080 24/25/30/48/50/60/120p</p>
Modo de cores	<p>Dlog-M (10 bits)</p> <p>Suporte para vídeos em HDR (HLG 10 bits)</p>
Taxa máxima de bits de vídeo	100 Mbps
Sistemas de arquivos compatíveis	<p><u>FAT32</u>: ≤ 32 GB</p> <p><u>exFAT</u>: > 32 GB</p>
Formatos de fotografia	JPEG / DNG (RAW)
Formato de vídeo	MP4 / MOV (MPEG-4 AVC/H.264, HEVC/H.265)
Compatível com cartões SD	<p>MicroSD</p> <p>Suporta cartões microSD com capacidade de até 128 GB e velocidade de leitura/escrita de até UHS-1 Classe 3</p>
Faixa de temperatura operacional	-10°C a 40°C
HDR	HDR aprimorado, 14 EV
HyperLight	8 dB SNR
Panorâmica	<p>Pano (3 x 1): 4000 x 6000 (40° x 80°)</p> <p>W (3 x 3): 8000 x 6000 (113° x 80°)</p> <p>180° (3 x 7): 8192 x 2840 (240° x 76°)</p>

	Esférico (3 x 8 + 1):
	8192 x 4096 (360° x 126°, 360° x 180°)

Fonte: Adaptado de Manual de Usuário - Mavic 2 Pro/Zoom DJI (2018).

O IMU (*Inertial Measurement Unit*) é uma unidade de medida inercial, pertence ao grupo de componentes dos INS (*Inertial Navigation System*) são característicos para as ARPs, aeronaves, satélites e espaçonaves e entre outros veículos aéreos. Dessa maneira, utiliza-se esse componente para verificar se o drone encontra-se em equilíbrio, na qual as funções, são: medição, descrição da força e aceleração da aeronave, além da velocidade angular, altitude do objeto e o campo magnético do corpo do objeto.

O receptor GNSS/GPS integrado na ARP possibilita a realização desde o planejamento e execução do voo, sendo no modo automático e manual.

3. Software Pix4D Capture.

O *Pix4D Capture* será utilizado para a simulação e execução de voo para a ARP multirrotor Mavic 2 Pro da DJI, sendo uma plataforma gratuita e disponível para os sistemas operacionais Android ou IOS.

4. Distribuição dos alvos em campo.

Os alvos materializados em campo são pontos de apoio de referência do terreno com precisão posicional e confiabilidade, assim, através da acurácia posicional, onde são determinadas as coordenadas das feições, pontos, linhas e poligonais da área de estudo.

Os alvos podem ser: naturais ou artificiais. Nos alvos naturais, utiliza-se detalhes fixos na área de estudo, como, ponto de intersecção de uma rua com a outra no caso de um mapeamento urbano. Já os alvos artificiais, usa-se quando não existem detalhes para identificação no terreno e então, cria-se alvos para implementar no terreno e encontrá-los na imagem após o voo.

Dessa maneira, então foram criados alvos artificiais para representação e localização dos mesmos nas imagens tomadas pela ARP na etapa de processamento. Os alvos tanto para ponto de controle e *check* foram feitos no tamanho 40x40 cm na folha de E.V.A amarela para facilitar a identificação e com um e dois quadrados em E.V.A na cor preta no tamanho de 20x20 cm para diferenciação dos alvos, sendo o primeiro para ponto de check e o segundo para ponto de

controle. Os alvos para os pontos de controle, serão identificados nas imagens aéreas e correlacionados com a imagem, no qual é o ponto de referência em solo. Os alvos serão utilizados no processamento das imagens e no georreferenciamento e além disso para os pontos de check será para verificação e validação do produto final.

Dessa forma, criou-se então o alvo para o ponto de controle (Figura 8) e para o ponto de check (Figura 9) para utilização em campo.

Figura 8 – Alvo real para o ponto de controle.



Fonte: A autora (2021).

Figura 9 – Alvo real para o ponto de check.



Fonte: A autora (2021).

5. Receptor GNSS – Hiper SR da fabricante Topcon.

O Receptor GNSS Hiper SR (Figura 10) da Topcon possui 226 canais universais capazes de rastrear até 112 satélites, as rotinas de configuração são de fácil acesso e, devido à conexão LongLink torna-se possível conectar de maneira automática até três receptores móveis com a base. Para o posicionamento relativo estático rápido a precisão na horizontal é de 3 mm + 0,5 ppm (partes por milhão) e na vertical de 5 mm + 0,5 ppm e entre outras especificações do Receptor GNSS Hiper SR na Tabela 5.

Suas aplicações são direcionadas para: topografia, ‘As-Built’ (obras de engenharia já construídas), trabalho em campo, mapeamento, perícia, serviços públicos, silvicultura, acompanhamento de obras de engenharia e entre outros.

Figura 10 – Receptor GNSS Hiper SR Topcon.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 5 – Especificações do Receptor GNSS Hiper SR.

Especificações do Receptor GNSS – Hiper SR.	
Rastreamento GNSS	
Número de canais	226 canais Independentes capazes de rastrear até 112 satélites.
Sinais rastreados	L1, L2, L2C, GPS, GLONASS, SBAS, QZSS.
Tipo de antena	Antena integrada com tecnologia Fence Antenna™.
Precisão de Posicionamento	
Cinemática em Tempo Real (L1 + L2)	<u>Horizontal</u> : 10 mm + 1,0 ppm <u>Vertical</u> : 15 mm + 1,0 ppm
Estático Rápido (L1 + L2)	<u>Horizontal</u> : 3 mm + 0,5 ppm <u>Vertical</u> : 5 mm + 0,5 ppm
GPS Diferencial	<u>Horizontal</u> : 0,4 m + 0,6 m
SBAS	<u>Horizontal</u> : 1,0 m + 1,5 m
Comunicações	
Transmissão de Cinemática em Tempo Real (RTK)	Bluetooth Longlink (alcance de 300 m) Possibilidade de até 3 rovers simultâneos
Comunicações de E/S	Bluetooth, Serial e USB
Celular (opcional)	HSPA + Integrado
Dados e Memória	
Memória	2 GB internos
Atualização de dados/taxa de saída	Até 10 Hz
Saída de dados em tempo real	TPS, RTCM SCM104,CMR/CMR+NMEA
Saída ASCII	NMEA 0183
Físico	
Dimensões	150 x 150 x 64 mm
Peso	<u>Básico</u> : 850 g <u>Celular</u> : 925 g

Visor/painel de status	MINTER
Conector de alimentação externa	Sim
Tempo de operação	Até 20 horas
Ambiental	
Temperatura operacional	<u>Baterias internas:</u> - 20°C a 65°C <u>Baterias externas:</u> - 40°C a 65°C
Temperatura de armazenamento	- 40°C a 70°C
Umidade	100% condensação
Classificação contra poeira/água	IP67

Fonte: Adaptado de Topcon Positioning Systems: Hiper SR (2021).

6. Software Topcon Tools.

O *software Topcon Tools* foi criado pela *Topcon Corporation*, fabricante japonesa fundada em 1932 que visa soluções para Agrimensura/Topografia e vendas de equipamentos: *lasers scanners*, teodolitos, estações totais, receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), receptores GNSS RTK (*Real Time Kinematic*), níveis topográficos, níveis lasers, coletoras de dados GNSS, acessórios para os equipamentos, softwares de processamento de dados, entre outros.

É um software avançado para processamento e ajustamento de dados levantados em campo, sejam eles dispositivos (Topcon GPS / GPS + receptores, estações totais, níveis digitais), importação de dados (RINEX, DXF, DWG, SHP) e também de dados GPS brutos e GNSS RTK.

Dessa maneira, as principais opções, são: importar, processar e ajustar dados GNSS estático e rápido estáticos e também informação de levantamento RTK; processamento e ajuste de receptores de duplas frequência GNSS GLONASS e GPS (L1/L2); importar, calcular e ajustar poligonais efetuadas com Estação Total *Topcon* e também dados de nivelamento geométrico desempenhada com os níveis digitais *Topcon*; transformar coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator) ou geodésica para coordenadas locais topográficas, dessa maneira, sendo possível conhecer os valores dos resíduos gerados nos pontos, além da possibilidade de adicionar e incluir novos pontos e dessa maneira tendo um menor nível de resíduos; criar,

importar e exportar projeto geométrico de vias; gerar e exportar MDT; calcular volumes entre dois MDTs e também entre um MDT e o plano de referência; os pontos do projeto pode ser movimentado tanto em translação e rotação.

Portanto, o pós processamento ao importar os dados coletados nos receptores de simples ou dupla frequência (L1 ou L2) e sendo possível gerar os relatórios de confiabilidade, são eles: ajustamento, pontos de controles, observações GPS, controle de qualidade e dos pontos.

No *Topcon Tools* serão importados os dados medidos em campo com o receptor GNSS Hiper SR da *Topcon*, sendo processados os pontos de controle demarcados na área de estudo, sendo disponibilizado a licença pela empresa MGC Tecnologia LTDA.

7. Software Metashape.

O *Metashape* da fabricante *Agisoft LLC* é uma plataforma paga foi disponibilizada a licença pela empresa MGC Tecnologia LTDA, é um software fotogramétrico com recurso avançado para modelagem tridimensional (altura, profundidade e largura) baseada em imagem. As imagens são de alta resolução a partir de imagens estáticas, ou seja, as fotos podem ser tomadas em qualquer posição, porém o objeto a ser reconstituído deve ser visível em no mínimo duas fotos.

O *software* possui funções, como: Fototriangulação, Nuvem de pontos densos: edição e classificação, Modelo de elevação digital - geração MDT (Modelo Digital de Terreno) e MDS (Modelo Digital de Superfície), Exportação orto-mosaica georreferenciada, Medições: distâncias, áreas e volumes, Pontos de controles terrestre: topografia de alta precisão, Processamento de Imagens Multiespectrais, Modelo tridimensional: geração e texturização, Modelo quadridimensional para cenas dinâmicas, Costura de panorama e Processamento de rede.

No processamento de imagens no *Agisoft Metashape*, são realizadas as seguintes etapas:

- **Alinhamento de Fotos** – realiza-se o processo de fototriangulação, onde são determinadas as coordenadas do terreno em relação ao referencial de terreno. Após isso, gera-se a nuvem de ‘tie-points’ (pontos fotogramétricos) para materialização do sistema de coordenadas do terreno. Para que seja criada a nuvem densificada e modelos tridimensionais deve-se realizar essa etapa de ligação entre as ortofotos no mosaicagem e criação do mosaico. E além disso, pode-se incluir pontos de apoio coletados em campo para melhorar a precisão posicional da nuvem de pontos.

•**Construção da Nuvem Densificada** – densificação da nuvem de pontos do alinhamento de fotos, o software amplia a quantidade de pontos na nuvem de pontos reduzindo os possíveis espaços vazios para representação da área mapeada.

•**Construção do Modelo** – após densificar a nuvem de pontos pode-se gerar superfícies ou modelos tridimensionais no software. Essa etapa é importante por representar o terreno mapeado tridimensionalmente e também pode representar o MDS após uma filtragem da nuvem de pontos do MDT.

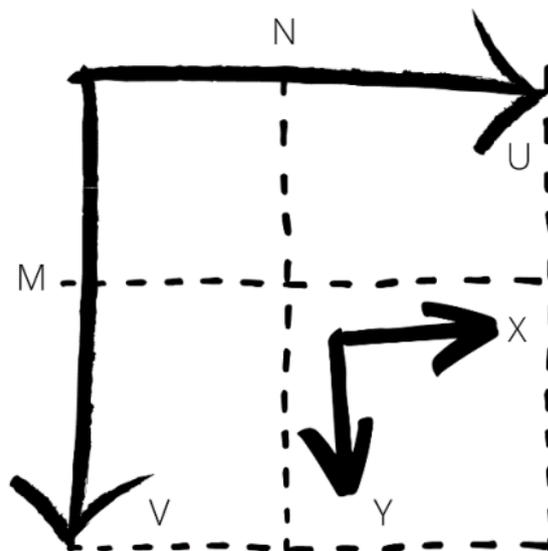
•**Construção da textura** – aplicação de textura no modelo tridimensional para aprimoramento do aspecto visual do modelo.

•**Construção do MDE (Modelo Digital de Elevação)** - os produtos gerados são representados bidimensionais em formato raster (imagem) do MDS e MDT. E após a criação do MDT pode-se gerar as curvas de nível.

•**Geração de mosaico de ortofotos** – geração do processo de ortoretificação das imagens, nas quais as feições são projetadas ortogonalmente em uma escala constante, afim de não ter deslocamento ocasionado por relevo e a inclinação da câmara. Depois desse processo, sendo corrigidas as imagens o software realiza a mosaicagem das fotos em um produto único.

No software *Metashape*, utiliza-se para a calibração de câmaras, o sistema de coordenadas fotográficas (x, y) na Figura 11, com origem no ponto principal, com o eixo x crescente para a direita e o eixo y decrescente para baixo, sendo ele na unidade de distância focal (Agisoft, 2019). No modelo (BROWN, 1971) são usados parâmetros para calibração de câmaras em Fotogrametria, desta maneira o Software *Metashape* emprega o uso dessa metodologia. O sistema de coordenadas imagem (u,v) expressa em pixel com origem no canto superior esquerdo.

Figura 11 - Sistema de Referência Fotográficas (x, y) e imagem (u, v) para uma imagem M (Peso – W) por N (Altura – H) pixels.



Fonte: A autora (2020).

As câmaras com grande angular usadas nas ARPs em que a distância focal será da ordem da dimensão dos lados das imagens, pelo que as coordenadas fotográficas (x, y) sendo os valores máximos da ordem da unidade.

Segundo Mazon, Zacchi e Martins (2011) na calibração da câmara são utilizados alguns parâmetros característicos para que ocorra a reconstrução do feixe perspectivo gerador da imagem, são eles:

- O ponto principal (x_0, y_0) ;
- A distância focal (f) ;
- Os coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K_1, K_2, K_3) – é a refração ocasionada por um raio de luz ao atravessar a lente, isso gerando uma distorção.
- O coeficientes de distorção descentrada (P_1, P_2) – é o impedimento do fabricante em alinhar de maneira correta e precisa os eixos ópticos das lentes de uma objetiva, isso ocasiona um desvio na imagem, sendo constituída por componentes tangenciais e radiais simétricas.

No software *Metashape* será feito o processamento de imagem até a criação do mosaico de ortofotos, nas quais serão as seguintes etapas: calibração da câmara da ARP Mavic 2 Pro, alinhamento das fotos obtidas pela câmara do ARP, construção da nuvem de pontos densificadas, construção do MDS e MDT e geração do mosaico de ortofotos.

8. Software GeoPEC.

O GeoPEC é gratuito, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Agrimensura da

Universidade Federal de Viçosa – UFV e pela metodologia proposta por Santos et al. (2016) é uma ferramenta de avaliação para a acurácia posicional de produtos cartográficos (PEC-PCD) de acordo com a NBR 13133 (Execução de Levantamento Topográfico) e Norma de Execução n. 02 de 2018 do INCRA (Avaliação de Ortofotos de Aerolevantamento e Bases Cartográficas Utilizadas no Processo de Georreferenciamento de Imóveis Rurais).

No entanto, para o cálculo do PEC deverá calcular a média, desvio padrão, variância e os erros padrões tanto da Planimetria e da Altimetria dos pontos de checagem que serão determinados através do levantamento dos dados com o método do posicionamento estático rápido com o Receptor GNSS Hiper SR da fabricante Topcon, sendo base e rover e no qual o processamento foi feito através do IBGE – PPP.

E além disso, deve-se realizar análises estatísticas dos dados amostrados da Planimetria e Altimetria, sendo o teste de normalidade (tendência) da tabela T – Student – usada para padronizar os pontos de checagem para a avaliação se a curva segue a distribuição normal e analisar a dispersão desses pontos.

O software GeoPEC desenvolvido pelo Departamento de Engenharia de Agrimensura da Universidade Federal de Viçosa – UFV e pela metodologia proposta por Santos et al. (2016) utiliza-se para avaliação da a acurácia posicional de produtos cartográficos (PEC-PCD). Disponível no site: <http://www.geopec.com.br/p/software-geopec.html>.

Ele utiliza-se três padrões:

- Acurácia posicional de produtos cartográficos de acordo com o Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, em que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional sendo aliada a Norma de Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG).
- Inspeção topográfica através da Norma Técnica Brasileira nº 13133 (NBR 13133) em que estabelece a Execução de Levantamento Topográfico.
- Avaliação de ortofotos de aerolevantamento e bases cartográficas utilizadas no processo de Georreferenciamento de Imóveis Rurais segundo Norma de Execução nº 2 de 2018 do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), em que estabelece critérios para aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais.

Portanto, o PEC é um indicativo indispensável para verificação do produto cartográfico gerado por meio da aerofotogrametria.

9. Software ArcGIS ArcMap 10.5.

O ArcGIS ArcMap 10.5 da ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) é uma empresa fundada em 1969 em Redlands, na Califórnia, ela visa em produzir soluções para a área de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), na qual é uma ferramenta para coletar, gerenciar e analisar dados geográficos, sendo utilizado para: Análise Espacial, Imageamento e Sensoriamento Remoto, Mapeamento e Visualização, Representação Tridimensional dos Dados, Coleta e Gerenciamento de Dados, ou seja, usa-se para a elaboração de mapas da área de estudo, o software disponibilizado pela empresa MGC Tecnologia LTDA.

10. Notebook.

O modelo do Notebook (Figura 12) utilizado para toda a etapa de processamento e análise das imagens para o estudo de caso, é o Acer Nitro (Figura 16), Intel® Core i5 com CPU (*Central Process Unit*) de 2,30 GHz (*Gigahertz*) memória RAM (*Random Access Memory*) de 8,0 GB (*Gigabyte*) e sistema operacional de 64 bits.

Figura 12 –Notebook Acer Nitro i5.



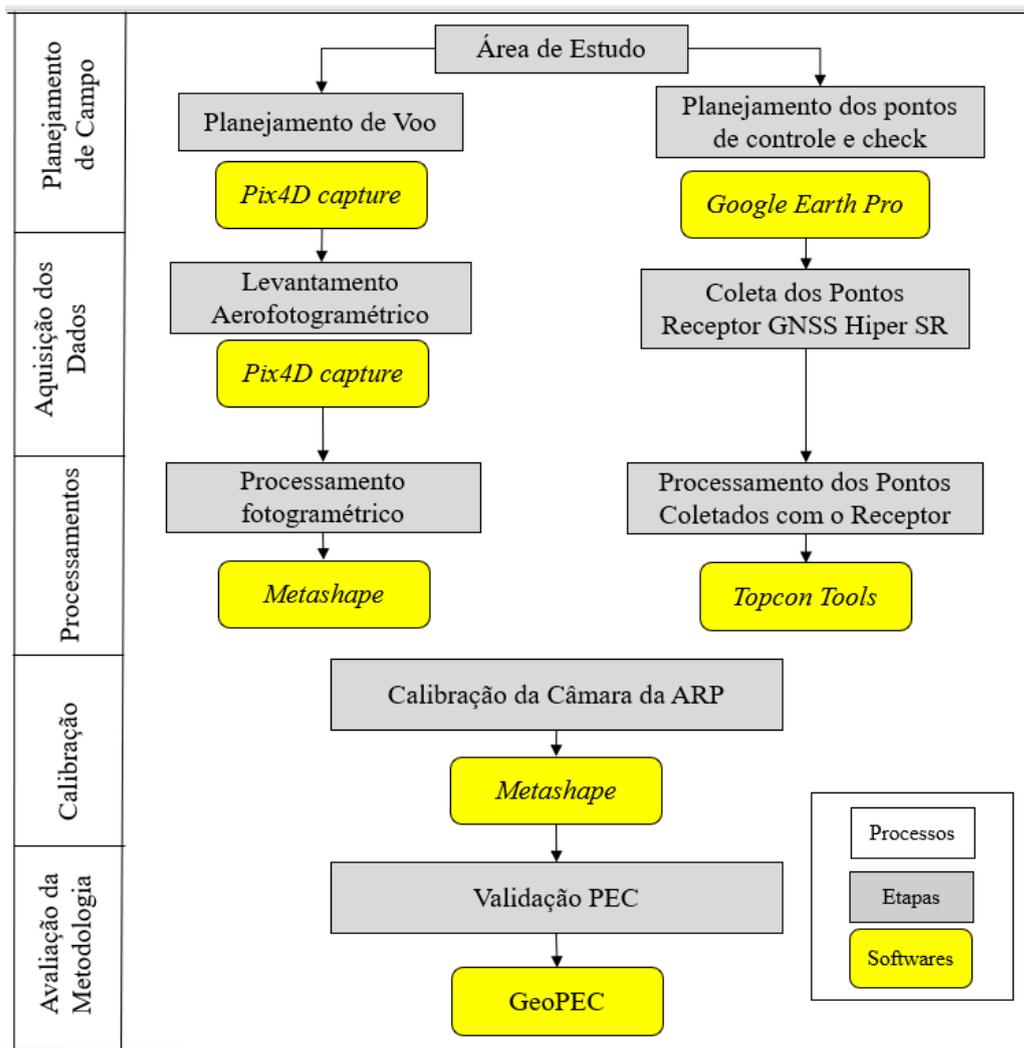
Fonte: A autora (2021).

5.2 Métodos

A metodologia empregada para a calibração da câmara Mavic 2 Pro da DJI, seguiu os seguintes procedimentos para sua execução e validação, sendo eles: alinhamento de fotos e a calibração, onde configurou-se para a calibração em serviço e entrou-se com o valor da zerado s da câmara de 28 mm e então calculou-se automaticamente o valor da distância focal e os coeficiente com entrada padronizados para o valor zero. Além disso é essencial conhecer a área de estudo antecipadamente e realizar as marcações dos pontos de controle, pontos de check e realizar o planejamento do voo.

Portanto, para representar melhor a metodologia a ser usada, definiu-se as seguintes etapas contidas no fluxograma na Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma.



Fonte: A autora (2021).

5.2.1 Planejamento de Voo

É no plano de voo que são inseridos dados importantes para que seja feito corretamente o aerolevanteamento com precisão e exatidão, nele, definem-se, os seguintes parâmetros: qual o local a ser mapeado, qual câmara vai ser a mais adequada para o tipo de serviço, qual a altitude para ser usada, para fazer a sobreposição de acordo com os alvos, os pontos de controle para validação, a sobreposição que vai definir o levantamento com a porcentagem adequada para cada atribuição, qual o tempo que será gasto para sobrevoar a área de estudo, quantidade de imagens que deverão ser tomadas para que o voo seja considerado uma boa resolução e precisão, qual a distância que será percorrida em cada voo e o GSD (*Ground Sample Distance*) ou ‘Distância da Amostra do Solo’, será o parâmetro de representação do pixel (*Picture Element* - ele é a menor unidade de uma imagem digital e no mesmo determina-se a resolução) da imagem que vai ser baseada em unidades de terreno padronizado para centímetros.

Para a elaboração do plano de voo no *Pix4D Capture*, foi selecionado o tipo de ARP para Mavic 2 Pro através da opção Settings, após isso criou-se a missão como plano de polígono (recomendado para mapas 2D) com o recobrimento de toda a área de interesse, escolheu-se as configurações de acordo com a Tabela 6 e salvou a missão.

Tabela 6 – Parâmetros para o voo com a ARP.

ARP Mavic 2 Pro	
Altura do voo	171 m
Localização	Fazenda Paraíso II – Goiânia - GO
Localização geográfica	Latitude: -16.514001° Longitude: -49.259757°
Tipo de câmara embarcada	<i>Hasselblad RGB</i>
Resolução da câmara	20 MP
Resolução geométrica da câmara	5472 x 3648 pixels
Sensor da câmara	CMOS 1”
Velocidade do obturador	Automático
Tipo de disparador	Mecânico
Tamanho da área de estudo	13,3 ha
GSD	4 cm
Tipo de fotos tomadas	Fotos oblíquas

Ângulo da câmara na tomada de fotos	90°
Quantidade de fotos obtidas	160
Tamanho do arquivo com as fotos	1,81 GB
Sobreposição Longitudinal	80%
Sobreposição Lateral	80%
Quantidade de faixas de voo	15
Quantidade de faixas longitudinal	8
Quantidade de faixas laterais	7
Sentido das faixas de voo	Esquerda para a direita
Tipo de voo	Unidirecional
Tempo de duração do voo	17 min 51 s
Dia e horario do voo	30/04/21 10:41AM

Fonte: A autora (2021).

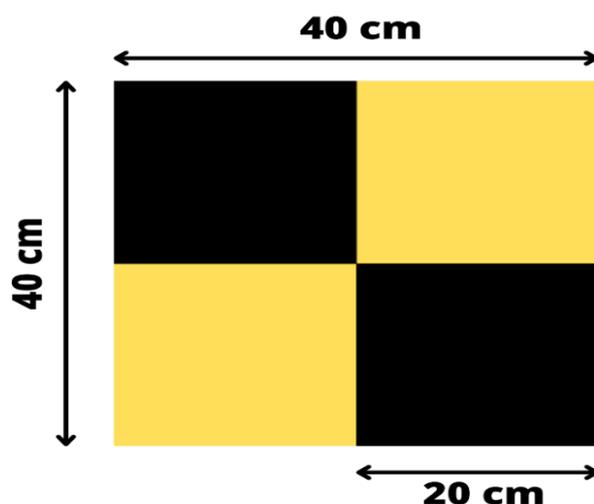
4.3.2 Criação dos Alvos Para os Pontos de Controle e Check

Para a realização do voo com o ARP deve-se criar alvos, ou seja, pontos de apoio distribuídos na área de estudo para que sejam realizadas as etapas de processamento das tomadas de fotos obtidas em campo para o georreferenciamento das mesma, além disso a calibração é um importante processo para a validação do produto final.

Assim foram confeccionados com folha com composição de E.V.A (Etil, Vinil e Acetato), conhecidas como folhas de espuma na cor preta e amarela, com a dimensão de 40 x 40 centímetros, além disso os quadrados na cor preta são de 20 x 20 centímetros.

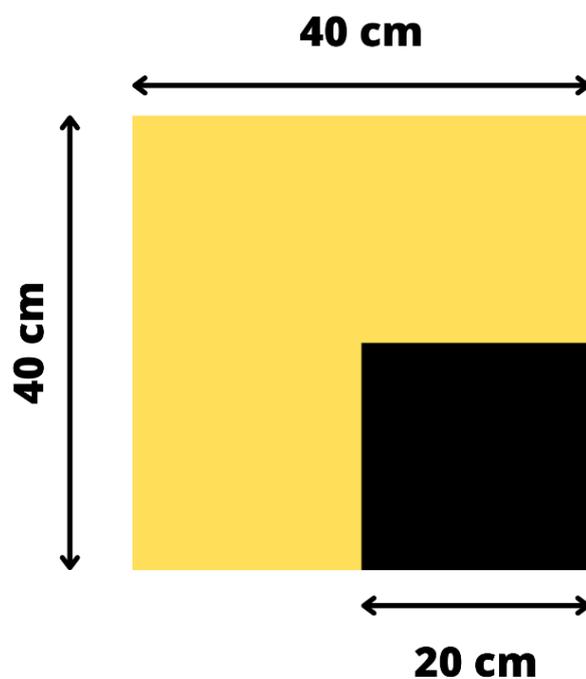
Contudo, para os pontos de controle, fez-se a simulação do alvo de ponto de controle (Figura 14) e também o mesmo para o ponto de check (Figura 15).

Figura 14 – Alvo Simulado para o Ponto de Controle.



Fonte: A autora (2021).

Figura 15 – Alvo Simulado para o Ponto de Check.



Fonte: A autora (2021).

