



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

AGOSTINHO PRADO ALVES JUNIOR

**NORMAS INTERNACIONAIS E PADRÕES NACIONAIS:
UM ESTUDO SOBRE PONTOS DE APOIO E EXATIDÃO EM
PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS (PEC-PCD) NA
ESCALA 1:1000**

Londrina
2025

AGOSTINHO PRADO ALVES JUNIOR

**NORMAS INTERNACIONAIS E PADRÕES NACIONAIS:
UM ESTUDO SOBRE PONTOS DE APOIO E EXATIDÃO EM
PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS (PEC-PCD) NA
ESCALA 1:1000**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Geografia da Universidade Estadual de Londrina,
para obtenção do Título de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Nardini Gomes.

Londrina
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A275n Alves Junior, Agostinho Prado.

Normas internacionais e padrões nacionais: um estudo sobre pontos de apoio e exatidão em produtos cartográficos digitais (PEC-PCD) na escala 1:1000 / Agostinho Prado Alves Junior. - Londrina, 2025.
138 f. : il.

Orientador: Luciano Nardini Gomes.

Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2025.
Inclui bibliografia.

1. Pontos de Apoio - Tese. 2. Cartografia Digital - Tese. 3. Exatidão Cartográfica - Tese. 4. Normas Cartográficas - Tese. I. Nardini Gomes, Luciano. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

AGOSTINHO PRADO ALVES JUNIOR

**NORMAS INTERNACIONAIS E PADRÕES NACIONAIS:
UM ESTUDO SOBRE PONTOS DE APOIO E EXATIDÃO EM
PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS (PEC-PCD) NA
ESCALA 1:1000**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação
em Geografia da Universidade Estadual de
Londrina, para obtenção do Título de Doutor em
Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Luciano Nardini Gomes
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof.^a Dr.^a Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Universidade Estadual Paulista “Júlio de
Mesquita Filho” – UNESP/FCAV

Prof. Dr. Vinícius Vasconcelos
Universidade de Brasília - UnB

Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR, “Campus Londrina”

Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 27 de fevereiro de 2025.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Em primeiro lugar, à minha mãe e ao meu pai, pelos ensinamentos, valores e pelo alicerce que construíram em mim, formando a pessoa que sou hoje.

Ao Thiago Rodrigo Brunassi, pelo amor, apoio constante e companheirismo em todos os momentos da minha jornada.

Aos meus queridos amigos, que se tornaram uma segunda família.

À Mirian, pela escuta atenta e pelo apoio fundamental no meu processo de autoconhecimento e crescimento pessoal.

Ao professor Luciano Nardini Gomes, meu orientador, pela dedicação, generosidade, paciência e por acreditar no meu potencial ao longo deste caminho. Sou imensamente grato pelos ensinamentos, pela orientação e contribuição pessoal e profissional que tive o privilégio de receber.

Aos membros da banca examinadora, pela disponibilidade, atenção e pelas valiosas contribuições que enriqueceram este trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, pelos conhecimentos compartilhados e pela estrutura oferecida. Um agradecimento especial aos excelentes professores que compõem este programa e que tanto inspiram seus alunos.

À CAPES, pelo apoio financeiro que viabilizou a realização desta pesquisa.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a concretização deste trabalho.

Muito obrigado!

“O mapa não é apenas uma representação do mundo, mas um instrumento de controle. Quem domina o espaço, domina o poder.” (Yves Lacoste)

ALVES JUNIOR, A. P. **Normas internacionais e padrões nacionais: um estudo sobre pontos de apoio e exatidão em produtos cartográficos digitais (PEC-PCD) na escala 1:1000.** 2025. 138 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2025.

RESUMO

Este estudo investigou a aplicação de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) na geração de produtos cartográficos de alta precisão, através de dois artigos com objetivos complementares. Partiu-se da hipótese de que a densidade de Pontos de Controle (PC) influencia diretamente a acurácia posicional e que RPA de baixo custo são viáveis para aplicações que demandam rigor normativo, como o georreferenciamento. O Artigo 1 analisou a influência da densidade de PCs (20, 16, 12, 8 e 5) na qualidade de ortomosaicos gerados com a RPA *DJI Mavic 2 Pro*, utilizando metodologia que integrou GNSS RTK, processamento no *software Agisoft Metashape* e análise estatística de acurácia com o GeoPEC, conforme as normativas ASPRS (2014) e PEC-PCD, segundo a ET-CQDG da DSG. Os resultados validaram a hipótese, demonstrando uma relação diretamente proporcional e estabelecendo 8 PCs como o limite mínimo para manter a Classe A do PEC-PCD e Classe I da ASPRS na escala 1:1.000, enquanto a configuração com 5 PCs resultou na redução significativa da qualidade. O Artigo 2 testou a viabilidade do RPA *DJI Mavic Mini 2* para georreferenciamento de imóveis rurais conforme o Manual para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA (2022), partindo da hipótese de sua adequação técnica. A metodologia empregou 8 PCs e 20 Pontos de Verificação com GNSS RTK e processamento no *Agisoft Metashape*. Os resultados comprovaram a hipótese, atestando que o ortomosaico gerado atendeu integralmente aos rigorosos critérios do INCRA para a Classe A, inclusive para os limites de tolerância de limites artificiais ($\leq 0,50$ m), naturais ($\leq 3,00$ m) e inacessíveis ($\leq 7,50$ m). Conclui-se que o estudo valida metodologias sólidas para controle de qualidade cartográfico e consolida o uso de tecnologias acessíveis para aplicações de precisão no mapeamento territorial e regularização fundiária.

Palavras-chave: Pontos de Apoio 1; Cartografia Digital 2; Exatidão Cartográfica 3; Normas Cartográficas 4; Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) 5.

ALVES JUNIOR, A. P. **Comparative analysis between international standards and national guidelines: a international standards and national standards: a study on control points and accuracy in digital cartographic products (PEC-PCD) at the 1:1000 scale.** 2025. 138 p. Thesis (Ph.D. in Geography) - State University of Londrina, Londrina, 2025.

ABSTRACT

This study investigated the application of Remotely Piloted Aircraft (RPA) in generating high-precision cartographic products through two articles with complementary objectives. It started from the hypothesis that the density of Ground Control Points (GCPs) directly influences positional accuracy and that low-cost RPAs are viable for applications requiring regulatory rigor, such as land demarcation. Article 1 analyzed the influence of GCP density (20, 16, 12, 8, and 5) on the quality of orthomosaics generated with the DJI Mavic 2 Pro RPA, using a methodology that integrated GNSS RTK, processing in Agisoft Metashape software, and accuracy statistical analysis with GeoPEC, according to the ASPRS (2014) standards and the PEC-PCD, as per the DSG's ET-CQDG. The results validated the hypothesis, demonstrating a directly proportional relationship and establishing 8 GCPs as the minimum threshold to maintain PEC-PCD Class A and ASPRS Class I at the 1:1,000 scale, while the configuration with 5 GCPs resulted in a significant reduction in quality. Article 2 tested the feasibility of the DJI Mavic Mini 2 RPA for rural land demarcation in accordance with the INCRA Manual for Land Demarcation of Rural Properties (2022), based on the hypothesis of its technical suitability. The methodology employed 8 GCPs and 20 Check Points with GNSS RTK and processing in Agisoft Metashape. The results confirmed the hypothesis, certifying that the generated orthomosaic fully complied with the rigorous INCRA criteria for Class A, including tolerance limits for artificial (≤ 0.50 m), natural (≤ 3.00 m), and inaccessible (≤ 7.50 m) boundaries. It is concluded that the study validates solid methodologies for cartographic quality control and consolidates the use of accessible technologies for precision applications in territorial mapping and land regularization.

Key-words: Ground Control Points 1; Digital Cartography 2; Cartographic Accuracy 3; Cartographic Standards 4; Remotely Piloted Aircraft (RPA) 5.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Superposição entre as fotografias.....	29
Figura 2 -	Relação entre os valores de EP (Planimetria) e Escala.....	36
Figura 3 -	Ilustração demonstrando os parâmetros utilizados para cálculo do GSD	42
Figura 4 -	RTK Convencional	47
Figura 5 -	Mapa de localização da área de estudo	55
Figura 6 -	Fluxo metodológico de trabalho	56
Figura 7 -	Áreas propícias para coleta de pontos de apoio após dividir a área em células de 40x40m	57
Figura 8 -	Distribuição dos 20 pontos de verificação em campo conforme a norma ASPRS após dividir a área em células de 100x100m	58
Figura 9 -	Equipamento utilizado no georreferenciamento dos pontos de apoio	59
Figura 10 -	Pontos de apoio georreferenciados.....	59
Figura 11 -	Interface <i>Drone Deploy</i> e Plano de Voo	60
Figura 12 -	Distribuição dos 40 pontos de apoio em campo em célula de 100 x 100 m	65
Figura 13 -	Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 1 e na análise da acurácia posicional das ortofotos	66
Figura 14 -	Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 2 e na análise da acurácia posicional das ortofotos	67
Figura 15 -	Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 3 e na análise da acurácia posicional das ortofotos	67
Figura 16 -	Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 4 e na análise da acurácia posicional das ortofotos	68
Figura 17 -	Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 5 e na análise da acurácia posicional das ortofotos	68
Figura 18 -	Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 1	73
Figura 19 -	Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 2	73
Figura 20 -	Figura 20 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 3.....	74

Figura 21 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 4	74
Figura 22 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 5	75
Figura 23 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 1	79
Figura 24 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 2	79
Figura 25 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 3	80
Figura 26 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 4	80
Figura 27 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 5	81
Figura 28 - Mapa de localização da área de estudo	95
Figura 29 - Fluxo metodológico de trabalho	96
Figura 30 - Áreas propicias para coleta de pontos de apoio após dividir a área em células de 40x40m	98
Figura 31 - Distribuição dos 20 pontos de verificação em campo conforme a norma INCRA após dividir a área em células de 100x100m	99
Figura 32 - Interface <i>Drone Harmony</i> e Plano de Voo	101
Figura 33 - Fluxo de processamento dos dados provenientes do RPA, baseado na metodologia apresentada	102
Figura 34 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétricas	108
Figura 35 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétricas	110

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional de acordo com Decreto nº 89.817/ ET-CQDG	35
Tabela 2 -	Acurácia horizontal segundo ASPRS 2014	39
Tabela 3 -	Acurácia altimétrica para modelos de elevação digital ASPRS 2014	39
Tabela 4 -	Pontos de verificação recomendados com base na área - ASPRS 2014.....	40
Tabela 5 -	Quadro extraído da ET-ADGV com os valores de PEC e EP para produtos cartográficos digitais	43
Tabela 6 -	Dados extraídos do <i>Metashape</i> para entrada no <i>software</i> GeoPEC.....	62
Tabela 7 -	Totalização de pontos utilizados na geração dos ortomosaicos.....	66
Tabela 8 -	Avaliação do método vizinho mais próximo	71
Tabela 9 -	Avaliação de normalidade- Processamento 1	76
Tabela 10 -	Teste <i>T</i> de <i>Student</i> aplicado nas amostras dos ortomosaicos.....	77
Tabela 11 -	Precisão de Posicionamento Planimétrico dos Ortomosaicos - Conformidade com Decreto-lei 89.817 - Classe A.....	78
Tabela 12 -	Precisão de Posicionamento Altimétrico dos Ortomosaicos - Conformidade com Decreto-lei 89.817 - Categoria A.....	82
Tabela 13 -	Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 1	83
Tabela 14 -	Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 2	83
Tabela 15 -	Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 3	84
Tabela 16 -	Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 4	84
Tabela 17 -	Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 5	85
Tabela 18 -	Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 1	86
Tabela 19 -	Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 2.....	86
Tabela 20 -	Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 3.....	87
Tabela 21 -	Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 4.....	87
Tabela 22 -	Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 5.....	87
Tabela 23 -	Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente	

	ao ortomosaico 1	88
Tabela 24 -	Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 2	88
Tabela 25 -	Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 3	88
Tabela 26 -	Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 4	88
Tabela 27 -	Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 5	89
Tabela 28 -	Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 1	89
Tabela 29 -	Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 2	90
Tabela 30 -	Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 3	90
Tabela 31 -	Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 4	90
Tabela 32 -	Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 5	90
Tabela 33 -	Dados extraídos do <i>Metashape</i> para entrada no <i>software</i> GeoPEC.....	103
Tabela 34 -	Precisão de Posicionamento Planimétrico - Conformidade com Decreto-lei 89.817 - Categoria A na Escala 1/1.000 e conforme o INCRA	105
Tabela 35 -	Precisão de Posicionamento Altimétrico - Conformidade com Decreto- lei 89.817 - Classe A e INCRA.....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ASPRS	<i>American Society of Photogrammetry</i> - Sociedade Americana de Fotogrametria
CCD	<i>Charge Coupled Device</i> - Dispositivo de Carga Acoplada
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
EP	Erro Padrão
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> - Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
GSD	<i>Ground Sample Distance</i> - Distância da Amostra do Solo
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i> - Unidade de Medição Inercial
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i> - Detecção e Variação de Luz
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
PC	Ponto de Controle
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica – Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Digitais
PV	Ponto de Verificação
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i> - Aeronave Remotamente Pilotada
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> - Cinemático em Tempo Real
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
TIN	<i>Triangulated Irregular Network</i> - Grade Irregular Triangular
UTM	Universal Transverso de Mercator
ET-CQDG	Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais

ET-ADGV	Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> – Erro Quadrático Médio
EMQ	Erro Quadrático Médio
DP	Desvio Padrão
VVA	Vertical em Ambiente Vegetado
NVA	Vertical em Ambiente Não Vegetado
LQA	<i>Acceptance Quality Limit</i> - Limite de Qualidade Aceitável
QL	<i>Limiting Quality</i> - Qualidade Limite
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i> - Organização Internacional de Padronização

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	OBJETIVOS	19
2.1	Objetivos específicos	20
3	JUSTIFICATIVA	20
4	HIPÓTESES	22
5	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
5.1	Dados cartográficos	22
5.2	Sistema de coordenadas de projeções cartográficas	23
5.3	Cartografia	24
5.4	Fotogrametria	26
5.4.1	Fotogrametria e mapeamento.....	28
5.5	Aeronaves remotamente pilotadas (RPA)	31
5.6	Normas de controle de qualidade cartográfica	34
5.7	Escala em arquivos digitais	41
5.8	Pontos de apoio	44
5.8.1	Métodos de rastreamento das coordenadas dos pontos de apoio.....	45
5.8.2	Distribuição dos pontos de apoio	47
5.9	A importância da geografia na precisão posicional e validação de produtos cartográficos produzidos com RPA	50
6	ARTIGO 1	52
6.1	Introdução	52
6.2	Material e métodos	54
6.2.1	Área de estudo.....	54
6.2.2	Materiais utilizados	55
6.2.3	Metodologia	55
6.3	Resultado e discussão	64
6.4	Conclusões	91

7	ARTIGO 2	93
7.1	Introdução	93
7.2	Material e métodos	95
7.2.1	Área de estudo.....	95
7.2.2	Materiais utilizados	96
7.2.3	Metodologia	96
7.2.4	Cadastro e distribuição dos pontos de apoio.....	96
7.2.5	Aquisição das imagens com a RPA	100
7.2.6	Processamento dos dados.....	101
7.2.7	Avaliação da acurácia posicional dos pontos de projeção cartográfica e enquadramento do ortomosaico gerado	102
7.3	Resultado e discussão	105
7.3.1	Rotina para confecção do ortomosaico	105
7.4	Conclusões	110
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	112
	REFERÊNCIAS	114
	ANEXOS	117
	ANEXO A - Relatório GEOPEC	117
	ANEXO B - Relatório IBGE.....	138

1. INTRODUÇÃO

A principal técnica utilizada na aerofotogrametria é a obtenção de imagens aéreas por meio de aeronaves tripuladas ou não tripuladas. O processamento dessas imagens para a aquisição de produtos fotogramétricos, como ortofotos e modelos digitais de elevação (MDE), é realizado com a utilização de pontos de apoio em solo com coordenadas geográficas obtidas com equipamentos com tecnologia de sistema global de navegação por satélite (GNSS) de precisão milimétrica.

Além disso, o processo de aerofotogrametria envolve a triangulação de pontos de apoio, que são pontos de referência com coordenadas conhecidas, e os pontos correspondentes nas imagens aéreas. Isso permite estabelecer as relações geométricas entre o mundo real e as imagens capturadas, contribuindo para a precisão e a confiabilidade dos resultados cadastrados.

Assim, a utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) tem se apresentado como uma opção viável e mais acessível para a obtenção de produtos fotogramétricos, devido à redução de custos em comparação com o método tradicional. Contudo, surgem incertezas relacionadas à operação, planejamento dos voos e processamento de imagens, o que pode afetar a confiabilidade e a consistência dos dados gerados por essas aeronaves.

Para garantir a precisão dos produtos gerados, é necessário que se desenvolvam estudos aprofundados sobre a operação dessas aeronaves, abrangendo cada etapa do funcionamento dos *softwares*. É necessário investigar as técnicas utilizadas nos levantamentos aerofotogramétricos, aprimorar a acurácia dos produtos gerados e assegurar uma melhor qualidade e consistência nos dados obtidos.

A avaliação da acurácia posicional de pontos de projeção cartográfica é de imprescindível para garantir sua aplicabilidade em diferentes contextos, como planejamento urbano, agricultura de precisão, gestão ambiental e regularização fundiária. De acordo com Teixeira, Santos, Lima e Cruz Júnior (2024), o crescimento do uso de RPA para mapeamento tem gerado avanços significativos, mas também ressalta a necessidade de protocolos rigorosos de controle de qualidade para assegurar a confiabilidade dos dados.

Estudos recentes, como o de Alves Júnior; Gomes (2022), demonstram que a acurácia dos produtos derivados de RPA está diretamente relacionada à densidade, distribuição e qualidade dos pontos de controle. Complementarmente, Gonçalves e Albarici (2025) destacam que a redução no número de pontos de apoio impacta negativamente a acurácia

posicional, especialmente em modelos tridimensionais e ortomosaicos de alta resolução. Nesse sentido, Goodchild (2010) ressalta a importância do controle de qualidade ao investigar dados espaciais de modo a garantir e especificar sua qualidade e acurácia, explicitando discrepâncias, omissões e incertezas, bem como definindo sua finalidade.