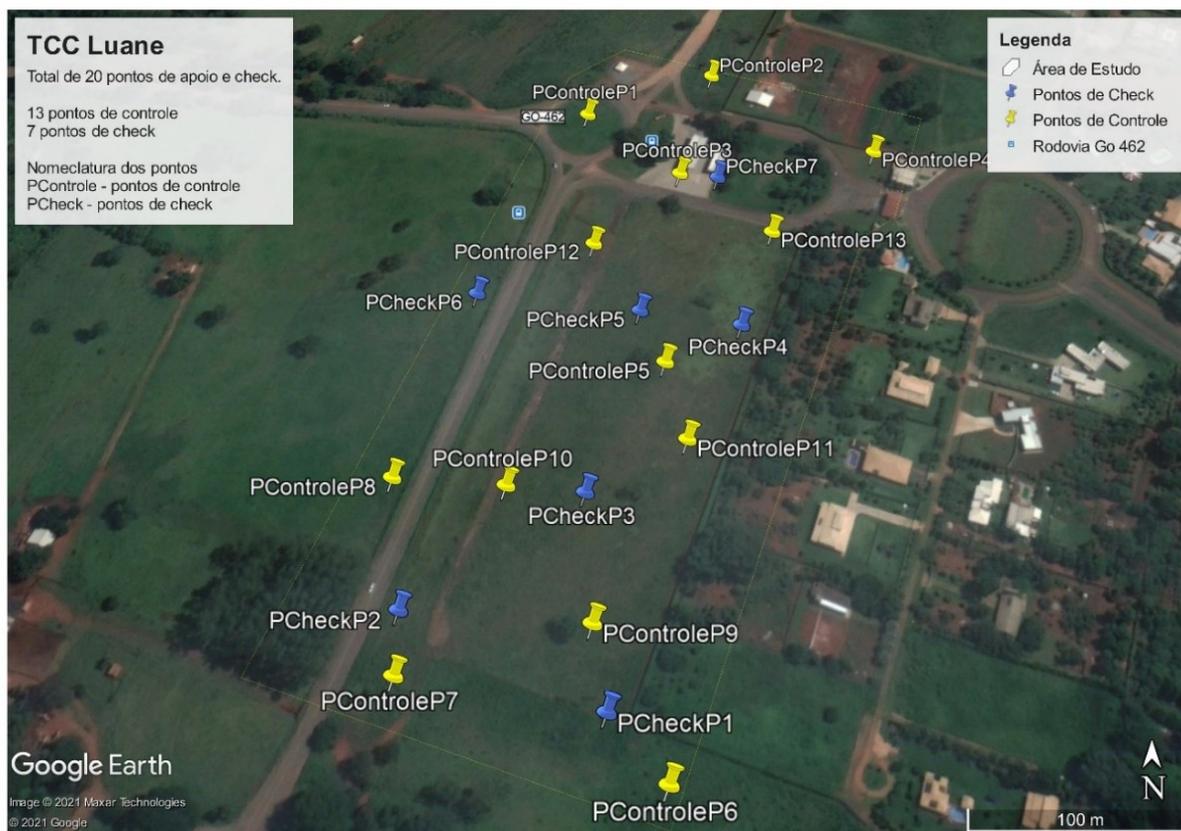
4.3.3 Planejamento dos Pontos de Controle e Check

Para o planejamento dos pontos de controle e check utilizou-se a o *Google Earth Pro*, sendo um componente de código aberto da Google com a versão de 7.3.3.7786 (64-bit) de 2020. Dessa maneira, representou-se a área do estudo e exportou o mesmo para o formato kmz e kml após ter um conhecimento prévio da mesma, sendo assim foram escolhidos 13 pontos de controle e 7 pontos de verificação e check no dia 30 de abril de 2021.

Na distribuição dos pontos de controle e check em campo, respeitou-se os critérios de melhor recobrimento da área de estudo e também atentou-se para as extremidades com os pontos afim de uma melhor precisão e qualidade do produto final.

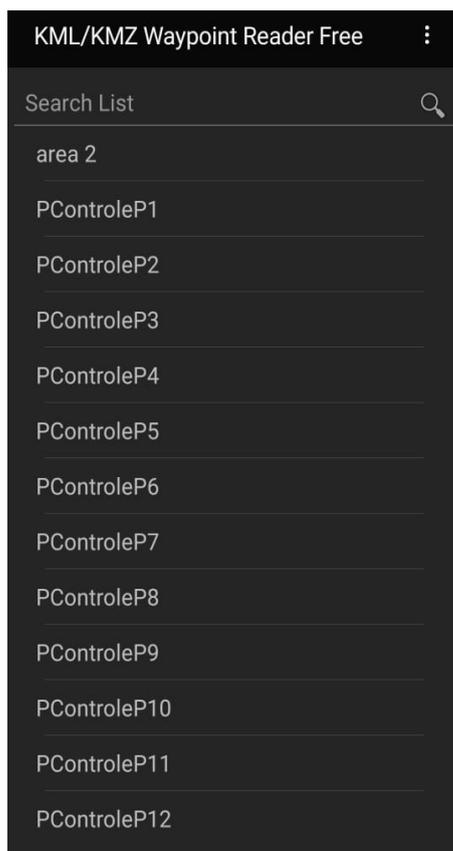
Utilizou-se para encontrar a localização criada no *Google Earth* de acordo com a representação da área de estudo (Figura 16) e assim carregou-se o arquivo exportado no formato .kml ou .kmz no programa *KML/KMZ Waypoint Reader Free* versão 1.2.2f (Figura 17), para determinar a estimativa dos pontos no aplicativo para dispositivo móvel e de livre acesso, dessa maneira, foi possível encontrar os locais e colocou-se os pontos em campo tanto de controle quanto o de check, e após isso iniciou-se o rastreamento com o receptor GNSS Hiper SR no dia 29/04/2021, os pontos foram fixados afim de amenizar imprevistos ocasionados pelo vento ou remoção por parte dos animais presentes na área (Figura 18).

Figura 16 – Representação da área de estudo no *Google Earth*.



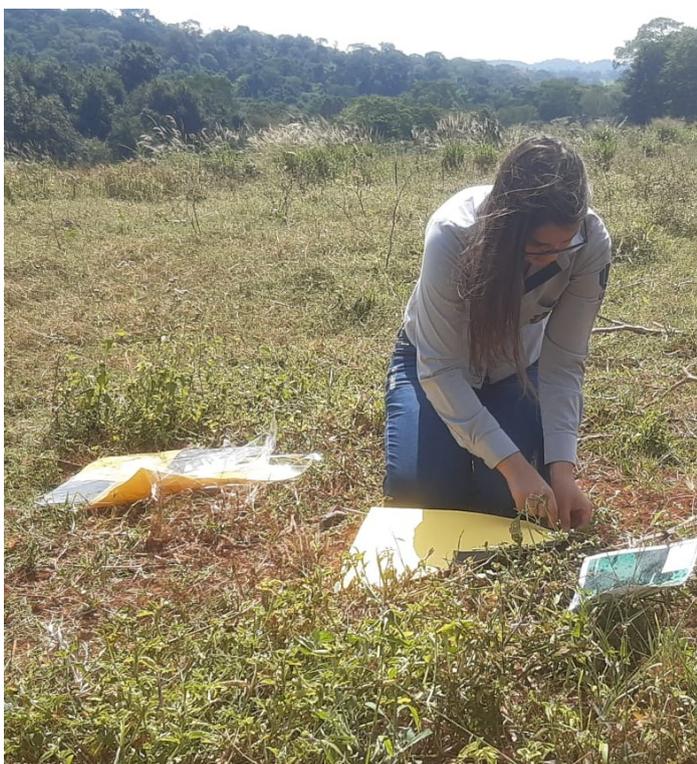
Fonte: Google Earth (2021).

Figura 17 – Aplicativo *KML/KMZ Waypoint Reader Free*.



Fonte: KML/KMZ *Waypoint Reader Free* (2021).

Figura 18 - Colocação dos Pontos em campo na área de estudo.



Fonte: A autora (2021).

4.3.2 Coleta dos Pontos com o Receptor GNSS Hiper SR.

Na coleta dos pontos com o Receptor GNSS Hiper SR utilizou-se o método do Posicionamento Relativo Estático, por ser um levantamento que a estação base estava até dez quilômetros de distância do rover, esse posicionamento se baseia em dois receptores de dupla frequência: Base e Rover (L1 e L2).

O ponto materializado foi criado com uma estaca de madeira e nivelou-se o equipamento visando o ponto atribuído (Figura 19) para o posicionamento do receptor de base (Figura 20), fixou o mesmo e foi coletado as coordenadas continuamente pelo período de 6 horas e 55 minutos. O Rover (Figura 21) foi usado para percorrer a área de estudo onde colocou-se os alvos sendo para os pontos de controle e check para que no pós-levantamento seja realizado o processo de fotoidentificação e georreferenciamento da ortofoto após o voo da ARP, então, o Rover permaneceu 10 minutos em cada ponto para a coleta dos dados, seguiu-se o caminhamento e gravou-se as informações das coordenadas de cada alvo materializado.

Portanto, após a coleta dos dados da Estação Base e Rover deve-se processar as informações obtidas afim de eliminar problema de ambiguidade no levantamento e que possam prejudicar a precisão do produto final.

Figura 19 – Marcação do Ponto Com Estaca para Instalação da Base.



Fonte: A autora (2021).

Figura 20 - Receptor GNSS Hiper SR (Base).



Fonte: A autora (2021).

Figura 21 - Receptor GNSS Hiper SR (Rover).

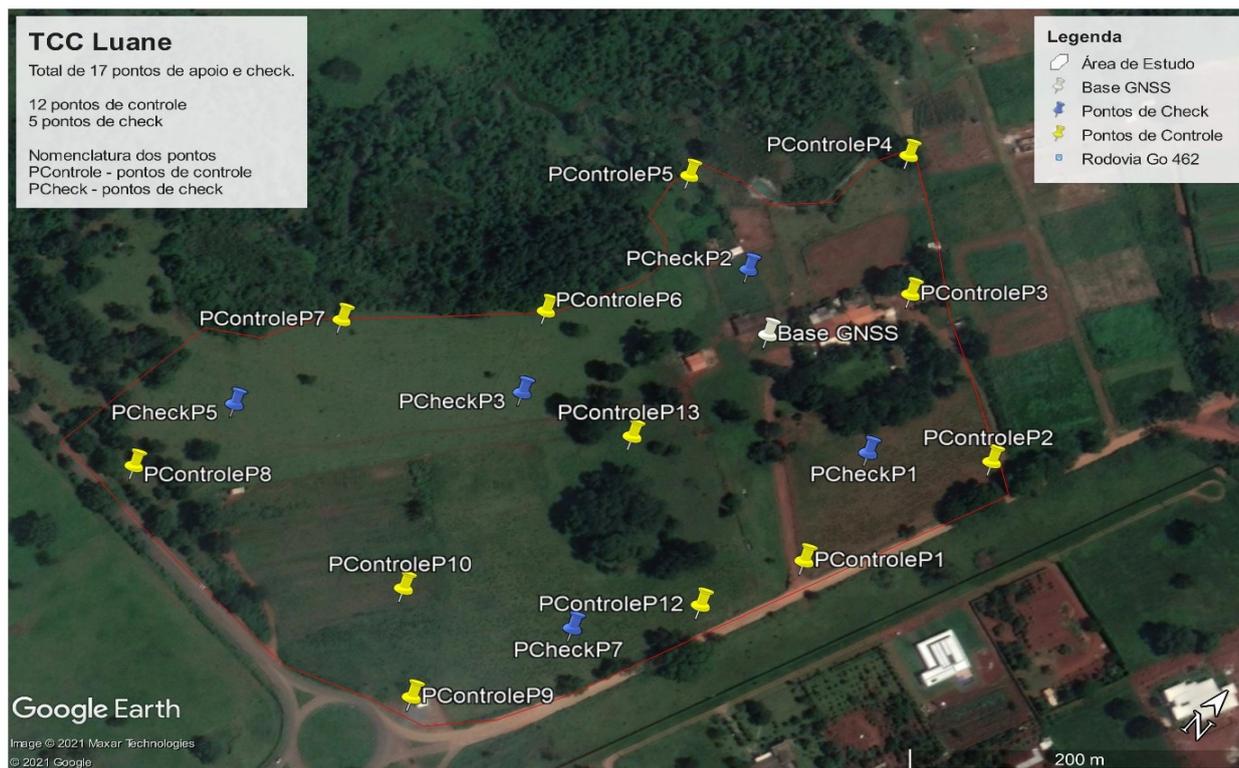


Fonte: A autora (2021).

4.3.3 Levantamento Aerofotogramétrico

O voo foi executado utilizando a ARP Mavic 2 Pro no dia 30 de abril de 2021 às 10 horas e 41 minutos, com a câmara *Hasselblad*, com focal nominal de 28 mm e CMOS de 1" e resolução geométrica de 11766 x 13678 pixels. Por meio das marcações em campo dos alvos para pontos de check e controle serem realizadas no dia anterior, foi necessário identificar novamente na área os locais onde estavam sinalizados os alvos, visto isso, ocorreu a retirada de dois pontos de check e um de controle por adversidades ocasionadas pelos animais no local, dessa maneira, os alvos foram removidos antes do voo e desconsiderados das informações levantadas com o receptor GNSS Hyper SR, essa retirada dos 3 pontos não prejudicou o levantamento devido a ter feito o planejamento e distribuição uniformemente em toda a área e gerou-se uma nova representação modificada da área de estudo no *Google Earth* (Figura 22).

Figura 22 – Representação modificada da área de estudo no *Google Earth*.

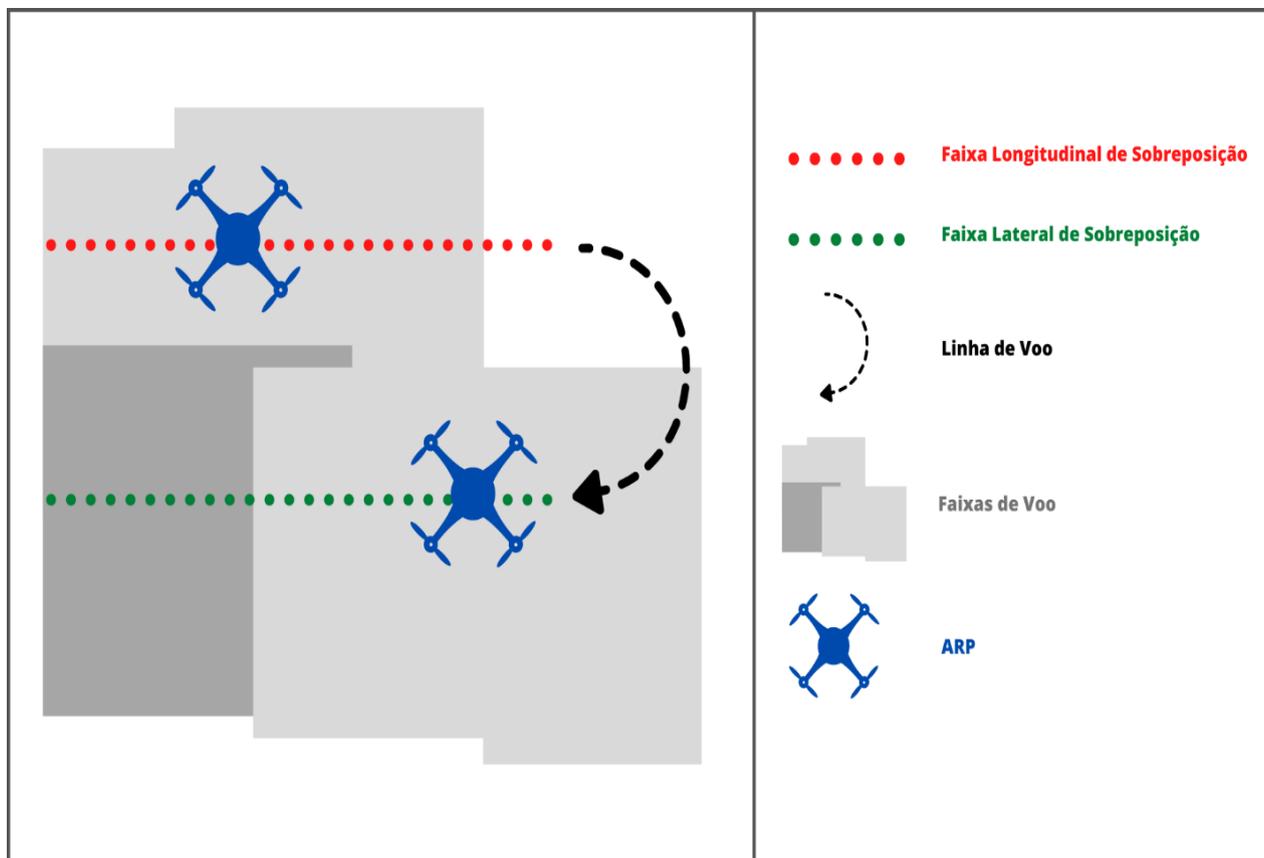


Fonte: Google Earth (2021).

Na Aerofotogrametria a sobreposição das faixas de voo é essencial para um resultado de um produto final de qualidade e alta precisão, na etapa do processamento de imagens as fotos são ortoretificadas e georreferenciadas, sendo assim a sobreposição das imagens são tomadas

de maneira sequencial e com cobertura das faixas de voo longitudinais e laterais representada na Figura 23.

Figura 23 – Sobreposição Longitudinal e Lateral do Voo.



Fonte: A autora (2021)

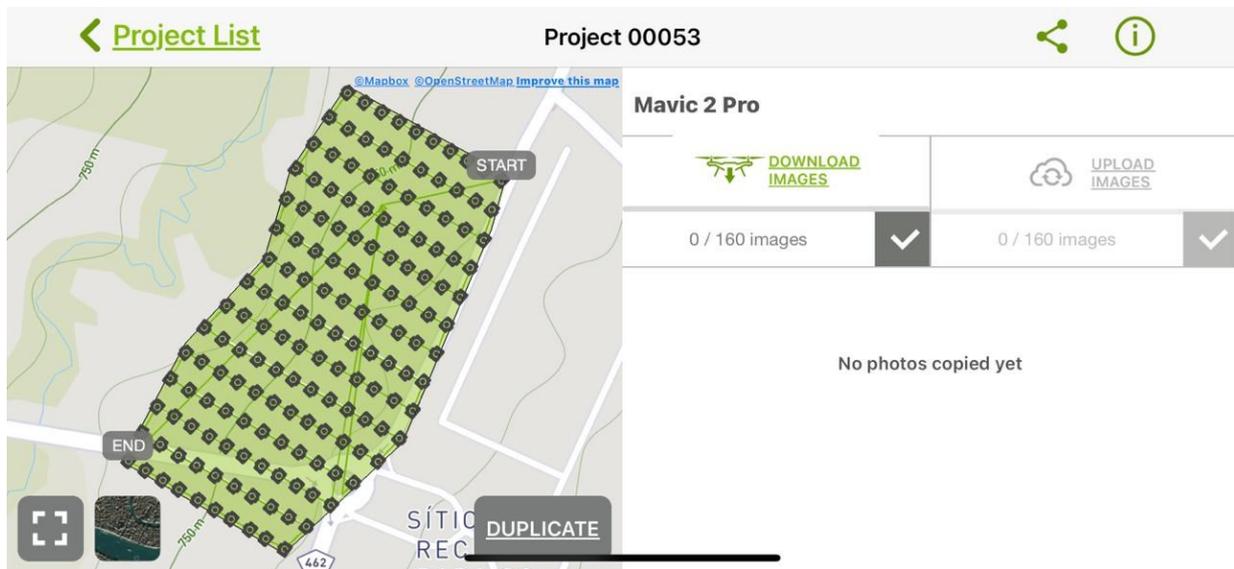
Dessa forma, na tomada de fotos a ARP utiliza o GPS embarcado para a condução do voo automático onde são registradas as imagens com as informações do posicionamento e altitude de cada foto, então, as imagens deverão ter pontos em comum entre elas dessa maneira seja possível identificar na etapa de processamento das imagens por meio da utilização de algoritmos de triangulação e assim realizar a ‘amarração’ das fotos para geração de um ortomosaico.

Se a sobreposição não ocorrer da maneira correta a ortofoto poderá apresentar buracos, borramentos e entre outros problemas.

O voo foi executado com a ARP em uma área segura, sem interferências, então ligou-se o Mavic 2 Pro e realizou-se as recomendações do fabricante, foi aberto o software *Pix4D Capture* e selecionou-se o Project List (Figura 24) criado previamente, dessa maneira, foi mostrado o checklist do equipamento e com todas as informações validadas e iniciou-se o voo. Contudo, durante toda a execução do voo acompanhou-se o mesmo pela tela do celular e se

ocorresse qualquer problema o ARP seria solicitado automaticamente e retornaria em sua posição inicial.

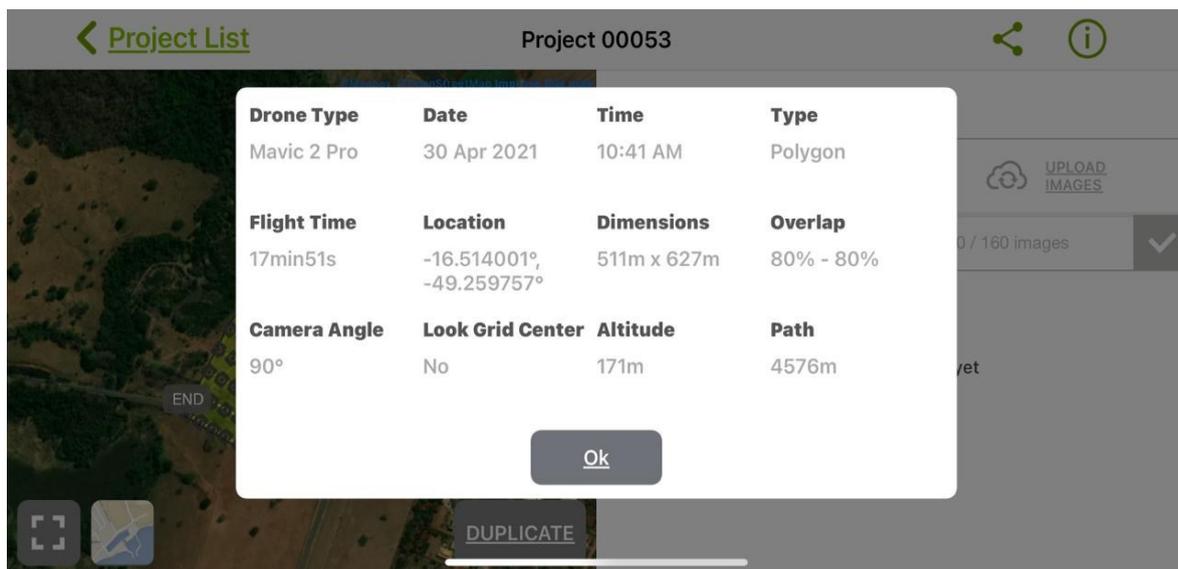
Figura 24 – Project List no *Pix4D Capture*.



Fonte: Pix4D Capture (2021).

No *Pix4D Capture*, escolheu-se as seguintes configurações (Figura 25): a altura de voo de 171 metros para um GSD de 4 centímetros e sobreposição longitudinal de 80 x 80% das faixas de voo longitudinais e laterais, o tempo de duração do voo foi 17 minutos e 51 segundos.

Figura 25 – Configurações do voo no *Pix4D Capture*.

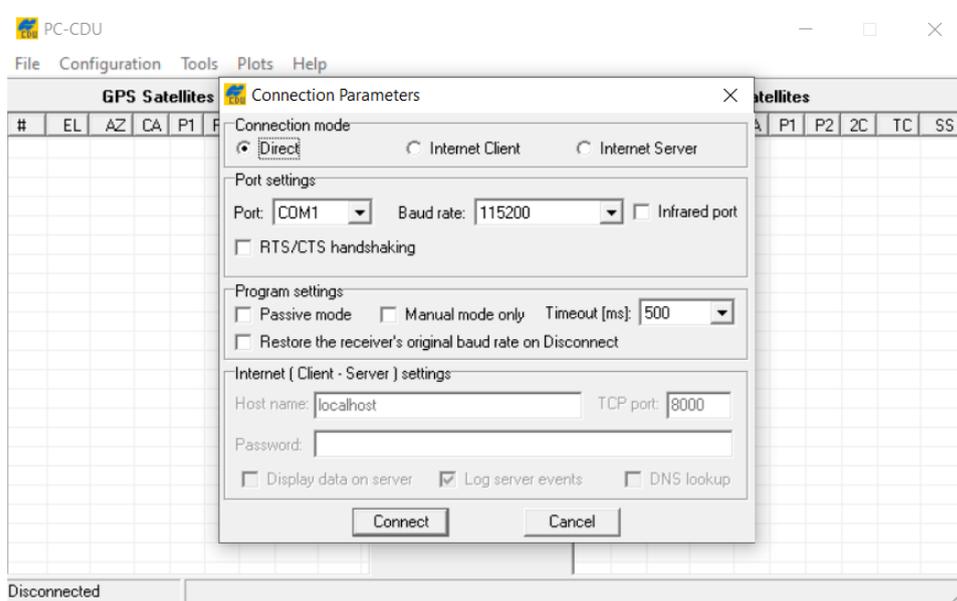


Fonte: Pix4D Capture (2021).

4.3.4 Processamento dos Pontos Coletados

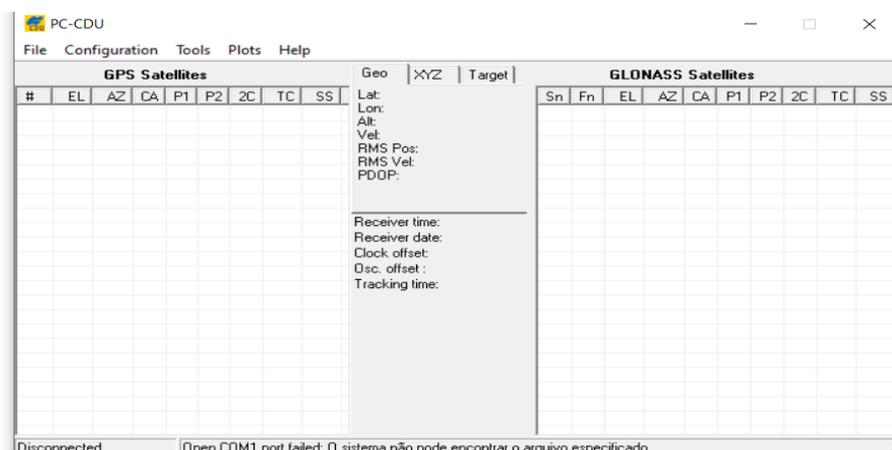
Antes do processamento foram descarregados os dados do Receptor Hiper SR no software PC-CDU desenvolvido pela Topcon, na qual conectou-se o receptor ligado no dispositivo usando um cabo USB para a configuração dos parâmetros (Figura 26) e após isso foi feita a separação do rastreamento dos Satélites GPS e GLONASS (Figura 27) e os arquivos exportados foram no formato .tps (dados de frequência obtidos pelo receptor GNSS) tanto da Base quanto do Rover para posteriormente ser utilizado no software *Topcon Tools*.

Figura 26 – Descarregando dados do Receptor GNSS – Configuração dos parâmetros.



Fonte: PC - CDU Topcon (2021).