Nesse contexto, com o aumento significativo do emprego de RPA na coleta de dados geoespaciais, houve uma transformação no campo do mapeamento e da cartografia digital. Essas tecnologias oferecem vantagens em relação aos métodos tradicionais de levantamento, permitindo a aquisição rápida de dados em diferentes áreas geográficas com maior eficiência e um custo mais acessível. No entanto, a fim de garantir a confiabilidade e a aplicabilidade desses dados em várias áreas, é essencial avaliar sua acurácia posicional.

No contexto cartográfico, é fundamental compreender a diferença entre acurácia e precisão. Acurácia refere-se ao grau de conformidade entre os valores medidos e o valor real ou de referência, indicando o quão próximo o dado está da sua posição verdadeira. Por outro lado, precisão está relacionada à dispersão dos valores medidos em torno de sua média, sem necessariamente considerar a proximidade em relação ao valor verdadeiro. Assim, é possível que um levantamento apresente alta precisão, expressa pela baixa dispersão dos valores em torno da média, mas com baixa acurácia, caso os dados estejam deslocados sistematicamente do valor real. De forma oposta, pode apresentar elevada acurácia, quando próximo do valor verdadeiro, mesmo com baixa precisão, decorrente de alta dispersão dos dados.

Para Monico et al. (2009), a acurácia expressa o grau de proximidade de uma estimativa com o parâmetro para qual ela foi estimada, ou seja, o valor mais provável encontrado. Por isso, a qualidade posicional dos pontos de projeção cartográfica é fundamental para a precisão das representações cartográficas e para a confiabilidade das informações transmitidas a partir deles. Portanto, é crucial garantir que os dados coletados por meio de RPA atendam aos requisitos de qualidade estabelecidos pelas normas técnicas reconhecidas, tais como os da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS, 2014), o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos da Cartografia Digital (PEC-PCD) da Diretoria do Serviço Geográfico (DSG) estabelecidas pelo Decreto nº 89.817, em conjunto com a ET-CQDG (2016) e o Manual para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2022).

A análise da acurácia posicional dos pontos de projeção cartográfica obtidos por meio de RPA, conforme as normas mencionadas, é fundamental para verificar se os dados

estão em conformidade com os padrões de qualidade exigidos e se são apropriados para as aplicações específicas em que foram empregados. Destaca-se que as diretrizes da ASPRS ressaltam a importância de um número suficiente de pontos de apoio para avaliar a precisão dos dados geoespaciais, como produtos fotogramétricos ou imagens de sensoriamento remoto. A quantidade recomendada de pontos de apoio pode variar de acordo com o tipo de dados, a escala do mapa e os requisitos de precisão, conforme estabelecido no Decreto nº 89.817/ETCQDG do Brasil, enfatizando assim a relevância da adesão a tais normas para garantir a qualidade e a adequação dos resultados obtidos.

2. OBJETIVOS

Este estudo tem como principal objetivo estabelecer os princípios de qualidade para mapeamento realizado por meio de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), seguindo as normas da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS, 2014) e o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos da Cartografia Digital (PEC-PCD) de acordo com a ET-CQDG da DSG (2016), conforme previsto no Decreto 89817/84 e o Manual para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA, 2022).

Para alcançar esse objetivo, foram realizadas estimativas de acurácia posicional dos pontos de projeção cartográfica obtidos por meio de RPA, sendo estes comparados com fontes de referência de alta precisão, como dados geodésicos obtidos em levantamentos de campo. As diretrizes para a seleção das referências foram estabelecidas pela norma técnica da ASPRS, que incluiu a necessidade de um número adequado de pontos de apoio e a importância da amostragem aleatória ou representativa para evitar distorções.

Nesse sentido, o objetivo da pesquisa foi desenvolver um projeto em uma área delimitada previamente, empregando um levantamento aerofotogramétrico realizado a uma altitude predeterminada com Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), e complementado com pontos de apoio adquiridos por receptores GNSS para georreferenciar e validar o levantamento. A análise cruzada entre as informações dos produtos capturados e os dados de georreferenciamento dos receptores GNSS permitirá verificar a acuracidade e precisão atingidas pelo levantamento aerofotogramétrico executado por meio de RPA, validando as normas técnicas utilizadas.

A pesquisa foi dividida em dois artigos. O “Artigo 1” tem como objetivo principal analisar a acurácia posicional de produtos cartográficos digitais, utilizando o Decreto

89.817 da ET-CQDG e a norma da ASPRS, por meio da implementação de um método que inicia com 20 pontos de controle e gradativamente reduz a quantidade, visando otimizar a precisão e eficiência na análise. Já o “Artigo 2” tem como objetivo realizar uma análise abrangente da acurácia posicional em produtos cartográficos digitais adquiridos por RPA de entrada de baixo custo, em conformidade com o Decreto 89.817 da ET-CQDG e com a norma do INCRA. Além disso, objetiva-se comparar rigorosamente os critérios e limites de acurácia e precisão estabelecidos por ambas as normativas, avaliando se os produtos cartográficos gerados pela RPA de modelo acessível atendem a tais padrões

2.1 Objetivos específicos:

- Avaliar a acurácia posicional de pontos de projeção cartográfica em ortofotos obtidas de sensor a bordo de aeronaves remotamente pilotadas (RPA), utilizando pontos de apoio;

- Assegurar a precisão cartográfica, garantindo que os dados espaciais sejam corretamente georreferenciados e representados com exatidão, mesmo utilizando um número de pontos inferior ao recomendado pela norma técnica da ASPRS (2014);

- Avaliar o impacto da redução sistemática do número de pontos de controle (PC) na qualidade posicional dos produtos cartográficos, verificando se os resultados permanecem dentro das tolerâncias definidas pela ASPRS (2014), considerando o uso de 20 pontos de verificação (PV);

- Investigar as implicações práticas da densidade de pontos de controle na precisão posicional, identificando o limite em que a precisão aceitável pode ser mantida para mapeamentos na escala 1:1000;

- Evitar erros e distorções por meio do controle de qualidade, garantindo a integridade dos dados nas análises e nos resultados obtidos.

3. JUSTIFICATIVA

O uso crescente de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) na coleta de dados geoespaciais tem proporcionado uma revolução no mapeamento e na cartografia digital. Essas tecnologias oferecem vantagens em relação aos métodos tradicionais de levantamento, e permite a aquisição rápida de dados em diversas áreas geográficas com maior eficiência e um

custo mais acessível. Contudo, a fim de assegurar a manutenção e a eficaz utilização desses dados, é crucial preservar à sua acurácia posicional

A qualidade posicional dos pontos de projeção cartográfica é fundamental para a precisão das representações cartográficas e para a confiabilidade das informações que delas derivam. Dessa forma, é crucial garantir que os dados coletados pelo RPA atendam aos requisitos de qualidade definidos pelas normas técnicas reconhecidas internacionalmente e nacionalmente, como as da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS), do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos da Cartografia Digital (PEC-PCD) segundo a ET-CQDG da DSG e do Manual para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA.

Conforme Zanette (2018), a Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS) é uma das principais referências no estabelecimento de normas e padrões para a cartografia e sensoriamento remoto. Suas diretrizes têm sido amplamente adotadas em âmbito internacional, contribuindo para a padronização e qualidade dos produtos cartográficos. Já o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos da Cartografia Digital, segundo a ET-CQDG da DSG, é um referencial nacional que estabelece critérios e especificações para a cartografia digital no Brasil. Além disso, o Manual para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA é uma ferramenta importante, pois oferece diretrizes, normas e instruções técnicas para a correta realização do georreferenciamento de imóveis rurais no Brasil. Ele define os procedimentos necessários para garantir a precisão e a qualidade dos dados georreferenciados, isto é, o processo de associar dados geográficos a uma localização específica na Terra, usando coordenadas geográficas e sistemas de referência espacial.

Por isso, avaliar a acurácia posicional dos pontos de projeção cartográfica obtidos com RPA segundo as normas mencionadas irá verificar se os dados atendem aos padrões de qualidade definidos. Além disso, esse estudo contribuirá para o aprimoramento das metodologias de mapeamento com RPA, bem como para a confiabilidade dos resultados e decisões tomadas nesses dados.

Diante desses critérios, esta pesquisa se fundamenta na falta de informações precisas sobre a quantidade ideal de pontos de controle. As normativas se referem principalmente a pontos de verificação a serem utilizados nos produtos resultantes de RPA. Além disso, reconhece-se que a incorporação de pontos de apoio contribui de maneira significativa para a excelência da qualidade cartográfica no processo de mapeamento.

4. HIPÓTESES

Com base na aplicação das diretrizes da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS), do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos da Cartografia Digital (PEC-PCD) da DSG e do Manual para Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA, formula-se as seguintes hipóteses:

- A análise da acurácia posicional dos pontos de projeção cartográfica adquiridos por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), conforme as normativas mencionadas, proporciona uma avaliação confiável da precisão dos dados, permitindo identificar possíveis erros ou discrepâncias.

- Os pontos de projeção cartográfica obtidos com RPA atendem aos requisitos de precisão posicional estabelecidos pelas normas da ASPRS e pelas regulamentações nacionais.

- Os resultados da avaliação de acurácia posicional contribuem para aumentar a confiabilidade dos produtos de cartografia digital e mapeamento com RPA, tornando-os adequados para aplicações em setores como planejamento urbano, gestão ambiental e monitoramento de recursos naturais.

- A utilização das normas da ASPRS, do PEC-PCD da DSG e do INCRA fornece uma metodologia padronizada e robusta para a avaliação da acurácia posicional de pontos de projeção cartográfica obtidos com RPA, facilitando comparações entre estudos e embasando decisões informadas.

5. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica objetiva apresentar os principais conceitos e embasamento teórico e metodológico que foram utilizados no desenvolvimento deste trabalho.

5.1 DADOS CARTOGRÁFICOS

Dados cartográficos, também conhecidos como dados geoespaciais, ou melhor, geodados, são um conjunto de informações que estão associados a uma localização específica na superfície da Terra. Esses dados podem incluir uma variedade de informações, desde coordenadas geográficas (latitude, longitude), e, em alguns casos, (altitude). Os geodados podem ser coletados de diversas fontes, como por meio dos sistemas de posicionamento global

(GPS), ou por sensores remotos (satélites, aerofotogrametria e RPA), e nos levantamentos topográficos da cartografia tradicional.

Esses dados podem ser divididos em duas categorias principais: vetoriais e matriciais. Essas categorias se distinguem na maneira como representam e armazenam informações geográficas. Enquanto os dados vetoriais representam elementos geográficos, como pontos, linhas e polígonos, por meio do uso de coordenadas e atributos associados, onde cada elemento é definido por sua geometria (forma e localização), podendo ser encontrados em formatos de arquivo específicos, como o *shapefile*, por exemplo, que é amplamente utilizado em sistemas de informações geográficas (SIG) e *software* de análise espacial.

O outro, os dados matriciais, também conhecidos como dados *raster*, dividem uma área geográfica em células regulares (*pixels*), onde cada *pixel* representa um valor associado a uma determinada propriedade, como altitude, entre outros. Esses valores podem ser representados numericamente ou como cores. Os dados matriciais incluem, por exemplo, as imagens de satélite, Modelos Digitais de Elevação (MDE), ortofoto, entre outros. No qual representam a superfície terrestre em cada ponto, permitindo a criação de modelos 3D do terreno, sendo mais usualmente o uso do formato *GeoTIFF* nas análises da modelagem de superfícies e espacial.

Por isso, é correto afirmar que dado cartográfico deve apresentar atributos básicos importantes, tais como a escala e o referencial cartográfico, pois em geral estes atributos são essenciais para garantir a integridade e a precisão dele. Visto que a escala, no caso do arquivo vetorial, e a resolução/escala, no caso do arquivo matricial, definem suas relações com as dimensões reais e os elementos representados no mapa e, principalmente, sua qualidade posicional. Já o referencial cartográfico (RC) compreende o conjunto de informações necessárias ao correto posicionamento, no espaço, dos dados, além da obtenção de parâmetros métricos. Desta forma, a localização e as dimensões espaciais dependem do referencial cartográfico adotado e demandam informações sobre o elipsoide, *Datum*, modelo de projeção, sistema de coordenadas etc. (SAMPAIO; BRANDALIZE, 2018).

5.2 SISTEMA DE COORDENADAS DE PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS

Há vários sistemas de projeção cartográficas que utilizam superfícies de projeções, como o plano, o cone ou o cilindro para projetar as coordenadas geográficas da superfície de referência, tendo a finalidade de possibilitar a obtenção de coordenadas em um sistema cartesiano a duas dimensões (BAKKER, 1965). No Brasil, o referencial cartográfico é

estabelecido por meio de sistemas de coordenadas geodésicas e projeções cartográficas específicas. O sistema de referência mais amplamente utilizado é o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), que define as coordenadas e a forma da Terra para a região do país.

Um dos principais sistemas de projeção utilizados é o Universal Transversa de Mercator (UTM), que representa as coordenadas com os eixos Leste (E), Norte (N), deduzindo ou somando a partir do meridiano central e da linha equatorial, respectivamente, e a altitude ortométrica (H) (BAKKER, 1965). No Brasil, o território é dividido em zonas retangulares, facilitando a representação cartográfica e o processamento de distâncias e áreas. O Datum Geodésico Brasileiro (DGB), utilizado para estabelecer a forma da Terra e as coordenadas, é baseado em observações geodésicas e foi modernizado ao longo do tempo. Além disso, outros sistemas de referência, como o *World Geodetic System 1984* (WGS 84), são empregados em contextos específicos, como em sistemas de posicionamento global (GPS) e dados de satélites.

Em 2015, o Brasil passou por uma modernização do seu sistema geodésico com a implementação do SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), um datum geocêntrico alinhado aos sistemas globais de referência, como o *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF). Portanto, o referencial cartográfico no Brasil envolve uma combinação de sistemas de coordenadas, projeções cartográficas e data geodésicos específicos, permitindo a representação precisa e consistente das informações geoespaciais em todo o território nacional.

5.3 CARTOGRAFIA

Conforme definido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1999), a cartografia é caracterizada como um conjunto de estudos e ações científicas, técnicas e artísticas que, fundamentando-se nos resultados de observações diretas ou na análise de documentação, estão voltados para a criação de mapas, cartas e outras formas de representação ou expressão de objetos, elementos, fenômenos e contextos físicos e socioeconômicos, bem como para sua aplicação.

Conforme definido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1999), a cartografia é caracterizada como um conjunto de estudos e ações científicas, técnicas e artísticas que, fundamentando-se nos resultados de observações diretas ou na análise de documentação, estão voltados para a criação de mapas, cartas e outras formas de representação

ou expressão de objetos, elementos, fenômenos e contextos físicos e socioeconômicos, bem como para sua aplicação.

De acordo com o IBGE (1999), a cartografia é a ciência que se dedica à representação, análise e comunicação de informações geográficas por meio de mapas e cartas. Ela desempenha um papel crucial na compreensão e na interpretação do nosso mundo, permitindo-nos visualizar e compreender padrões geoespaciais, relações e fenômenos, envolvendo a representação gráfica e sistemática do espaço geográfico.

Ainda segundo o IBGE (1999), a cartografia pode ser dividida em várias fases essenciais, cada uma com seu conjunto de processos. Primeiramente, temos a fase de aquisição de dados, onde informações geoespaciais são coletadas de diversas fontes, como levantamentos terrestres, satélites e sensores aéreos. Em seguida, ocorre a fase de processamento dos dados, que envolve a manipulação e transformação dos dados brutos em formatos utilizáveis para a criação de mapas. Por fim, ocorre a fase de representação, na qual os dados processados são convertidos em mapas e cartas de forma clara e visualmente atraente.

O sensoriamento remoto, como abordado pelo IBGE (1999), é uma técnica fundamental na aquisição de dados para a cartografia. Ele envolve a captura de informações sobre a superfície terrestre por meio de sensores em plataformas aéreas ou espaciais.

Para Moraes (2002), Sensoriamento Remoto (SR) pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com eles. Isto é, sensoriamento remoto é a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos da superfície terrestre utilizando-se de sensores sem que haja contato direto entre eles, ou seja, a distância. O sensor é o equipamento capaz de detectar sinais, e remoto significa longínquo/distância.

Semelhante a definição de Meneses e Almeida (2012), no qual precisam Sensoriamento remoto como sendo uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto. Porém, o avanço tecnológico dos últimos anos tem mudado as técnicas e os equipamentos utilizados no sensoriamento remoto. Passando dos métodos convencionais, como por exemplo, os que são utilizados na fotogrametria para o uso de outros equipamentos, como sistema global de navegação por satélite (GNSS) e Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), que tem permitido a obtenção de dados para estudos e pesquisas na geografia e em diferentes áreas.

Já a aerofotogrametria é um método específico de sensoriamento remoto que utiliza câmeras fotográficas montadas em aeronaves para obter imagens da superfície terrestre.

Ela desempenha um papel importante na criação de mapas topográficos detalhados e modelos de elevação. De acordo com Tommaselli (2006), aerofotogrametria é o conjunto de métodos e técnicas que têm como finalidade a produção de cartas e outras peças cartográficas, mediante a captação de imagens fotográficas da superfície da Terra, por sensores localizados em plataformas voadoras.

A aerofotogrametria também possui fases distintas. A primeira é a fase de Planejamento do Voo, onde são determinados os parâmetros do voo da aeronave, como altitude, velocidade e trajetória. Em seguida, ocorre a fase de Aquisição das Imagens, na qual as fotografias aéreas são capturadas ao longo da trajetória planejada. A fase subsequente é a Restituição Fotogramétrica, em que as imagens são interpretadas e medidas para extrair informações tridimensionais. Por fim, a fase de Compilação e Restituição Cartográfica, na qual as informações obtidas são utilizadas para a criação de mapas e produtos cartográficos.

De maneira mais detalhada, a cartografia desempenha um papel primordial na representação e na interpretação do espaço geográfico. O sensoriamento remoto e a aerofotogrametria são técnicas essenciais na obtenção de informações geoespaciais. Nesse contexto, torna-se evidente que o sensoriamento remoto é um componente integrante da fotogrametria/aerofotogrametria, visto que a obtenção de imagens, tanto por satélites quanto por Aeronaves Remotamente Pilotados (RPA), constitui produtos desse processo de sensoriamento remoto.

5.4 FOTOGRAMETRIA

Segundo Brito e Coelho (2007), Fotogrametria é uma área do Sensoriamento Remoto (SR) que objetiva realizar medidas através de fotografias, sendo seu objetivo principal a reconstrução do espaço tridimensional (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais (espaço-imagem). Ou seja, embora originalmente a Fotogrametria se ocupasse de analisar fotografias, nesta definição o autor a classifica dentro da área de SR.

Segundo Tommaselli (1999), esta definição também inclui duas áreas distintas, consistindo em:

- Fotogrametria (métrica), num sentido mais restrito, referindo-se aos métodos de obtenção de dados quantitativos, como coordenadas, áreas, a partir dos quais são elaborados os mapas e cartas topográficas;
- Fotointerpretação, que consiste em obter dados qualitativos a partir da análise das fotografias e de imagens de satélite.

No entanto, o autor ressalta que estas definições não devem ser restritivas, uma vez que durante o processo de fotointerpretação também são realizadas medidas; por outro lado, na prática de fotogrametria (por exemplo, durante a restituição) faz-se fotointerpretação em conjunto com as medições de precisão.

De acordo com Temba (2000), podem ser usadas várias técnicas de exames de fotos para se conseguir a informação desejada. Estes métodos são conhecidos como fotointerpretação muito embora sejam técnicas independentes, são aplicadas em graus crescentes de complexidade, tais como:

- Foto-leitura, esta técnica é antes de tudo, o reconhecimento direto de objetos feitos pelo homem e de características comuns ao terreno. Ela refere-se à identificação dos elementos fotografados. Exemplo: identificação de rios, estradas, construções, formas de relevo etc.

- Foto-análise, é a técnica de examinar o objeto por meio da separação e distinção de suas partes componentes, isto é, identificação e análise de um conjunto de elementos de mesmo significado. Exemplo: padrão da rede de drenagem, padrão das formas de relevo, litologia etc.

- Foto-dedução, é a mais complexas das técnicas. Ela inclui todas as características da foto-leitura e ainda uma avaliação da estrutura geomorfológica da área, os processos responsáveis por sua formação e o estágio de seu desenvolvimento. Ela inclui também, um exame detalhado de todos os outros elementos da foto aérea e uma cuidadosa avaliação deles.

Contudo, ainda segundo Tommaselli (1999), na Fotogrametria outras classificações podem ser adotadas de acordo com os instrumentos utilizados. Na Fotogrametria analógica, que durou até os meados de 1950, os métodos mais antigos de processamento dos dados fotogramétricos requeriam instrumentos analógicos, devido à inexistência de tecnologia computacional com capacidade para realizar os cálculos necessários às várias etapas do projeto fotogramétrico.

Já na Fotogrametria analítica (1950 - 1990), o advento tecnológico de computadores, cada vez mais baratos e potentes, permitiu uma redução da participação instrumental no processo fotogramétrico, levando a um aumento na precisão e a uma sofisticação nos modelos matemáticos. Finalmente, na Fotogrametria digital (1990 até agora), com a maturidade da tecnologia de captura direta de imagens digitais e a potência dos computadores para aplicações gráficas, a fotogrametria digital superou as técnicas analógicas,

reduzindo-se a participação instrumental apenas à fase de digitalização das fotografias em “scanner”.

Ou seja, em harmonia com o autor anterior, Mcglone e Lee (2013), na fotogrametria digital, o sistema de imagem é convertido para o sistema de coordenadas fiduciais, com a finalidade de correlacionar o espaço-imagem ao espaço-objeto, que é representado usualmente em um sistema de coordenadas cartográficas.

Dessa forma, podemos dizer que atualmente a nova era da Fotogrametria passa ser autônoma. Com a evolução da tecnológica dessa última década, a utilização da fotogrametria passou a ser realizada mediante imagens obtidas pelos RPA. Por intermédio deste aparelho é possível utilizar os recursos da fotogrametria de forma mais acessível, moderna e autônoma.

As RPA são equipamentos modernos, de pequeno ou médio porte, que apresentam alta tecnologia, quando comparados aos instrumentos empregados nas fases anteriores da fotogrametria convencional. Esta, por demandar elevado investimento operacional, tem sido cada vez menos utilizada, sendo aplicada principalmente em projetos que envolvem grandes extensões territoriais ou áreas com restrições ao uso de RPA, como aquelas situadas nas proximidades de aeroportos.

De forma distinta, as Aeronaves Remotamente Pilotadas têm conquistado ampla participação em projetos da Geografia, além de apresentarem crescente utilização nos setores da construção civil, mineração, meio ambiente, infraestrutura e, sobretudo, na agricultura, consolidando-se como uma tecnologia em expansão. Exemplos dessa aplicação podem ser observados em Alves Junior; Gomes e Gomes (2023), que realizaram um estudo sobre a determinação do volume de material erodido em processos de ravinamento com base em fotografias obtidas por RPA, e em Mendonça et al. (2019), cujo trabalho intitulado “Aplicação de *VANT* para mapeamento e análise do uso e cobertura da terra em área urbana” utilizou imagens aéreas de alta resolução obtidas por RPA para gerar ortofotos detalhadas, possibilitando uma análise precisa do uso e ocupação do solo em ambiente urbano.

5.4.1 Fotogrametria e mapeamento

A grande maioria das operações fotogramétricas destinam-se ao mapeamento, como os realizados nas ciências geográficas. Por isso, de acordo com Tommaselli (1999), quando as fotografias aéreas são usadas para mapeamento, as linhas de voo são alocadas no mapa, de tal maneira, que faixas vizinhas tenham uma região comum de superposição lateral,

que geralmente, é de 25% a 30% da cobertura da foto. Ainda segundo o autor, cada fotografia na linha de voo cobre uma área que se superpõe com as fotos anteriores em, aproximadamente, 60%. Já o recobrimento das imagens obtidas por um levantamento por RPA é maior que na fotogrametria convencional de aproximadamente 70-80% longitudinal e lateral (SILVA et al., 2014). Esta superposição é chamada superposição longitudinal e possui três finalidades básicas:

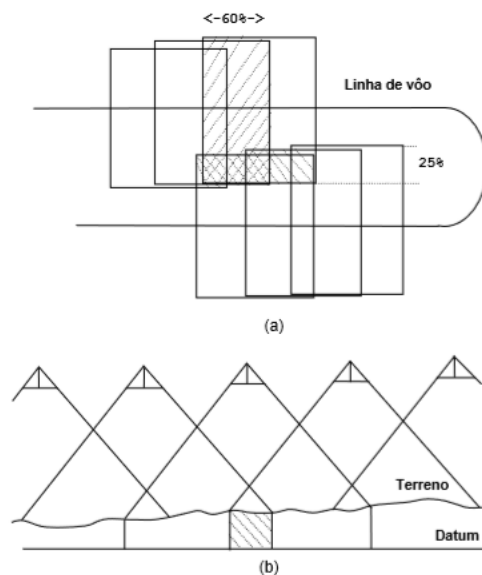
- Permitir a cobertura do terreno de dois pontos de vista distintos, ou seja, observação estereoscópica, que proporcionam uma vista tridimensional e criam a ilusão de que o observador está vendo um modelo 3D do terreno.

- A construção de mosaicos, aproveitando-se somente a porção central de cada fotografia, onde o deslocamento devido ao relevo e as distorções são menores;

- A geração de pontos de apoio por métodos fotogramétricos, a fototriangulação (ou aerotriangulação), isto é, ponto de passagem ou marcação.

A Figura 1, apresenta o esquema da linha de voo com as sobreposições laterais e longitudinais com os critérios descritos acima.

Figura 1 - Superposição entre as fotografias



(a) vista superior de duas faixas mostrando a superposição longitudinal e a superposição lateral;

(b) Perfil esquemático mostrando a cobertura longitudinal de cada fotograma.

Fonte: Adaptado de Tommaselli (1999)

A fim de viabilizar a mensuração de objetos, ou seja, o mapeamento por meio do método da fotogrametria, são essenciais dois aspectos de orientação para as fotografias: orientação interior e orientação exterior. Estes aspectos são fundamentais para determinar a posição e a orientação das câmeras e das imagens capturadas em relação ao espaço tridimensional do mundo real.

A orientação interior refere-se aos parâmetros específicos da câmera utilizada para capturar as imagens, tais como a distância focal da lente, tamanho do sensor, ponto principal da imagem, entre outros. Ela é essencial para converter as medidas feitas nas imagens (*pixels*) em coordenadas do mundo real, sistema coordenadas geográficas. Já orientação exterior refere-se à posição e à orientação da câmera em relação ao objeto ou terreno sendo fotografado. Isso envolve a determinação das coordenadas tridimensionais da posição da câmera (coordenadas X, Y e Z) e os ângulos de rotação (inclinação, guinada e rolagem) que orientam a direção da câmera.

Segundo Coelho e Britto (2007), os parâmetros de orientação exterior são os elementos que definem a posição e a orientação da câmara segundo um referencial terrestre. Uma fotografia está orientada exteriormente, quando são conhecidas as três coordenadas tridimensionais (X_{CP} , Y_{CP} , Z_{CP}) do ponto de onde foi tomada a foto (centro de perspectiva) e três rotações ou ângulos de Euler, representados pelas letras gregas ω (ômega), φ (phi) e κ (Kappa).

Segundo Sato (2003) a qualidade geométrica de obtenção de imagem aéreas é aumentada quando a câmera é dotada de dispositivos de compensação dos ângulos de orientação (ω , φ , κ), de Euler.

Ainda segundo Jensen (2009), a orientação exterior determina a relação matemática entre coordenadas da imagem e dos pontos de apoio coletados no terreno. Assim, após a realização da orientação exterior, essas informações podem ser empregadas para a realização da aerotriangulação.

Contudo, atualmente, as aeronaves geralmente estão equipadas com sensores e tecnologias avançadas que podem automatizar muitos aspectos da aerofotogrametria, incluindo a aquisição e retificação dos parâmetros coordenados. Isso é alcançado por meio de sistemas de posicionamento GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite), como o GPS, que podem fornecer informações precisas de localização e altitude em tempo real para a RPA. Além disso, elas podem ser equipadas com sensores inerciais - *Inertial Measurement Unit* – (IMU) que ajudam a determinar a orientação da RPA no espaço.

Por isso, a partir dos dados coletados, a RPA pode calcular e ajustar automaticamente os parâmetros de orientação exterior, permitindo uma reconstrução tridimensional precisa do terreno a partir das imagens capturadas. Tais avanços desempenham um papel de grande importância na otimização da eficiência operacional, ao mesmo tempo em que colaborando com as etapas de ajuste da aerotriangulação.

Basicamente, a aerotriangulação envolve a medição e a análise de ângulos e distâncias entre pontos de referência conhecidos nas imagens, como pontos de apoio com coordenadas conhecidas no terreno. Essas medições são usadas para determinar a posição e a orientação das câmeras fotográficas em relação ao terreno. Uma vez que as informações de orientação da câmera são calculadas, será possível triangular a posição tridimensional dos pontos na superfície terrestre que seja visível nas imagens.

Por conseguinte, a aerotriangulação assume um papel crucial no processo de formulação de modelos digitais de elevação (MDE) e em outros produtos cartográficos, uma vez que é esse procedimento que assegura a integridade geométrica das informações obtidas por meio das imagens adquiridas por via aérea. Dessa maneira, viabiliza-se uma representação cartográfica mais verídica e precisa tanto do relevo quanto dos elementos físicos presentes na região alvo de mapeamento.

5.5 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA)

As Aeronaves Remotamente Pilotadas são conhecidas por várias denominações que se popularizaram: Veículo Aéreo Não Tripulado (*VANT*), *Drone* (como é mais amplamente reconhecido), *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), que em português também é traduzido como Veículo Aéreo Não Tripulado. Entretanto, de acordo com a regulamentação brasileira, devemos referir a elas como Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), pois é o termo adotado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2017), significando *Remotely Piloted Aircraft* – RPA.

Existem diferenças conceituais e técnicas entre as RPA's, sendo a principal delas, o sistema aerodinâmico, que divide as mesmas em asa fixa e multirotor (SOUSA; SOUSA; COSTA, 2016). Segundo Silva (2015), RPA's de asa fixa possuem uma maior vantagem aerodinâmica e propiciam uma melhor eficiência energética, sendo mais indicados para missões de longo alcance e duração, no entanto, como desvantagem, existe o problema da pilotagem, e, devido esta dificuldade, são programados para voarem de forma autônoma.

Ainda segundo esse autor, existem também as RPA's multirotor, também chamados de asas rotativas, já que geralmente possuem mais de um rotor, e por isso, são mais fáceis de pilotar. As missões mais indicadas são aquelas de filmagem e fotografia de alvos estáticos ou em baixa velocidade, já que estes possuem a capacidade de pairar no ar.

Atualmente, a regulamentação para a operação de tais equipamentos é dada pela Instrução do Comando da Aeronáutica ICA 100-40 (2023). Esse documento visa esclarecer os procedimentos necessários para realização dos voos de RPA's (Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA, 2023). Segundo a ANAC (2017), sua proposta tem o objetivo de viabilizar as operações das aeronaves remotamente pilotadas, garantindo que haja segurança no espaço aéreo e para as pessoas. Para tal, as regras que foram estabelecidas estão de acordo com o nível de complexidade e o risco envolvido nas operações.

Outras diferentes classificações ainda podem ser utilizadas quanto ao peso e uso das mesmas (DECEA, 2023). Segundo a ANAC (2017), as regras para uso de RPA estão divididas em três classes de acordo com o peso máximo de decolagem, no qual devem ser considerados os pesos do equipamento, da bateria ou combustível, e da carga eventualmente transportada, sendo:

- Classe 1 – Peso máximo de decolagem maior que 150 kg
- Classe 2 – Peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg
- Classe 3 – Peso máximo de decolagem de até 25 kg

As operações também são divididas em três categorias:

- Operação BVLOS – Operação na qual o piloto não consegue manter a RPA dentro de seu alcance visual, mesmo com a ajuda de um observador;
- Operação VLOS – Operação na qual o piloto mantém o contato visual direto com a RPA (sem auxílio de lentes ou outros equipamentos);
- Operação EVLOS – Operação na qual o piloto remoto só é capaz de manter contato visual direto com a RPA com auxílio de lentes ou de outros equipamentos e de observadores de RPA.

Todas as classes entre 250 gramas e 25 kg que se destinem a operações na linha de visada visual (VLOS) têm a exigência de conduzir voos com uma altitude máxima de 400 pés acima do nível do solo, equivalente a aproximadamente 120 metros.

Operações VLOS com a utilização de RPA com peso máximo de decolagem (PMD) de até 250g, executadas até 200 pés (*ft*) de altitude, cerca de 60 metros, e fora das Zonas de Restrição de Voo (FRZ), não precisam ser requisitadas no SARPAS. No entanto, devem

aderir às normas e processos estabelecidos nesta Instrução, assim como cumprir os critérios estipulados por outras instituições ou entidades pertinentes.

Quanto ao sistema de navegação embarcado, dois tipos são encontrados, sendo o RPA, com e sem RTK (*Real Time Kinematic*), denominadas RPA -SPS (*Standard Positioning Service*). Enquanto o primeiro permite a correção da posição em tempo real e o processamento das posições observadas, o segundo realiza a navegação utilizando somente os sinais abertos de uma ou mais constelações de satélites de navegação (*GPS, GLONASS, GALILEU* etc.).

Entre os produtos obtidos com o uso de RPA, destacam-se os ortomosaico e ortofoto. Embora ambos sejam usados para criar mapas e representações precisas do terreno, há uma diferença fundamental entre eles. Enquanto ortomosaico é uma imagem composta a partir da interação de várias imagens aéreas, são corrigidos para eliminar as distorções de perspectiva e relevo, proporcionando em uma imagem planimetricamente correta. Já ortofoto é uma única imagem aérea no qual mantém a aparência natural do terreno como se fosse vista do nível do solo, sem informações de altura tridimensional.

5.5.1 O uso de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) na cartografia

A utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) para a aquisição de dados geoespaciais, fundamentais à elaboração de bases cartográficas e produtos fotogramétricos, tem se tornado amplamente reconhecida. Com o avanço das tecnologias embarcadas, como sensores ópticos de alta resolução, sistemas GNSS de precisão e *softwares* de processamento de imagens, o emprego dessas aeronaves em levantamentos aerofotogramétricos tornou-se técnica viável e altamente eficiente, superando, em diversos aspectos, os métodos convencionais realizados por aeronaves tripuladas Alves Junior; Gomes (2022),

Apesar das aeronaves convencionais cobrirem uma área muito maior com tempo de voo menor, as aeronaves remotamente pilotadas têm uma ampla gama de aplicações na cartografia moderna, oferecendo vantagens avançadas em termos de precisão, rapidez, custo e acesso a áreas exigentes. Com o avanço contínuo da tecnologia das RPA, espera-se que seu papel na cartografia continue crescendo e se desenvolvendo em diversas áreas de aplicação, tornando-se uma ferramenta valiosa na capacidade de coleta de dados geoespaciais.

5.6 NORMAS DE CONTROLE DE QUALIDADE CARTOGRÁFICA

Antes de nos aprofundarmos nas normas de controle de qualidade cartográfica, devemos definir dois termos usados na verificação da acurácia posicional dos pontos de projeção cartográfica de imagens aéreas capturadas por RPA, apoiadas por pontos com coordenadas conhecidas. São eles: “acurácia e precisão”.

Embora esses termos sejam relacionados, eles têm significados específicos diferentes. Enquanto acurácia está relacionada à proximidade com o valor verdadeiro, o termo precisão está relacionado à conformidade e agrupamento dos valores medidos ou previstos, isto é, quão próximos os resultados estão entre si, independentemente do valor verdadeiro.

Conforme Mikhail e Ackermann (1976), acurácia refere-se ao quão próximo uma estimativa está do seu parâmetro, enquanto precisão expressa o quão próximo as observações estão da sua média. Assim, a acurácia representa a proximidade de uma estatística de localização com o valor do parâmetro que ela estima, enquanto a precisão está ligada à dispersão de uma distribuição.

Portanto, a acurácia posicional está associada à proximidade da posição de um dado espacial em relação à sua localização real no terreno. Desta forma, as avaliações da acurácia posicional são baseadas em comparações entre os valores sobre o produto a ser testado e material de fonte mais acurada. Ou seja, seus valores são calculados a partir de um conjunto de pontos de apoio e refletem as estimativas dos erros dos posicionamentos (planimétrico e/ou altimétrico) associados aos dados.