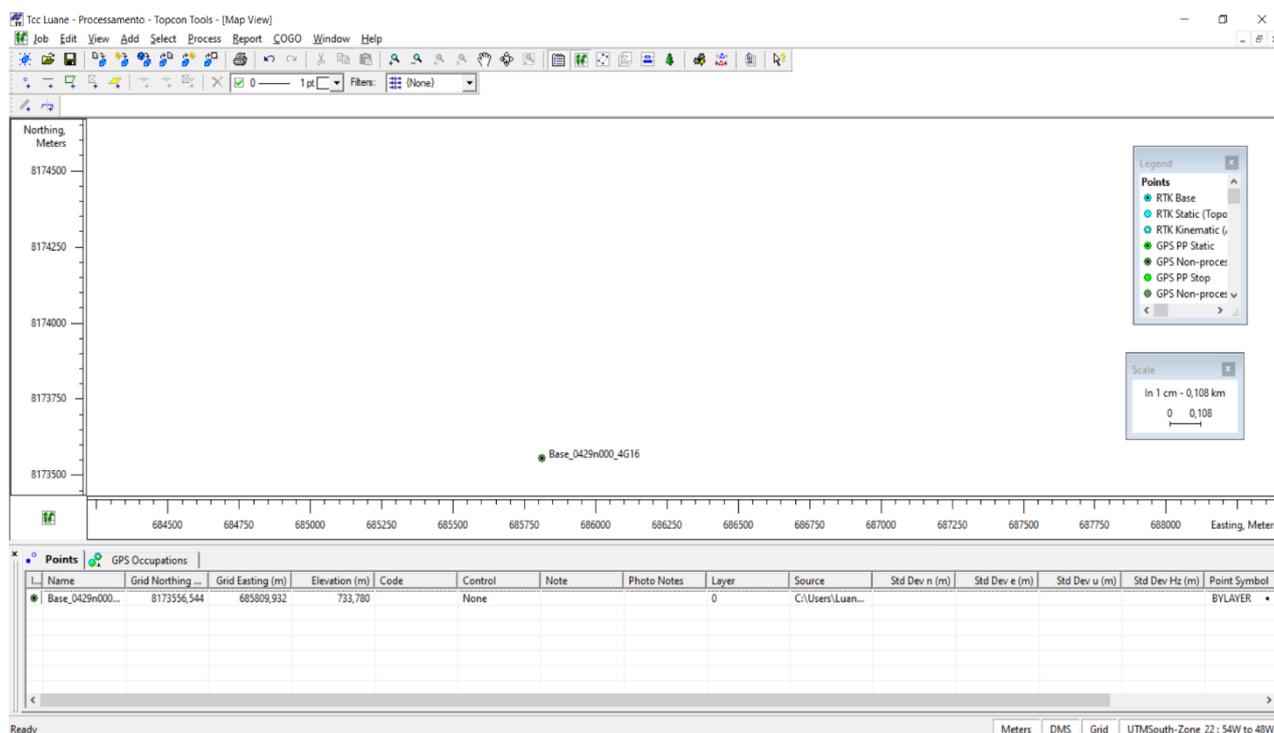
Figura 27 – Interface do rastreamento dos separação dos Satélites GPS e GLONASS.



Fonte: PC - CDU da Topcon (2021).

Após a etapa de descarregar os dados do levantamento obtidos com o receptor GNSS Hiper SR sendo da Base e Rover, fez-se o processamento dos pontos de controle e check coletados em campo no software *Topcon Tools* da *Topcon* disponibilizado pela empresa MGC Tecnologia LTDA. No *Topcon Tools* criou-se um novo projeto, importou-se os dados com formato .tps (dados de frequência obtidos pelo receptor GNSS) da base (Figura 28).

Figura 28 – Configurações importadas da base no *Topcon Tools*.



Fonte: *Topcon Tools* da Topcon (2021).

Dessa maneira, utilizou-se o PPP (Posicionamento por Ponto Preciso) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) para processar os pontos da base do receptor GNSS Hiper SR, o arquivo descarregado no software PC-CDU da Topcon no formato .tps foi modificado para o RINEX e o mesmo estava em uma pasta zipada, assim é o tipo de arquivo de observação aceito para o processamento, além disso deve-se informar algumas configurações (Figura 29): qual tipo de antena usada: TPSHIPER_SR NOME, altura da antena: 1,61 e um email válido e selecionado Processar.

Figura 29 – PPP – IBGE.

Código

Seleção o Modo de Processamento: Estático Cinemático

Seleção um arquivo RINEX: Só serão aceitos arquivos no formato .050 a .210, .050 a .210, .050 a .210, .05D a .21D, .obs, .OBS, .zip, .ZIP, .tar, .TAR, .tgz, .TGZ, .gz, .rmx, .RNK, .CRX, .7z, .7Z

Escolher arquivo base-rinex.zip

Os valores selecionados abaixo serão adotados para todos os RINEX que estejam comprimidos em um único arquivo:

Tipo de Antena: TPSHIPER_SR NONE

Altura da antena (m): 1.61

A altura da antena somente será alterada se esta caixa estiver marcada.

E-mail válido do usuário. (não pode conter espaços ou tabs!):
luanearaujo@live.com

Concordo que os resultados dos processamentos poderão ser utilizados pelo IBGE para a avaliação de produtos e informações cartográficas e geodésicas, bem como para a avaliação do próprio serviço IBGE-PPP

Nota: O processamento iniciará após a transferência do arquivo, o que pode demorar alguns minutos. Caso o resultado não comece a aparecer em 2 horas, por favor reprocesse.

Processar Limpar Dados

Fonte: Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP (2021).

No PPP – IBGE realizou o processamento dos dados obtidos pelo receptor geodésico e criou uma pasta com quatro tipos de arquivos (Figura 30), sendo eles: base1190.21o.pdf (relatório da base processada no formato .pdf), base1190.21o.sum (relatório das coordenadas do processamento estático da base), base1190.21o.pos (arquivo direcionado para o processamento cinemático da base na relação de posição ao longo do tempo), base1190.21o.kml (arquivo para abertura no Google Earth com a localização do local de rastreamento pela representação do trajeto percorrido no caso do processamento cinemático) e o base1190.21o_LEIAME.txt (arquivo com as recomendações de utilização para cada tipo gerado).

Figura 30 – ZIP – PPP – IBGE.

Nome	Tamanho	Comprimido	Tipo	Modificado	CRC32
Pasta de arquivos					
base1190.21o_LEIAME.txt	598	334	Documento de Tex...	04/05/2021 15:...	203EC96A
base1190.21o.sum	20.078	4.956	Arquivo SUM	04/05/2021 15:...	9F5E721D
base1190.21o.pos	1.926.843	253.850	Arquivo POS	04/05/2021 15:...	657F46DF
base1190.21o.pdf	710.896	613.078	Microsoft Edge PD...	04/05/2021 15:...	0E652105
base1190.21o.kml	1.254	403	KML	04/05/2021 15:...	3B305DCB

Fonte: PPP - IBGE (2021).

No Relatório do PPP criado pelo IBGE, o arquivo gerado no processamento dos pontos coletados em campo para a correção da base foi possível obter as informações e as variáveis correspondentes, como: Sumário do Processamento do Marco (Tabela 7).

Tabela 7 – Sumário do Processamento da Base.

Sumário do Processamento do marco: Base_0429n000	
Início (AAAA/MM/DD) (HH:MM:SS,SS)	2021/04/29 13:36:15,00
Fim (AAAA/MM/DD) (HH:MM:SS,SS)	2021/04/29 20:31:55,00
Modo de operação do usuário	Estático
Observação processada	Código & Fase
Modelo de antena	TPSHIPER_SR NONE
Órbita de satélites (IGS ou NRCan)	Rápida
Frequência processada	L3
Intervalo de processamento	5,00
Sigma de pseudodistância (desvio padrão)	5,000
Sigma da portadora (m) (desvio padrão)	0,010
Altura da antena (Distância vertical do Marco ao PRA)	0,000
Ângulo de elevação (graus)	10,000
Resíduos de pseudodistância (m)	1,42 GPS 1,40 GLONASS
Resíduos da fase da portadora (cm)	0,87 GPS 1,05 GLONASS

Fonte: Adaptado do Relatório do Posicionamento por PPP - IBGE (2021).

Dessa maneira, a partir do relatório do IBGE – PPP, a coordenada da base foi retificada no *Topcon Tools* substituindo a coordenada da data do levantamento para a que foi originada no processamento por PPP de 2000.4 e com os seguintes valores (Tabela 8), o desvio padrão

representado pelo sigma de confiância de 95%, tem-se então a confiabilidade interna do processamento foi adicionado na base para a latitude, longitude e altitude (Tabela 9), foram importados os pontos coletados pelo rover dessa maneira formando a linha de base (Figura 31).

Tabela 8 – Coordenadas SIRGAS de 2000.4.

GPS 2000.4					
Latitude (GMS)	Longitude (GMS)	Altitude Geométrica (m)	UTM N (m)	UTM E (m)	Meridia no Central
-16°30'45,4925"	-49°15'32,6450"	738,16	8173555.722	685806.847	-51

Fonte: Adaptado do Relatório do Posicionamento por PPP - IBGE (2021).

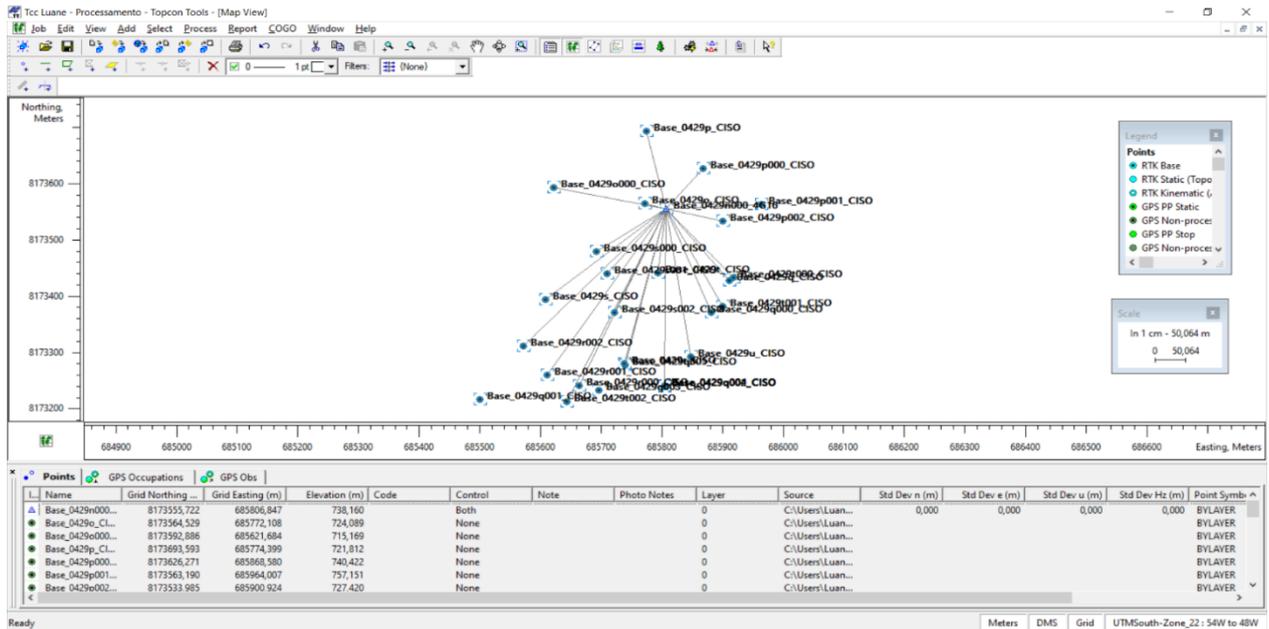
Tabela 9 – Confiabilidade interna do processamento.

Sigma de 95% (m)		
Latitude	Longitude	Altitude Geométrica
0,001	0,002	0,006

Observação: esse nível de confiabilidade não está relacionado com a exatidão da coordenada.

Fonte: Adaptado do Relatório do Posicionamento por PPP - IBGE (2021).

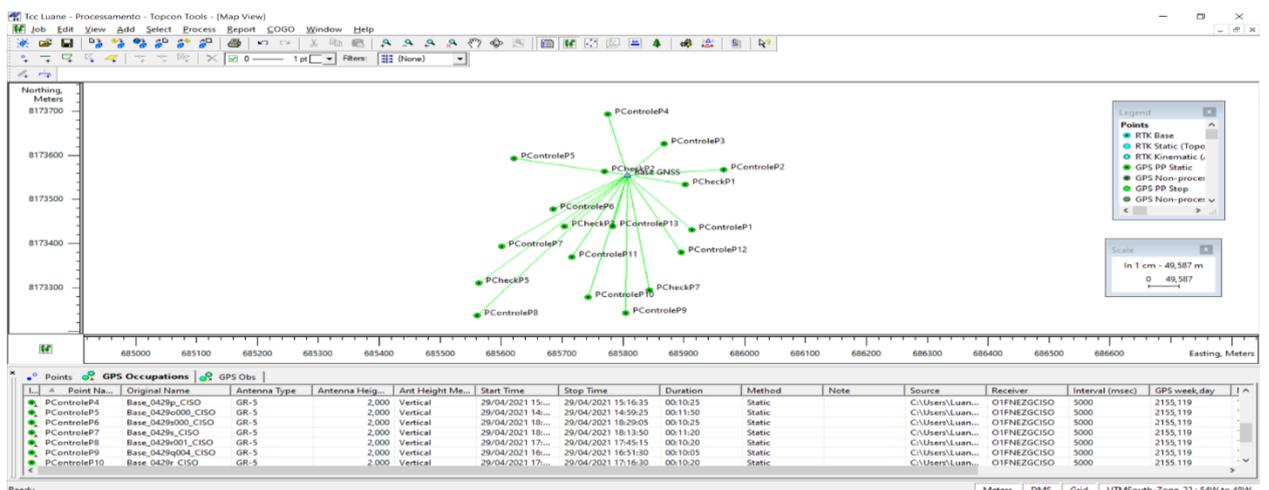
Figura 31 – Base e Rovers no *Topcon Tools*.



Fonte: A autora (2021).

Então, na aba Points no ponto de base na opção Control selecionou para *Both* (ponto fixo) e em GPS Occupations alterou o tipo de antena de todos os pontos com a utilizada no levantamento a Topcon para o GR-5 (antena equivalente ao Hiper SR) e adicionou a altura para a antena de base para 1,61 (m) e nas demais para 2,0 (m). Contudo, realizou-se então o comando de processamento (GPS + PostProcessing) representado na Figura 32. O processamento dos pontos de controle e check ocorreu da maneira correta e validou-se o transporte de coordenadas e as linhas de base ficaram na cor verde, após isso exportou-se o mesmo para o formato .csv e posteriormente para .txt para utilização no processamento das imagens no software *Metashape*.

Figura 32 – Processamento finalizado dos pontos de controle e check.



Fonte: A autora (2021).

4.3.5 Calibração e Processamento Fotogramétrico

O processamento fotogramétrico das imagens obtidas no voo com a ARP foram processadas no software Agisoft Metashape, a área levantada está localizada na Fazenda Paraíso II, com dimensão de 13,3 hectares no Setor Sítio Recreio Paraíso Tropical, interligada pela rodovia GO-462 na cidade de Goiânia (GO), realizou-se as seguintes etapas para o processamento: alinhamento de fotos, nuvem de pontos densificada, classificação da nuvem de pontos densificada, MDE, MDT, Curvas de nível e Ortofoto.

O software *Agisoft Metashape* realiza o cálculo com os valores iniciais do tamanho do pixel do sensor e dos parâmetros de distância focal da câmara baseando nos dados EXIF (*Exchangeable Image File Format*), as informações contidas são de propriedades de descrição, origem, imagem, câmara, foto avançada, GPS embarcado e arquivo, assim esses dados são importantes para a obtenção de resultados confiáveis.

É no processamento das imagens obtidas pela ARP em que realiza-se o alinhamento das fotos no *Metashape* com os parâmetros de orientação da câmara tanto externo quanto interno e também as distorções radiais não lineares são estimadas.

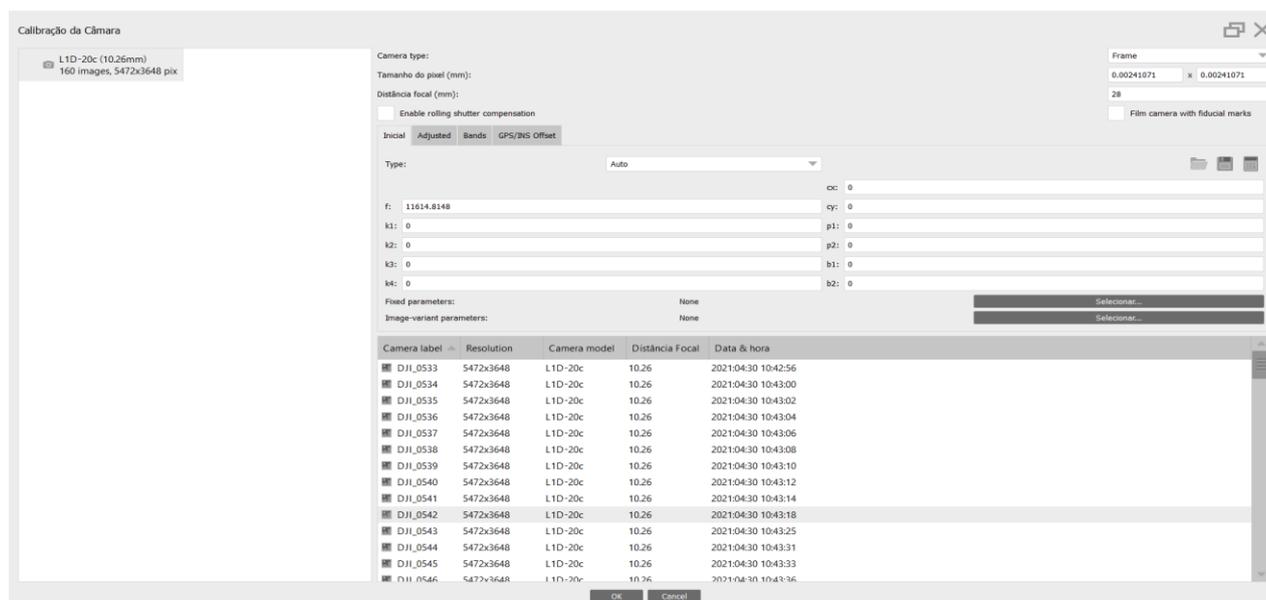
Então, aplicou-se o alinhamento das fotos que é a etapa de identificação de pontos comuns nas imagens após o processo de tomadas as fotos com sobreposição em que tem-se a posição da câmara em cada foto e a análise dos parâmetros de calibração. Na calibração em serviço os pontos de controle e check são usados para o método da fototriangulação com os parâmetros adicionais (Mitishita, 2012).

Contudo, realizou-se o segundo alinhamento e adicionou-se os pontos de controle e check criados em campo para a calibração em serviço, após a conclusão desse processo corrigiu-se as imagens filtrando os marcadores afim de uma melhor precisão no apontamento do ponto onde rastreou com o receptor GNSS. Dessa maneira, ajustou-se os parâmetros: ponto principal, em relação ao centro de imagem (C_x, C_y) distância focal (f) e os coeficientes do polinômio de distorção radial simétrica (K_1, K_2, K_3) e da distorção descentrada (P_1, P_2).

No *Agisoft Metashape* (2019) utiliza-se para a calibração de câmaras o sistema de coordenadas fotográficas (x, y) originada no ponto principal e modelo (BROWN, 1971) (Remondino e Frase 2006) empregando as equações de colinearidade, assim usa-se a *Equação 1* para as coordenadas da imagem corrigidas para x' , *Equação 2* para as coordenadas da imagem corrigidas para y' , *Equação 3* para determinar o raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal, *Equação 4* para determinar as coordenadas para a imagem em u e *Equação 5* para determinar as coordenadas para a imagem em v .

Dessa maneira, iniciou-se o processo de calibração em serviço no software adicionando primeiramente as fotografias obtidas no aerolevante na câmara Hasselblad L1D-20c com utilização de 160 fotografias tomadas por um voo com altura de 171 m com a resolução geométrica de 5472 x 3648 pixels. No software *Metashape* utilizou-se como parâmetro inicial, o valor de distância focal e 28 mm, através disso foi calculado automaticamente o valor de f para 11614.8148 e as variáveis considerou-se valores nulo de acordo com a Figura 33 e Tabela 10. No entanto, no caso dos parâmetros relativos ao sistema GPS e Inercial (orientação exterior) foi encontrado em GPS/INSS offset e foram ajustados os parâmetros (Figura 34) e Tabela 11, durante o processo de calibração e também os parâmetros de distorção da câmara estimados pela calibração em serviço (Figura 35) e Tabela 12.

Figura 33 – Dados extraídos das fotografias e parâmetros iniciais (a priori) para a calibração.



Fonte: A autora (2021).

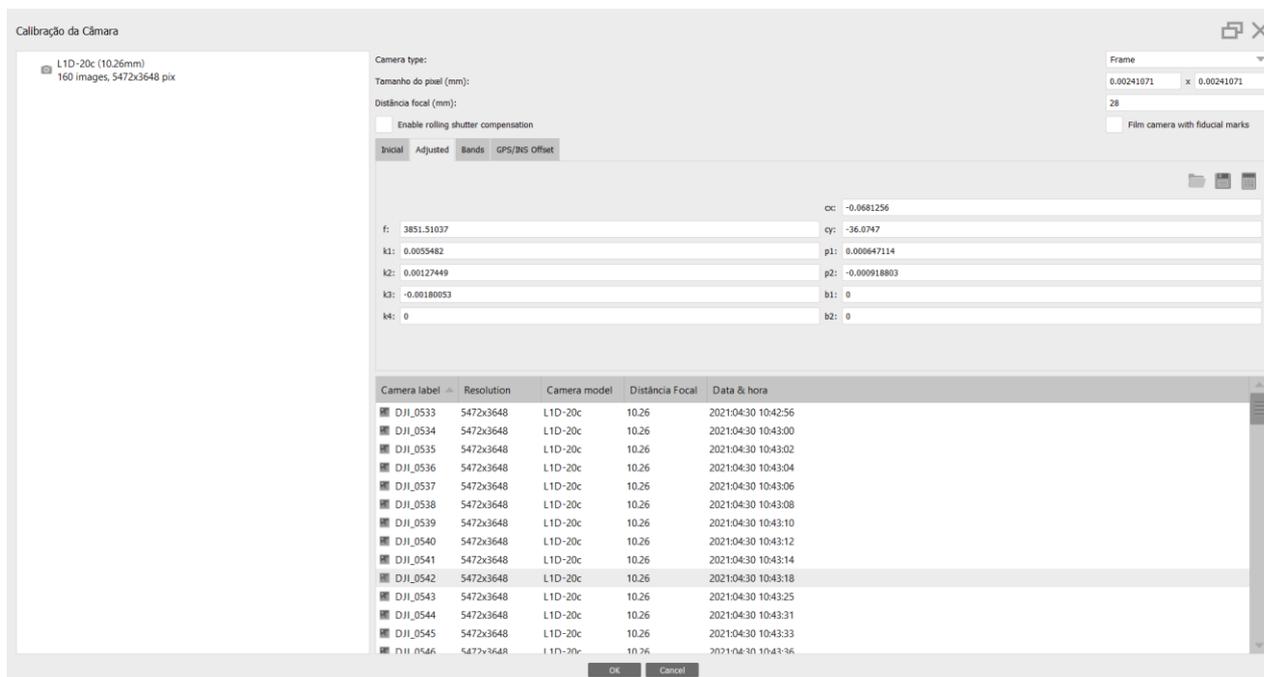
Tabela 10 – Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro (Inicial).

Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro (Inicial)	
Câmara da ARP	Hasselblad L1D-20c
Quantidade de fotografias	160
Altura do voo (m)	171
Distância focal (mm)	28
Valor de f	11614.8148

K1	0
K2	0
K3	0
Cx	0
Cy	0
P1	0
P2	0
b1	0
b2	0

Fonte: A autora (2021).

Figura 34 – Parâmetros ajustado pela calibração da câmara.



Fonte: A autora (2021).

Tabela 11 – Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro (Ajustada).

Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro (Ajustada)	
Câmara da ARP	Hasselblad L1D-20c
Quantidade de fotografias	160
Altura do voo (m)	171
Distância focal (mm)	28

Valor de f	3851.51037
K1	0.0055482
K2	0.00127449
K3	-0.00180053
Cx	-0.0681256
Cy	-36.0747
P1	0.000647114
P2	-0.000918803
b1	0
b2	0

Fonte: A autora (2021).

Figura 35 – Parâmetros de distorção da câmara estimados pela calibração em serviço.

The screenshot shows the 'Calibração da Câmara' (Camera Calibration) interface. On the left, it displays 'L1D-20c (10.26mm)' and '160 images, 5472x3648 pix'. The main area contains a 'Camera type' dropdown set to 'L1D-20c', 'Tamanho do pixel (mm):' set to '10.26', and 'Distância focal (mm):' set to '3851.51037'. There are checkboxes for 'Enable rolling shutter compensation' and 'Film camera with fiducial marks'. Below this is a table with columns: 'Initial', 'Adjusted', 'Bands', 'GPS/INS Offset', 'Reference', 'Precisão', 'Adjusted', and 'Variance'. The table lists parameters for X (m), Y (m), Z (m), Yaw (deg), Pitch (deg), and Roll (deg). At the bottom, there is a table with columns: 'Camera label', 'Resolution', 'Camera model', 'Distância Focal', and 'Data & hora'. The table lists multiple camera models (DJI_0533 to DJI_0545) with resolution 5472x3648, camera model L1D-20c, and focal distance 10.26. The data and time column shows various timestamps from 2021-04-30 10:42:56 to 2021-04-30 10:43:33.

Fonte: A autora (2021).

Tabela 12 – Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro (GPS/INS Offset).

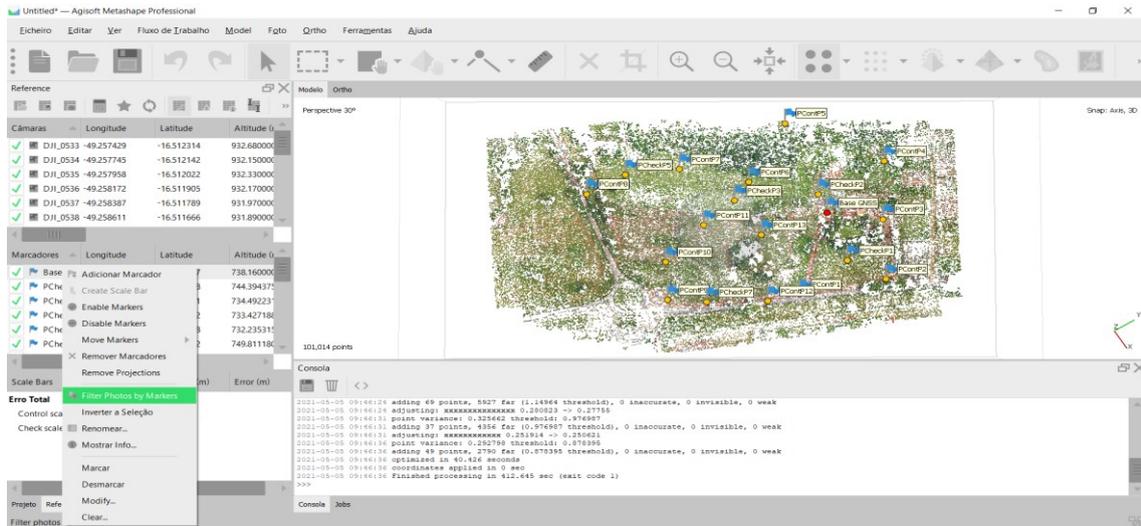
Calibração em Serviço da ARP Mavic 2 Pro	
Câmara da ARP	Hasselblad L1D-20c

Quantidade de fotografias	160			
Altura do voo (m)	171			
Distância focal (mm)	28			
GPS/INSS Offset				
	Referência	Precisão	Ajustada	Variância
X (m)	0	0.05	-0.00134538	0.0220726
Y (m)	0	0.05	0.00757259	0.0220726
Z (m)	0	0.05	0.12158	0.0220789
Yaw (deg) (desvio de rota)	0	2	0	0.884667
Pitch (deg) (inclinação)	0	2	0	0.884667
Roll (deg) (rotação)	0	2	0	0.884667

Fonte: A autora (2021).