Por este motivo, as normas de qualidade posicional variam de acordo com o país, a instituição responsável pela padronização e o tipo de produto cartográfico em questão. No Brasil, existem diferentes padrões para medir a acurácia posicional, sendo os dois mais comuns o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica, conforme Decreto 89817/84) ou o PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos da Cartografia Digital), segundo a ET- ADGV da DSG - Diretoria do Serviço Geográfico (2016). Portanto, tanto o PEC quanto o PEC-PCD podem ser aplicados a produtos vetoriais ou matriciais, desde que sejam produzidos na forma de produtos cartográficos. A diferença principal entre o PEC e o PEC-PCD é que o último considera as particularidades da cartografia digital, como resolução, precisão de coordenadas digitais, representação digital, entre outros.

Segundo o Decreto 89817/84, o PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade e correspondente a 1,6449 vezes o valor do erro padrão (EP).

$$PEC = 1,6449 * EP$$

Ou seja, o erro padrão (EP) é uma medida estatística que indica a dispersão dos valores medidos em relação a um valor médio. No contexto da acurácia posicional, o erro padrão é usado para quantificar a variabilidade das coordenadas dos elementos mapeados em relação às coordenadas verdadeiras. Quanto menor o erro padrão, maior a consistência posicional e, portanto, maior a acurácia posicional.

Segundo Sampaio, T. V. M.; Brandalize, M. C. B (2018), este mesmo Decreto apresenta o EP como sinônimo dos termos: Desvio Padrão (DP) e Erro Médio Quadrático (EMQ). O EMQ ou EQM (Erro Quadrático Médio) fornece a média dos quadrados dos erros observados entre os valores observados e os de referência. Sendo a raiz quadrada do EMQ, em inglês, RMSE (*Root Mean Square Error*), o valor mais utilizado pelas normas internacionais, por exemplo, o da *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* - ASPRS para inferir a acurácia posicional.

A seguir, a tabela 1 apresenta os valores de PEC e EP que foram extraídos da ET-CQDG (2016). A ET-CQDG é a norma da DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército) que apresenta os valores para o PEC-PCD e para o EP e, segundo ela, seus valores de referência seguem as proposições do Decreto 89817/84 (BRASIL, 1984).

Tabela 1 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional de acordo com Decreto nº 89.817/ ET-CQDG

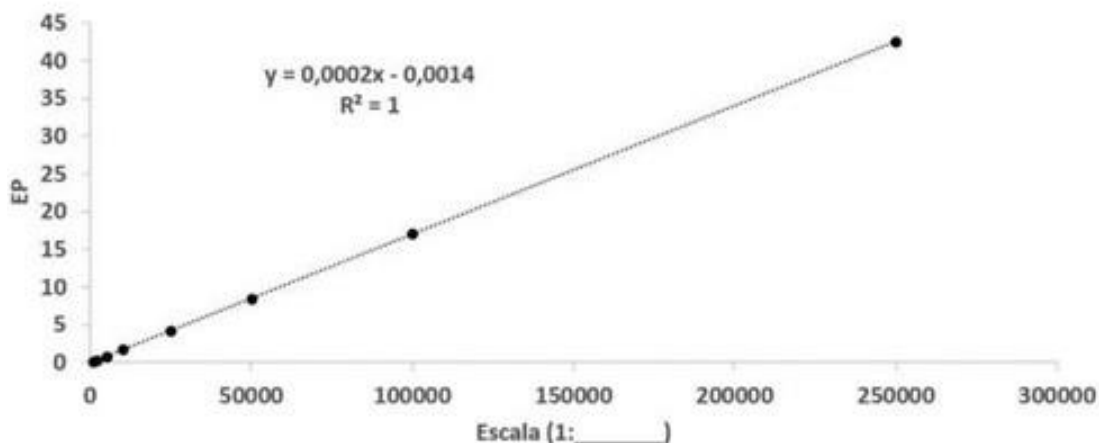
PEC (1)	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	0,28	1,70	7,00	4,25	14,00	8,51
A	B ⁽¹⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	0,50	3,00	12,50	12,50	25,00	15,00
B	C ⁽¹⁾	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	0,80	5,00	20,00	20,00	40,00	25,00
C	D ⁽¹⁾	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	1,00	6,00	25,00	25,00	50,00	30,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Desta forma, os produtos cartográficos podem ser enquadrados em diferentes classes, a depender dos padrões de exatidão observados. Enquanto o Decreto 89817/84 definiu três classes (A, B e C), a norma da DSG definiu quatro classes para os produtos da cartografia digital. De acordo com a DSG, a classe A é a de maior qualidade, enquanto a classe B do PEC-PCD correspondente à classe A definida pelo decreto de 84. Na figura 2 é possível verificar que

os valores apresentados pela normal seguem uma relação linear entre a escala e os valores do EP e do PEC.

Figura 2 - Relação entre os valores de EP (Planimetria) e Escala



Fonte: Adaptado de T. V. M.; Brandalize, M. C. B (2018)

Assim, a partir da relação entre os valores de EP e as escalas apresentadas pela ET-ADGV é possível calcular a acurácia necessária para a aquisição de dados geoespaciais (para um determinado padrão, como por exemplo: Classe A) para outras escalas a partir da seguinte equação:

$$EP = 0,00017013 * DE - 0,0014$$

DE é o denominador da escala pretendida, e a unidade resultante é o metro (m). Dessa forma, para a produção de uma base na escala 1:10.000, é necessário que a base de dados apresente um erro padrão final inferior a 1,7 m, conforme a fórmula: $EP = (0,00017013 * 10.000) - 0,0014$.

Enquanto a DSG, através da norma ET-CQDG - Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (DSG - Diretoria de Serviço Geográfico, 2016) apresenta como valor de erro posicional máximo admissível para um ponto isolado os valores do PEC, o Decreto 89817/84 estabelece, no artigo 3º, que o erro máximo admissível para um ponto isolado é de 60,8% do valor do PEC para a escala adotada.

Sendo o Erro Padrão sinônimo do termo Desvio Padrão (conforme definido pelo Decreto 89817/84), subintende-se que o Erro Padrão isolado de que trata o Decreto se refere à análise dos resíduos observados em X e Y isoladamente.

Independente da referência a ser utilizada, a acurácia posicional é o primeiro elemento a ser observado na definição da escala de um produto cartográfico, não devendo uma camada vetorial ser associada a uma determinada escala sem possuir qualidade posicional compatível com ela.

No âmbito internacional, a Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS) estabeleceu um padrão de acurácia que reflete o estado atual das tecnologias de mapeamento. Esse avanço resultou na criação das Normas de Acurácia Posicional para Dados Geoespaciais Digitais da ASPRS em 2014, que se tornou a norma mais amplamente reconhecida e utilizada para dados geoespaciais.

Conforme explicado por Zanette (2018), a norma de 2014 da ASPRS tem o objetivo de substituir as normas preexistentes para oferecer uma abordagem mais adequada às tecnologias contemporâneas. Ela foi concebida para ser aplicada por fornecedores e usuários de dados, permitindo especificar os requisitos de acurácia no posicionamento dos produtos e apresentar a precisão dos dados. Este padrão inclui níveis de acurácia baseados nos valores do erro quadrático médio (RMSE) dos pontos de verificação.

A norma de acurácia planimétrica da ASPRS (2014) é organizada em categorias que utilizam métricas estatísticas, como o erro quadrático médio (RMSE). Por outro lado, a norma de acurácia altimétrica da ASPRS baseia-se em diferentes categorias de precisão, empregando estatísticas de RMSE para áreas não vegetadas e o percentil de 95° para áreas vegetadas.

Os produtos da Classe I, que compreendem informações geoespaciais horizontais, são caracterizados por um alto nível de precisão e destinam-se a aplicações de engenharia com requisitos rigorosos. Os produtos da Classe II abrangem dados geoespaciais para mapeamento de alta qualidade, priorizando a precisão. Enquanto isso, os produtos das Classes III e superiores englobam categorias de visualização com menor precisão, sendo adequados para aplicações em que os usuários possuem exigências menos restritas.

Conforme definido pela ASPRS, o RMSE_x representa o erro médio quadrático linear na direção X (Leste), enquanto o RMSE_y indica o erro médio quadrático linear na direção Y (Norte). O RMSE_r é calculado como a raiz quadrada do somatório dos quadrados de RMSE_x e RMSE_y. Além disso, o RMSE_z é utilizado para mensurar o erro médio quadrático na direção vertical.

As Equações 1, 2, 3 e 4 abaixo ilustram o processo de avaliação da acurácia posicional, que mantém uma relação direta com o RMSE:

$$\text{Equação 1: RMSE}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{base} - X_{check})^2}{n}}$$

$$\text{Equação 2: RMSE}_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{base} - Y_{check})^2}{n}}$$

$$\text{Equação 3: RMSE}_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{base} - Z_{check})^2}{n}}$$

$$\text{Equação 4: RSME}_z = \sqrt{(RMSE_x - RMSE_y)^2}$$

Onde:

- X base, Y base e Z base: representam as coordenadas dos pontos de referência da fonte com maior acurácia;
- X check, Y check e Z check: indicam as coordenadas dos pontos de verificação no levantamento;
- n: é o número de pontos de verificação analisados

Dessa maneira, essas equações ilustram o processo de avaliação da acurácia posicional usando o RMSE, de acordo com as orientações da ASPRS. Por meio dos critérios empregados para a análise da precisão posicional horizontal, é viável conduzir avaliações de acordo com as categorias de precisão padrão apresentadas na Tabela 2. Essas categorias (I, II, III) são aplicáveis a ortofotos digitais derivadas de imagens digitais, independentemente da Ground Sample Distance (GSD), que é a distância de amostragem do terreno.

Além disso, categorias de menor precisão variável são estabelecidas para ortoimagens. A determinação das classes de precisão horizontal para ortofotos digitais é fundamentada no tamanho dos *pixels* na ortofoto resultante que está sendo analisada. O RMSE_r desempenha um papel crucial, pois considera os valores de RMSE_x e RMSE_y como equivalentes, resultando em um fator de ajuste de 1,414.

Para avaliar a precisão horizontal resultante (radial) com um nível de confiança de 95%, aplica-se um fator de 2,448, conforme especificado pela norma. Esse procedimento garante uma avaliação robusta da confiabilidade na análise da precisão posicional.

Tabela 2 - Acurácia horizontal segundo ASPRS 2014

Classe Acurácia horizontal	Acurácia Absoluta		
	RMSE _x e RMSE _y	RMSE _r	Nível de Confiança 95%
GSD	≤ GSD	≤ 1,414*GSD	≤ 2,448*GSD

Fonte: Adaptado de Zanetti (2018)

Durante a investigação da precisão altimétrica, são consideradas diversas categorias de acurácia vertical, abrangendo dez níveis de precisão relevantes para tecnologias de elevação. Essas categorias são divididas em quatro tipos de análises, conforme detalhado na Tabela 3, adaptada com as definições estabelecidas pela ASPRS.

A acurácia vertical em áreas não vegetadas (NVA) refere-se à precisão vertical, com um nível de confiança de 95%, em terrenos sem vegetação. Essa precisão é determinada aproximando o RMSE_z (apenas para categorias de cobertura de solo não vegetado) multiplicado por 1,96. Essa categoria abrange pontos de verificação situados em áreas sem vegetação, incluindo terrenos abertos convencionais (como solo descoberto, areia, pedras e gramados curtos) e ambientes urbanos (superfícies de asfalto e concreto).

O método NVA, fundamentado no fator multiplicador do RMSE_z, é apropriado para terrenos sem vegetação, onde os erros de elevação normalmente seguem uma distribuição normal. Entretanto, é crucial ressaltar que as estatísticas baseadas no RMSE_z não devem ser utilizadas para estimar a precisão vertical em áreas com vegetação, pois nestas circunstâncias, onde há vegetação, os erros de elevação geralmente não seguem uma distribuição normal.

Tabela 3 - Acurácia altimétrica para modelos de elevação digital ASPRS 2014

Classes de Acurácia de Dados Vertical	RMSE _z em terreno não - vegetado (cm)	Acurácia Vertical Não-Vegetada (NVA) a 95% de Confiança (cm)	Acurácia Vertical Vegetal (VVA) no 95º Percentil (cm)	Acurácia relativa faixa a faixa em terreno não - vegetado (RMSD _z / Max Diff) (cm)
I	1.0	2.0	2.9	0.8/1.6
II	2.5	4.9	7.4	2.0/4.0
III	5.0	9.8	14.7	4.0/8.0
IV	10.0	19.6	29.4	8.0/16.0
V	12.5	24.5	36.8	10.0/20.0
VI	20.0	39.2	58.8	16.0/32.0
VII	33.3	65.3	98.0	26.7/53.3
VIII	66.7	130.7	196.0	53.3/106.6
IX	100.0	196.0	294.0	80.0/160.0

X	333.3	653.3	980.0	266.6/533.4
----------	-------	-------	-------	-------------

Fonte: Adaptado de ASPRS (2014)

A precisão vertical em ambientes vegetados (VVA) representa uma estimativa da acurácia vertical, com um nível de confiança de 95%, em terrenos cobertos por vegetação. Esse cálculo é realizado considerando o percentil 95 do valor absoluto dos erros verticais em todas as categorias de cobertura vegetal, abrangendo desde plantas altas e cultivos até áreas densamente arborizadas.

Comparando com todas as categorias de precisão vertical, o valor da VVA é 1,5 vezes maior do que o da precisão vertical em ambientes não vegetados (NVA). Quando não é possível aplicar esse padrão VVA em áreas com vegetação densa e de difícil acesso, como campos de milho densos ou manguezais, é recomendado que se delineiem polígonos de baixa confiança e que esses sejam explicados nos metadados. Esses polígonos representam digitalmente o equivalente aos contornos tracejados usados no passado, quando os instrumentos de fotogrametria não conseguiam medir áreas não cobertas por vegetação em terrenos florestais.

É crucial destacar que a norma da ASPRS de 2014 estabelece a quantidade de pontos de verificação, diretamente relacionada ao tamanho da área de estudo, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 - Pontos de verificação recomendados com base na área - ASPRS 2014

Tamanho da Área (Km ²)	Testes Horizontais	Testes Verticais (pontos não claramente definidos)		
	Número total de pontos de verificação horizontais estáticos (pontos claramente definidos)	Número de pontos de verificação verticais estáticos na NVA	Número de pontos de verificação verticais estáticos em VVA	Número total de pontos de verificação verticais estáticos
≤500	20	20	0	20
501-750	25	20	10	30
751-1000	30	25	15	40
1001-1250	35	30	20	50
1251-1500	40	35	25	60
1501-1750	45	40	30	70
1751-2000	50	45	35	80
2001-2250	55	50	40	90
2251-2500	60	55	45	100

Fonte: Adaptado de ASPRS (2014)

Portanto, a quantidade e a disposição dos pontos de verificação recomendados para as acurácias verticais em ambientes não vegetados (NVA) e vegetados (VVA) podem variar, levando em consideração a importância das distintas categorias de cobertura do solo e as demandas do cliente. A ASPRS reconhece que determinadas áreas do projeto podem ser predominantemente desprovidas de vegetação, enquanto outras são principalmente vegetadas. Por conseguinte, a distribuição dos pontos de verificação pode ser ajustada, levando em conta a proporção global de área vegetada e não vegetada no projeto.

Os pontos de controle remanescentes devem ser distribuídos de forma equitativa e proporcional entre os diferentes tipos de cobertura vegetal presentes no projeto. Essa abordagem possibilita uma análise abrangente da precisão posicional, empregando métodos estatísticos e diversas modalidades de verificação. Isso viabiliza a validação da normalidade da amostra, a identificação de padrões na amostragem e a avaliação dos erros nas coordenadas planimétricas e altimétricas da amostra. Como resultado, é viável classificar os produtos de maneira qualitativa e, assim, recomendar suas escalas e usos apropriado.

5. 7 ESCALA EM ARQUIVOS DIGITAIS

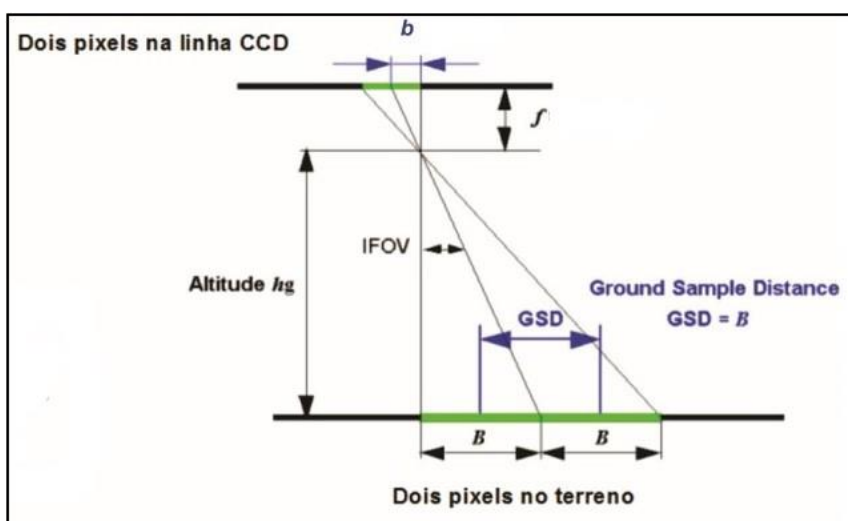
Um arquivo cartográfico em formato digital é uma representação de dados geográficos organizada em uma grade ou matriz de células, também conhecidas como *pixels*. Cada célula contém um valor que representa uma característica geográfica. Modelos digitais de elevação (MDE) são uma variante específica desses arquivos matriciais, nos quais cada *pixel* está associado a um valor altimétrico. Os termos, modelo digital do terreno (MDT), modelo digital de elevação (MDE) e modelo digital de superfície (MDS) são frequentemente usados como sinônimos para se referir a esse tipo de modelo.

Nesses modelos, a relação entre a largura do *pixel* e a escala é complexa, e existem várias propostas divergentes. Enquanto a definição da resolução espacial (largura do *pixel*) é determinada pela adequação ao uso, a escala está sempre relacionada ao erro associado a acurácia posicional horizontal e, especialmente, às altitudes ou alturas medidas no terreno.

Portanto, para a captura direta de imagens digitais, utilizamos o termo *Ground Sample Distance* - Distância de Amostragem no Solo (GSD). O GSD representa o tamanho real, em unidades do terreno, que um determinado *pixel* representa, levando em consideração a resolução de uma imagem. Em outras palavras, o GSD indica a resolução com que um sensor registra detalhes na superfície da Terra.