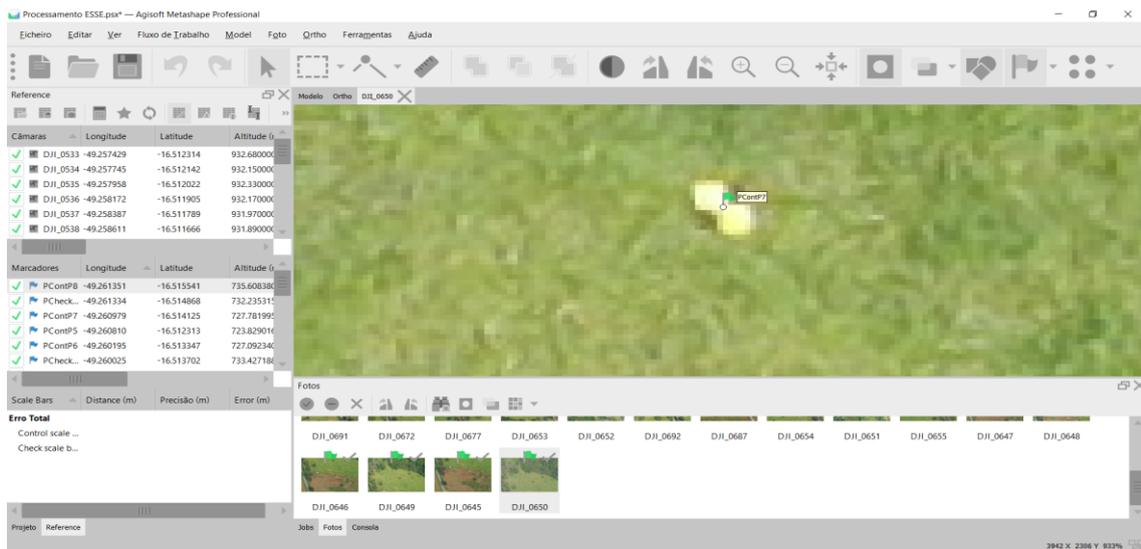
Após a geração da nuvem de *'tie points'*, ou seja, pontos fotogramétricos, com a finalidade de materializar o sistema de coordenadas do terreno. Dessa maneira, é a ligação entre as ortofotos no processo de mosaicagem e geração do mosaico de ortofotos. Então, foram inseridos os pontos de apoio coletados em campo com o receptor GNSS Hiper SR, para melhorar a precisão posicional da nuvem de pontos, dessa maneira, filtrando as fotos com marcadores nos alvos em campo (Figura 36), selecionou-se o ponto de interseção entre eles, sendo assim identificou-se em cada uma das fotos o apontamento através de alvos para os pontos de controle (Figura 37) e check (Figura 38), onde importou através do arquivo no formato .txt padronizado por tabulações (espaços e pontos) a descrição dos pontos, latitude, longitude e altitude.

Figura 36 – Ferramenta para filtragem dos alvos.



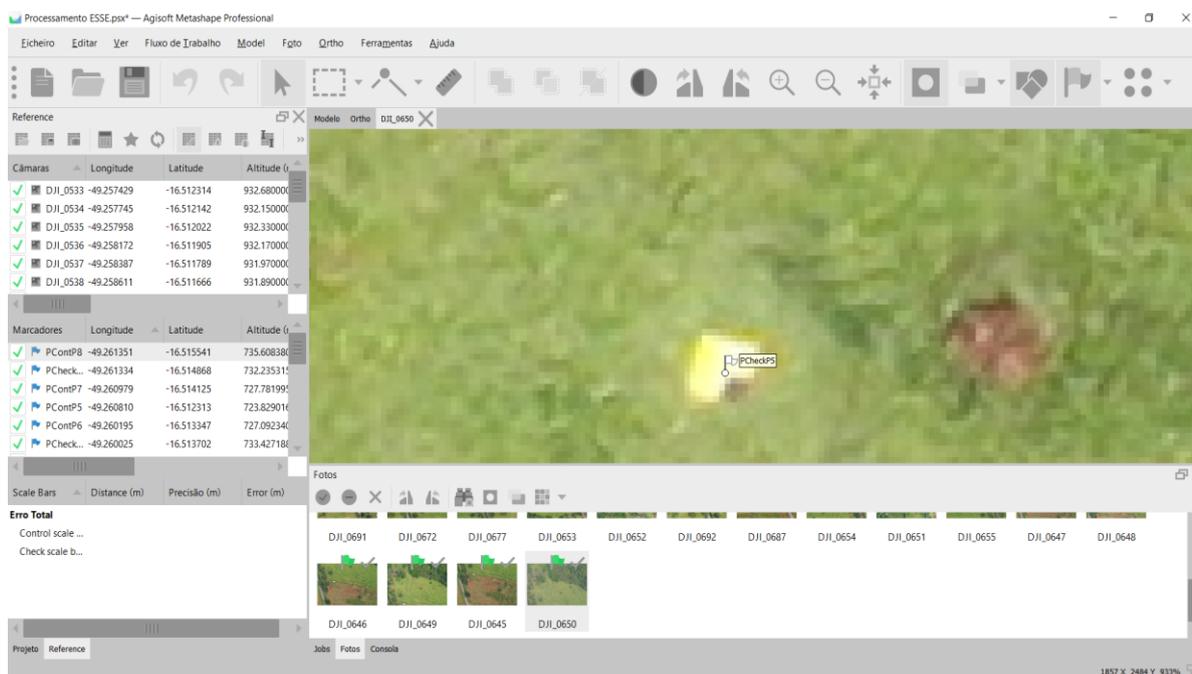
Fonte: A autora (2021).

Figura 37 – Filtragem do alvo para o ponto de controle.



Fonte: A autora (2021).

Figura 38 – Filtragem do alvo para o ponto de check.



Fonte: A autora (2021).

Após todos esses processos, deve-se alinhar as fotos novamente depois que é feita a filtragem nos alvos demarcados em campo que foram coletados com o receptor GNSS. Na nuvem de pontos densificada, o objetivo é a geração de mais quantidade de pontos na nuvem de pontos e assim reduzindo os espaços que poderão estar vazios e afim de uma melhor representação da área mapeada.

A geração da nuvem de pontos densificada, pode-se classificar a mesma, de duas maneiras: manual ou automática. A automática pode ser encontrada no Classify Ground Points, ela divide todos os pontos em duas classes, pontos de solo e o restante e no manual são um grupo de pontos colocados em uma determinada classe da lista padrão.

Os parâmetros para classificação são: máximo ângulo (em graus), máxima distância (em metros) e o tamanho da célula (em metros), decidiu-se seguir o padrão definido pelo software

A construção do MDT, é uma representação real do terreno, ele é obtido através da correção do DEM onde ocorre a eliminação da vegetação e estruturas. Com o MDT gera-se as curvas de nível, são importantes para representar uma visão tridimensional do relevo.

Para a geração do mosaico de ortofotos, inicialmente ocorre o processo de ortoretificação das imagens, em que as feições são projetadas ortogonalmente com escala constante, sem que ocorra o deslocamento provocados pelo relevo ou a inclinação da câmara, dessa forma após isso, as imagens foram corrigidas e é feita a mosaicagem das ortofotos e geração de produto final.

Os parâmetros de geração são: a superfície, modo de mesclagem, ativação de correção de cor, tamanho do pixel e máxima dimensão do pixel.

4.3.7 Validação PEC

A PEC definido pelo Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 é um indicador estatístico que utilizou-se validação dos 5 pontos de check levantados com o receptor GNSS Hiper SR no software GeoPEC com a finalidade de análise e classificação da qualidade do produto cartográfico gerado, poderão ser: PEC-PCD Classe A, Classe B e Classe C.

Na classificação do PEC utilizou as coordenadas tomadas na imagem (x,y,z testados) e as coordenadas (x,y,z referência) dos 5 pontos de check levantados com o receptor GNSS. Para a entrada dos dados no GeoPEC adicionou-se no seguinte formato: Identificação do ponto (ID), Descrição do ponto (Descricao), x testado na imagem (xtest), y testado na imagem (ytest), z testado na imagem (ztest), x de referência na imagem (xref), y de referência na imagem (yref) e z de referência na imagem (zref).

Então, realizou a Análise da Acurácia Posicional para a Planimetria, a escala utilizada foi de 1/2000 e a área de 13,3 hectares e calculou estatisticamente a amostra (Figura 39).

Figura 39 – Planimetria - Cálculos estatísticos.

Estadísticas	Este	Norte	Posicional	Ponto	Descrição	Discrep. E(m)	Discrep. N(m)	Discrep. Resultante	Azimute	Excluir?	Outlier
nº pontos	5	5	5	1	PCHECKP1	0,0008	-0,158	0,158	179,7099		Não
média	-0,0477	0,0076	0,2421	2	PCHECKP2	-0,2707	-0,002	0,2707	269,5767		Não
desvio	0,2195	0,1656	0,0723	3	PCHECKP3	-0,151	0,099	0,1806	303,25		Não
variância	0,048	0,027	0,005	4	PCHECKP5	-0,1225	0,237	0,2668	332,6666		Não
RMS	0,202	0,1483	0,2506	5	PCHECKP7	0,3048	-0,138	0,3346	114,3589		Não
máximo	0,3048	0,237	0,3346								
mínimo	-0,2707	-0,158	0,158								
curtose	1,556	1,075	1,014								
assimetria	0,592	0,229	0,001								
soma	0,193	0,110	0,021								
nº outliers	-	-	0								

Fonte: A autora (2021).

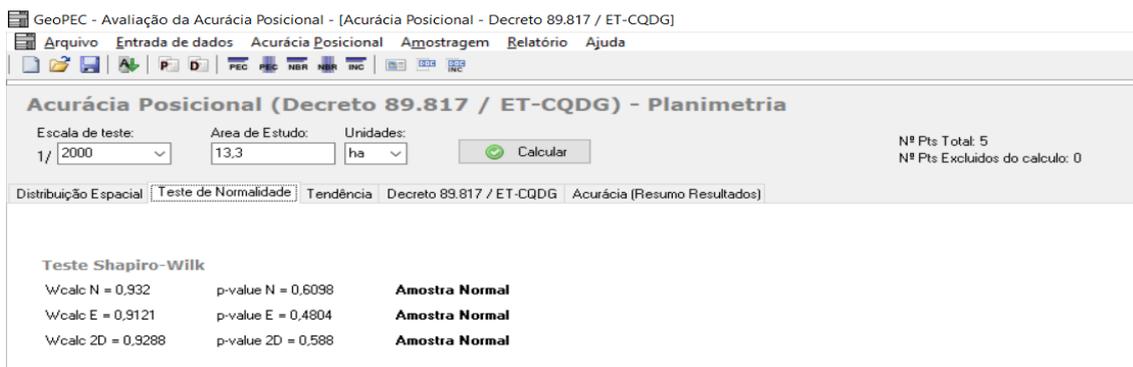
Contudo, após a determinação dos parâmetros estatísticos foram feitos os seguintes testes: Estatística Vizinho Mais Próximo (Figura 40), Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk (Figura 41), Teste de Normalidade T-Student (tendência), Média Direcional e Variância Circular (Figura 42), Gráfico das discrepâncias da amostra de acordo com o T-Student (Figura 43), Padrões do Decreto e Classificação (Figura 44) e a Acurácia Final (Figura 45).

Figura 40 – Planimetria - Estatística Vizinho Mais Próximo.



Fonte: A autora (2021).

Figura 41 – Planimetria - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.



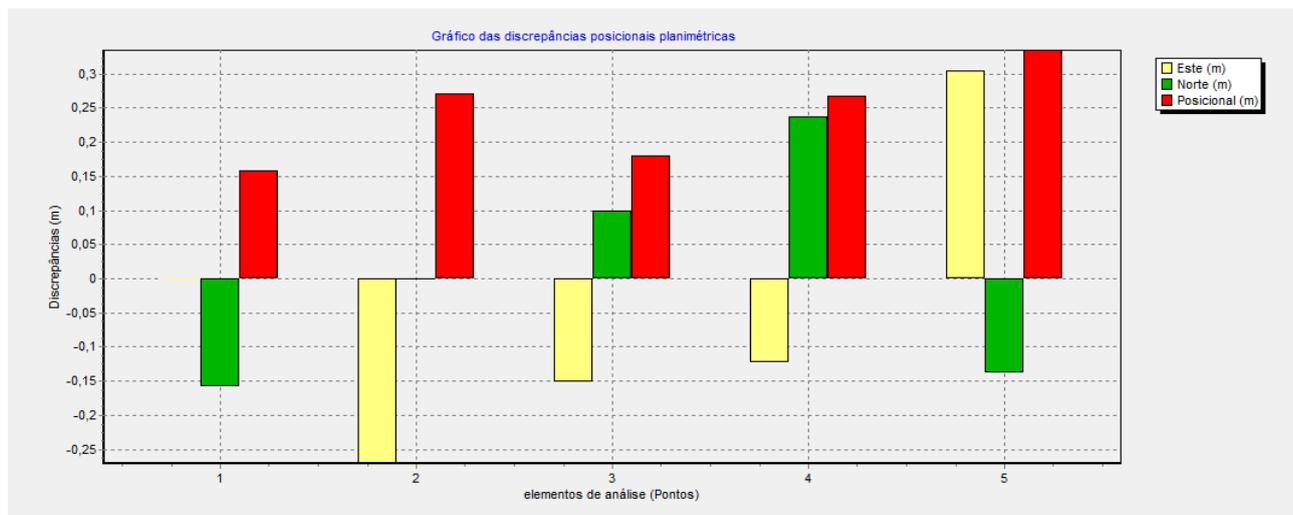
Fonte: A autora (2021).

Figura 42 – Planimetria - Teste de Normalidade T-Student, Média Direcional e Variância Circular.



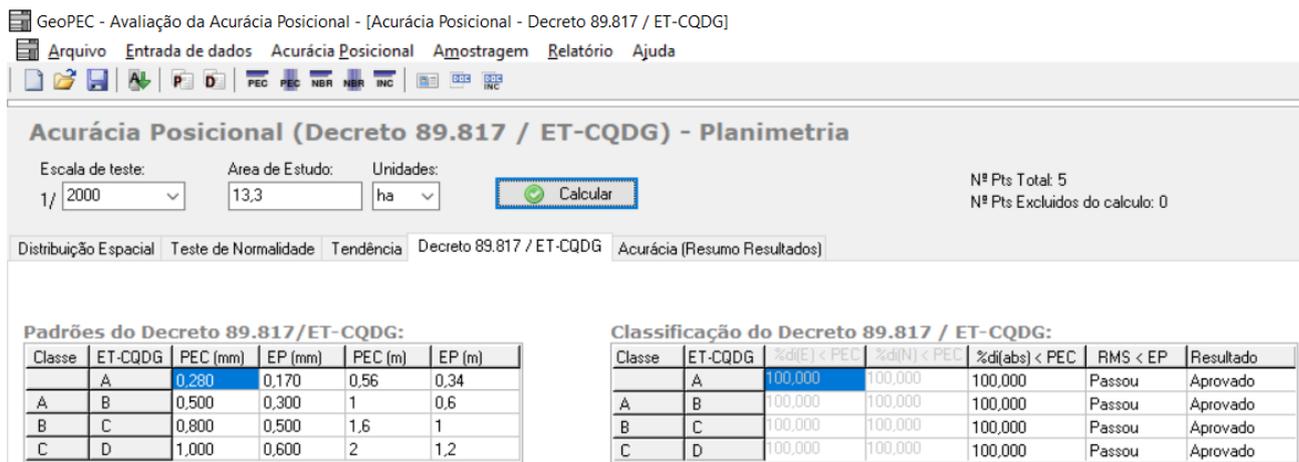
Fonte: A autora (2021).

Figura 43 – Planimetria - Gráfico das discrepâncias da amostra de acordo com o T-Student.



Fonte: A autora (2021).

Figura 44 – Planimetria - Padrões do Decreto e Classificação.



Fonte: A autora (2021).

Figura 45 – Planimetria - Acurácia Final.



Fonte: A autora (2021).

Dessa forma, foi feita a Análise da Acurácia Posicional para a Altimetria sendo a equidistância da curva de nível e 1 (em m) e calculou estatisticamente a amostra (Figura 46).

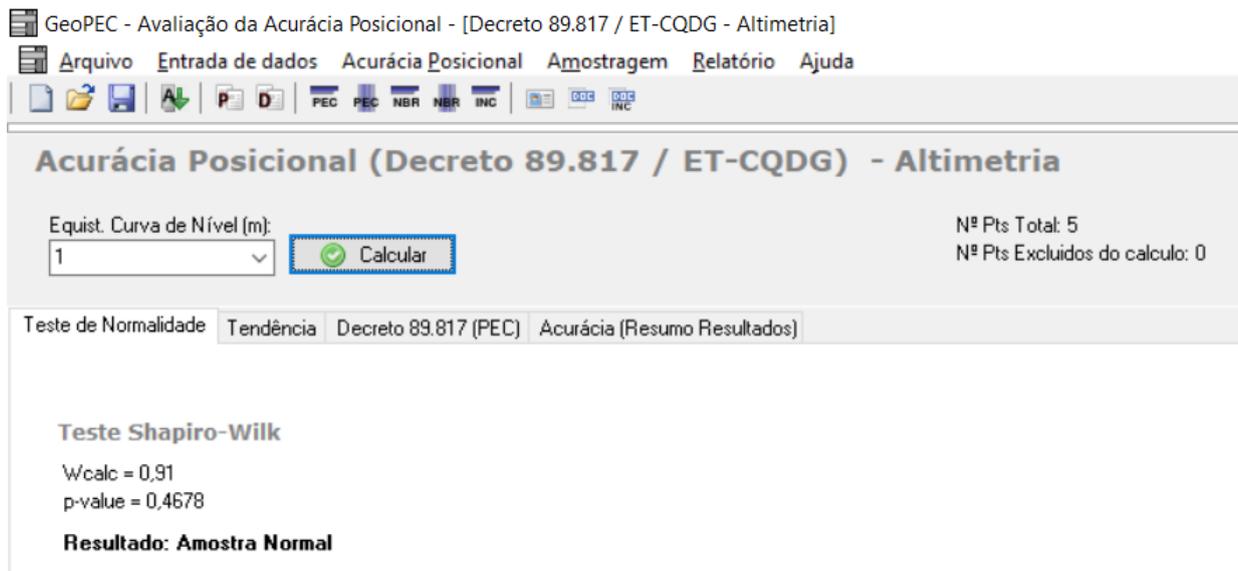
Figura 46 – Altimetria - Cálculos estatísticos.

Estadísticas	Altitude (m)	Ponto	Descrição	Discrepância H(m)	Excluir?	Outlier
nº pontos	5	1	PCHECKP1	-0,0539		Não
média	-0,0983	2	PCHECKP2	-0,2183		Não
desvio	0,1181	3	PCHECKP3	-0,1523		Não
variância	0,014	4	PCHECKP5	-0,1522		Não
RMS	0,1444	5	PCHECKP7	0,0851		Não
máximo	0,0851					
mínimo	-0,2183					
curtose	1,3365					
assimetria	0,51					
soma	-0,492					
nº outliers	0					

Fonte: A autora (2021).

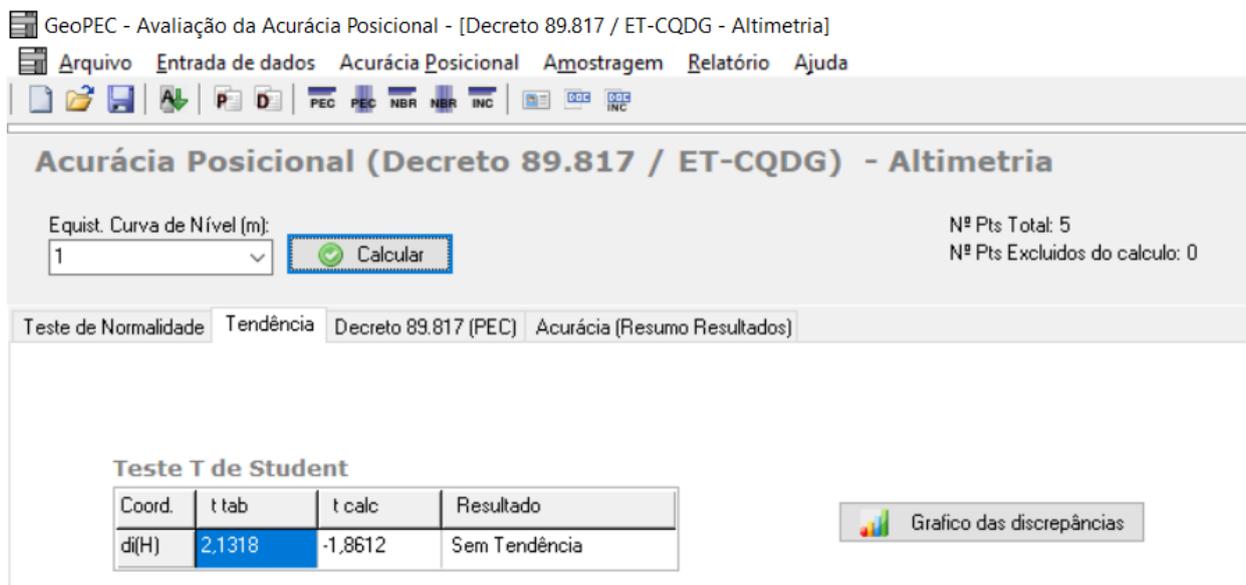
Assim para os parâmetros estatísticos foram feitos os seguintes testes: Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk Altimetria (Figura 47), Teste de Normalidade T-Student (tendência) (Figura 48), Gráfico das discrepâncias da amostra de acordo com o T-Student (Figura 49), Padrões do Decreto e Classificação (Figura 50) e a Acurácia Final (Figura 51).

Figura 47 - Altimetria - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.



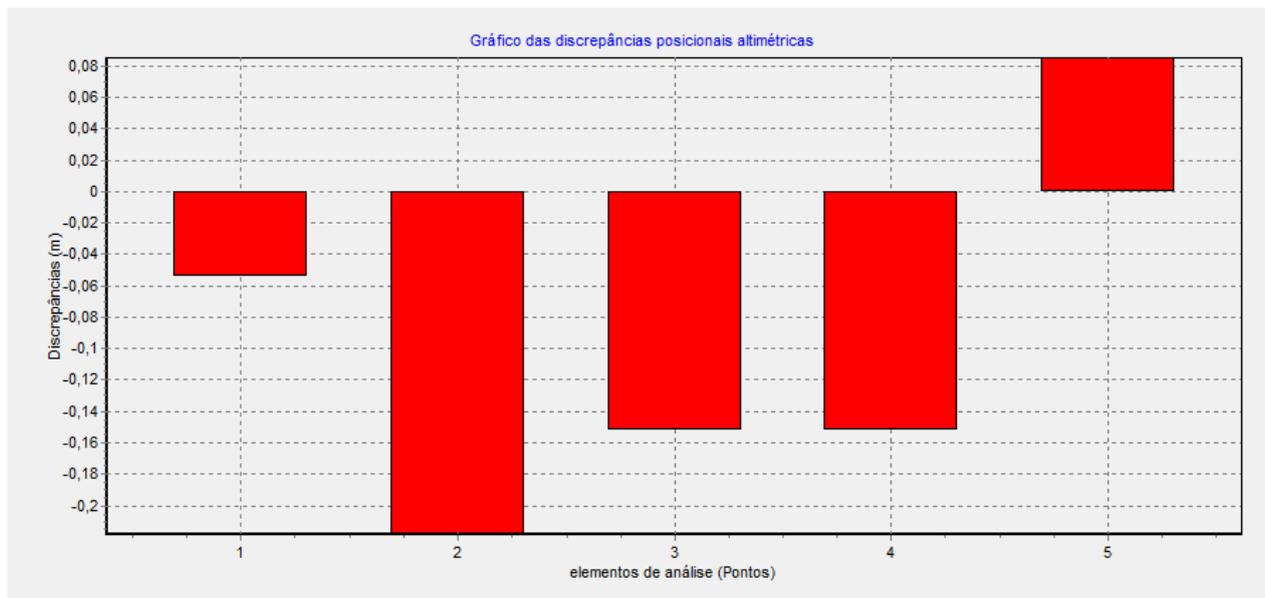
Fonte: A autora (2021).

Figura 48 - Altimetria - Teste de Normalidade T-Student (tendência).



Fonte: A autora (2021).

Figura 49 - Altimetria - Gráfico das discrepâncias de acordo com o T-Student.



Fonte: A autora (2021).

Figura 50 - Padrões do Decreto e Classificação.

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Decreto 89.817 / ET-CQDG - Altimetria]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

PEC PEC NBR NBR INC

Acurácia Posicional (Decreto 89.817 / ET-CQDG) - Altimetria

Equist. Curva de Nível (m):

Nº Pts Total: 5
Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Teste de Normalidade Tendência **Decreto 89.817 (PEC)** Acurácia (Resumo Resultados)

Classe	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	1/6	0,27	0,1667
A	B	1/2	1/3	0,3333
B	C	3/5	2/5	0,4
C	D	3/4	1/2	0,75

Classe	ET-CQDG	%d(H) < PEC	RMS < EP	Resultado
A	A	100,000	Passou	Aprovado
A	B	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: A autora (2021).

Figura 51 – Altimetria - Acurácia Final.

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Decreto 89.817 / ET-CQDG - Altimetria]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

Equist. Curva de Nível (m):

Nº Pts Total: 5
 Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Teste de Normalidade Tendência Decreto 89.817 (PEC) Acurácia (Resumo Resultados)

Análise da Precisão: Decreto 89.817: **Classe A**
 Classe A

Análise das tendências
 Teste de Normalidade: **Amostra Normal**
 T de Student: **Não Tendencioso**
 Não Tendencioso

ACURÁCIA
Produto Acurado para a Classe A na equidistância de 1m.
 [Metodologia Santos et al. (2016)]

Fonte: A autora (2021).

Dessa forma, o produto gerado com os 5 pontos de verificação e validação para fins de PCD é acurado e não tendencioso, ou seja, ele compreende o padrão de que pelo menos 90% dos erros dos pontos coletados em campo com o receptor Hiper SR sendo um equipamento de alta precisão, tenha valores iguais ou menores sendo estabelecida no Decreto tanto da Planimetria com escala de 1/2000, área de 13,3 hectares de acordo com as especificações da PEC (em m) e o erro padrão (em m) (Tabela 13) e da Altimetria com escala de 1/2000, com as curvas de nível com equidistância de 1 (em m) sendo a PEC (em m) e o erro padrão (em m) (Tabela 14).

Tabela 13 – PEC – PCD (Planimetria).

Planimetria			
Classes PEC	PEC-PCD	Escala 1:2000	
		PEC (m)	EP (m)
-	A	0,56	0,34
A	B	1,00	0,60
B	C	1,60	1,00
C	D	2,00	1,20

Fonte: Adaptado do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

Tabela 14 – PEC – PCD (Altimetria).

Altimetria			
Classes PEC	PEC-PCD	Escala 1:2000	
		(Eqd = 1m)	
		PEC (m)	EP (m)
-	A	0,50	0,33
A	B	0,60	0,40
B	C	0,75	0,50
C	D	1,00	0,60

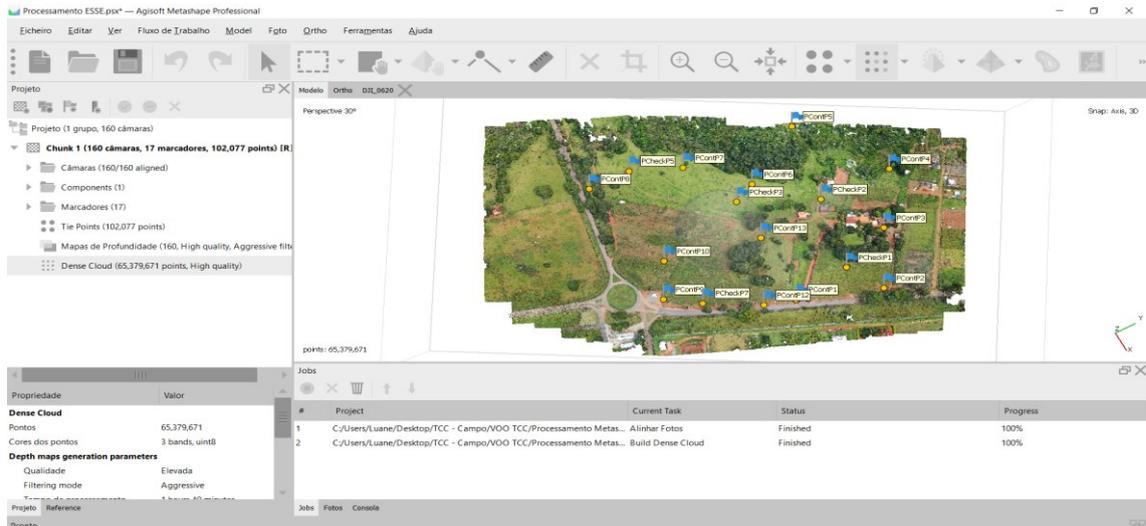
Fonte: Adaptado do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

Portanto, no GeoPEC existem mais dois padrões que não foram realizados, são eles de análise dos dados sendo a Inspeção Topográfica da Norma Brasileira 13133 (NBR 13133) que estabelece como deve ser realizada a execução do levantamento topográfico de maio de 1994 para a planimetria e planimetria de no mínimo 6 pontos para verificação e validação e a Acurácia Posicional Planimétrica para Georreferenciamento do INCRA onde são necessário 20 amostras.