O GSD está diretamente relacionado à altura da aeronave em relação ao solo, à distância focal da câmera e ao tamanho do *pixel* no *Charge Coupled Device* - Dispositivo de Carga Acoplada (CCD), que é um tipo de sensor, como por exemplo, o CMOS de 1 polegada com 20 *megapixels* utilizado na RPA *MAVIC 2 Pro* da empresa *DJI*. A Figura 3, a seguir, ilustra essa relação.

Figura 3 - Ilustração demonstrando os parâmetros utilizados para cálculo do GSD



Fonte: Adaptado de Neto (2015)

Isto é, o *pixel* terá um tamanho na imagem representada por centímetros, onde cada quadradinho representa uma porção de terra no terreno de acordo com o GSD.

Se por um lado o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica - Decreto 89817/84) apresenta padrões gerais de acurácia associados à altimetria, o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) – ET-ADGV é mais específico e apresenta a relação entre erro padrão e a escala direta dos modelos digitais de elevação conforme as informações apresentadas na tabela 5.

Tabela 5 - Quadro extraído da ET-ADGV com os valores de PEC e EP para produtos cartográficos digitais

PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000		1:50.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67	5,50	3,33
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33	10,00	6,66
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00	12,00	8,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00	15,00	10,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

O procedimento de cálculo para verificar a acurácia altimétrica pode envolver o uso dos mesmos pontos utilizados para a verificação da acurácia posicional horizontal ou pontos de controle diferentes podem ser empregados. A quantidade e a distribuição desses pontos de controle seguem as mesmas diretrizes estabelecidas para a avaliação da planimetria, sendo o mínimo de 20 pontos, conforme a norma da ASPRS de 2014.

No Brasil, adotou-se uma abordagem alinhada à norma da ASPRS de 2014, conhecida como Norma nº 02 do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). A norma de execução nº 02 de 2018 estabelece critérios para a aplicação e avaliação de produtos obtidos por meio da aerofotogrametria. Em seu artigo 5º, é determinado que pelo menos vinte pontos de verificação devem ser realizados, e esses pontos devem ser devidamente sinalizados em campo.

Entretanto, é importante mencionar que o manual técnico de georreferenciamento de imóveis rurais, emitido pela mesma agência em 2022, não define mais um número específico de pontos a serem utilizados. Em vez disso, o manual estipula que a avaliação da acurácia posicional absoluta deve ser conduzida de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC/PCD), conforme estabelecido pela Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) e pela Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), ambas emitidas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército.

Ademais, caso pontos de controle sejam utilizados, é fundamental ressaltar que eles não devem ser empregados como pontos de checagem, conforme estabelecido nas diretrizes. Assim, a adoção da norma da ASPRS, que preconiza a incorporação de pontos de apoio, é altamente recomendada, visto que fortalece a qualidade e a confiabilidade dos resultados de georreferenciamento. Essa abordagem, baseada em boas práticas, contribui para

a produção de dados geoespaciais precisos e consistentes, sendo essencial para projetos que demandem alta acurácia e confiabilidade em informações cartográficas e georreferenciadas.

5.8 PONTOS DE APOIO

Os pontos de controle, como o próprio termo sugere, sustentam o processo de levantamento topográfico detalhado, constituindo referências que facilitam a estabelecimento de uma estrutura de coordenadas bem definida em nível local. De acordo com Alves Júnior; Gomes (2022), os pontos de controle representam pontos ou elementos reconhecíveis nas fotografias aéreas, ou seja, são características presentes no terreno que também são visíveis nas imagens capturadas. Esses elementos, que podem ser objetos específicos ou características notáveis, são essenciais para estabelecer a correspondência entre o sistema de coordenadas das imagens e o sistema de coordenadas do terreno. O ponto que é identificado no terreno está diretamente vinculado ao mesmo ponto na fotografia, que é parte do sistema de coordenadas da imagem, permitindo essa conexão precisa entre ambos os sistemas.

Os pontos de apoio podem ser divididos em dois grupos: os pontos de controle (PC) e os pontos de verificação (PV). É muito importante entender a distinção entre esses dois tipos de ponto de apoio, principalmente na hora de fazer o planejamento de voo e a distribuição desses pontos, pois cada um possui uma função diferente.

Seguindo as informações de Alves Júnior; Gomes (2022), os pontos de controle representam marcos terrestres de referência empregados na etapa de pós-processamento das imagens, visando aprimorar a precisão dos resultados cartográficos produzidos. Em outras palavras, esses pontos desempenham um papel fundamental no decorrer do processamento, assegurando que ele mantenha um padrão de referência confiável. Por outro lado, os pontos de verificação assumem a função de indicadores da qualidade dos projetos, servindo como ferramentas para avaliar e validar a excelência e a exatidão dos produtos obtidos. Daí a relevância de se dispor tanto de pontos de controle quanto de pontos de verificação.

Corroborando o pensamento acima, segundo Neto (2015), os pontos de verificação não desempenham um papel direto no processamento do bloco fotogramétrico, isto é, no mapeamento em si. Caso sejam incluídos nesse processo, eles participarão do procedimento estatístico de ajustamento, afetando diretamente suas coordenadas e precisão, o que poderia distorcer os resultados. Portanto, esses pontos são medidos na imagem de forma independente e não são selecionados durante a aerotriangulação.

Dessa forma, os pontos de apoio podem aparecer em campo como alvos naturais ou artificiais. Os alvos naturais geralmente são utilizados em projetos de mapeamento em área urbana, consiste na utilização dos detalhes visíveis nas imagens. Como nessas áreas há um nível de detalhes em solo, estes podem ser utilizados como pontos de apoio. No entanto, esses alvos têm que aparecer nas imagens perfeitamente, longe de árvores e no nível do terreno para não influenciar na precisão altimétrica do produto gerado.

Os alvos artificiais são utilizados quando não se consegue utilizar as feições ou objetos do próprio terreno que poderia ser identificado como ponto de apoio. Geralmente, esses alvos são mais utilizados em projetos de áreas rurais, pois são áreas homogêneas, e não possuem o detalhamento como na área urbana.

Estes alvos podem aparecer de diferentes formas, sendo a mais comum, o formato em (X). No entanto, o que se procura é ter o centro do alvo bem definido, pois irá auxiliar a marcação do centro durante o processamento. Outra coisa importante, são as cores, elas precisam contrastar uma com a outra, por exemplo, preto e branco, preto e amarelo etc. Isto é, elas precisam ser muito bem definidas para aparecer nas imagens.

Para coleta dos Pontos de Apoio, geralmente são utilizados três tipos de receptores: receptores geodésicos, receptores de navegação (GPS) e receptores geodésicos com RTK. No entanto, os principais tipos de receptores de navegação (GPS), possuem uma precisão/acurácia de 5 até 30 m de erro. Por isso, nos projetos utilizando RPA, que se procura uma precisão de milímetros ou centímetros, não é recomendado utilizar esse receptor.

5.8.1 Métodos de rastreamento das coordenadas dos pontos de apoio

Um levantamento topográfico refere-se a um conjunto de métodos e processos. Existem aqueles por meio de medições topográficas (ângulos horizontais, verticais, distâncias horizontais ou inclinadas e diferença de nível) e por meio do uso de receptores GNSS, que realiza medições sobre a superfície terrestre com a finalidade de representação gráfica de uma porção do terreno sobre uma superfície plana.

A sigla GNSS significa *Global Navigation Satellite System* – (Sistema de Navegação por Satélite). Segundo as Recomendações Para Levantamentos Relativos Estáticos – GPS do IBGE (2008), o termo GNSS é utilizado para designar o posicionamento por satélites utilizando toda infraestrutura para este tipo de posicionamento, incluindo os sistemas orbitais e a infraestrutura de apoio em solo (*GPS* (EUA), *GLONASS* (Rússia), *Galileo* (Europa) e *Beidou/Compass* (China)).

De acordo com Sampaio Brandalise (2018), os modelos de receptores GNSS podem apresentar diferentes níveis de acurácia posicional dependendo de uma série de fatores que envolvem as características do aparelho e do modo de uso. Assim, dependendo do receptor utilizado e da metodologia empregada na coleta dos dados, a acurácia posicional pode variar e, conseqüentemente, a escala final dos dados será diferenciada.

Ainda segundo Sampaio Brandalise (2018), os fabricantes de aparelhos estabelecem uma relação de acurácia padrão baseada em 90% ou 95% do tempo de coleta. Contudo, a acurácia posicional pode variar significativamente para um mesmo aparelho em função das condições da coleta. De um modo geral, segundo IBGE (2008), três tipos de receptores podem ser identificados:

- Receptores de Navegação: utilizados em aparelhos celulares, *tablets*, GPS de recreação e outros. Estes aparelhos podem obter dados de uma ou mais constelações de satélites, rastreiam o código C/A (aberto) e alguns podem rastrear (mas não armazenam diretamente) a fase da onda portadora L1. Nestes aparelhos a acurácia posicional horizontal pode variar de menos de 1m a mais de 20m para 90% do tempo de coleta, dependendo do modelo e das condições de uso.

- Receptores Topográficos: em geral, são utilizados em pares, com um dos aparelhos posicionado sobre uma estação de referência. Normalmente, possuem uso restrito ao raio de alcance da estação de apoio. Esses receptores são capazes de rastrear a fase da onda portadora L1, e a acurácia posicional pode variar de centímetros a poucos metros, dependendo do número de receptores, da distância da estação base, do tempo de rastreamento, entre outros fatores.

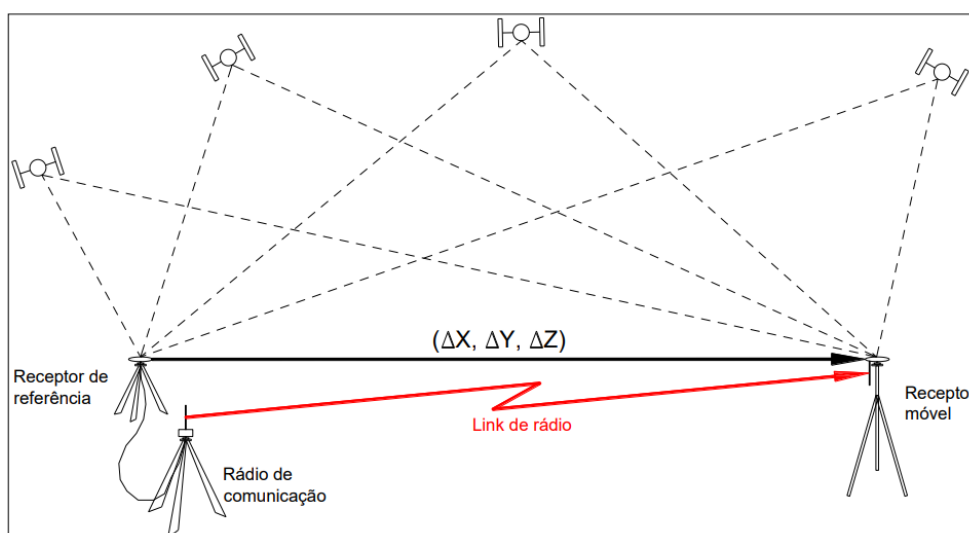
- Receptores Geodésicos: são capazes de rastrear a fase da onda portadora em ambas as frequências (L1 e L2), o que permite sua utilização em linhas de base maiores que 10 km. Esses receptores são normalmente empregados em levantamentos que servirão como referência, apoio ou controle para outros tipos de levantamentos, como os fotogramétricos.

Assim, Sampaio, T. V. M.; Brandalise, M. C. B (2018), afirmam que em um primeiro momento, é possível definir o equipamento e o método de coleta de dados mais adequado à escala pretendida. Contudo, ainda que o fabricante garanta que o equipamento apresenta a acurácia necessária, a qualidade posicional final do produto cartográfico deverá ser sempre avaliada a fim de verificar a sua adequação à escala. Por isso, para realização dos estudos foi escolhido o receptor do tipo geodésico com o método RTK.

O método RTK, conhecido também como GPS RTK, é um conjunto de equipamentos eletrônicos capazes de coletar dados geoespaciais transmitidos por satélites a fim de obter coordenadas precisas, tanto em modo estático (pós-processado) como em modo RTK (*Real Time Kinematic*). São compostos por um conjunto de receptores GNSS (base + *rover*).

No modo (RTK) convencional, os dados de correção são transmitidos por meio de um link de rádio do receptor instalado no vértice de referência ao receptor que percorre os vértices de interesse (campo). A solução encontrada é uma linha de base única, conforme Figura 4.

Figura 4 - RTK Convencional



Fonte: INCRA (2025)

Esse método é muito produtivo devida sua rapidez na fixação do ponto (coordenada). Geralmente, quando a base está perto do *rover*, esse processo é mais rápido ainda. Esse método garante uma precisão milimétrica, dependendo do projeto, dispensa o pós-processamento das coordenadas. No entanto, um fator que limita a fixação do ponto, bem como a área de abrangência dos levantamentos por RTK convencional, é o alcance de transmissão das ondas de rádio. Basicamente, o alcance máximo é definido em função da potência do rádio e das condições locais em termos de obstáculos físicos.

5.8.2 Distribuição dos pontos de apoio

Os pontos de apoio são elementos chave no mapeamento fotogramétrico com RPA, pois garantem a precisão, a georreferenciação e a qualidade geral dos produtos cartográficos e dos modelos tridimensionais gerados a partir das imagens capturadas pela

aeronave. Sua coleta criteriosa e distribuição estratégica são essenciais para obter resultados confiáveis e úteis para diversas finalidades.

Portanto, a coleta de pontos de apoio não deve ser realizada em locais aleatórios no campo, sem um método estabelecido, pois tal abordagem pode comprometer os resultados do processamento, em vez de aprimorá-los. Para garantir a precisão necessária, é fundamental considerar critérios específicos na distribuição desses pontos.

Um dos critérios importantes é distribuir os pontos de apoio nas extremidades da área mapeada, pois nessas regiões há menor sobreposição de imagens. A sobreposição das imagens é formada pelas áreas em comum entre cada foto, e é a partir dessa sobreposição que o *software* consegue identificar pontos semelhantes para realizar o processamento. Como nas bordas há pouca sobreposição, é necessário posicionar os pontos de apoio nessas áreas para garantir a precisão desejada no projeto.

Além disso, é essencial posicionar os pontos de apoio em áreas com maior variação de terreno ou altitude. Em mapeamentos aéreos, a qualidade da planimetria tende a ser superior à da altimetria. Para minimizar erros altimétricos além dos limites aceitáveis, é crucial distribuir os pontos em regiões com diferentes altitudes, ou seja, tanto em áreas mais elevadas quanto em regiões mais baixas, garantindo uma precisão aprimorada no levantamento.

Segundo Zanetti (2017), a distribuição espacial dos pontos de apoio é um fator determinante na qualidade da ortofoto gerada. Um padrão de pontos agrupados pode comprometer a precisão da ortofoto, tornando a distribuição dispersa mais adequada para garantir uma melhor representação espacial. A seleção aleatória de pontos de apoio auxilia na obtenção de uma amostra representativa e, ao mesmo tempo, reduz o viés na avaliação da precisão.

A utilização dos pontos de apoio é crucial para definir a configuração geométrica do conjunto fotogramétrico, principalmente na produção de produtos que exigem medidas diretas, como modelos digitais de elevação (MDE) e ortomosaicos. Esses pontos desempenham um papel essencial na avaliação da precisão e exatidão dos resultados obtidos, assegurando que os produtos atendam aos critérios desejados de qualidade e conformidade.

O processo de distribuição das amostras em campos para avaliação de precisão de ortomosaicos exige um método rigoroso e imparcial, com o objetivo de garantir que os resultados reflitam adequadamente toda a área de estudo. Seguindo as diretrizes da ET-CQDG (2016), a área de estudo é dividida em grades, formando células menores que facilitam a seleção proporcional de pontos em cada região. Este procedimento é essencial para que a

amostragem cubra todas as variações espaciais da área, assegurando uma avaliação precisa da qualidade do produto.

A amostragem posicional, conforme descrita pela ET-CQDG (2016), envolve a coleta de pontos de controle posicionais, bem como a amostragem de fenômenos contínuos. Os pontos de controle são utilizados para a verificação da planimetria, enquanto a amostragem de fenômenos contínuos, como modelos digitais de elevação, refere-se à avaliação da altimetria. Para ortomosaicos, a amostragem segue o modelo da ISO 2859-2, que é aplicada na inspeção de produtos isolados, como ortomosaicos e modelos digitais de elevação. Essa abordagem assegura que as amostras sejam retiradas de um único produto ou lote de dados, garantindo a precisão da avaliação.

O processo de amostragem começa com a definição do tamanho da população, que, neste caso, é o ortomosaico a ser avaliado. De acordo com a ET-CQDG (2016), a população é subdividida em células de 4x4 cm, de acordo com a escala do produto ou a escala de avaliação. Considerando, por exemplo, a escala do produto 1:1.000, as células seriam de 40x40 m, enquanto em um produto 1:10.000, as células seriam de 400x400 m. A partir dessa subdivisão, as células são avaliadas, e apenas as células que contêm pontos identificáveis tanto no produto de teste quanto no produto de referência são consideradas válidas. A quantidade de células válidas determina o tamanho da população e, por consequência, o número de amostras a serem retiradas.

As normas ISO 2859-1 e ISO 2859-2 fornecem diretrizes detalhadas sobre os procedimentos de amostragem para inspeção de produtos em lote e para produtos isolados, respectivamente. Para a amostragem de ortomosaicos, que se enquadram na categoria de produtos isolados, deve-se aplicar a ISO 2859-2, que utiliza o conceito de qualidade limite (QL). Esse conceito estabelece um nível mínimo de qualidade para o lote, com uma probabilidade reduzida de aceitação. Para calcular as amostras, o processo é realizado no *software* GeoPec, com uma taxa de erro de 4% e nível de inspeção II, conforme as diretrizes das normas ISO 2859-1 e ISO 2859-2.

Esse procedimento garante que as amostras selecionadas para inspeção sejam representativas da área de estudo, assegurando que o ortomosaico final produzido tenha qualidade e precisão adequadas.

5.9 A IMPORTÂNCIA DA GEOGRAFIA NA PRECISÃO POSICIONAL E VALIDAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS PRODUZIDOS COM RPA

O papel da geografia como fundamento metodológico para a garantia da qualidade posicional nos produtos da aerofotogrametria com RPA é incontestável. Mais do que uma base conceitual, a geografia fornece o quadro analítico e crítico necessário para interpretar, validar e contextualizar os dados geospaciais de alta resolução gerados por essas tecnologias (Zeybek et al., 2023). A precisão de produtos cartográficos como ortofotos e Modelos Digitais de Elevação (MDE), essenciais para aplicações em gestão ambiental, agricultura de precisão e planejamento territorial, está intrinsecamente ligada ao rigor do embasamento geográfico em todas as etapas, desde o planejamento do voo até a análise final.