5 RESULTADOS

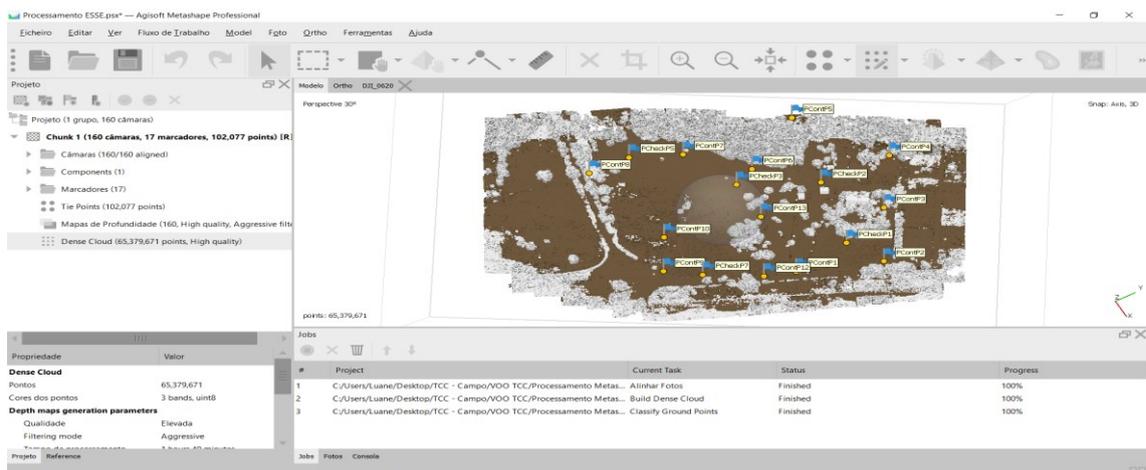
No processamento de imagens tomadas pela ARP, foram possíveis as representações para a Fazenda Paraíso II, Goiânia (GO), são: Nuvem de pontos densificada (Figura 52), Nuvem de pontos densificada e classificada (Figura 53), MDT (Figura 54), Curvas de nível (Figura 55) e Ortofoto da área (Figura 56).

Figura 52 – Nuvem de pontos densificada.



Fonte: A autora (2021).

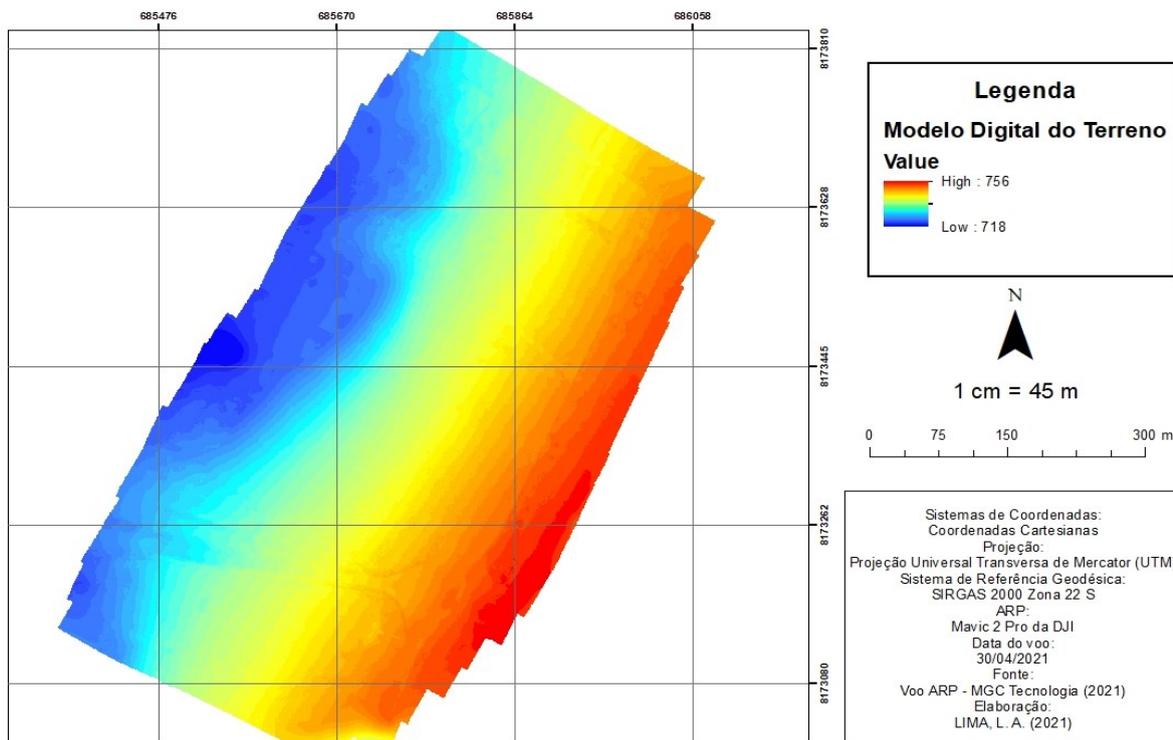
Figura 53 – Nuvem de pontos densificada e classificada.



Fonte: A autora (2021).

Figura 54 – MDT.

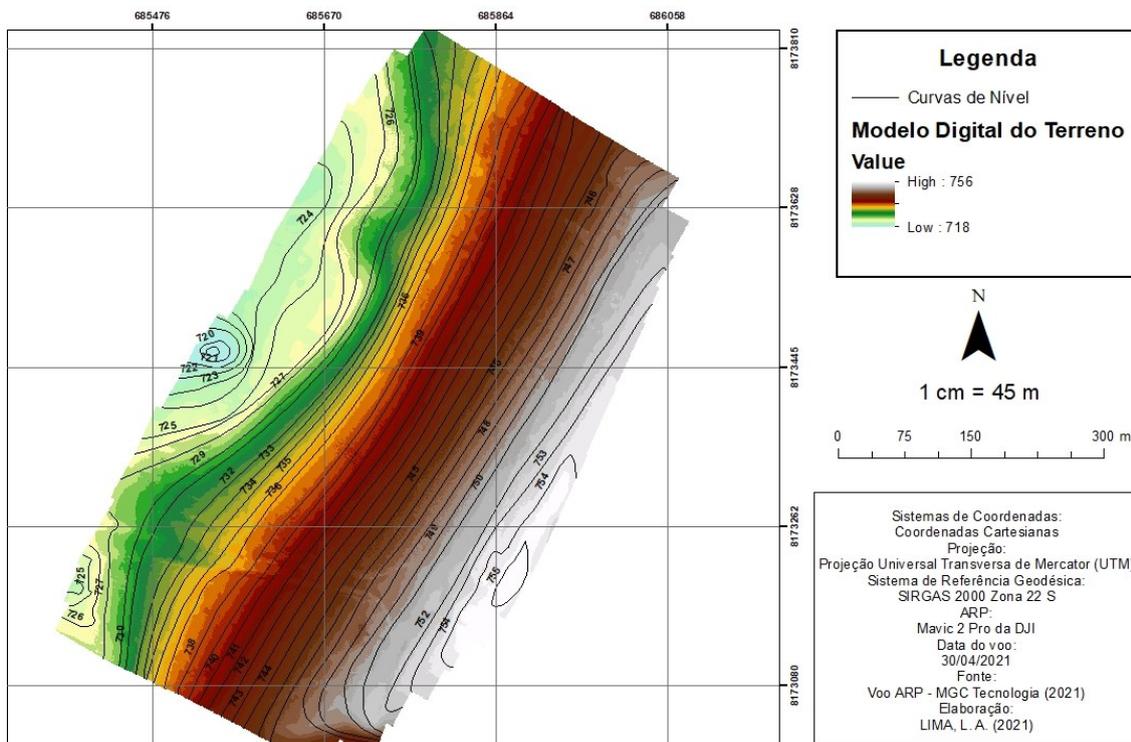
Modelo Digital do Terreno da Fazenda Paraíso II - Goiânia - Goiás



Fonte: A autora (2021).

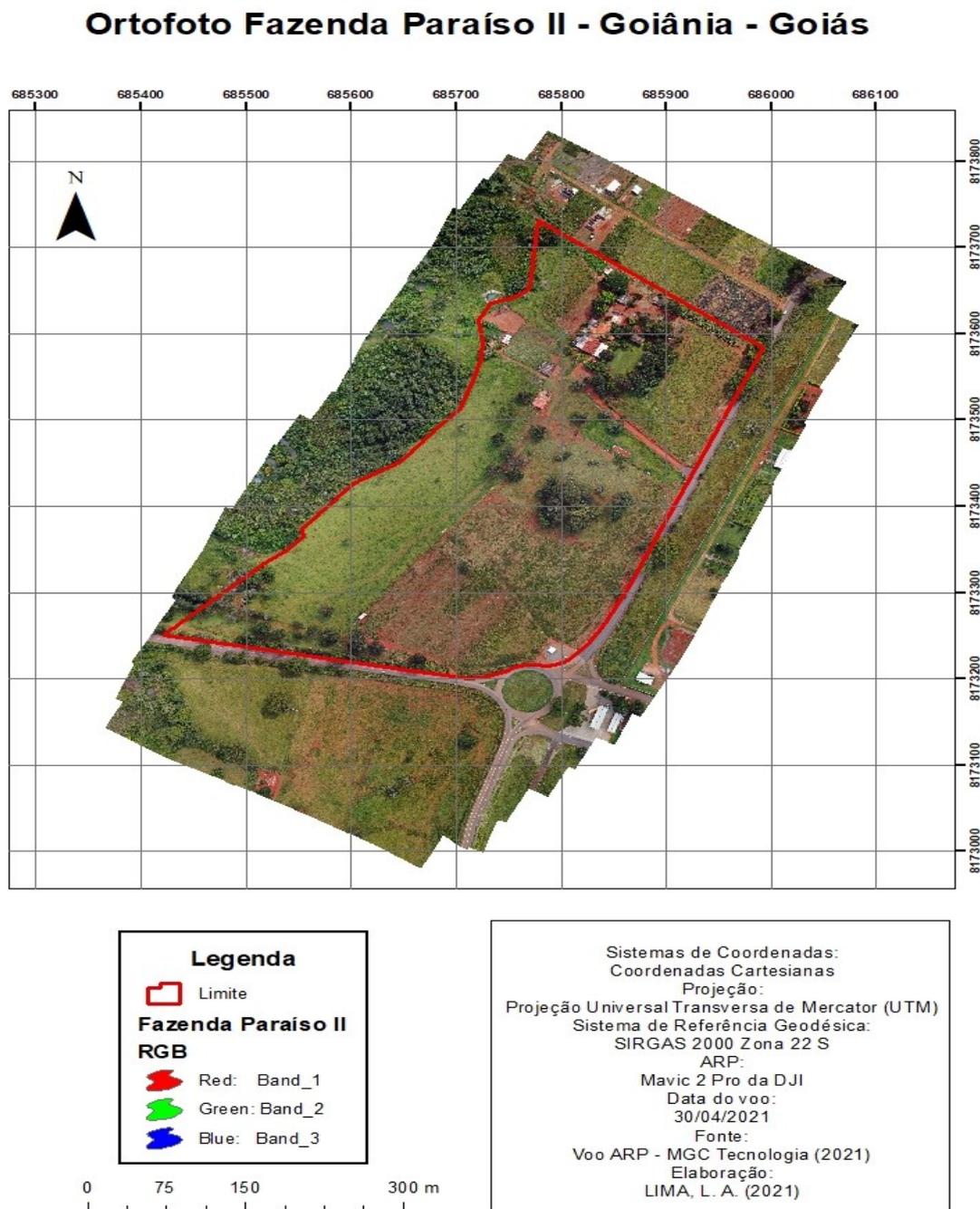
Figura 55 – Curvas de nível.

Curvas de nível da Fazenda Paraíso II - Goiânia - Goiás



Fonte: A autora (2021).

Figura 56 – Ortofoto da área.



Fonte: A autora (2021).

A Calibração da Câmara Hasselblad L1D-20c embarcada na ARP Mavic 2 Pro utilizou-se a metodologia de BROWN (1971) com as variáveis mostradas com todas as informações utilizadas para a calibração Tabela 15.

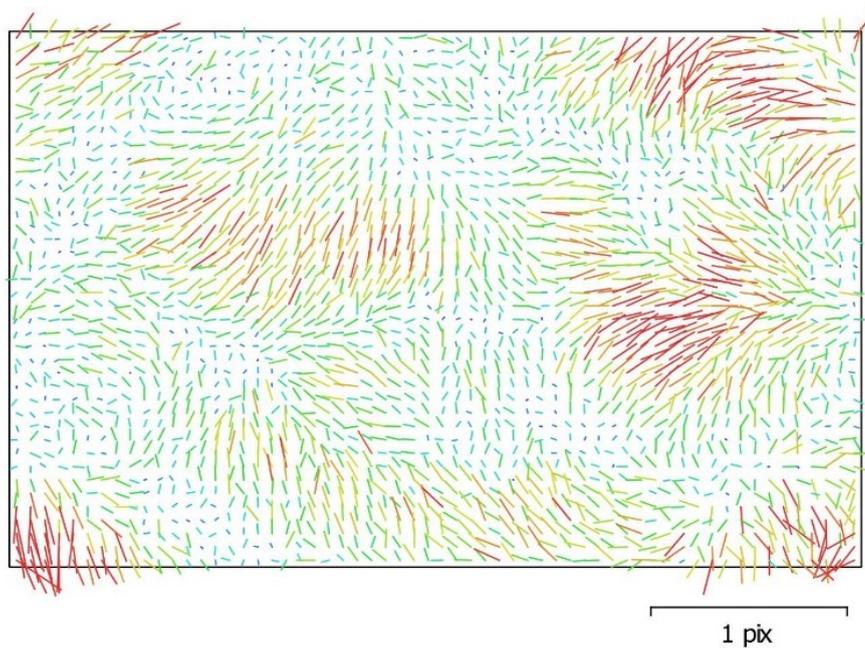
Tabela 15 – Calibração da Câmara da ARP.

Calibração da L1D-20c	
Método de Calibração	Calibração em Serviço modelo BROWN (1971)
Local	Fazenda Paraíso II – Goiânia - GO
Área	13,3 hectares
Tipo de voo	Unidirecional
Altura de voo (m)	171
GSD (cm)	4
Distância focal calibrada (mm)	28
Sensibilidade do ISO	ISO 100
Tempo de exposição	1/100s
Quantidade de alvos para controle	12
Quantidade de alvos para check	5
Número de leituras	1
Software	<i>Agisoft Metashape</i>
Tempo total de Processamento	3 horas, 8 minutos e 49 segundos
Licença do Software	Disponibilizado pela empresa MGC Tecnologia LTDA.

Fonte: A autora (2021).

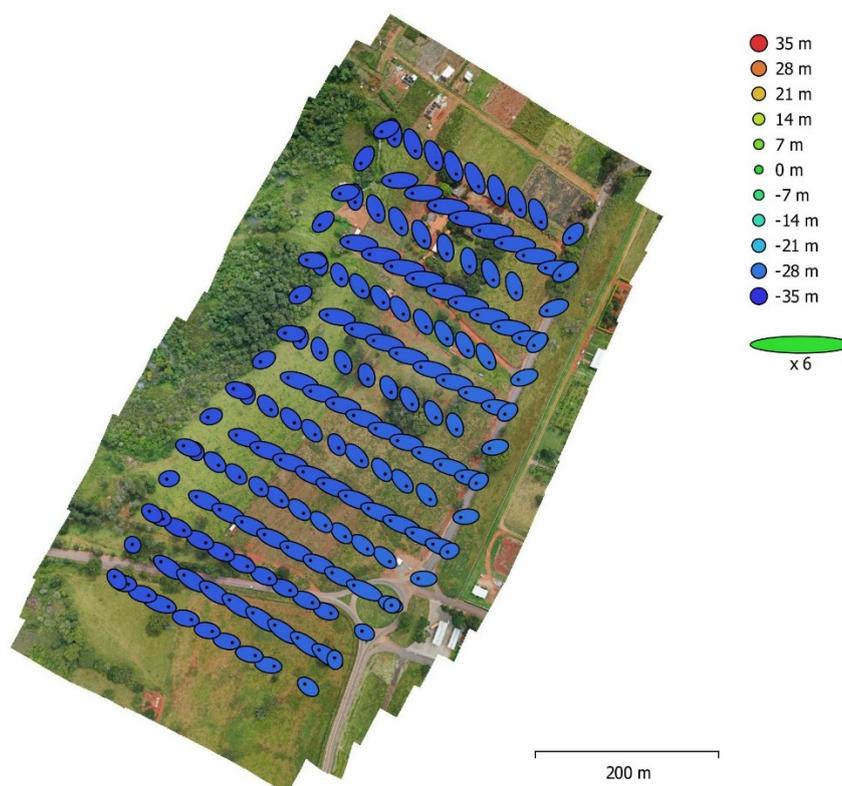
Então para a distribuição das linhas e sobreposição das fotografias na área de estudo, sendo o ponto representando a tomada de cada foto obtida durante o voo com a ARP e quanto a coloração são mostradas a quantidade de sobreposição de longitudinal e lateral das fotos em uma determinada posição, sendo o total de 160 fotos com criação de 102,39 pontos para a criação da nuvem para melhor visualização com a resolução de 4 cm/pixel. Além disso foi possível obter também os resíduos encontrados na imagem após a calibração da câmara (Figura 57), localização da câmara com a estimativa dos erros (Figura 58), distribuição dos GCP (Ground Control Points) e os erros estimados (Figura 59).

Figura 57 – Resíduos gerados na imagem após a calibração da câmara.



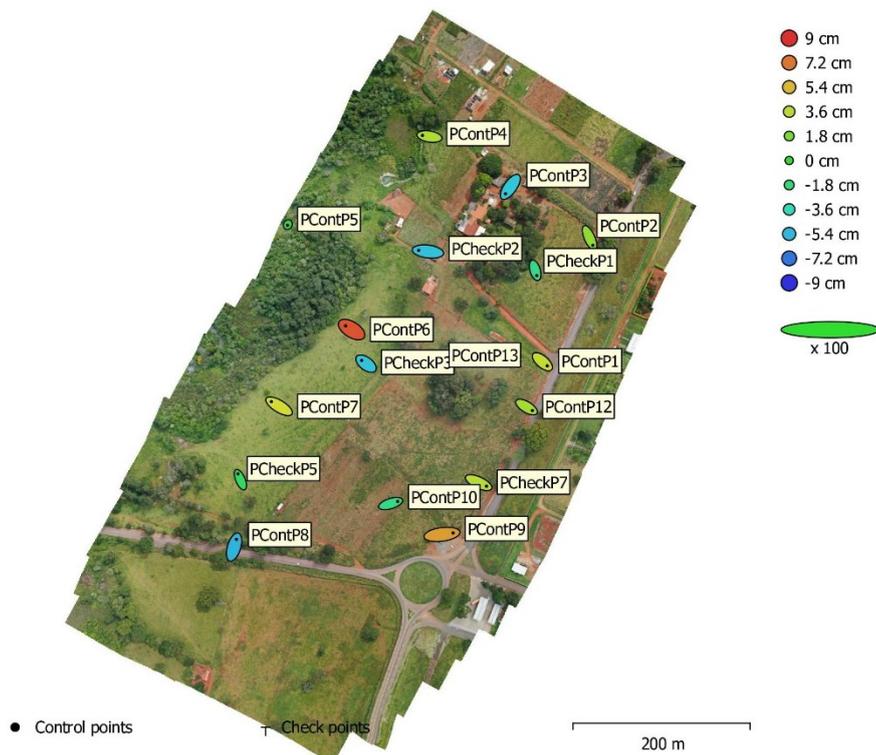
Fonte: Report do Processamento Realizado no Agisoft Metashape (2021).

Figura 58 – Localização da câmara e estimativa dos erros.



Fonte: Report do Processamento Realizado no Agisoft Metashape (2021).

Figura 59 – Distribuição dos GCPS e estimativa dos erros.



Fonte: Report do Processamento Realizado no Agisoft Metashape (2021)

Por meio do software *Metashape* foram calculados os valores dos coeficientes da calibração (Figura 60) na câmara sendo esses parâmetros utilizados para a reconstrução do feixe perspetivo da imagem segundo Mazon, Zacchi e Martins (2011), considerando as coordenadas fotográficas de uma imagem (x e y), são eles: distância focal (f), Posição do ponto principal em relação ao centro de imagem (C_x e C_y), coeficientes da distorção radial simétrica (K_1 , K_2 e K_3) e coeficientes de distorção descentrada (P_1 e P_2).

Figura 60 – Coeficientes de Calibração e Matriz de Matriz de Correlação.

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3851.51	3.2	1.00	-0.58	0.54	0.26	0.06	-0.10	0.13	-0.26
Cx	-0.0681256	0.099		1.00	-0.33	-0.16	-0.03	0.05	0.26	0.15
Cy	-36.0747	0.086			1.00	0.15	0.03	-0.05	0.04	0.12
K1	0.0055482	4.7e-05				1.00	-0.89	0.83	-0.01	-0.07
K2	0.00127449	0.00015					1.00	-0.98	0.05	-0.01
K3	-0.00180053	0.00015						1.00	-0.05	0.02
P1	0.000647114	3.2e-06							1.00	-0.05
P2	-0.000918803	2.4e-06								1.00

Fonte: Report do Processamento Realizado no Agisoft Metashape (2021).

Dessa forma, de acordo com a Figura 61, obteve-se a descrição dos pontos e erros em cm que foram gerados nas coordenadas (X, Y e Z), onde são atribuídas, da seguinte forma: X para a Longitude, Y para a Latitude e Z para Altitude.

Figura 61 – Pontos de Controle.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
PCheckP2	-21.0262	2.65166	-5.1632	21.8126	3.785 (28)
PContP5	-0.648608	-1.38011	-0.507632	1.60719	1.940 (5)
PContP4	-15.7477	2.51336	3.33321	16.2916	5.364 (15)
PContP3	-10.958	-15.5163	-4.99622	19.6417	3.499 (23)
PContP2	7.35952	-16.7631	2.56016	18.4856	5.264 (16)
PCheckP1	3.61327	-11.9951	-2.26299	12.7302	2.395 (27)
PContP9	25.1734	3.3758	6.15048	26.1328	4.443 (24)
PContP10	15.7739	4.97602	-2.32799	16.7032	2.731 (30)
PContP8	5.34007	17.5629	-5.57262	19.184	3.438 (26)
PCheckP5	-5.55932	13.2777	-1.23077	14.4471	3.111 (22)
PContP7	-17.4061	10.5723	4.26934	20.808	4.106 (23)
PContP6	-13.4814	8.48181	8.12912	17.8822	3.629 (26)
PCheckP3	-9.78218	7.39764	-5.0939	13.2802	2.288 (32)
PContP13	-4.43013	0.243396	-7.7642	8.94249	2.028 (33)
PContP1	10.9443	-9.32747	3.96433	14.9163	3.538 (17)
PContP12	13.0717	-7.91894	3.03423	15.5816	3.527 (18)
PCheckP7	17.7687	-8.14976	3.60022	19.8773	4.403 (18)
Total	13.342	9.87103	4.59479	17.2209	3.528

Fonte: Report do Processamento Realizado no Agisoft Metashape (2021).

Portanto, os resultados foram satisfatórios para a Calibração de Câmara da ARP Mavic 2 Pro utilizando o método de BROWN (1971) e assim verificou-se a PEC no software GeoPEC tanto na Planimetria na escala 1:2000 quanto na Altimetria com as curvas de equidância de 1 metro foram classificadas como Classe A, de acordo com o Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, então, o PCD gerado é acurado e preciso e além disso pode ser aceito como produto de referência do Sistema Cartográfico Nacional (IBGE) e pela Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), contudo, não houveram tendências quantificadas com o método estatístico (Tabela 16).

Tabela 16 – Avaliações do GeoPEC.

Acurácia Posicional - Planimetria	
Escala	1/2000
Área de estudo (ha)	13,3
Quantidade de pontos de check	5
Valores de Bases para análise pelo decreto	PEC: 0,56 EP: 0,34
RMS das discrepâncias (m) (Valor médio quadrático)	RMS: 0,2506 PEC – EP: 0,34
Número de outliers (Valor limite - 1,8)	0
Análise da precisão	Decreto-Lei 89.817/ET-CQDG: Classe A. Normas técnicas da cartografia nacional. Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais.
Teste de Normalidade Shapiro-Wilk	Amostra Normal com nível de confiança de 95%.
Análise das tendências	T de Student: Amostra normal, sem tendência. Média direcional variância circular: Amostra normal, sem tendência.
Padrão de discrepância espacial	Vizinho mais próximo: 1ª ordem: Disperso. 2ª ordem: Disperso. 3ª ordem: Disperso.
Acurácia	Produto Acurado para a Classe A na escala 1/2000. [Metodologia Santos et al. [2016]].
Acurácia Posicional - Altimetria	
Escala	1/2000
Área de estudo (ha)	13,3
Curvas de equidistância verticais (m)	1
Quantidades de pontos de check	5
Valores de Bases para análise pelo decreto	PEC: 0,27

	EP: 0,1667
RMS das discrepâncias (m) (Valor médio quadrático)	0,1444 PEC – EP: 0,1667
Números de outliers (Valor limite – 0,9999)	0
Análise da precisão	Decreto-Lei 89.817/1984: Classe A. Normas técnicas da cartografia nacional.
Teste de Normalidade Shapiro-Wilk	Amostra Normal com nível de confiança de 95%.
Análise das tendências	T de Student: Amostra normal, sem tendência. Média direcional variância circular: Amostra normal, sem tendência
Acurácia	Produto Acurado para a Classe A na escala 1/2000 com curvas na equidistância de 1 metro. [Metodologia Santos et al. [2016]].

Fonte: A autora (2021).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da ARP Mavic 2 Pro para aplicação na Aerofotogrametria tornou viável o emprego desse equipamento para diversos tipos de aplicações para mapeamentos pelo baixo custo e devido à qualidade do produto gerado. Visto isso o processo de calibração de câmaras de pequeno formato é indispensável para a obtenção dos melhores resultados para a geração de produtos cartográfico. ser realizado periodicamente, sendo esses prazos definidos de acordo com a sua utilização e qualidade desejada no produto final.

A calibração da câmara de pequeno formato é importante para o monitoramento geométrico deve ser calibrado periodicamente por contribuir para a tomada de decisão, correção, medição, validação e confiabilidade final do produto gerado.

A calibração em serviço da câmara embarcada na ARP Mavic 2 Pro no campo de calibração construído na Fazenda Paraíso II com o emprego das equações de colinearidade (correlação das espaço-objeto e espaço-imagem), metodologia de BROWN (1971), ANDRADE (2003) e REMONDINO e FRASER (2006) permitiu estimar a geometria interna da câmara (POI) sendo os seguintes parâmetros para a calibração de câmaras: focal da lente (f), coordenadas do centro de projeção da imagem - ponto principal (x0,y0), coeficientes de

distorção da lente (k_1, k_2, k_3, P_1, P_2), no qual as variáveis k_i são os coeficientes de distorção radial da lente e o P_1 e P_2 os coeficientes de distorção descentrada.

Construiu-se um campo de calibração na Fazenda Paraíso II (GO) para a análise das imagens tomadas pela ARP com pontos de apoio e check distribuídos uniformemente para recobrimento de toda a área de estudo, utilizou para coleta dos pontos o receptor GNSS Hiper SR sendo processados os dados obtidos pós-campo no PPP – IBGE e Topcon Tools. Para a etapa fotogramétrica foram realizadas da seguinte maneira: planejamento do voo no *Pix4D Capture* e o processamento digital das fotos e calibração no *Agisoft Metashape*.

A validação e verificação da qualidade posicional dos dados cartográficos gerados foram no GeoPEC por meio da PEC de acordo com o Decreto nº 89.817 de 1984, sendo o critério de que pelo menos 90% dos pontos obtidos deverão ser superiores ao EP estabelecido pela mesma, nesse caso a probabilidade corresponde a 1,6449 vezes o EP, os dados de entrada no GeoPEC foram as coordenadas obtidas em campo dos pontos de check com as coordenadas medidas na ortofoto, assim a classificação quanto da planimetria e altimetria classificou Classe A, sendo a escala 1/2000 e com as curvas de equidistância de 1 metro. Dessa forma, o trabalho teve um resultado excelente e atingiu os objetivos propostos e o PCD gerado é acurado, confiável e pode ser utilizado como produto cartográfico de referência para o Sistema Cartográfico Nacional (IBGE).