A topogeometria, conceito que sintetiza os princípios da geografia, topografia e geometria, emerge como abordagem fundamental. Ela assegura que os produtos derivados não sejam apenas geometricamente precisos, mas também topologicamente consistentes e referenciados espacialmente de forma correta. Este rigor é particularmente crítico na seleção e distribuição dos Pontos de Controle (PC) e Pontos de Verificação (PV), cuja qualidade determina diretamente a acurácia final (Mikhail, Bethel, & McGlone, 2001).

A relevância dessa integração é ilustrada em estudos aplicados. Por exemplo, Alves Júnior; Gomes e Gomes (2023), ao determinarem o volume de material erodido por ravinamento com RPA, demonstraram como o monitoramento geomorfológico de alta resolução depende de um modelo tridimensional acurado, cuja validação exige conhecimento geográfico para interpretar as formas do terreno e a dinâmica erosiva. Nesse contexto, conceitos geográficos clássicos, como escala, projeção, sistema de referência e análise espacial – transcendem a teoria, tornando-se ferramentas práticas para a crítica da qualidade posicional e a garantia de interoperabilidade com outras bases de dados (Goodchild, 2010).

A evolução tecnológica, com RPA e sensores cada vez mais avançados, demanda uma contrapartida metodológica igualmente sofisticada. A geografia, ao integrar esses avanços, permite uma interpretação mais rica dos dados, aprimorando a modelagem do terreno e a representação de fenômenos espaciais complexos. Consequentemente, a confiabilidade dos mapas para planejamento urbano, gestão de recursos ou resposta a desastres é diretamente impactada pela qualidade posicional, que por sua vez é sustentada pelo embasamento geográfico.

Portanto, a busca por maior acurácia e confiabilidade na cartografia com RPA é, em sua essência, um empreendimento interdisciplinar. A geografia desempenha papel central

nesta cadeia, fornecendo o arcabouço necessário para transformar dados brutos em informação espacial validada, útil e decisiva para a sociedade.

6. ARTIGO 1

A IMPORTÂNCIA DOS PONTOS DE APOIO NO MAPEAMENTO DE AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) E NOS PADRÕES DE CONTROLE DE QUALIDADE PARA PRECISÃO DE PRODUTO DIGITAL

Resumo: O mapeamento com Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) demanda controle de qualidade para garantir a precisão dos produtos cartográficos, sendo os pontos de apoio (PA) fundamentais nesse processo. Este estudo analisou a influência da densidade de Pontos de Controle (PC) na precisão posicional de ortomosaicos na escala 1:1000. A metodologia envolveu a coleta de 40 PAs (20 PCs e 20 PVs) em uma área rural de 20,9 ha, utilizando GNSS RTK, e o processamento fotogramétrico no *software Agisoft Metashape*. Foram realizados cinco processamentos, reduzindo progressivamente o número de PCs (20, 16, 12, 8 e 5) para avaliar a acurácia com base nas normas ASPRS (2014) e PEC-PCD - Decreto 89.817/ET-CQDG (2016). Os resultados indicaram que configurações com 8 ou mais PCs mantiveram a Classe A (PEC-PCD) e Classe I (ASPRS), sem tendências sistemáticas. A configuração com apenas 5 PCs apresentou maior dispersão dos erros, especialmente na altimetria (Classe IV - ASPRS), mas ainda dentro do padrão nacional. Conclui-se que é possível otimizar a quantidade de PCs sem comprometer a qualidade posicional, desde que respeitados os limites mínimos e a adequada distribuição espacial, assegurando a eficiência dos levantamentos com RPA. O trabalho reforça a importância do planejamento e da aderência às normas para assegurar produtos cartográficos confiáveis.

6.1 INTRODUÇÃO

O campo de aquisição e mapeamento de dados geoespaciais testemunhou uma evolução transformadora com o advento das Aeronaves Pilotadas Remotamente (RPA), comumente conhecidas como *drones*. Esses veículos aéreos não tripulados revolucionaram a forma como capturamos e analisamos informações espaciais, oferecendo vantagens sem precedentes em termos de eficiência, custo-benefício e acessibilidade. À medida que essas tecnologias se tornam cada vez mais essenciais para vários setores, a precisão e a confiabilidade dos produtos digitais resultantes são de suma importância.

Indispensável para garantir a precisão dos dados geoespaciais capturados por meio de RPA são os pontos de apoio (PA). Os pontos de apoio servem como pontos de referência na superfície da Terra com coordenadas geográficas precisamente conhecidas. Eles desempenham um papel fundamental no georreferenciamento preciso de imagens aéreas e na subsequente geração de mapas topográficos, ortofotos e outros produtos cartográficos. Os pontos de apoios adequadamente distribuídos permitem a redução de erros sistemáticos, corrigem distorções e melhoram a precisão espacial geral da saída final. Ou seja, eles desempenham um papel fundamental na correção geométrica e no georreferenciamento dos dados, bem como na avaliação da precisão dos resultados.

Para manter a qualidade e a confiabilidade dos produtos cartográficos digitais, medidas de controle rigorosas são essenciais. A Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS 2014) estabeleceu padrões de qualidade abrangentes que orientam a aquisição, processamento e análise de dados geoespaciais. Esses padrões abrangem vários aspectos, incluindo precisão posicional, precisão e avaliação da qualidade dos dados. A adesão aos padrões ASPRS garante que os produtos cartográficos finais atendam aos critérios aceitos pela indústria para precisão e confiabilidade.

No contexto do arcabouço geoespacial brasileiro, o Padrão de Precisão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) desempenha um papel crucial. O PEC-PCD define classes de acurácia e requisitos de acurácia posicional para diferentes tipos de produtos cartográficos, garantindo que atendam às necessidades e padrões específicos da comunidade geoespacial brasileira. Os padrões são estabelecidos com base nas tolerâncias previstas no Decreto nº 89.817 de 1984, de acordo com as diretrizes da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) em 2016.

Os motivos para escolhas dessas duas normas empregadas no desenvolvimento desse artigo, foram: a norma ASPRS que apresenta critérios para avaliação de produtos obtidos por novas tecnologias. E pelo Decreto nº 89.817 junto à ET-CQDG (2016), que apresenta em sua formulação os conceitos de amostragem baseados em normas consolidadas para procedimentos amostrais: ISO 2859-1:1999 (ISO, 1999) e ISO 2859-2:1985 (ISO, 1985).

O principal objetivo deste estudo foi analisar a influência da densidade dos pontos de controle (PC) na precisão posicional de uma área agrícola. Para isso, foram utilizados 20 pontos de controle (PC) e 20 pontos de verificação (PV), totalizando 40 pontos de apoio (PA). A metodologia adotada envolve a redução sistemática do número de PCs, permitindo

avaliar se a qualidade posicional resultante permanece dentro das tolerâncias estabelecidas pela ASPRS (2014), que exige 20 pontos de verificação (PV). Esse processo é essencial para compreender as implicações práticas da variação na densidade dos pontos de controle e identificar o limite mínimo necessário para manter a precisão aceitável na escala 1:1000.

Além disso, a correta utilização de pontos de apoio na aquisição de dados geoespaciais por meio de RPA, aliada à aderência a padrões internacionais de qualidade, como os estabelecidos pela ASPRS, e a diretrizes nacionais, como o Decreto nº 89.817 e a ET-CQDG (2016), é fundamental para garantir a precisão e a confiabilidade dos produtos cartográficos digitais.

Estudos recentes desenvolvidos por Alves Júnior; Gomes (2022), evidenciam que a acurácia posicional dos produtos cartográficos gerados por meio de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) está diretamente condicionada à densidade, à distribuição espacial e à qualidade dos pontos de controle utilizados no processamento fotogramétrico. Nesse sentido, Gonçalves e Albarici (2025) ressaltam que a redução na quantidade de pontos de apoio, bem como sua má distribuição, compromete significativamente a acurácia posicional, sobretudo na elaboração de modelos tridimensionais e ortomosaicos de alta resolução. Tal comprometimento reflete-se na degradação da qualidade métrica dos produtos cartográficos, limitando sua aplicabilidade em atividades que exigem elevado rigor posicional, como na regularização fundiária, planejamento territorial e gestão ambiental.

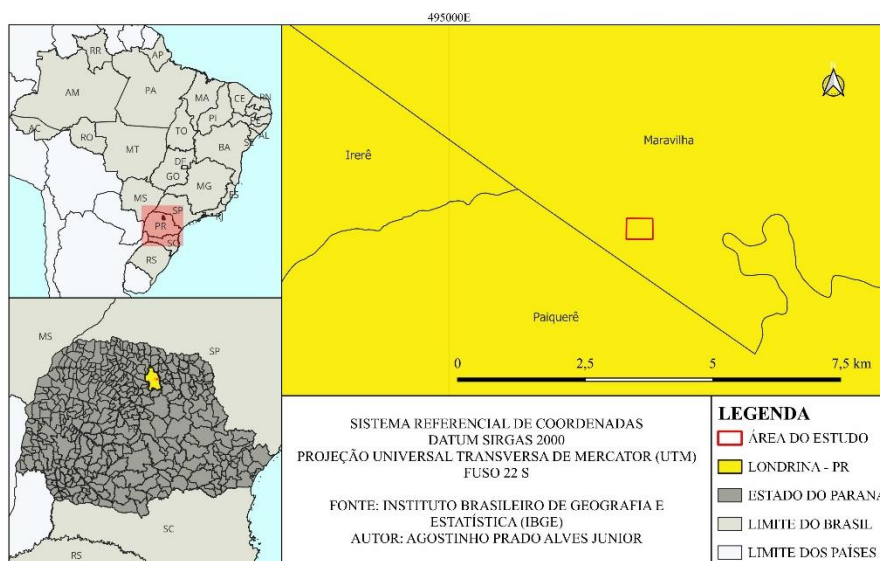
Por fim, a análise contínua da influência da densidade dos pontos de apoio na precisão posicional contribui significativamente para o avanço do conhecimento sobre as melhores práticas no campo da aquisição e do mapeamento geoespacial. O estudo reforça a importância do planejamento adequado na distribuição dos pontos de controle, permitindo otimizar a eficiência dos levantamentos e garantir a qualidade dos produtos gerados.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 5) abrange uma área rural de cerca de 20,9 hectares (ha) localizada no distrito de Maravilha, no município de Londrina, no Estado do Paraná, Brasil.

Figura 5 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

6.2.2 Materiais utilizados

Receptor GNSS RTK (base *ProMark 700*, Rover *ProMark 500*);

Software QGis 3.28 para manipulação dos dados espaciais;

Software fotogramétrico *Agisoft Metashape* para o processamento das fotos;

A aeronave utilizada para obter as imagens foi do tipo multirrotor, do modelo *Mavic 2 Pro* da empresa *DJI*.

6.2.3 Metodologia

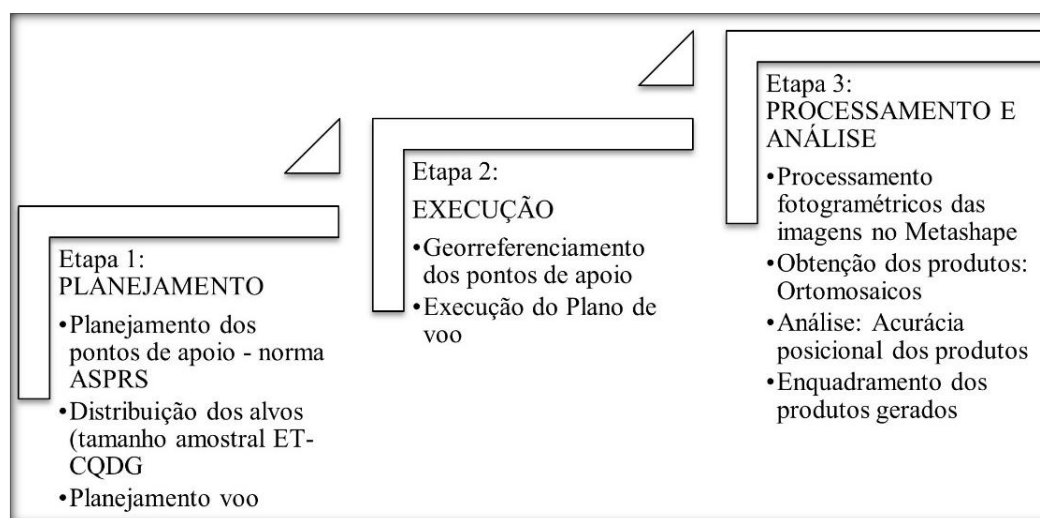
A condução da pesquisa ocorreu em duas fases distintas. A primeira fase envolveu a análise da literatura existente, com o objetivo de identificar e compreender as técnicas e metodologias essenciais para alcançar os objetivos propostos neste trabalho. Para isso, foi realizada uma revisão sistemática e criteriosa da literatura, utilizando bases de dados reconhecidas de periódicos específicos da área, como os disponibilizados pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Foram empregados termos-chave relacionados ao tema, como acurácia posicional, fotogrametria com RPA, ortomosaicos e normas cartográficas.

Além disso, a seleção dos estudos considerou critérios como relevância, ano de publicação (priorizando os últimos dez anos), e o impacto das publicações na comunidade

científica. Os resultados dessa análise bibliográfica serviram como base teórica para o desenvolvimento da pesquisa e para a interpretação dos dados obtidos na segunda fase.

Enquanto a segunda etapa consistiu no planejamento das atividades de campo, destinadas à coleta de dados, seguidas pelo subsequente processamento destes. A Figura 6, apresenta de forma ilustrativa, as etapas e os procedimentos metodológicos implementados na pesquisa na segunda etapa.

Figura 6 - Fluxo metodológico de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

6.2.4 Distribuição dos pontos de apoio na área do estudo

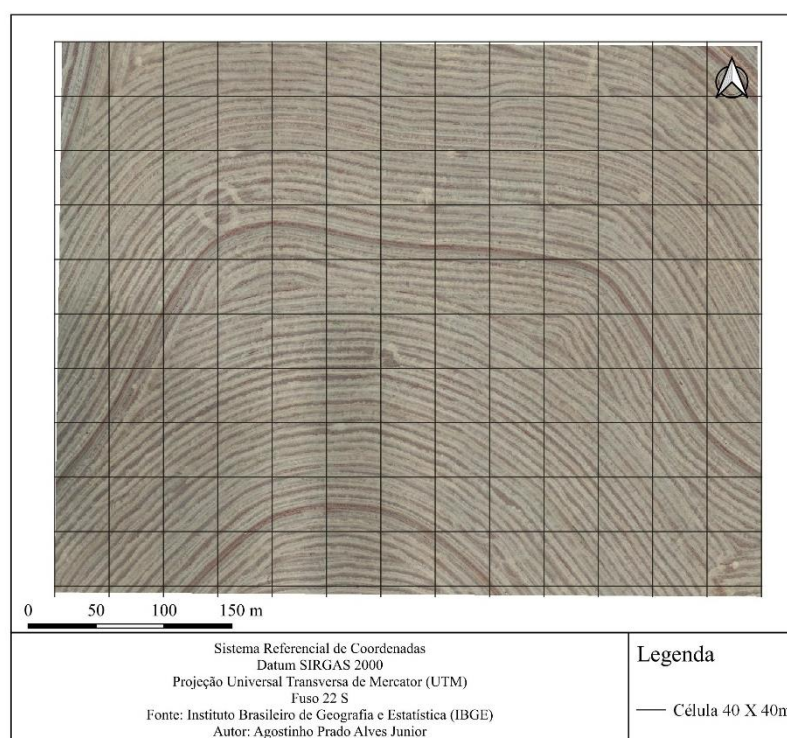
Os pontos de apoio podem ser divididos em dois grupos: os pontos de controle (PC) e os pontos de verificação (PV). É muito importante entender a distinção entre esses dois tipos de ponto de apoio, principalmente na hora de fazer o planejamento de voo e a distribuição desses pontos, pois cada um possui uma função diferente.

Segundo Alves Júnior; Gomes (2022) os pontos de controle representam marcos terrestres de referência empregados na etapa de pós-processamento das imagens, visando aprimorar a precisão dos resultados cartográficos produzidos. Por outro lado, os pontos de verificação assumem a função de indicadores da qualidade dos projetos, servindo como ferramentas para avaliar e validar a excelência e a exatidão dos produtos obtidos.

Para realizar a coleta dos pontos de apoio em campo, foram analisadas as diretrizes estabelecidas por cada norma. Conforme a norma ET-CQDG, a área de estudo foi subdividida em células de 4 cm na escala do produto (1:1000), resultando em quadrículas de 40

x 40 m (Figura 7), totalizando 130 células propícias para a coleta de pontos apoio, ou seja, pontos de controle e pontos de verificação. No *software* GeoPEC, por meio do menu de amostragem, também é possível calcular as células propícias para a coleta dos pontos com base na norma ET-CQDG, inserindo o tamanho da área em km² e a escala pretendida. Esse procedimento resulta na mesma subdivisão da área em células de 4 cm, garantindo consistência no processo de amostragem.

Figura 7 - Áreas propícias para coleta de pontos de apoio após dividir a área em células de 40x40m

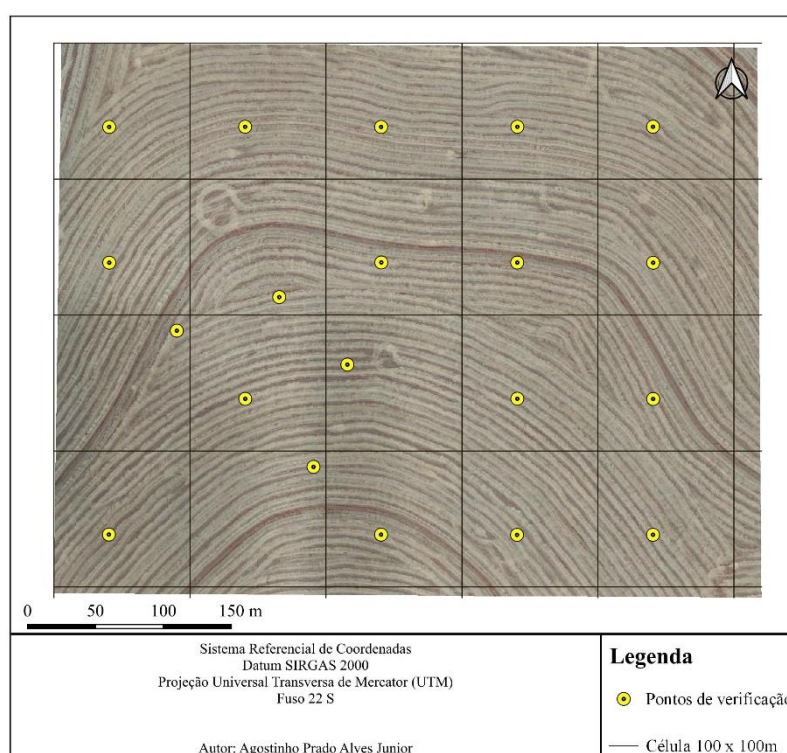


Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Como o produto avaliado foi um ortomosaico, aplica-se a norma de inspeção de produtos isolados (ISO 2859-2), na qual todas as células são consideradas válidas. Dessa forma, no *software* GeoPEC, ao utilizar o menu de amostragem e aplicar a norma ISO 2859-2, o número de células válidas é inserido, permitindo o cálculo preciso das células destinadas à distribuição dos pontos de verificação em campo. Com uma área total de aproximadamente 20,9 hectares (0,209 km²), a norma ASPRS especifica um tamanho de amostra de 20 pontos de verificação (Tabela 4), valor equivalente ao estabelecido pela metodologia da ET-CQDG. Como resultado, a área de estudo foi subdividida em 20 células efetivas de 100 x 100 m (Figura 8). Esses procedimentos asseguram que os pontos de verificação estejam bem distribuídos na área de estudo.

No entanto, ambas as normas não detalham a quantidade exata de pontos de controle nem a forma como devem ser distribuídos. Dessa forma, as mesmas diretrizes foram utilizadas para orientar a distribuição dos pontos de controle, adotando inicialmente 20 pontos de amostras. Após a subdivisão da área em células conforme as diretrizes da norma ET-CQDG, que estabelece as condições ideais para a coleta dos pontos, o próximo passo foi determinar a localização precisa dos pontos de apoio, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Distribuição dos 20 pontos de verificação em campo conforme a norma ASPRS após dividir a área em células de 100x100m



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A definição das células efetivas dependerá do tamanho da área de estudo, sendo determinada através de um método empírico baseado em tentativas sucessivas, sem evidências prévias, a fim de determinar a configuração mais adequada. Áreas mais extensas resultarão em células de maior dimensão.

6.2.5 Coleta dos pontos de apoio

Para a elaboração dos bancos de dados utilizados neste estudo, todo o material gerado foi georreferenciado no sistema de coordenadas SIRGAS 2000. A coleta dos pontos foi realizada por meio do Receptor GNSS *Ashtech ProMark 500* de dupla frequência (L1/L2), onde

um receptor base ficava encarregado de reconhecer o ponto base. O tempo dedicado à coleta do ponto base foi de 3 horas e 29 minutos. O Receptor base GNSS *Ashtech ProMark 700* pode ser observado na Figura 9.

Figura 9 - Equipamento utilizado no georreferenciamento dos pontos de apoio



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Posteriormente, foi efetuada a correção utilizando o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) de forma estática, realizado *online* na página inicial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), utilizando efemérides finais. Esse procedimento resultou em coordenadas com Sigma (95%). A partir dessas coordenadas georreferenciadas, os pontos de apoio foram coletados com o receptor *rover* em modo RTK, proporcionando posicionamento cinemático em tempo real para cada ponto, com a coleta levando apenas alguns segundos para cada um. A Figura 10 exemplifica um dos alvos sinalizados em campo.

Figura 10 - Pontos de apoio georreferenciados



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

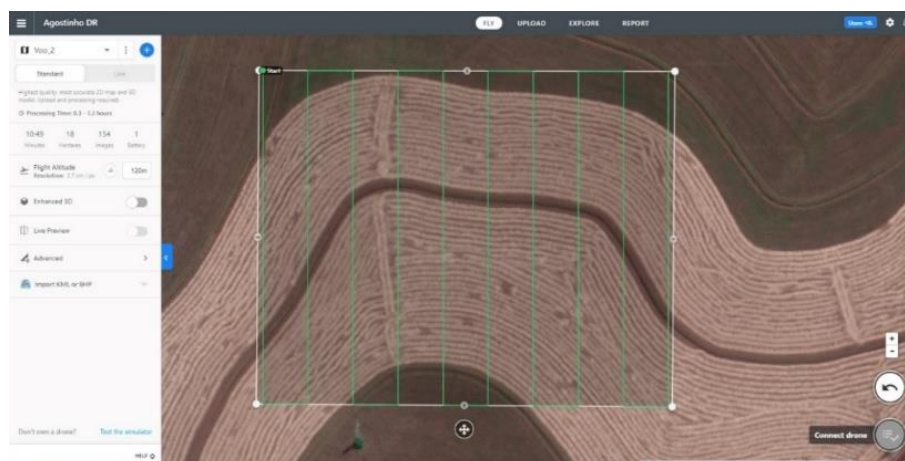
O *software GNSS Solutions* foi utilizado para correlacionar os pontos da base e do *rover*. Todos os pontos ocupados com o *rover* em campo tiveram suas ambiguidades de vetor fixadas, garantindo a qualidade do levantamento. No Anexo deste trabalho, encontra-se o relatório IBGE-PPP.

6.2.5 Aquisição das fotos com RPA

Para a realização do levantamento aerofotogramétrico, foi utilizada a aeronave não tripulada multirrotor *Mavic 2 Pro* da empresa *DJI*, conhecida pelo seu custo acessível. Este equipamento está equipado com um sensor CMOS de 1" e 20 *megapixels* e utiliza um sistema de posicionamento por satélites GPS e GLONASS. Além disso, a aeronave conta com um sistema de estabilização da câmera (*Gimbal*) que contribui para a qualidade das imagens obtidas durante o voo.

O aerolevanteamento da área utilizando a RPA foi conduzido a partir de um plano de voo elaborado no programa *DroneDeploy*, um aplicativo especializado em voos automatizados para aeronaves *DJI*. Esse programa permite a configuração da altura, direção, velocidade de voo, bem como das sobreposições laterais e frontais. É relevante ressaltar que a metodologia proposta se baseia em voos totalmente autônomos, onde a aeronave permanece à vista (VLOS - *Visual Line of Sight*), conforme o plano de voo predefinido, conforme mostrado na Figura 11. Os termos e procedimentos seguidos estão detalhados na instrução sobre aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro - ICA 100-40 (DECEA, 2023). Por essa razão, o plano de voo foi configurado com altitude de 120 metros, resultando na captura de 154 imagens.

Figura 11 - Interface *Drone Deploy* e Plano de Voo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com o propósito de avaliar a acurácia e a eficácia dos dados adquiridos, as sobreposições foram estabelecidas levando em consideração os princípios da fotogrametria, com um recobrimento longitudinal de 75% e lateral de 65%. Após essa definição, foram calculadas a largura e o comprimento das faixas. Para esses dispositivos, é aconselhável um recobrimento mais amplo, o que afeta a quantidade de imagens, bem como as áreas de pouso e decolagem, sendo todos esses parâmetros configurados com auxílio do aplicativo.

6.2.6 Processamento dos dados

As fotos obtidas nos aerolevantamentos foram processadas fotogrametricamente com o *software Agisoft Metashape* para a criação do ortomosaico. Para isso, o ponto de projeção cartográfica das imagens, ou seja, as coordenadas geográficas, foram convertidas para o sistema cartesiano de projeção UTM, fuso 22 do hemisfério Sul. Isto é, o processamento de dados no *software* foi realizado no Sistema Geodésico Referência SIRGAS2000, na projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) do fuso 22 do hemisfério sul.

Existem várias diferenças entre o *Metashape* e outros *softwares* de fotogrametria disponíveis no mercado, embora muitas das funcionalidades essenciais sejam semelhantes. Esse programa possui uma interface simples e permite a geração de nuvem de pontos esparsa ou densa, malhas texturizadas tridimensionais e outras representações, como as ortofotos e MDE, por exemplo.

O processamento fotogramétrico no *software Agisoft Metashape* pode ser dividido em diversas etapas, partindo da importação das fotos até a geração do ortomosaico. Para a obtenção de resultados de alta precisão, foi essencial configurar com rigor tanto o alinhamento das fotos quanto a nuvem densa de pontos.

A geração da nuvem de pontos baseia-se nas posições relativas de cada fotografia, as quais, a partir da determinação da informação de profundidade, possibilitam a reconstrução de uma nuvem de pontos que representa a estrutura da superfície do terreno. Dependendo das opções definidas pelo usuário, o *software* pode aumentar a densidade de pontos, reduzindo as áreas sem dados para representar com maior fidelidade a região mapeada. Por essa razão, nesta etapa foi adotado o parâmetro de alto rigor/qualidade. As demais rotinas de processamento aplicadas foram as sugeridas pelo *software* para a obtenção do ortomosaico.

6.2.7 Acurácia posicional e enquadramento do ortomosaico gerado

Para validar a precisão dos resultados, foram empregados dois métodos de análise distintos. O primeiro método baseou-se na avaliação realizada pelo *software Agisoft Metashape*, que examina o posicionamento dos pontos de verificação em dois momentos diferentes. Ele compara as coordenadas dos pontos no terreno, obtidas com um equipamento GNSS de alta precisão, com as coordenadas dos pontos na imagem após o processamento, revelando as discrepâncias entre esses valores. Para os pontos de verificação selecionados pelo operador, a acurácia foi avaliada utilizando o método estatístico da Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE). Esse método estatístico é comumente utilizado para medir a dispersão dos erros em relação a uma linha de regressão em verificações de resultados experimentais, como é o caso desta análise posicional.

A segunda técnica utilizada foi uma abordagem manual, na qual os pontos de verificação desempenham um papel crucial. O processo inicia com a exportação dos erros estimados dos alvos dentro do *software Agisoft Metashape*. Esses dados são então utilizados para calcular as coordenadas altimétricas e planimétricas. A avaliação das diferenças de coordenadas foi conduzida comparando as coordenadas dos alvos nas imagens com as coordenadas dos pontos de apoio em campo. Nesse contexto, utilizamos o *software GeoPEC*, especializado na análise posicional de dados espaciais, de acordo com o padrão de Exatidão Cartográfica Brasileiro. A Tabela 6 exibe a interface de entrada de dados no *software*, a partir da qual foi possível iniciar a avaliação da acurácia planialtimétrica, a primeira norma considerada neste estudo.

Tabela 6 - Dados extraídos do *Metashape* para entrada no *software GeoPEC*

Ponto	E (m) Teste	N (m) Teste	h (m) Teste	E (m) Referência	N (m) Referência	h (m) Referência
27	498.907.409.000	7.400.993.143.000	502.855.000	498.907.436.724	7.400.993.206.771	502.851.851
40	498.657.757.000	7.400.742.917.000	518.739.000	498.657.751.993	7.400.742.907.475	518.730.383
17	498.807.618.000	7.400.793.032.000	514.660.000	498.807.582.630	7.400.793.015.601	514.685.695
2	498.682.676.000	7.400.818.139.000	514.807.000	498.682.655.371	7.400.818.151.623	514.738.487
28	498.807.647.000	7.400.993.102.000	504.224.000	498.807.683.703	7.400.993.194.033	504.157.519
15	498.607.566.000	7.400.792.945.000	514.560.000	498.607.577.529	7.400.792.983.602	514.542.800
31	498.707.486.000	7.400.992.980.000	505.589.000	498.707.526.246	7.400.993.056.303	505.564.586
13	498.557.238.000	7.400.843.103.000	510.748.000	498.557.265.763	7.400.843.141.033	510.655.466
10	498.632.568.000	7.400.867.784.000	512.046.000	498.632.580.766	7.400.867.842.163	511.971.987
21	498.907.417.000	7.400.692.990.000	514.090.000	498.907.333.336	7.400.692.934.038	514.218.618
23	498.907.544.000	7.400.792.857.000	510.495.000	498.907.504.032	7.400.792.800.547	510.531.863
8	498.707.635.000	7.400.893.267.000	510.371.000	498.707.663.615	7.400.893.278.819	510.331.554

29	498.807.558.000	7.400.893.201.000	509.506.000	498.807.544.415	7.400.893.206.916	509.482.423
25	498.907.525.000	7.400.893.082.000	507.572.000	498.907.484.519	7.400.893.072.069	507.618.375
20	498.807.422.000	7.400.692.892.000	518.245.000	498.807.343.263	7.400.692.811.932	518.302.388
33	498.607.464.000	7.400.993.096.000	507.377.000	498.607.526.103	7.400.993.188.339	507.442.438
37	498.507.314.000	7.400.693.143.000	514.688.000	498.507.392.417	7.400.693.162.358	514.730.621
19	498.707.460.000	7.400.693.079.000	521.870.000	498.707.389.195	7.400.693.035.072	521.895.129
36	498.507.581.000	7.400.893.131.000	504.891.000	498.507.665.696	7.400.893.204.950	504.809.514
34	498.507.511.000	7.400.992.985.000	500.743.000	498.507.551.841	7.400.993.100.100	500.645.942

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

O algoritmo integrado ao *software* GeoPEC foi desenvolvido conforme os procedimentos delineados nas normas e metodologia proposta por Santos et al. (2016). Estes procedimentos têm como objetivo analisar o padrão de distribuição espacial da amostra de pontos de verificação, aplicando técnicas de estatística espacial, como o Vizinho Mais Próximo de Altas Ordens. Além disso, são empregadas análises para detectar tendências nos dados de discrepâncias posicionais por meio de estatística representativa e espacial, utilizando o teste *t-Student* e a análise da normalidade das discrepâncias posicionais.

Com base nos resultados obtidos, foi conduzida uma avaliação da acurácia posicional dos produtos gerados pelo levantamento aerofotogramétrico, seguindo os critérios estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica do Decreto nº 89.817, bem como a ET-CQDG (2016). Os produtos foram classificados de acordo com suas respectivas classes, visando obter uma reprodução precisa da área de interesse.

Complementarmente, foi considerada uma segunda norma de avaliação, alinhada ao padrão de acurácia posicional para dados geoespaciais digitais estabelecidos pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS) em 2014. Este padrão incorpora os avanços tecnológicos mais recentes para a produção de elementos cartográficos.

Para tal finalidade, os valores obtidos pelas duas técnicas anteriores foram utilizados da seguinte forma: os resultados da Raiz do Erro Quadrático Médio (RMSE), gerados pelo *software* Agisoft Metashape para avaliação interna da acurácia, foram categorizados conforme os padrões da ASPRS. Nos casos em que os valores de RMSE não forem fornecidos diretamente pelo *software*, foi elaborada uma planilha com os dados de coordenadas dos pontos de verificação. A partir dela, foi calculado as diferenças residuais, tanto planimétricas quanto altimétricas, para então derivar o RMSE correspondente. Esses valores foram, posteriormente, enquadrados de acordo com as classes de acurácia estabelecidas pela norma estadunidense.

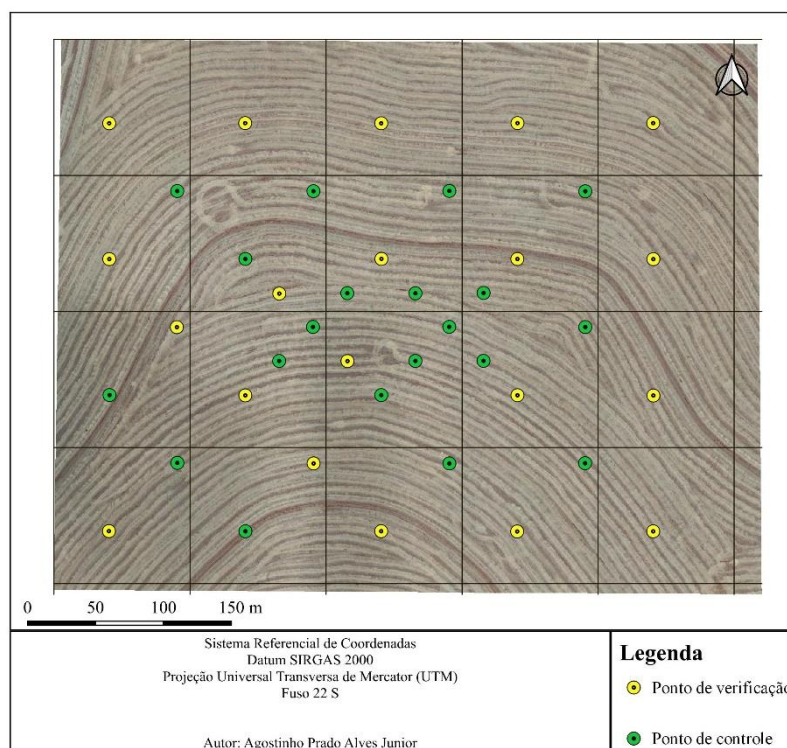
6.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

Na área, foram registradas as coordenadas dos 40 pontos de apoio utilizando um receptor GNSS RTK de alta precisão. A metodologia englobou o estabelecimento de uma estação base durante 3 horas e 29 minutos para identificar o ponto de referência. Posteriormente, foi realizado um pós-processamento para correção utilizando o sistema de posicionamento por ponto preciso (PPP) do IBGE. A partir desse ponto conhecido, os pontos de apoio foram coletados utilizando um receptor *rover* no modo de posicionamento relativo cinemático em tempo real - RTK. Durante a etapa de voo e aquisição de imagens, foram capturadas 155 imagens.

As fotografias aéreas obtidas com a RPA foram processadas por meio de algoritmos computacionais para classificação de padrões e reconstrução tridimensional do terreno, provenientes do *software Agisoft Metashape*. Para garantir alta precisão, foram ajustados os parâmetros de alinhamento e rigor para a nuvem densa de pontos. Outras rotinas de processamento recomendadas pelo *software* foram aplicadas para gerar o ortomosaico.

Após o processamento, o resultado é apresentado na Figura 12, que exibe a área em formato de ortomosaico. Uma vez realizados pequenos ajustes, o ortomosaico pode ser exportado do *software* como uma imagem georreferenciada. Posteriormente, por meio de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), a imagem pode ser manipulada e vetorizada, integrando essas informações à produção de mapas. Esse fluxo evidencia a capacidade da tecnologia em auxiliar a gestão territorial.