Foi de grande valia toda a execução desse estudo e a metodologia deve ser empregada para a tomada das imagens visto que a calibração é uma variável que interfere diretamente na qualidade do produto final. Assim deve-se atentar para o planejamento, execução e processamento dos dados obtidos pela ARP. E a recomendação é que este trabalho possa ser uma ferramenta de referência para os futuros estudos sobre a Calibração em Serviço de Câmaras de ARP.

REFERÊNCIAS

AGISOFT. **About**. Disponível em: <https://www.agisoft.com/about/> Acesso em: 24 mar. 2021.

AGISOFT. **AGISOFT Metashape User Manual: Professional Edition, Versions 1.5**. [S.l.], 2019. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_5_en.pdf. Acesso em: 23 mar. 2021.

AGISOFT. **Agisoft Metashape User Manual: Professional Edition, Version 1.6**. [S. l.], 2020. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_6_en.pdf. Acesso em: 9 abr. 2021.

AGISOFT. **Aerial data processing (with GCPs) - Orthomosaic&DEM generation P**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000153696>. Acesso em: 1 dez. 2020.

AGISOFT. **Control and Check points for aerial surveys**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000154132>. Acesso em: 1 dez. 2020.

AGISOFT. **3D model reconstruction**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000152092>. Acesso em: 1 dez. 2020.

AGISOFT. **Agisoft Metashape Professional**. [S. l.]. Disponível em: <https://www.osbsoftware.com.br/produto/agisoft-metashape-professional/>. Acesso em: 25 mar. 21.

AGISOFT. **Orthomosaic & Dem Generation (without GCPs)**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://agisoft.freshdesk.com/support/solutions/articles/31000157908-orthomosaic-dem-generation-without-gcps->. Acesso em: 1 dez. 2020.

AGISOFT. **Metashape**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: 8 abr. 2021.

ANAC. **Regulamentos Brasileiros da Aviação Civil. Brasília - DF, 2017**. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf. Acesso em: 16 nov. 2020.

ANDRADE, J. B. de. **Fotogrametria**. SBEE, Curitiba PR, 274p., 2003.

ANEA. **Drones**. [S. l.]. Disponível em: https://www.anea.org.br/?page_id=122. Acesso em: 25 mar. 2021.

BAZAN, Wimerson. Sanches., et al. **A Influência das Injunções de Orientação Relativa na Calibração de um Sistema Dual de Câmaras Digitais**. Boletim de Ciências Geodésicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Presidente Prudente – SP, 2019.

BERNARDI, A. C. de C., et al. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**.

Capítulo 8 - Uso de Veículos Aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. Embrapa, São Carlos – SP, 595p,2014.

BERNARDI, J.V.E. & LANDIM, P.M.B. **Aplicação do Sistema de Posicionamento Global (GPS) na Coleta de Dados**. DGA,IGCE,UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático 10, 31 pp. 2002. Disponível em <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 30 abr. 2021.

BOSCATTO, Flavio. **Manual de Procedimentos para a Operação do Receptor GNSS Topcon Hiper Lite +**. Florianópolis, 2008. Disponível em: <http://www.projetornfloripa.faed.udesc.br/arquivos/PDF/APOSTILA%20GPS%20HIPER%20LITE%20+.pdf>. Acesso em: 4 maio 2021.

BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 20 jun. 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm#:~:text=%C2%A7%201%C2%BA%20%2D%20Padr%C3%A3o%20de%20Exatid%C3%A3o,PEC%20%3D%201%2C6449%20EP. Acesso em: 1 dez. 2020.

BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva., COELHO, L.C T.F. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ , 2007.196 p

BROWN, D.C., 1971. **Close-range camera calibration**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 37(8), pp.855-866.

CAMPOS, Mariana. Batista., TOMMASELLI, Antonio. Maria. Garcia., MORAES, Marcus. Vinicius. Antunes. De., JUNIOR, José. Marcato. **Análise Comparativa dos Resultados Obtidos Pelos Métodos de Calibração de Campo Tridimensional e Bidimensional**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba – PR, vol . 21 nº 2, 1982-2170, nº3, 2015.

COELHO, L., BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Editora: ED UERJ, Rio de Janeiro RJ, 196p., 2007.

COSTA, S. M. A., et al. **RBMC Em Tempo Real, Via NTRIP, E Seus Benefícios Nos Levantamentos RTK e DGPS**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação, Recife – PE, 8p, 2008.

DA SILVA, J. F. C.; CAMARGO, P. DE O.; GUARDIA, M. C.; REISS, M. L. L.; SILVA, R. A. DA C.; GALLIS, R. B. DE A.; DE OLIVEIRA, R. A. **Mapeamento de Ruas Com Um Sistema Móvel de Mapeamento Digital**. *Revista Brasileira de Cartografia*. [S.l], v. 53, n. 1, 11.

DIAS, Lennon. Vinicius. Alves. **Estudo e Análise de Diferentes Métodos de Calibração de Câmeras**. Ponta Grossa, 2015. 61 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências da Computação – Univesidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2015. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6454/1/PG_COCIC_2015_2_04.pdf. Acesso em: 1 dez. 2020.

DISTRIBUIÇÃO T De Student. [S. l.]. Disponível em: <http://www.portalaction.com.br/probabilidades/64-distribuicao-t-de-student>. Acesso em: 1 dez. 2020.

DJI. **MAVIC 2**: Especificações. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic-2/info>. Acesso em: 3 maio 2021.

DJI. **Mavic 2 Pro / Zoom**: Manual do usuário. [S. l.], 2018. Disponível em: https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic_2/202011/Mavic_2_Pro_Zoom_User_Manual_v1.2_BR.pdf. Acesso em: 3 maio 2021.

DOCKHORN, Erika Silva. **Comparação de dois Tipos de Solução no Posicionamento com Receptores GPS**. 2006. 67 f. Tese de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geomática, Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

DRONENG. **Drone Deploy**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/drone-deploy-saiba-tudo/>. Acesso em: 8 abr. 2021.

DRONENG. **Entenda o Fluxo de Trabalho no Agisoft Metashape**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/entenda-o-fluxo-de-trabalho-no-agisoft-metashape/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

DRONENG. **Topografia com drones: principais dúvidas de quem atua nessa área**. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/topografia-com-drones-duvidas-de-quem-atua/>. Acesso em: 1 abr. 2021.

EBEE. **eBee: Extended User Manual**. [S. l.]. Disponível em: http://95.110.228.56/documentUAV/drone%20manual/%5BENG%5D_2014_Extended_User_Manual_eBee_and_eBee_Ag_v12_1.pdf. Acesso em: 31 mar. 2021.

EISENBEISS, H. **A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition**. In: International Workshop on Processing and visualization using high resolution imagery. 2004. Anais. p. 18-20.2004.

EMBRATOP. **Hiper SR**. [S. l.], 2021. Disponível em: https://www.embratop.com.br/videos_downloads/Hiper-SR%20em%20Portugu%C3%AAs.pdf. Acesso em: 3 maio 2021.

EMBRATOP. **Magnet Office Tools**. [S. l.]. Disponível em: <https://www.embratop.com.br/magnet-office-tools>. Acesso em: 25 mar. 2021.

EMBRATOP. **TOPCON GNSS Hiper SR**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.embratop.com.br/topcon-gnss-hiper-sr>. Acesso em: 3 maio 2021.

ESPINHOSA, D. R. S., SILVA, J. F. C. da., GALO, M. **Efeitos da Injunção da Base nas Orientações Interior e Exterior e nas Coordenadas do Espaço Objeto em Imagens Obtidas com a Estéreo Vídeo-Câmara de um Sistema Móvel de Mapeamento**. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de Cartografia. Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Boletim de Ciências Geodésicas, Presidente Prudente – SP, 2008.

ESRI. **ArcGIS**: About. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>. Acesso em: 8 abr. 2021.

ESRI. **ArcGIS**: Visão geral. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.img.com.br/pt-br/arcgis/visao-geral/visao-geral>. Acesso em: 8 abr. 2021.

ESRI. **Whats is GIS?**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>. Acesso em: 8 abr. 2021.

FOTOGRAMETRIA. [S. l.]. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/fotogrametria_material_04.pdf. Acesso em: 1 dez. 2020.

GALO, M. **Calibração e aplicação de Câmaras Digitais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Universidade Federal do Paraná- Dissertação de Mestrado, Curitiba, 151p, 1993.

GALO, M.; TOMMASELLI, A. M. G. **Fundamentos de Visão Computacional**. Marco Antônio Piteri (coord.), José Carlos Rodrigues (coord.), Presidente Prudente, SP, Revista Brasileira de Cartografia, nº 59/02, ISSN 1808-0936, Presidente Prudente – SP, 2007.

GALO, M.; TOMMASELLI, A. M. G. **Geração Automática de Modelos Digitais de Terreno a Partir de Imagens Obtidas por Câmaras Digitais**. Presidente Prudente, 2011.

GALO, M., HASEGAWA, J. K. **Medição Automática de Pontos Para Calibração de Câmaras Digitais**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE, 8p, 2008.

GALO, M.; TOMMASELLI, A. M. G.; HASEGAWA, J. K. **Calibração de uma câmara digital multiespectral com três sensores CCD**. In: Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia, Macaé – RJ, p. 1-9, 2005.

GALO, M., HASEGAWA, J. K., TOMMASELLI, A. M. G. **Significância dos Parâmetros de Orientação Interior na Calibração de Câmaras**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife – PE, 9p, 2008.

GNSS Topcon Hiper V. [S. l.]. Disponível em: <https://www.tecnosat.com.br/tecnosat/gnss-topcon-hiper-v/>. Acesso em: 1 dez. 2020.

GOGONI, Ronaldo. **O que é um pixel?**. [S. l.]. Disponível em: <https://tecnoblog.net/295290/o-que-e-um-pixel/>. Acesso em: 1 dez. 2020.

GONÇALVES, J. A., PINHAL, A. **Calibração de Câmaras de Drones**. IX Conferência Nacional de Cartografia e Geodésia. [S.l.], 2018.

HASEGAWA, J. K.; **Shape From Shading com Projeção Perspectiva e Calibração de Câmara**, Tese (Doutorado), Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, Campinas , 1997.

IBGE. **Goiânia**. [S. l.]. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/goiania/panorama>. Acesso em: 25 mar. 2021.

IBGE. 2013. **Manual do Usuário Posicionamento Por Ponto Preciso**. Diretoria de Geociências. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/manual_ppp.pdf.

IBGE. **Recomendações para Levantamentos Relativos Estáticos - GPS**. [S. l.], 2008.

Disponível em:

https://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/recom_gps_internet.pdf. Acesso em: 4 maio 2021.

IBGE. Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS - RBMC. [S. l.]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica/16258-rede-brasileira-de-monitoramento-contínuo-dos-sistemas-gnss-rbmc.html?c=7&t=dados-diarios-e-situacao-operacional>. Acesso em: 25 mar. 2021.

IBGE. Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 4 maio 2021.

IRIB. Incra anuncia Norma para uso de Aerofotogrametria no Georreferenciamento. [S. l.], 2018. Disponível em: <https://www.irib.org.br/noticias/detalhes/incra-anuncia-norma-para-uso-de-aerofotogrametria-no-georreferenciamento#:~:text=O%20Instituto%20Nacional%20de%20Coloniza%C3%A7%C3%A3o,de%20limites%20de%20im%C3%B3veis%20rurais>. Acesso em: 8 abr. 2021.

ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. [S. l.], 2019. Disponível em: <https://www.bibliotecas.ufu.br/portal-da-pesquisa/periodicos/isprs-journal-photogrammetry-and-remote-sensing>. Acesso em: 1 dez. 2020.

JUNIOR, José. Mercado. **Modelagem Fotogramétrica e Calibração de um Sistema de Visão Omnidirecional.** Presidente Prudente, 132f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologias – UNESP (Universidade Estadual Paulista), Presidente Prudente, 2014.

KALATEC. Motores BLDC. [S. l.]. Disponível em: [https://blog.kalatec.com.br/motores-bldc-vantagens/#:~:text=Os%20Motores%20BLDC%20\(ou%20Brushless,de%20velocidade%20\(bldc%20controlador\)](https://blog.kalatec.com.br/motores-bldc-vantagens/#:~:text=Os%20Motores%20BLDC%20(ou%20Brushless,de%20velocidade%20(bldc%20controlador)). Acesso em: 31 mar. 2021.

KOYAMA, Carlos Shiguyuki. **Determinação da velocidade de um objeto, a partir de uma seqüência de imagens, aplicando as equações de colinearidade modificadas.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas. Presidente Prudente: [s.n.], 2001.

LAFOTO. [S. l.], Disponível em: <https://www.ufrgs.br/lafoto/>. Acesso em: 1 dez. 2020.

LIMA, Sidney Andrade de. **Avaliação da acurácia do posicionamento e orientação de aeronaves remotamente pilotadas com uso de técnicas de fotogrametria e processamento digital de imagens.** Trabalho de Dissertação de Mestrado em Sensoriamento, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/07.17.11.58/doc/publicacao.pdf>. Acesso e: 31 mar. 2021.

LIMA, E. M. de., THOMAZ, T. A. M., SEVERO, T. C. **Mapeamento Aerofotogramétrico Digital Utilizando Fotografias de Médio Formato.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica). Porto Alegre – RS, 126p, 2010.

MAPEAMENTO Com Drones Planejamento de Voo. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://www.escoladedrones.com.br/mapeamento-com-drones-planejamento-de-voos/>. Acesso em: 1 dez. 2020.

MAPPA. Sobreposição de Imagens: Por que ela é importante?. [S. l.]. Disponível em: <https://mappa.ag/ajuda/sobreposicao-de-imagens-por-que-ela-e-importante/>. Acesso em: 4 maio 2021.

MAZON, H., ZACCHI, G. P., MARTINS, R. **Calibração de Câmeras e Fontes de Erros Para Triangulação Fotogramétrica.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba – PR, p. 9000, 2011.

MITISHITA, EDSON A., OLIVAS, A. A. MARY. **Calibração de Câmaras Aerofotogramétricas a Partir de Aerofotos Digitalizadas.** Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 7, no 1, p.64-76, 2001.

MITISHITA, Edson A., HAINOSZ, Fabiano., DEBIASI, Paula. **Calibração em Serviço de Câmara Digital de Baixo Custo com o Uso de Pontos de Apoio Altimétrico.** Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 18, no 2, p.225-241, 2012.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: Editora UNESP, 2008.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: Editora UNESP, 2000.

NAKAO, L. T. H., KRUEGER, C. P. **Análise dos Métodos de Posicionamento e dos Parâmetros Definidores da Qualidade de Um Levantamento Barimétrico.** Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba – PR, ISSN 1982-2170, nº3, p.419, 2017.

NETO, Manoel Silva. **Para que serve o GSD?.** [S. l.], 2016. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/gsd/>. Acesso em: 1 dez. 2020.

OLIVAS, Mary. Angelica. de Azevedo. **Calibração de Câmaras Fotogramétricas.** Aplicação dos Métodos: Câmaras Convergentes e Campos Mistos. 1980, 106f. Tese de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR, 1980.

OLIVEIRA, José Venâncio Marra. **Calibração De Um Par de Câmaras Digitais De Pequeno Formato.** 2016. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2016.

PARROT. **Anafi USA.** [S. l.], Disponível em: <https://www.parrot.com/en>. Acesso em: 31 mar. 2021.

PESSOA, G. G. **Análise da Estabilidade e Influência dos Parâmetros de Calibração de uma Câmara Digital Não Métrica na Fototriangulação.** Tese de Mestrado (Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Universidade Estadual Paulista). Presidente Prudente – SP, 111p, 2017.

PREFEITURA DE GOIÂNIA. **Goiânia: Capital Verde do Brasil.** [S. l.]. Disponível em:

<https://www.goiania.go.gov.br/sobre-goiania/historia-de-goiania/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

RAJESH, R. J., KAVITHA, P. **Camera Gimbal Stabilization Using Conventional PID Controller And Evolutionary Algorithms**. International Conference on Computer. Indore, Índia, 2015.

REDWEIK, Paula. **Fotogrametria Aérea**. Departamento de Engenharia Cartográfica, Geofísica e Energia. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Lisboa – Portugal, 2007.

REMONDINO, F., FRASER, CLIVE. **Digital Camera Calibration Methods: Considerations and Comparisons**. ISPRS Commission V Symposium Image Engineering and Vision Metrology. IAPRS, vol XXXVI, part 5, 2006.

SANTOS, A. de P., et al. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira**. Boletim de Ciências Geodésicas. Artigos, Curitiba - PR, 2019. v.22, nº4, p.630-650, 2016.

SANTOS, S. D. R. S.; et al., **Considerações Sobre a Atualização Do PEC (Padrão Exatidão Cartográfica) Nos Dias Atuais**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE, 5p, 2010.

SANTOS, Afonso de Paula dos et al. **GeoPEC: Software para avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos**. Curitiba, 2016. Disponível em: <http://www.geopec.com.br/p/software-geopec.html>. Acesso em: 8 abr. 2021.

SENSEFLY. **Camera Collection**. [S. l.]. Disponível em: <https://www.sensefly.com/app/uploads/2019/03/Camera-Collection-PT.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2021.

SENSEFLY. **SenseFly S.O.D.A**. [S. l.]. Disponível em: <https://www.sensefly.com/pt/camera/sensefly-s-o-d-a/>. Acesso em: 31 mar. 2021

SENSEFLY. **Sobre nós**. [S. l.]. Disponível em: <https://www.sensefly.com/pt/sobre/sobre-nos/>. Acesso em: 31 mar. 2021.

SIEG. **Sistema Estadual de Estatística e Informações Geográficas**. Goiás, 2017. Disponível em: <http://dados.sieg.go.gov.br/Sieg/produtosIMB.asp?cod=4627>. Acesso em: 7 maio 2021.

SENAR. **Agricultura de precisão: operação de drones**. Brasília: Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR), 2018. 84 p; il. 21 cm (Coleção Senar, 249), 2018.

SILVA, D. C.da., MELO, I. D. F de., OLIVEIRA, R. N. Q de. **Alta Resolução Com Uso De Câmaras Digitais De Baixo Custo Para Mapeamento**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia, Brasil, p. 4561-4568, 2005.

SOUZA, G. V. de., MITISHITA, E. A., MACHADO, A. M. L. **Uso de Dados LIDAR na Calibração de Câmeras de Baixo Custo**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil. INPE, p.1881-1887, 2009.

SOUZA, J.S.; CARDOZA A.S. **Sensores de Imagem Digitais CCD e CMOS** In: Anais do Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação: Ciência, Tecnologia e Inovação: Ações Sustentáveis para o Desenvolvimento Regional, Palmas - TO. 2012. 8p. Disponível em: <<https://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1667/2517>>. Acesso em: 24 mar. 2021.

TELLES, S. S. de S. **Um Modelo Para Calibração de Câmaras Digitais Baseado em Linhas Retas**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas), UNESP – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2004.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos de Fotogrametria**. UFMG, Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <<http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf>>. Acesso em: 1 dez. 2020.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica: Introdução**. Presidente Prudente – SP, 2009. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf>. Acesso em: 1 dez. 2020.

TOMMASELLI, A. M. G.; HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; IMAI, N. N.; RUY, R. da S. **Sensoriamento remoto aerotransportado: uma abordagem usando câmaras digitais**. In: Fernando Luiz de Paula Santil; Hélio Silveira; Maria Luzia de Souza; e Fernando Ricardo dos Santos. (Org.). Recursos tecnológicos aplicados à Cartografia. Maringá: Sthampa Gráfica e Editora, 2010, v. 1, p. 81-116.

TOMMASELLI, A. M. G.; SILVA, J. F.C da; HASEGAWA, J.K.; GALO, M.; DAL POZ, A. P. **Fotogrametria: aplicações a curta distância**. In: MENEGUETTE Jr, M.; ALVES, N. (Organizadores), FCT 40 anos, Perfil Científico – Educacional, Presidente Prudente SP, p. 147-159, 1999.

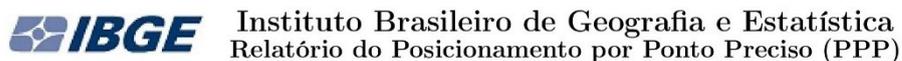
TOPCON. **Hiper SR: Especificações**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.topconpositioning.com/br/gnss-and-network-solutions/integrated-gnss-receivers/hiper-sr#panel-product-specifications>. Acesso em: 3 maio 2021.

TOPCON. **Magnet Tools**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.topconpositioning.com/br/magnet-software-suite/magnet-office-solutions/magnet-tools>. Acesso em: 25 mar. 2021

TOPCON. **Magnet Tools**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.topconpositioning.com/br/support/products/magnet-tools>. Acesso em: 8 abr. 2021.

ANEXOS

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO IBGE – PPP



Sumário do Processamento do marco: Base_0429n000

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2021/04/29 13:36:15,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2021/04/29 20:31:55,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TPSHIPER_SR NONE
Órbitas dos satélites: ¹	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	5,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	0,000
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,42 GPS 1,40 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,87 GPS 1,05 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deve ser usada) ⁴	-16° 30' 45,4925"	-49° 15' 32,6450"	738,16	8173555.722	685806.847	-51
Na data do levantamento ⁵	-16° 30' 45,4844"	-49° 15' 32,6472"	738,16	8173555.972	685806.784	-51
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,001	0,002	0,006			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-9,17					
Altitude Ortométrica (m)	747,33					

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

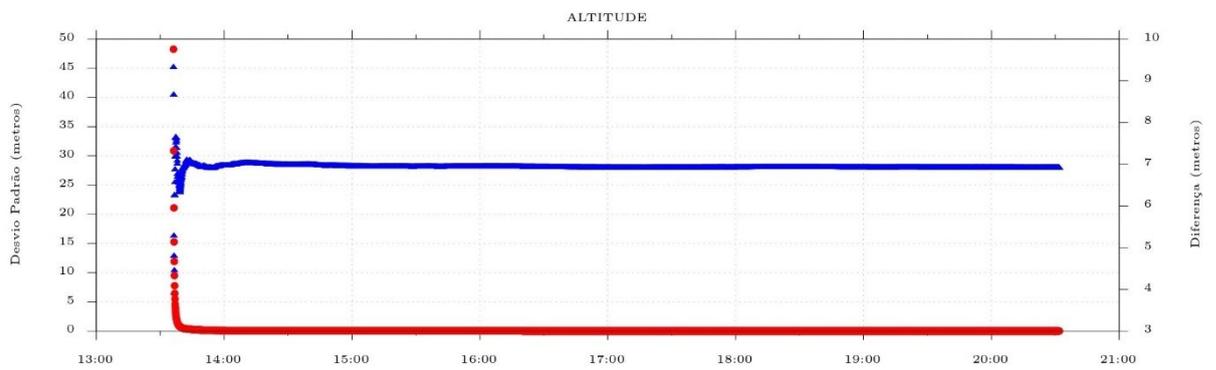
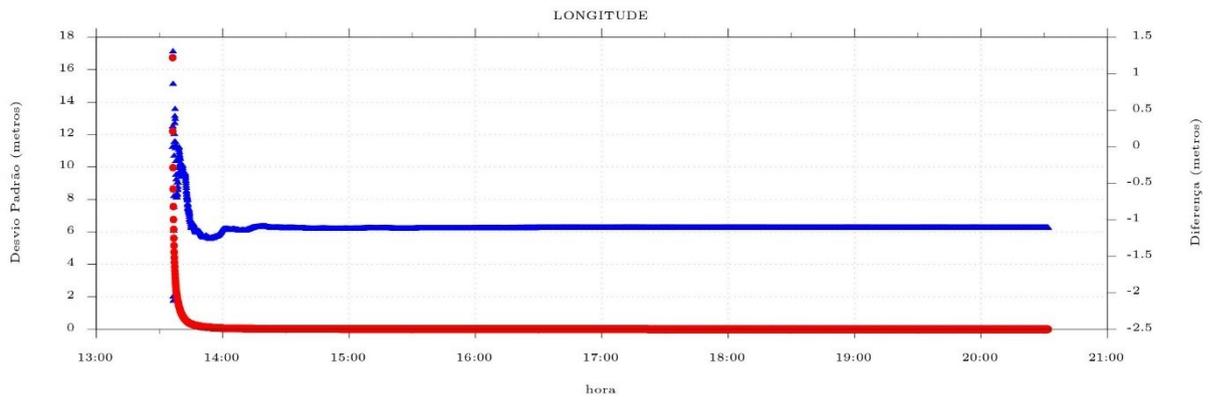
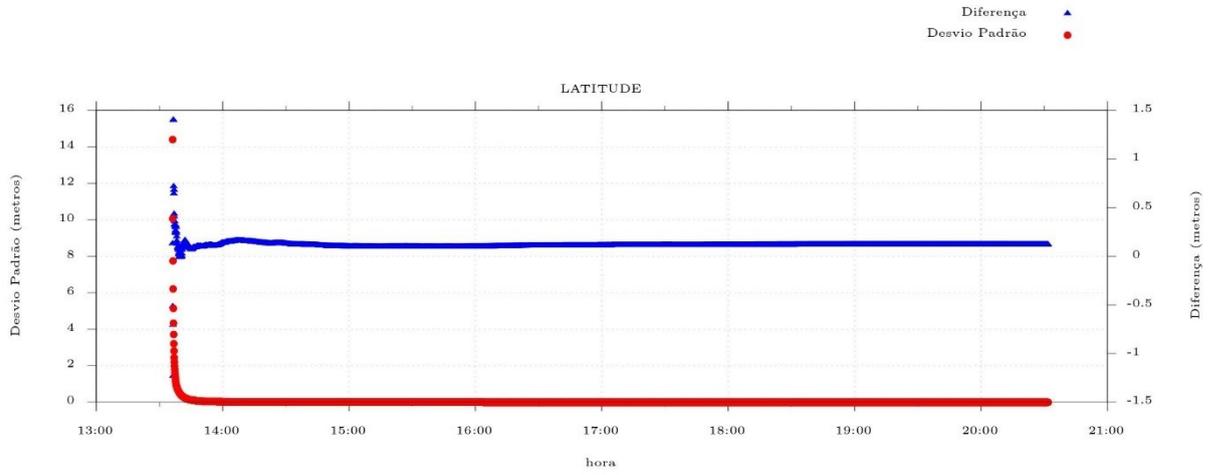
⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: ibge@ibge.gov.br ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCAN)

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori
base1190.21o



RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO TOPCON TOOLS

Project Summary

Project name: Tcc Luane - Processamento.ttpSurveyor: Luane

Comment:

Linear unit: Meters

Projection: UTMSouth-Zone_22 : 54W to 48W

Geoid:

Control Points				
Name	Latitude	Longitude	Elevation (Datum) (m)	Code
Base GNSS	16°30'45,49250"S	49°15'32,64501"W	738,160	



Project

Project name: Tec Luane - Processamento.ttpSurveyor: Luane

Created by: Luane

Comment:

Bechmarks				
Name	Latitude	Longitude	Elevation (Datum) (m)	Code
Base GNSS	16°30'45,49250"S	49°15'32,64501"W	738,160	



Project

Project name: Tec Luane - Processamento.ttpSurveyor: Luane

Created by: Luane

Comment:

Linear unit: Meters

GPS Observations					
Name	dN(m)	dE(m)	dHt(m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
Base GNSS-PcheckP1	-22,027	95,121	6,234	0,001	0,002
Base GNSS-PcheckP2	7,587	-37,705	-3,668	0,004	0,005
Base GNSS-PcheckP3	-116,946	-103,186	-4,733	0,001	0,002
Base GNSS-PcheckP5	-244,816	-244,051	-5,925	0,002	0,003
Base GNSS-PcheckP7	-261,006	36,177	11,651	0,003	0,004
Base GNSS-PControleP1	-124,792	105,983	10,640	0,001	0,001
Base GNSS-PcontroleP2	11,937	158,647	8,849	0,006	0,010
Base 2GNSS-PcontroleP3	71,331	60,748	1,328	0,002	0,004
Base GNSS-PcontroleP4	138,282	-32,299	-9,755	0,002	0,003
Base GNSS-PcontroleP5	37,422	-185,648	-14,331	0,005	0,008
Base GNSS-PcontroleP6	-77,534	-120,941	-11,068	0,006	0,008
Base 6GNSS-PcontroleP7	-162,928	-205,469	-10,378	0,003	0,004
Base GNSS-PcontroleP8	-319,253	-246,476	-2,552	0,029	0,005
Base GNSS-PcontroleP9	-313,942	-2,074	11,326	0,009	0,012
Base GNSS-PControleP10	-277,576	-64,263	6,245	0,009	0,015
Base GNSS-PControleP11	-186,754	-90,112	0,608	0,001	0,003
Base GNSS-PControleP12	-175,472	88,751	11,885	0,001	0,002
Base GNSS-PControleP13	-116,253	-23,174	2,397	0,003	0,005



Project Summary

Project name: Tcc Luane - Processamento.ttp Surveyor: Luane

Surveyor: Luane

Comment:

Linear unit: Meters

Projection: UTM South-Zone_22 : 54W to 48W

Geoid:

Points				
Name	Latitude	Longitude	Elevation (Datum) (m)	Code
Base GNSS	16°30'45,49250"S	49°15'32,64501"W	738,160	
PCheckP1	16°30'46,18226"S	49°15'29,43117"W	744,394	
PCheckP2	16°30'45,25629"S	49°15'33,91859"W	734,492	
PCheckP3	16°30'49,32559"S	49°15'36,09030"W	733,427	
PCheckP5	16°30'53,52460"S	49°15'40,80300"W	732,235	
PCheckP7	16°30'53,97253"S	49°15'31,34910"W	749,811	
PControleP1	16°30'49,52203"S	49°15'29,03496"W	748,800	
PControleP2	16°30'45,05962"S	49°15'27,29904"W	747,009	
PControleP3	16°30'43,15512"S	49°15'30,61742"W	739,488	
PControleP4	16°30'41,00341"S	49°15'33,77437"W	728,405	
PControleP5	16°30'44,32733"S	49°15'38,91579"W	723,829	
PControleP6	16°30'48,04856"S	49°15'36,70046"W	727,092	
PControleP7	16°30'50,85006"S	49°15'39,52586"W	727,782	
PControleP8	16°30'55,94664"S	49°15'40,86311"W	735,608	
PControleP9	16°30'55,70525"S	49°15'32,62350"W	749,486	
PControleP10	16°30'54,53978"S	49°15'34,73108"W	744,405	
PControleP11	16°30'51,59269"S	49°15'35,62915"W	738,768	
PControleP12	16°30'51,17545"S	49°15'29,60125"W	750,045	
PControleP13	16°30'49,28059"S	49°15'33,39256"W	740,557	



Project Summary

Project name: Tcc Luane - Processamento.ttp

Surveyor: Luane

Comment:

Linear unit: Meters

GPS Obs Quality					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
Base GNSS-PCheckP1	-22,027	95,121	6,234	0,001	0,002
Base GNSS-PCheckP2	7,587	-37,705	-3,668	0,004	0,005
Base GNSS-PCheckP3	-116,946	-103,186	-4,733	0,001	0,002
Base GNSS-PCheckP5	-244,816	-244,051	-5,925	0,002	0,003
Base GNSS-PCheckP7	-261,006	36,177	11,651	0,003	0,004
Base GNSS-PControlP1	-124,792	105,983	10,640	0,001	0,001
Base GNSS-PControlP2	11,937	158,647	8,849	0,006	0,010
Base GNSS-PControlP3	71,331	60,748	1,328	0,002	0,004
Base GNSS-PControlP4	138,282	-32,299	-9,755	0,002	0,003
Base GNSS-PControlP5	37,422	-185,648	-14,331	0,005	0,008
Base GNSS-PControlP6	-77,534	-120,941	-11,068	0,006	0,008
Base GNSS-PControlP7	-162,928	-205,469	-10,378	0,003	0,004
Base GNSS-PControlP8	-319,253	-246,476	-2,552	0,029	0,005
Base GNSS-PControlP9	-313,942	-2,074	11,326	0,009	0,012
Base GNSS-PControlP10	-277,576	-64,263	6,245	0,009	0,015
Base GNSS-PControlP11	-186,754	-90,112	0,608	0,001	0,003
Base GNSS-PControlP12	-175,472	88,751	11,885	0,001	0,002
Base GNSS-PControlP13	-116,253	-23,174	2,397	0,003	0,005

Misnamed GPS Occupations			
Point Name	Original Name	Start Time	Nav Distance from Point (m)
PcontrolP8	Base GNSS-PCheckP1	29/04/2021 17:34:55	56,26

Agisoft Metashape

Processing Report

06 May 2021



Survey Data

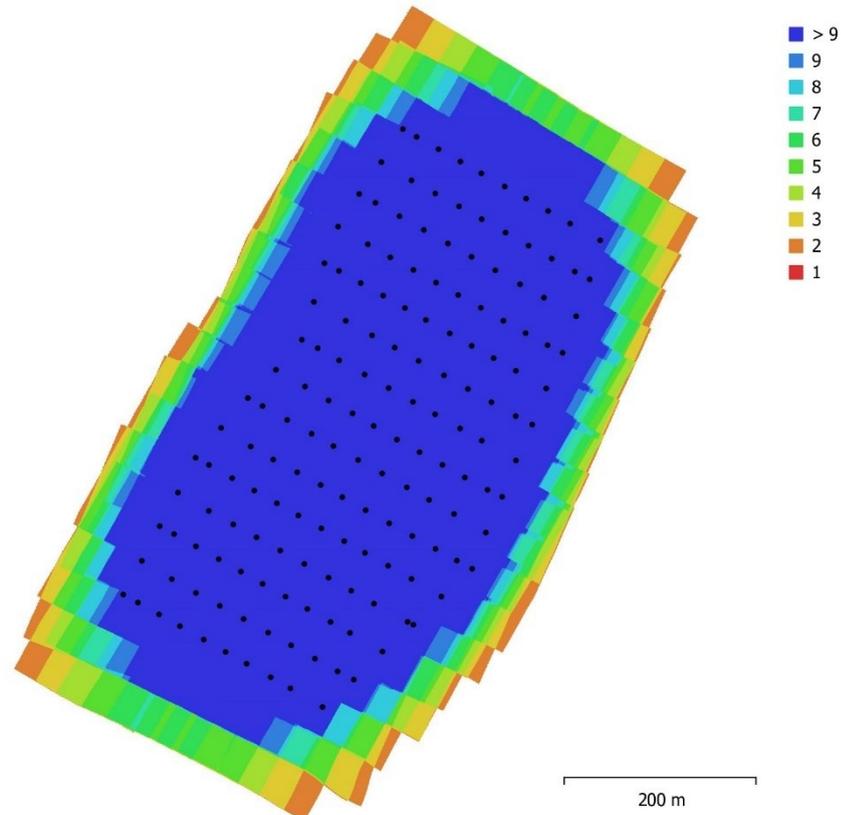


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	160	Camera stations:	160
Flying altitude:	176 m	Tie points:	102,139
Ground resolution:	4.16 cm/pix	Projections:	481,695
Coverage area:	0.333 km ²	Reprojection error:	0.54 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
L1D-20c (10.26mm)	5472 x 3648	28 mm	2.41 x 2.41 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

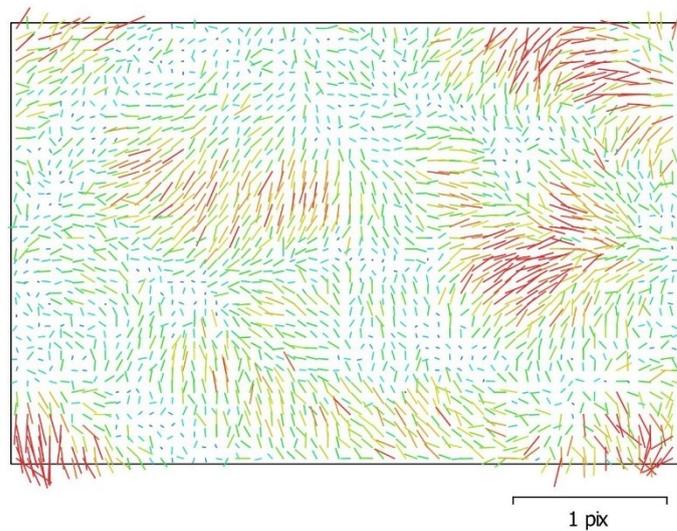


Fig. 2. Image residuals for L1D-20c (10.26mm).

L1D-20c (10.26mm)

160 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	5472 x 3648	28 mm	2.41 x 2.41 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3851.51	3.2	1.00	-0.58	0.54	0.26	0.06	-0.10	0.13	-0.26
Cx	-0.0681256	0.099		1.00	-0.33	-0.16	-0.03	0.05	0.26	0.15
Cy	-36.0747	0.086			1.00	0.15	0.03	-0.05	0.04	0.12
K1	0.0055482	4.7e-05				1.00	-0.89	0.83	-0.01	-0.07
K2	0.00127449	0.00015					1.00	-0.98	0.05	-0.01
K3	-0.00180053	0.00015						1.00	-0.05	0.02
P1	0.000647114	3.2e-06							1.00	-0.05
P2	-0.000918803	2.4e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

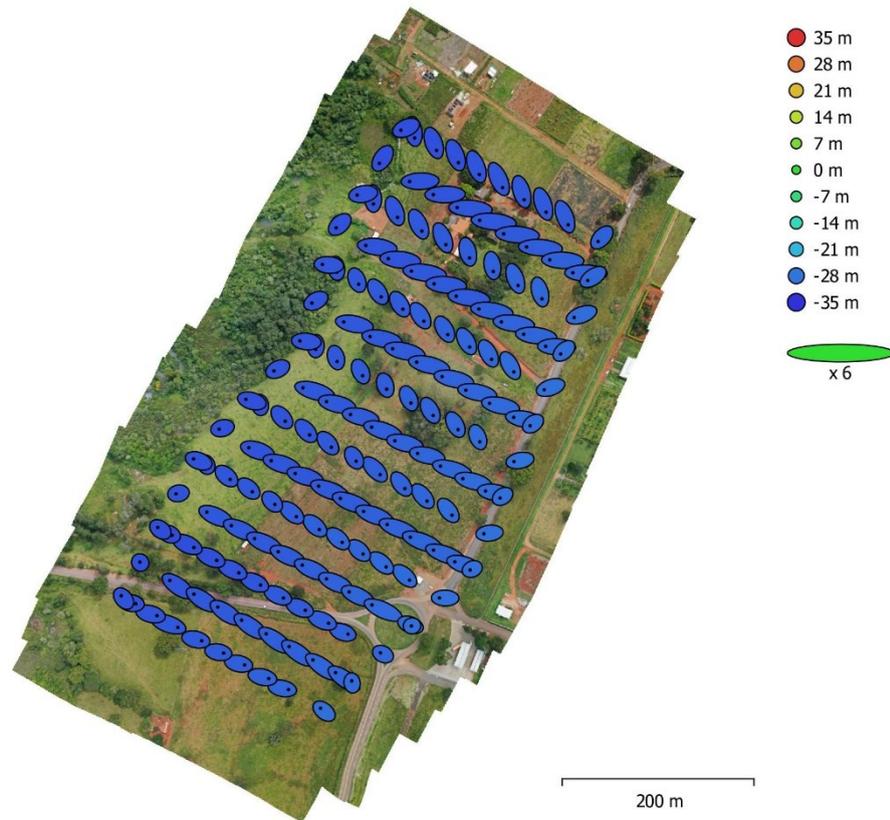


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.60985	1.37931	30.4071	2.95191	30.5501

Table 3. Average camera location error.
X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Ground Control Points

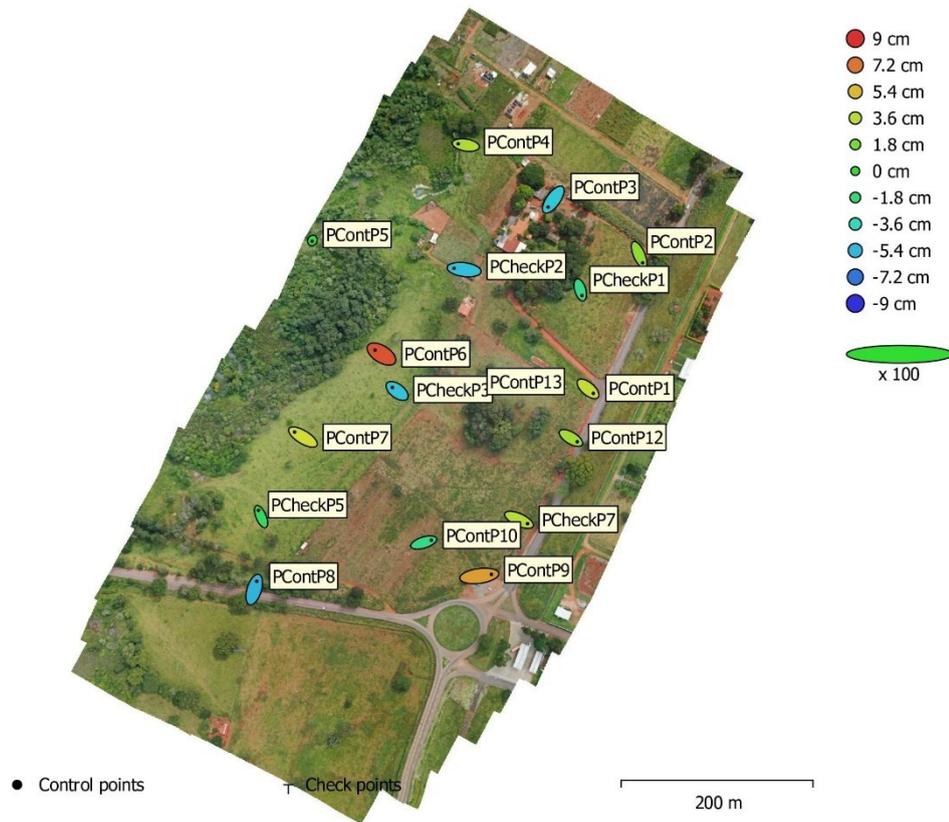


Fig. 4. GCP locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
17	13.342	9.87103	4.59479	16.5966	17.2209

Table 4. Control points RMSE.
 X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
PCheckP2	-21.0262	2.65166	-5.1632	21.8126	3.785 (28)
PContP5	-0.648608	-1.38011	-0.507632	1.60719	1.940 (5)
PContP4	-15.7477	2.51336	3.33321	16.2916	5.364 (15)
PContP3	-10.958	-15.5163	-4.99622	19.6417	3.499 (23)
PContP2	7.35952	-16.7631	2.56016	18.4856	5.264 (16)
PCheckP1	3.61327	-11.9951	-2.26299	12.7302	2.395 (27)
PContP9	25.1734	3.3758	6.15048	26.1328	4.443 (24)
PContP10	15.7739	4.97602	-2.32799	16.7032	2.731 (30)
PContP8	5.34007	17.5629	-5.57262	19.184	3.438 (26)
PCheckP5	-5.55932	13.2777	-1.23077	14.4471	3.111 (22)
PContP7	-17.4061	10.5723	4.26934	20.808	4.106 (23)
PContP6	-13.4814	8.48181	8.12912	17.8822	3.629 (26)
PCheckP3	-9.78218	7.39764	-5.0939	13.2802	2.288 (32)
PContP13	-4.43013	0.243396	-7.7642	8.94249	2.028 (33)
PContP1	10.9443	-9.32747	3.96433	14.9163	3.538 (17)
PContP12	13.0717	-7.91894	3.03423	15.5816	3.527 (18)
PCheckP7	17.7687	-8.14976	3.60022	19.8773	4.403 (18)
Total	13.342	9.87103	4.59479	17.2209	3.528

Table 5. Control points.
X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

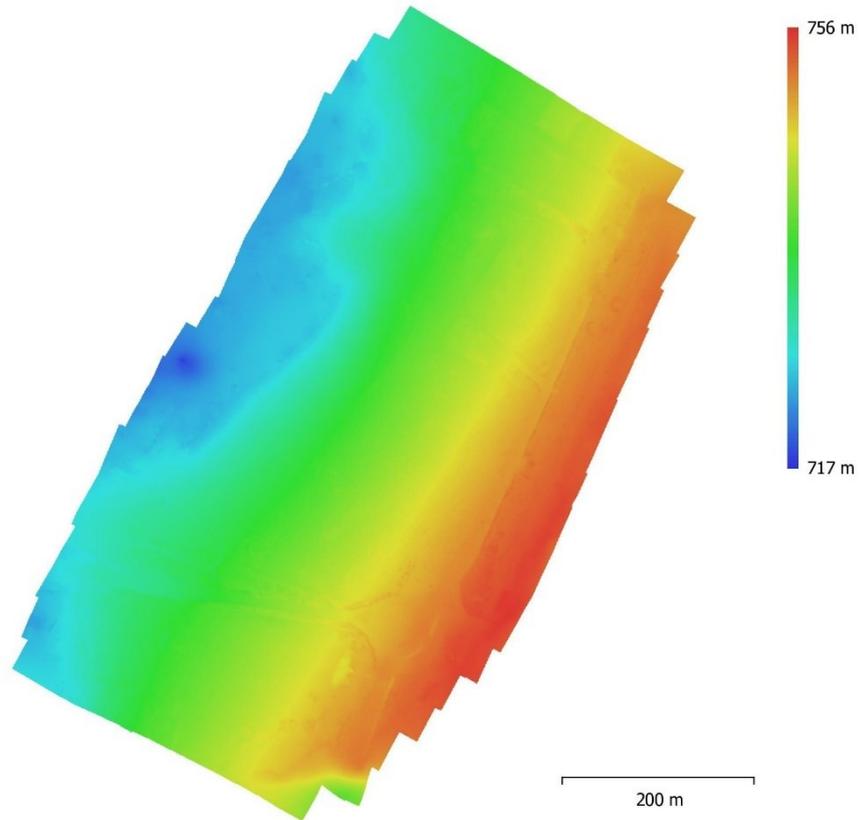


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 8.32 cm/pix
Point density: 144 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	160
Aligned cameras	160
Marcadores	17

Shapes

Polylines	11402
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	102,139 of 130,476
RMS reprojection error	0.299985 (0.539695 pix)
Max reprojection error	0.950018 (33.1291 pix)
Mean key point size	1.72856 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	5.21414

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Highest
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Sim
Guided image matching	Não
Adaptive camera model fitting	Não
Matching time	5 minutes 15 seconds
Matching memory usage	3.76 GB
Alignment time	3 minutes 49 seconds
Alignment memory usage	101.37 MB
Software version	1.7.2.11965
File size	13.11 MB

Mapas de Profundidade

Número	160
--------	-----

Depth maps generation parameters

Qualidade	Elevada
Filtering mode	Aggressive
Tempo de processamento	1 hours 42 minutes
Memory usage	4.72 GB
Software version	1.7.2.11965
File size	1.13 GB

Dense Point Cloud

Pontos	65,472,758
Cores dos pontos	3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Qualidade	Elevada
Filtering mode	Aggressive
Tempo de processamento	1 hours 42 minutes
Memory usage	4.72 GB

Dense cloud generation parameters

Tempo de processamento	1 hours 7 minutes
------------------------	-------------------

Memory usage	5.13 GB
Ground points classification parameters	
Max angle (deg)	1
Max distance (m)	1
Cell size (m)	50
Classification time	3 minutes 5 seconds
Classification memory usage	2.60 GB
Software version	1.7.2.11965
File size	860.73 MB
DEM	
Tamanho	11,813 x 13,720
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Parâmetros de reconstrução	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	41 seconds
Memory usage	310.14 MB
Software version	1.7.2.11965
File size	170.29 MB
Orthomosaic	
Tamanho	17,158 x 20,618
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Colors	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim
Enable ghosting filter	Não
Tempo de processamento	5 minutes 51 seconds
Memory usage	2.28 GB
Software version	1.7.2.11965
File size	3.66 GB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.7.2 build 11965
OS	Windows 64 bit
RAM	7.85 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-8300H CPU @ 2.30GHz
GPU(s)	Intel(R) UHD Graphics 630 NVIDIA GeForce GTX 1050

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO GeoPEC

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO (completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Fazenda Paraíso II
Local: Goiânia - GO
Data: 06/05/2021
Responsável Técnico: Luane

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 "Fazenda Paraíso II", **É ACURADO** para a escala de **1/2000**. 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: 5
RMS das discrepâncias (m): 0,2506

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

O produto "Fazenda Paraíso II", **É ACURADO** para a equidistância vertical de **1 m**. 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 precisão e tendência em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso e Não Tendencioso**.

Pontos de checagem utilizados: 5
RMS das discrepâncias (m): 0,1444

INFORMAÇÕES GERAIS

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

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/2000
Pontos de checagem inseridos: 5

Pontos de checagem utilizados: 5

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
>> Valor limite - detecção: 1,8

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,0477Média(N)= 0,0076Média(ABS)= 0,2421
>> Desv-pad(E)= 0,2195Desv-pad(N)= 0,1656Desv-pad(ABS)= 0,0723
>> RMS(E)= 0,202RMS(N)= 0,1483RMS(ABS)= 0,2506

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
:: Área (m²) = 133000
:: 1ª ordem - R= 1,9708 Zcalc= 4,1527 Ztab= 1,96
Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
:: 2ª ordem - R= 1,762 Zcalc= 4,6946 Ztab= 1,96
Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
:: 3ª ordem - R= 1,7393 Zcalc= 5,6216 Ztab= 1,96
Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
Wcalc(E)= 0,9121Wcalc(N)= 0,932
p-value(E)= 0,4804p-value(N)= 0,6098
Nível de Confiança = 95%
Amostra Normal

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:
PEC= 0,56EP= 0,34
Resultado: Classe A

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
tcalc(E)= -0,4859tcalc(N)= 0,1026ttab= 2,1318
Resultado: Não Tendencioso

>> Estatística Espacial
Média Direcional (Azimute)= 270,6936Variância Circular= 0,7241
Resultado: Não Tendencioso

INFORMAÇÕES GERAIS

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

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1
Pontos de checagem inseridos: 5

Pontos de checagem utilizados: 5

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
>> Valor limite - detecção: 0,9999

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= -0,0983
>> Desv-pad(h)= 0,1181
>> RMS(h)= 0,1444

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
Wcalc(h)= 0,91 p-value(h)= 0,4678
Nível de Confiança = 95%
Amostra Normal

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:
PEC= 0,27 EP= 0,1667
Resultado: Classe A

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
tcalc(h)= -1,8612 ttab= 2,1318
Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

--
ID di(E) di(N) di(ABS) di(H)
10,0008-0,1580,158-0,0539
2-0,2707-0,0020,2707-0,2183
3-0,1510,0990,1806-0,1523
4-0,12250,2370,2668-0,1522
50,3048-0,1380,33460,0851

APÊNDICE

LUANE ARAÚJO LIMA

**CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO EM SERVIÇO DA CÂMARA EMBARCADA NO
MAVIC 2 PRO**



Monte Carmelo – MG

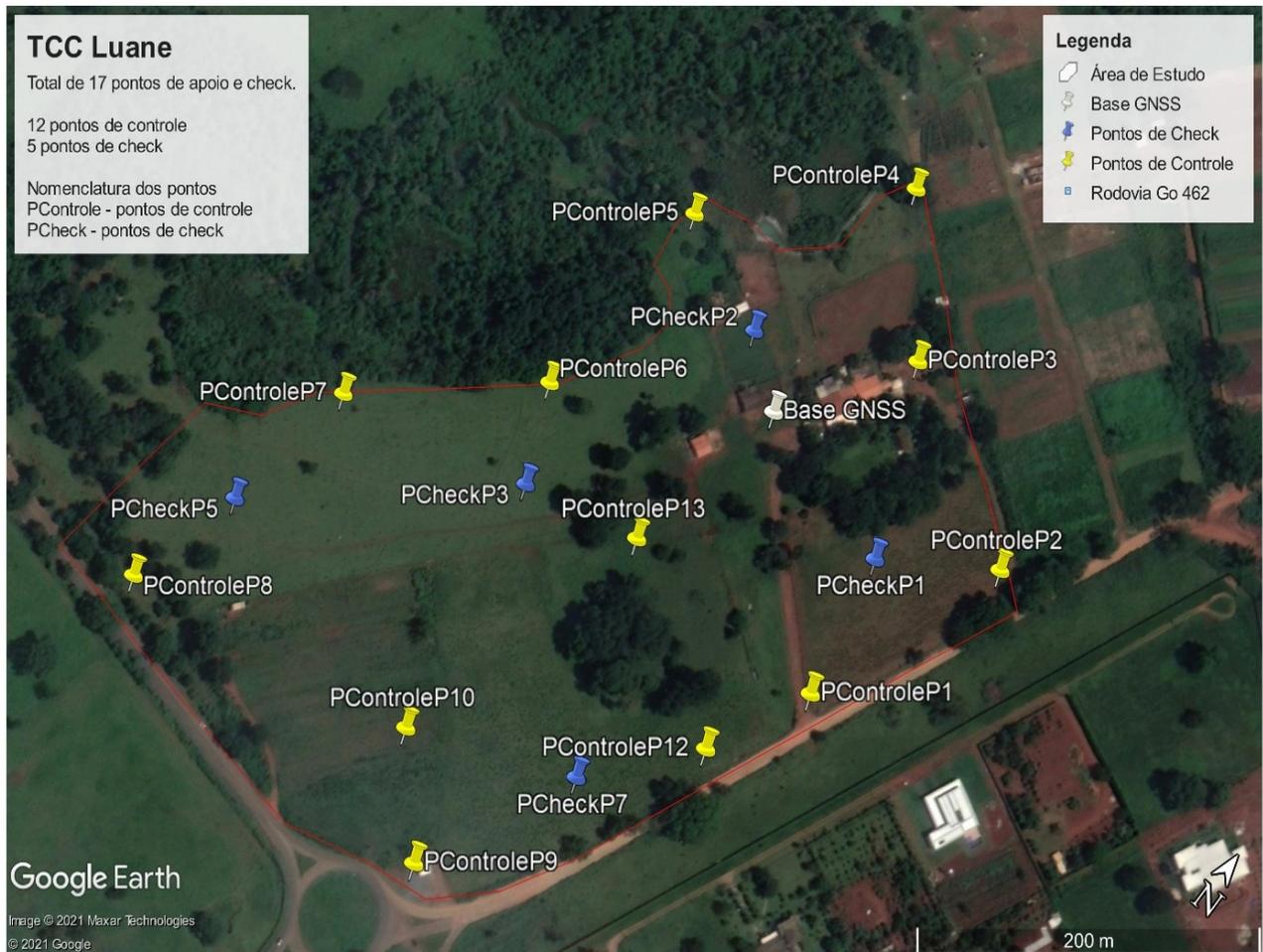
2021

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA CÂMARA DO MAVIC 2 PRO

1) Área de estudo

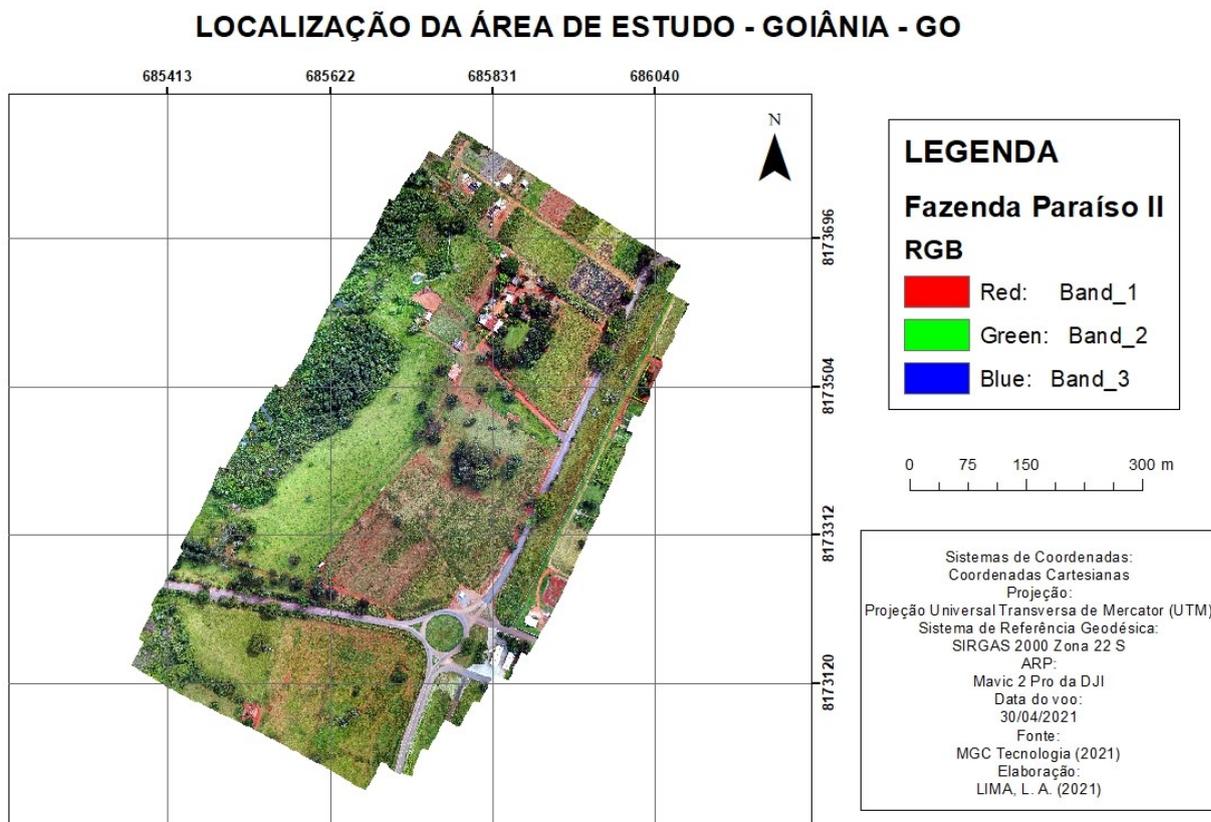
A área de estudo está localizada na Fazenda Paraíso II, próxima do posto Tassara Paraíso Tropical, com área rural de 13,3 hectares no Setor Sítio Recreio Paraíso Tropical, localizada na rodovia GO-462 que se inicia na cidade de Goiânia a Santo Antônio de Goiás, sendo a 21 quilômetros do Setor Central da cidade de Goiânia, no estado de Goiás no qual encontra-se na mesorregião do Centro Goiano.

Figura 1 – Representação da área de estudo.



Fonte: Google Earth (2021).

Figura 2 – Ortofoto da área de estudo.



Fonte: A autora (2021).

2) Materiais utilizados

- a. Mavic 2 Pro da DJI.
- b. Câmara *Hasselblad* RGB LD1-20c.
- c. Software *PIX4D Capture* (Plano e execução do voo) sendo disponibilizado pela empresa MGC Tecnologia LTDA.
- d. Software *Agisoft Metashape* (Processamento das imagens e calibração da câmara) sendo disponibilizado pela empresa MGC Tecnologia LTDA.

3) Metodologia

Segundo Mazon, Zacchi e Martins (2011) na calibração da câmara são utilizados alguns parâmetros característicos para que ocorra a reconstrução do feixe perspectivo gerador da imagem, são eles:

- O ponto principal (xo, yo);

- A distância focal (f);
- Os coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica ($K1, K2, K3$) – é a refração ocasionada por um raio de luz ao atravessar a lente, isso gerando uma distorção.
- Os coeficientes de distorção descentrada ($P1, P2$) – é o impedimento do fabricante em alinhar de maneira correta e precisa os eixos ópticos das lentes de uma objetiva, isso ocasiona um desvio na imagem, sendo constituída por componentes tangenciais e radiais simétricas.

Segundo Brito & Coelho Filho (2007) as equações de colinearidade são expressadas matematicamente, pelas fórmulas dadas: na Equação 1, serão determinadas as coordenadas x de um ponto na imagem e Equação 2, serão determinadas as coordenadas y de um ponto na imagem.

Equação 1 - Determinação das coordenadas x de um ponto na imagem.

$$\xi = \xi_0 + c \cdot \frac{r_{11}(X-X_0)+r_{21}(Y-Y_0)+r_{31}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (1)$$

Equação 2 - Determinação das coordenadas y de um ponto na imagem.

$$\eta = \eta_0 - c \cdot \frac{r_{12}(X-X_0)+r_{22}(Y-Y_0)+r_{32}(Z-Z_0)}{r_{13}(X-X_0)+r_{23}(Y-Y_0)+r_{33}(Z-Z_0)} \quad (2)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- ξ - é a coordenada x de um ponto na imagem;
- ξ_0 - é a coordenada x do centro de perspectiva da câmara na imagem;
- c - valor da distância focal com sinal trocado;
- r_{ij} - elementos da matriz de rotação R ;
- (X, Y, Z) - coordenadas do espaço-imagem;
- (X_0, Y_0, Z_0) - coordenadas do objeto paralelo ao sistema-imagem;
- η - é coordenada y de um ponto na imagem;
- η_0 - é coordenada y do centro de perspectiva da câmara da imagem.

Na matriz de rotação R do espaço-imagem para o espaço-objeto, tem-se na Equação 3, a determinação da matriz de rotação do elemento R . Nas quais os elementos das matrizes são representados pelas letras gregas, sendo elas:

$$\circ \xi - Csi$$

- η – *Eta*.
- ϕ – *Fi*.
- κ – *Capa*.
- ω – *Ômega*

A matriz de rotação R, do espaço-imagem para o espaço-objeto, são representados na Equação 3, por meio da determinação da matriz de rotação R.

Equação 3 - Determinação da matriz de rotação R.

$$R = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cdot \cos \kappa & -\cos \varphi \cdot \sin \kappa & \sin \varphi \\ \cos \omega \cdot \sin \kappa + \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa & \cos \omega \cdot \cos \kappa - \sin \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa & -\sin \omega \cdot \cos \kappa \\ \sin \omega \cdot \sin \kappa - \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \cos \kappa & \sin \omega \cdot \cos \kappa - \cos \omega \cdot \sin \phi \cdot \sin \kappa & \cos \omega \cdot \cos \phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dessa maneira por meio da Equação 4, são dispostos os elementos na posição r_{ij} da matriz de rotação R. Eles possuem essa notação devido ao r_{ij} , sendo representado, i para o elemento da linha e j para a coluna.

Equação 4 - Elementos da matriz de rotação R.

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Portanto, as equações de colinearidade é um modelo matemático que pode ser usado para diversas aplicações, sendo uma delas a calibração de câmaras.

No modelo (BROWN, 1971) são usados parâmetros para calibração de câmaras em Fotogrametria, desta maneira o Software *Metashape* emprega o uso dessa metodologia.

No software *Metashape*, um par de coordenadas fotográficas (x, y), são resultantes das equações de colinearidade, com os parâmetros de orientação externa, as coordenadas imagem corrigidas (x', y'), sendo estabelecido por meio das seguintes equações (*Metashape*, 2019).

Para as coordenadas da imagem corrigidas, têm-se a seguintes equações (5) e (6) para x'. Na Equação 5, serão determinadas as coordenadas da imagem corrigidas para x' e Equação 6, serão determinadas as coordenadas da imagem corrigidas para y':

Equação 5 – Coordenadas da imagem corrigidas para x'.

$$x' = x (1 + K1r^2 + K2r^4 + K3r^6) + (P1(r^2 + 2x^2) + 2P2xy) \quad (5)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Coordenadas imagem corrigidas (x');
- Coordenada fotográfica (x);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K1);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^2);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K2);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^4);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K3);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^6);
- Parâmetros da distorção tangencial (P1);
- Parâmetros da distorção tangencial (P2);
- Coordenadas fotográficas (x,y).
-

Equação 6 – Coordenadas da imagem corrigidas para y'.

$$y' = y (1 + K1r^2 + K2r^4 + K3r^6) + (P2(r^2 + 2y^2) + 2P1xy) \quad (6)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Coordenadas imagem corrigidas (y');
- Coordenada fotográfica (y);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K1);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^2);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K2);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^4);
- Coeficientes do polinômio da distorção radial simétrica (K3);
- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r^6);
- Parâmetros da distorção tangencial (P2);
- Parâmetros da distorção tangencial (P1);
- Coordenadas fotográficas (x,y).

Para o cálculo das coordenadas para as imagens (u,v), na Equação 7 será determinado o raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal.

Equação 7 – Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal.

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (7)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Raio do ponto da imagem em relação ao ponto principal (r);
- Coordenadas fotográficas (x,y).

Para a determinação das coordenadas para as imagens (u, v), têm-se nas equações (8) e (9): na Equação 8, determinação da coordenada para a imagem (u) e na Equação 9, determinação da coordenada para a imagem (v).

Equação 8 – Determinação da coordenada para a imagem (u).

$$u = \frac{N}{2} + Cx + x'f + x'b1 + y'b2 \quad (8)$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Sistema de coordenadas da imagem (u,v);
- Imagem M (Peso – W) por N (Altura – H) em pixels;
- Posição do ponto principal em relação ao centro de imagem (Cx);
- Coordenada imagem corrigida (x');
- Distância focal (f);
- Coeficiente de transformação de afinidade e inclinação (não ortogonalidade) (b1);
- Coordenada imagem corrigida (y');
- Coeficiente de transformação de afinidade e inclinação (não ortogonalidade) (b2).
-

Equação 9 – Determinação da coordenada para a imagem (v).

$$v = \frac{M}{2} + Cy + y'f$$

Onde, as variáveis, são dadas por:

- Sistema de coordenadas da imagem (u,v);
- Imagem M (Peso – W) por N (Altura – H) em pixels;
- Posição do ponto principal em relação ao centro de imagem (Cy);
- Coordenadas imagem corrigidas (y’);
- Distância Focal (f).

Portanto, por meio dessas equações poderão ser calculados os parâmetros exigidos para a calibração de câmaras em serviço da ARP.

4) Validação e Verificação quanto ao PEC do PCD

A PEC definido pelo Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 é um indicador estatístico que se utilizou validação dos 5 pontos de check levantados com o receptor GNSS Hiper SR no software GeoPEC com a finalidade de análise e classificação da qualidade do produto cartográfico gerado, poderão ser: PEC-PCD Classe A, Classe B e Classe C.

Na classificação do PEC utilizou as coordenadas tomadas na imagem (x,y,z testados) e as coordenadas (x,y,z referência) dos 5 pontos de check levantados com o receptor GNSS. Para a entrada dos dados no GeoPEC adicionou-se no seguinte formato: Identificação do ponto (ID), Descrição do ponto (Descricao), x testado na imagem (xtest), y testado na imagem (ytest), z testado na imagem (ztest), x de referência na imagem (xref), y de referência na imagem (yref) e z de referência na imagem (zref).

Então, realizou a Análise da Acurácia Posicional para a Planimetria, a escala utilizada foi de 1/2000 e a área de 13,3 hectares e calculou estatisticamente a amostra (Figura 3).

Figura 3 – Planimetria - Cálculos estatísticos.

Estatísticas	Este	Norte	Posicional	Ponto	Descrição	Discrep. E(m)	Discrep. N(m)	Discrep. Resultante	Azimute	Excluir?	Outlier
nº pontos	5	5	5	1	PCHECKP1	0,0008	-0,158	0,158	179,7099		Não
média	-0,0477	0,0076	0,2421	2	PCHECKP2	-0,2707	-0,002	0,2707	269,5767		Não
desvio	0,2195	0,1656	0,0723	3	PCHECKP3	-0,151	0,099	0,1806	303,25		Não
variância	0,048	0,027	0,005	4	PCHECKP5	-0,1225	0,237	0,2668	332,6666		Não
RMS	0,202	0,1483	0,2506	5	PCHECKP7	0,3048	-0,138	0,3346	114,3589		Não
máximo	0,3048	0,237	0,3346								
mínimo	-0,2707	-0,158	0,158								
curtose	1,556	1,075	1,014								
assimetria	0,592	0,229	0,001								
soma	0,193	0,110	0,021								
nº outliers	-	-	0								

Fonte: A autora (2021).

Contudo, após a determinação dos parâmetros estatísticos foram feitos os seguintes testes: Estatística Vizinho Mais Próximo (Figura 4), Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk (Figura 5), Teste de Normalidade T-Student (tendência), Média Direcional e Variância Circular (Figura 6),

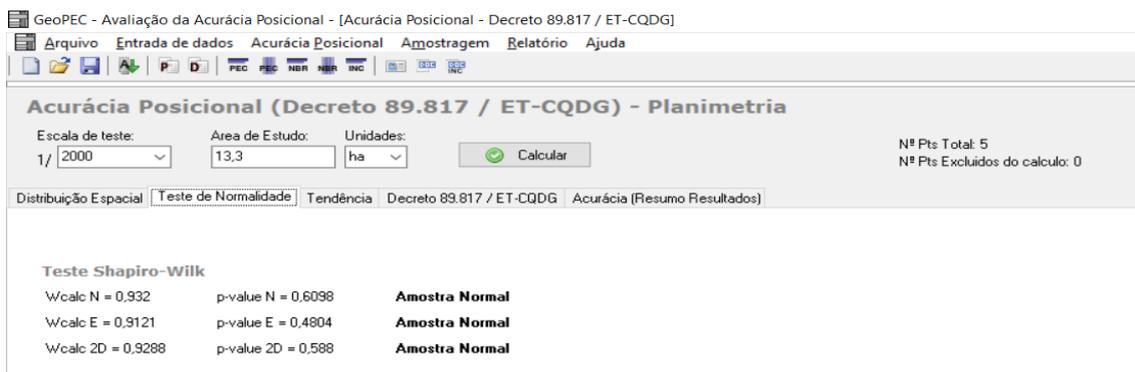
Gráfico das discrepâncias da amostra de acordo com o T-Student (Figura 7), Padrões do Decreto e Classificação (Figura 8) e a Acurácia Final (Figura 9).

Figura 4 – Planimetria - Estatística Vizinho Mais Próximo.



Fonte: A autora (2021).

Figura 5 – Planimetria - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.



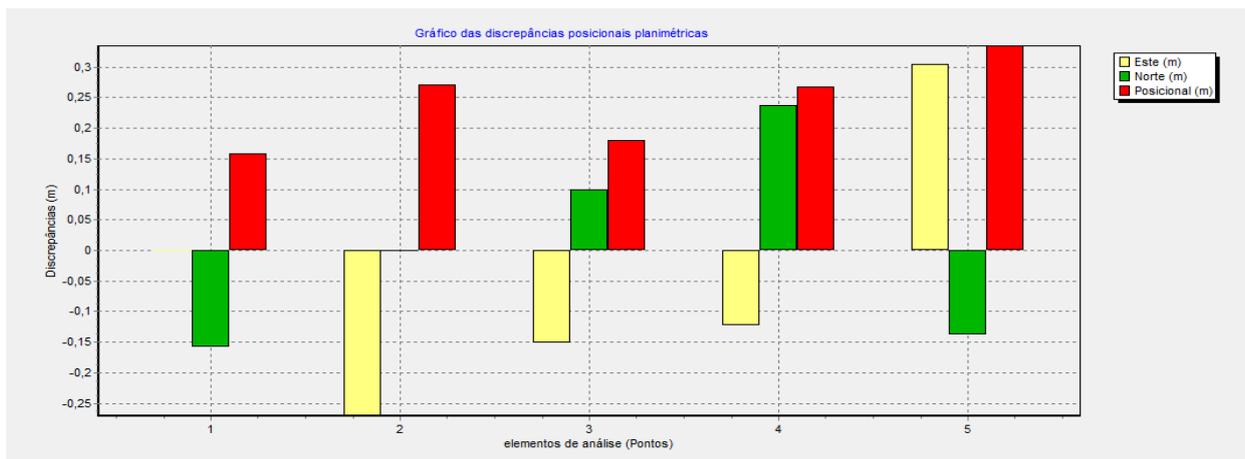
Fonte: A autora (2021).

Figura 6 – Planimetria - Teste de Normalidade T-Student, Média Direcional e Variância Circular.



Fonte: A autora (2021).

Figura 7 – Planimetria - Gráfico das discrepâncias da amostra de acordo com o T-Student.



Fonte: A autora (2021).

Figura 8 – Planimetria - Padrões do Decreto e Classificação.

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Acurácia Posicional - Decreto 89.817 / ET-CQDG]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

Acurácia Posicional (Decreto 89.817 / ET-CQDG) - Planimetria

Escala de teste: 1/2000 Área de Estudo: 13,3 Unidades: ha

Nº Pts Total: 5
Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Distribuição Espacial | Teste de Normalidade | Tendência | Decreto 89.817 / ET-CQDG | Acurácia (Resumo Resultados)

Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
A	A	0,280	0,170	0,56	0,34
A	B	0,500	0,300	1	0,6
B	C	0,800	0,500	1,6	1
C	D	1,000	0,600	2	1,2

Classe	ET-CQDG	%di(E) < PEC	%di(N) < PEC	%di(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
A	A	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: A autora (2021).

Figura 9 – Planimetria - Acurácia Final.

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Acurácia Posicional - Decreto 89.817 / ET-CQDG]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

Acurácia Posicional (Decreto 89.817 / ET-CQDG) - Planimetria

Escala de teste: 1/2000 Área de Estudo: 13,3 Unidades: ha

Nº Pts Total: 5
Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Distribuição Espacial | Teste de Normalidade | Tendência | Decreto 89.817 / ET-CQDG | Acurácia (Resumo Resultados)

Análise da Precisão: Decreto / ET-CQDG: **Classe A**

Análise das tendências: T de Student: **Não Tendencioso**
Média direcional: **Não Tendencioso**
variância circular: **Não há Tendência**

Padrão de Dist. Espacial: Vizinho mais próximo:
1º ordem: **Disperso**
2º ordem: **Disperso**
3º ordem: **Disperso**

ACURÁCIA: **Produto Acurado para a Classe A na escala 1/2000**
[Metodologia Santos et al. (2016)]

Teste de Normalidade: **Amostra Normal**

Fonte: A autora (2021).

Dessa forma, foi feita a Análise da Acurácia Posicional para a Altimetria sendo a

equidistância da curva de nível e 1 (em m) e calculou estatisticamente a amostra (Figura 10).

Figura 10 – Altimetria - Cálculos estatísticos.

Estatísticas	Altitude (m)	Ponto	Descrição	Discrepância H(m)	Excluir?	Outlier
nº pontos	5	1	PCHECKP1	-0,0539		Não
média	-0,0983	2	PCHECKP2	-0,2183		Não
desvio	0,1181	3	PCHECKP3	-0,1523		Não
variância	0,014	4	PCHECKP5	-0,1522		Não
RMS	0,1444	5	PCHECKP7	0,0851		Não
máximo	0,0851					
mínimo	-0,2183					
curtose	1,3365					
assimetria	0,51					
soma	-0,492					
nº outliers	0					

Fonte: A autora (2021).

Assim para os parâmetros estatísticos foram feitos os seguintes testes: Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk Altimetria (Figura 11), Teste de Normalidade T-Student (tendência) (Figura 12), Gráfico das discrepâncias da amostra de acordo com o T-Student (Figura 13), Padrões do Decreto e Classificação (Figura 14) e a Acurácia Final (Figura 15).

Figura 11 - Altimetria - Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Decreto 89.817 / ET-CQDG - Altimetria]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

PEC PEC NBR NBR INC DCE DCE INC

Acurácia Posicional (Decreto 89.817 / ET-CQDG) - Altimetria

Equist. Curva de Nível (m):

Nº Pts Total: 5
Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Teste de Normalidade Tendência Decreto 89.817 (PEC) Acurácia (Resumo Resultados)

Teste Shapiro-Wilk

Wcalc = 0,91
p-value = 0,4678

Resultado: Amostra Normal

Fonte: A autora (2021).

Figura 12 - Altimetria - Teste de Normalidade T-Student (tendência).

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Decreto 89.817 / ET-CQDG - Altimetria]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

Equist. Curva de Nível (m): 1

Nº Pts Total: 5
Nº Pts Excluídos do calculo: 0

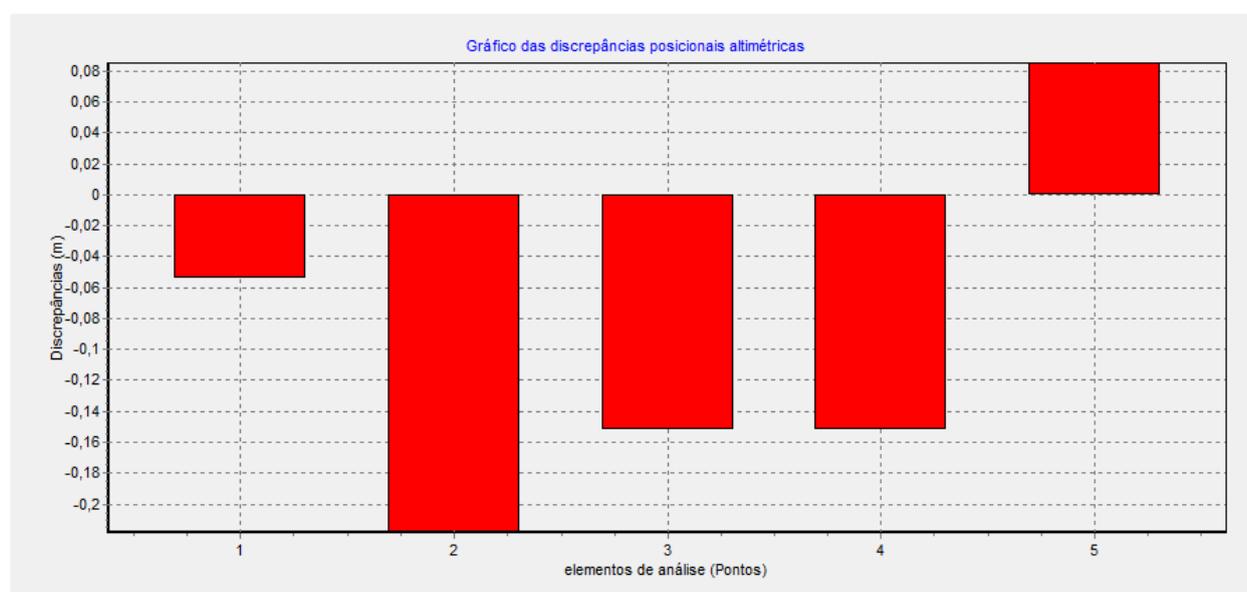
Teste de Normalidade Tendência Decreto 89.817 (PEC) Acurácia (Resumo Resultados)

Teste T de Student

Coord.	t tab	t calc	Resultado
di(H)	2,1318	-1,8612	Sem Tendência

Fonte: A autora (2021).

Figura 13 - Altimetria - Gráfico das discrepâncias de acordo com o T-Student.



Fonte: A autora (2021).

Figura 14 - Padrões do Decreto e Classificação.

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Decreto 89.817 / ET-CQDG - Altimetria]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

Equist. Curva de Nível (m): 1

Nº Pts Total: 5
Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Teste de Normalidade Tendência **Decreto 89.817 (PEC)** Acurácia (Resumo Resultados)

Classe	PEC (mm)	EP (mm)		PEC (m)	EP (m)
A	0,27	1/6		0,27	0,1667
A	B	1/2	1/3	0,5	0,3333
B	C	3/5	2/5	0,6	0,4
C	D	3/4	1/2	0,75	0,5

Classe	ET-CQDG	%d(H) < PEC	RMS < EP	Resultado
A	A	100,000	Passou	Aprovado
A	B	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: A autora (2021).

Figura 15 – Altimetria - Acurácia Final.

GeoPEC - Avaliação da Acurácia Posicional - [Decreto 89.817 / ET-CQDG - Altimetria]

Arquivo Entrada de dados Acurácia Posicional Amostragem Relatório Ajuda

Equist. Curva de Nível (m): 1

Nº Pts Total: 5
Nº Pts Excluídos do cálculo: 0

Teste de Normalidade Tendência **Decreto 89.817 (PEC)** Acurácia (Resumo Resultados)

<p>Análise da Precisão:</p> <p>Decreto 89.817: Classe A</p> <p>Classe A</p>	<p>Análise das tendências</p> <p>Teste de Normalidade: Amostra Normal</p> <p>T de Student: Não Tendencioso</p> <p>Não Tendencioso</p>	<p>ACURÁCIA</p> <p>Produto Acurado para a Classe A na equidistância de 1m.</p> <p>[Metodologia Santos et al. (2016)]</p>
--	---	--

Fonte: A autora (2021).

Dessa forma, o produto gerado com os 5 pontos de verificação e validação para fins de PCD é acurado e não tendencioso, ou seja, ele compreende o padrão de que pelo menos 90% dos erros dos pontos coletados em campo com o receptor Hiper SR sendo um equipamento de alta precisão, tenha valores iguais ou menores sendo estabelecida no Decreto tanto da Planimetria com escala de 1/2000, área de 13,3 hectares de acordo com as especificações da PEC (em m) e o erro padrão (em m) (Tabela 1) e da Altimetria com escala de 1/2000, com as curvas de nível com equidistância de 1 (em m) sendo a PEC (em m) e o erro padrão (em m) (Tabela 2).

Tabela 1 – PEC – PCD (Planimetria).

Planimetria			
Classes PEC	PEC- PCD	Escala 1:2000	
		PEC (m)	EP (m)
-	A	0,56	0,34
A	B	1,00	0,60
B	C	1,60	1,00

Fonte: Adaptado do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

Tabela 2 – PEC – PCD (Altimetria).

Altimetria			
Classes PEC	PEC- PCD	Escala 1:2000 (Eqd = 1m)	
		PEC (m)	EP (m)
-	A	0,50	0,33
A	B	0,60	0,40
B	C	0,75	0,50
C	D	1,00	0,60

Fonte: Adaptado do Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984.

Portanto, no GeoPEC existem mais dois padrões que não foram realizados, são eles de análise dos dados sendo a Inspeção Topográfica da Norma Brasileira 13133 (NBR 13133) que

estabelece como deve ser realizada a execução do levantamento topográfico de maio de 1994 para a planimetria e planimetria de no mínimo 6 pontos para verificação e validação e a Acurácia Posicional Planimétrica para Georreferenciamento do INCRA onde são necessárias 20 amostras.

Tabela 3 - Especificações gerais.

Especificações	
Câmara	<i>Hasselblad</i> RGB
Modelo:	L1D-20C
Fabricante:	DJI (China)
Sensor:	de 1”
Abertura do diafragma:	f /2.8 a f/11
Velocidade do obturador:	8 – 1/8000s
Lentes – focal:	28 mm
Qualidade de captura:	4K, 2,7K e FHD
Resolução:	20 MP
Ângulo da camara:	90°
Formato de fotografia:	JPEG / DNG (RAW)
Local:	Fazenda Paraíso II – Goiânia - GO
Localização geográfica:	Latitude: -16.514001° Longitude: -49.259757°
Metodologia:	Brito & Coelho Filho (2007) Mazon, Zacchi e Martins (2011) Método de BROWN (1971) Santos et. al (2016)
Software utilizado:	Agisoft Metashape 1.72 build 11965 (64 bit)
Licença:	Disponibilizada pela Empresa MGC Tecnologia LTDA – Goiânia (GO)
Data do levantamento GNSS:	29/06/2021
Receptor GNSS usado:	Hiper SR da Topcon.
Quantidade de Pontos de Controle:	12
Quantidade de Pontos de Check:	5
Altura do voo:	171 m
GSD:	4 cm

Data do voo e horário:	30/06/2021 - 10:41 AM
Sobreposição longitudinal:	80%
Sobreposição lateral:	80%
Tempo de duração do voo:	17 min 51 s
Validação do Produto Cartográfico Digital (PCD):	Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 Estabelecidos os critérios para classificação das cartas quanto à sua exatidão
Software de validação:	GeoPEC
Licença:	Software de livre acesso disponibilizado pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) criado por Santos et. al (2016)
Classificação da Planimetria: Decreto nº 89.817 – ET-CDQG	Classe A
Classificação da Altimetria: Decreto nº 89.817 – ET-CDQG	Classe A
Data da calibração:	06/05/2021
Finalidade da calibração:	Trabalho científico - Trabalho de conclusão de curso para o título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica pela UFU (Universidade Federal de Uberlândia).
Calibrado por:	Graduanda em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica (UFU).

Fonte: A autora (2021).