Figura 12 - Distribuição dos 40 pontos de apoio em campo em célula de 100 x 100 m



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Para a avaliação da acurácia posicional do bloco fotogramétrico, foi utilizado inicialmente o método de marcação dos alvos nos 40 pontos de apoio selecionados, sendo 20 de controle e 20 de verificação, antes da criação da ortoimagem. Dentro do *software Metashepe* na guia de referência, foram importadas as coordenadas de referência obtidas em campo para ajustar as coordenadas dos alvos, ou seja, as coordenadas de teste.

Após a marcação de todos os alvos conforme a definição dos pontos, conforme demonstrado na Figura 12, deu-se início à produção da ortoimagem. Ou seja, os pontos de controle com coordenadas conhecidas foram usados para orientar e ajustar o modelo fotogramétrico, garantindo a precisão do produto, enquanto os pontos de verificação com coordenadas conhecidas foram usados para avaliar a precisão do modelo fotogramétrico e dos produtos gerados a partir dele após o processamento.

Em seguida, deu-se início a uma análise gradual, reduzindo o número de pontos de controle (PC), com o propósito de avaliar a precisão posicional dentro das tolerâncias de amostras definidas pela ASPRS, que recomenda 20 pontos de verificação, alinhada com as diretrizes nacionais estabelecidas pelo Decreto nº 89.817, em conjunto com a ET-CQDG (2016), para a classe A na escala 1:1000. Nesse contexto, os processamentos fotogramétricos

para a obtenção dos ortomosaicos avaliados seguiram a disposição dos pontos de apoio conforme apresentado na Tabela 7.

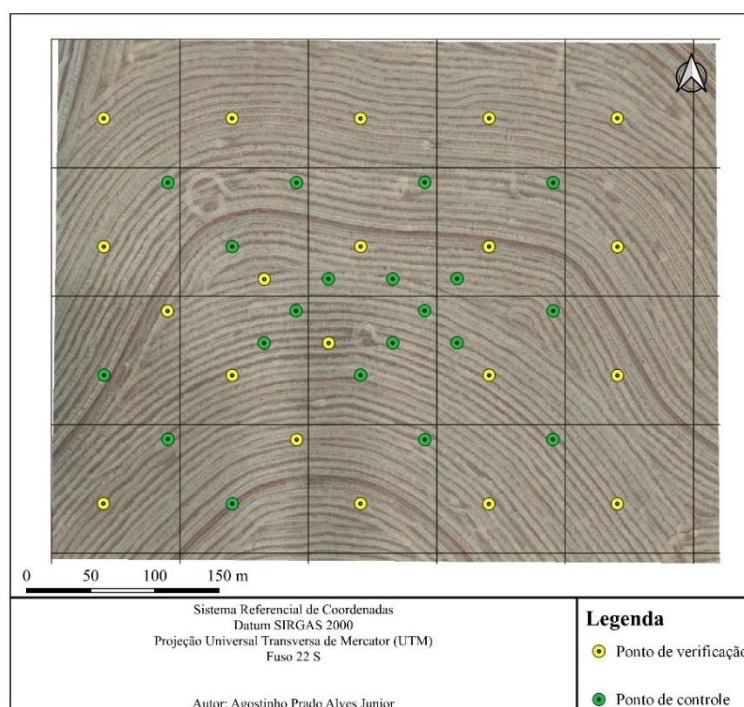
Tabela 7 - Totalização de pontos utilizados na geração dos ortomosaicos

ROTINAS DE PROCESSAMENTOS					
	ORTOMOSAICO 1	ORTOMOSAICO 2	ORTOMOSAICO 3	ORTOMOSAICO 4	ORTOMOSAICO 5
PC	20	16	12	8	5
PV	20	20	20	20	20

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

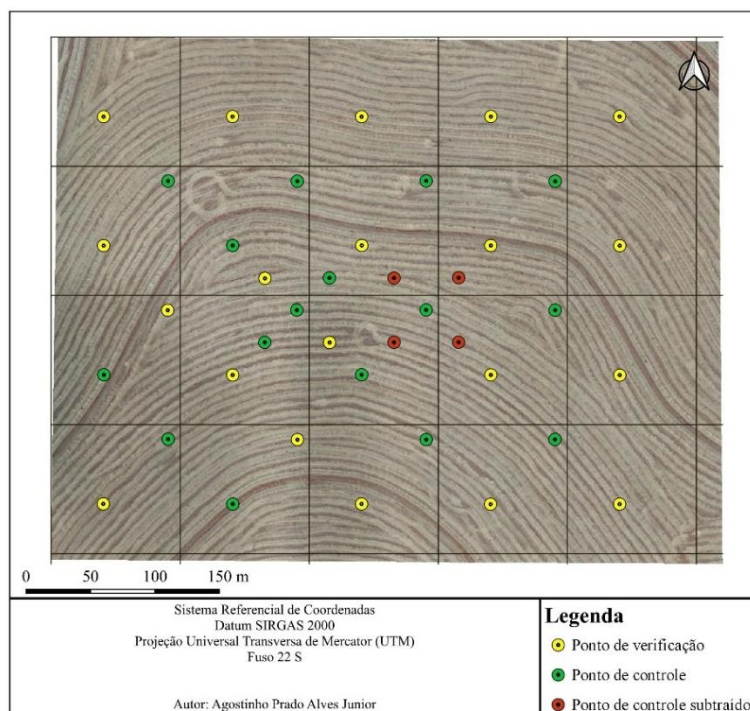
Assim, após a organização espacial dos pontos de apoio, procedeu-se aos processamentos. A seguir, são apresentadas as cinco ortofotos, conforme ilustrado nas Figuras 13, 14, 15, 16 e 17.

Figura 13 - Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 1 e na análise da acurácia posicional das ortofotos



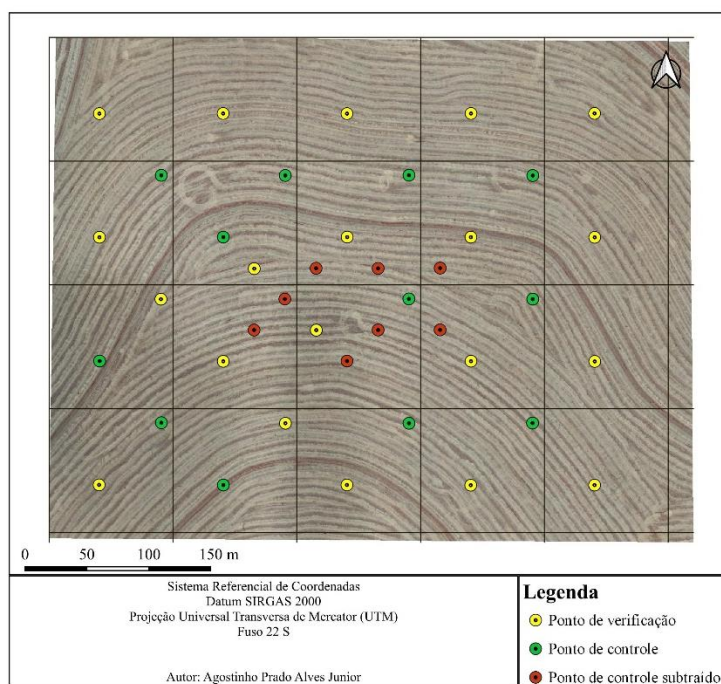
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 14 - Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 2 e na análise da acurácia posicional das ortofotos



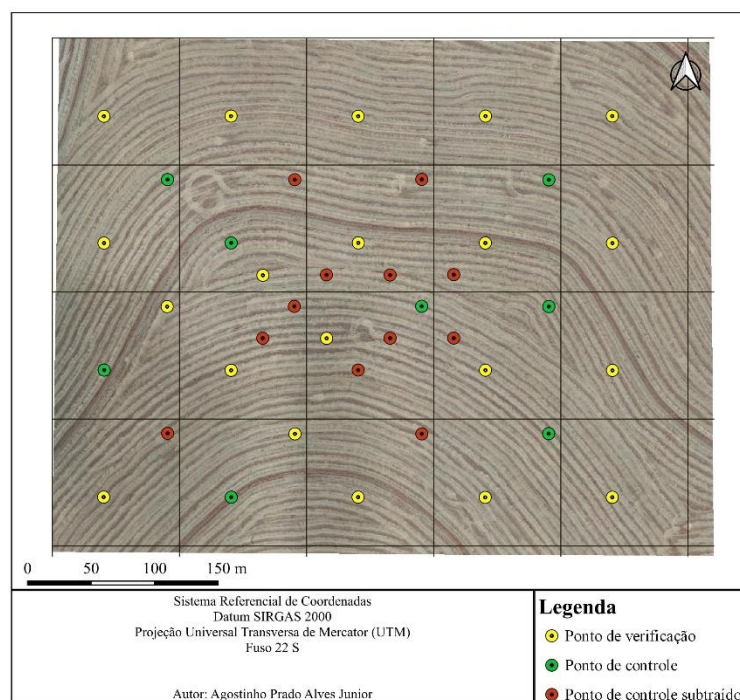
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 15 - Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 3 e na análise da acurácia posicional das ortofotos



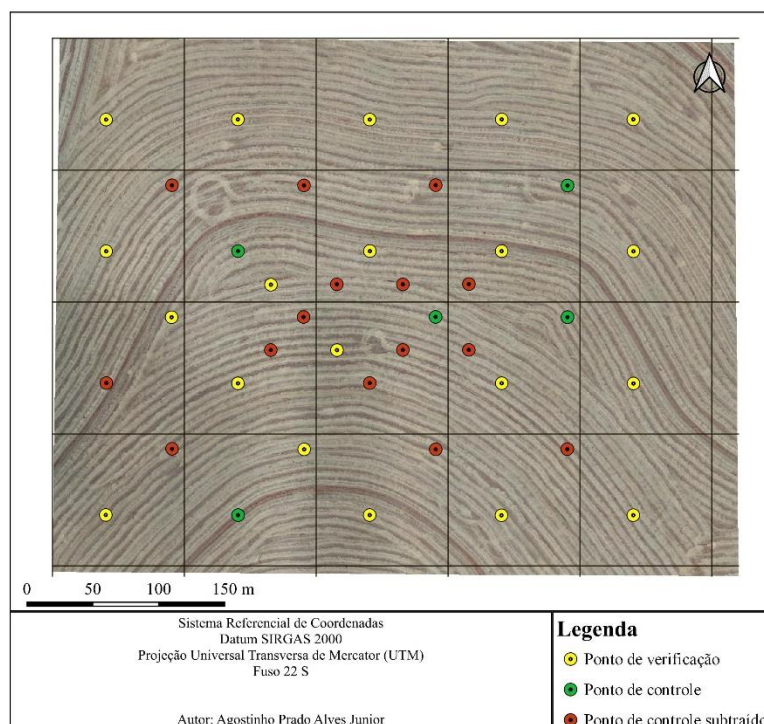
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 16 - Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 4 e na análise da acurácia posicional das ortofotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 17 - Espacialização dos pontos de apoio utilizados no processamento 5 e na análise da acurácia posicional das ortofotos



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A partir da disposição dos pontos de apoio coletados em campo e utilizados no processamento, conforme os parâmetros definidos na Tabela 7, foram obtidas, no *software Agisoft Metashape*, as discrepâncias posicionais dos pontos homólogos das ortofotos, incluindo os 20 pontos de verificação, para a análise da acurácia posicional. Para iniciar essa análise, foi essencial inserir os pontos no *software GeoPEC*. Em seguida, o *software* calcula os principais parâmetros da amostra, como média, desvio padrão, variância, entre outros. Posteriormente, são realizados cálculos estatísticos e análises conforme a abordagem proposta por Santos et al. (2016), da seguinte forma:

1. Estatística do Vizinho Mais Próximo: primeiramente, devemos calcular o índice R, para avaliar o padrão de distribuição da amostra em aleatório se R for igual a 1, agrupado se R for menor que 1 e disperso se R for maior que 1.

$$R(k) = \frac{R_{obs}(k)}{R_{esp}(k)} \quad 1$$

$$R_{obs}(k) = \frac{\sum_{i=1}^n dv_i(k)}{n} \quad 2$$

$$R_{esp}(k) = \gamma_{1(k)} \sqrt{\frac{A}{n}} \quad 3$$

Onde,

$R_{obs}(K)$ representa a média observada das distâncias de cada ponto ao seu k vizinho mais próximo;

$R_{esp}(K)$ denota a média esperada das distâncias entre os k vizinhos mais próximos para uma a distribuição aleatória;

$dv_i(K)$ é a distância de um ponto i ao seu k vizinho mais próximo;

A corresponde à área da região em estudo;

n é o número de pontos da amostra;

γ_1 e γ_2 são índices tabelados que apresentam um valor para cada ordem analisada, neste caso, 1ª, 2ª e 3ª ordem.

Em seguida, foi calculado o Teste Z para inferir a distribuição aleatória da amostra, comparando o valor calculado de Z com o valor de Z tabelado. Se o valor de Z calculado for maior que o valor de Z tabelado, a hipótese nula é rejeitada.

$$Z_R(k) = \frac{R_{obs}(k) - R_{esp}(k)}{SE_r(k)} \quad 4$$

$$SE_r(k) = \gamma_{2(k)} \sqrt{\frac{A}{n^2}} \quad 5$$

Onde,

$SE_r(k)$ representa o erro padrão da diferença entre as distâncias médias observadas e as esperadas entre os vizinhos mais próximos para cada ordem.

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (\chi_i - \bar{\chi})^2} \quad 6$$

$$b = \sum_{i=1}^{n/2} a_{n-i+1} \times (\chi_{n-i+1} - \chi_i) \quad 7$$

$$b = \sum_{i=1}^{(n+1)/2} a_{n-i+1} \times (\chi_{n-i+1} - \chi_i) \quad 8$$

2. Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*: é baseado na estatística W.

Onde,

a_{n-i+1} são constantes geradas pelas médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra de tamanho n de uma distribuição Normal.

As hipóteses para esse teste são:

H0: $W_{calc} > W_{tabelado}$ (Amostra provém de uma Distribuição Normal);

H1: $W_{calc} < W_{tabelado}$ (Amostra não provém de uma Distribuição não Normal).

3. Teste de Tendência *t-Student*:

$$t = \frac{\bar{\Delta X} \cdot \sqrt{n}}{S} \quad 9$$

Em que,

$\bar{\Delta X}$ representa a média amostral;

S é o desvio padrão amostral;

n é o número de pontos da amostra.

As hipóteses para esse teste são para componente de coordenada X e analogamente para as outras componentes:

H0: $\Delta X=0$ (X não é tendencioso);

H1: $\Delta X \neq 0$ (X é tendencioso).

4. Análise de acordo com o Decreto 89.817/ET-CQDG: a análise é feita a partir dos requisitos constantes no Decreto e dispostos anteriormente;

Iniciando a análise das precisões das coordenadas dos blocos fotogramétricos, a inserção das coordenadas no *software* permitiu a aplicação do método do vizinho mais próximo de alta ordem para avaliar a distribuição dos pontos de verificação no espaço. A Tabela 8 exibe os resultados obtidos para o vizinho mais próximo utilizando a 1ª, 2ª e 3ª ordem. Para informações mais detalhadas, consulte o anexo que contém os resultados fornecidos pelo *software* GeoPEC.

Tabela 8 - Avaliação do método vizinho mais próximo

Processamento	1	2	3	4	5
Média (E)	0.0082	0.002	-0.0021	0.0005	0.0032
Média (N)	0.0019	0.0016	0.005	0.0103	0.0213
Média (ABS)	0.0352	0.0314	0.0318	0.0383	0.0678
Desv-Pad (E)	0.0216	0.0224	0.0225	0.0255	0.0502
Desv-Pad (N)	0.0353	0.0296	0.0296	0.0368	0.0556
Desv-Pad (ABS)	0.0219	0.0186	0.0188	0.024	0.0354
RMS (E)	0.0224	0.0218	0.0219	0.025	0.0489
RMS (N)	0.0344	0.0292	0.0294	0.0372	0.0582
RMS (ABS)	0.0409	0.0366	0.0366	0.0448	0.076
R (1ª Ordem)	1,7692	1,7692	1,7692	1,7692	1,7692
Zcalc (1ª Ordem)	6,5805	6,5805	6,5805	6,5805	6,5805
Ztab	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
H0 1ª Ordem	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita
Padrão 1ª Ordem	Disperso	Disperso	Disperso	Disperso	Disperso
R (2ª Ordem)	1,2452	1,2452	1,2452	1,2452	1,2452
Zcalc (2ª Ordem)	2,9754	2,9754	2,9754	2,9754	2,9754
H0 2ª Ordem	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita
Padrão 2ª Ordem	Disperso	Disperso	Disperso	Disperso	Disperso
R (3ª Ordem)	1,1338	1,1338	1,1338	1,1338	1,1338
Zcalc (3ª Ordem)	2,0354	2,0354	2,0354	2,0354	2,0354
H0 3ª Ordem	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita	Rejeita
Padrão 3ª Ordem	Disperso	Disperso	Disperso	Disperso	Disperso

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A avaliação da acurácia posicional, conduzida no *software* GeoPec, revelou variações significativas nos parâmetros estatísticos ao longo dos cinco processamentos analisados. De modo geral, os processamentos 1 a 4 apresentaram maior estabilidade e consistência estatística, enquanto o processamento 5 evidenciou maior variabilidade nos resíduos, o que pode indicar possíveis limitações nesse caso específico.

As médias dos erros nas direções Leste (E) e Norte (N) permaneceram próximas de zero nos quatro primeiros processamentos, sugerindo ausência de tendência sistemática nos resíduos planimétricos. No entanto, no processamento 5, observou-se um aumento considerável na média dos erros em N (0,0213 m), o que aponta para um possível deslocamento preferencial dos erros nessa direção.

A média dos erros absolutos (ABS) apresentou elevação progressiva ao longo dos processamentos, alcançando 0,0678 m no quinto, embora ainda dentro dos limites estabelecidos para a Classe A na escala 1:1000. Essa redução na precisão foi corroborada pelos valores de desvio padrão e erro quadrático médio (RMS), os quais se mantiveram abaixo de 0,037 m nos quatro primeiros processamentos, mas atingiram 0,0502 m (E), 0,0556 m (N) e 0,076 m no processamento 5, indicando maior dispersão dos resíduos.

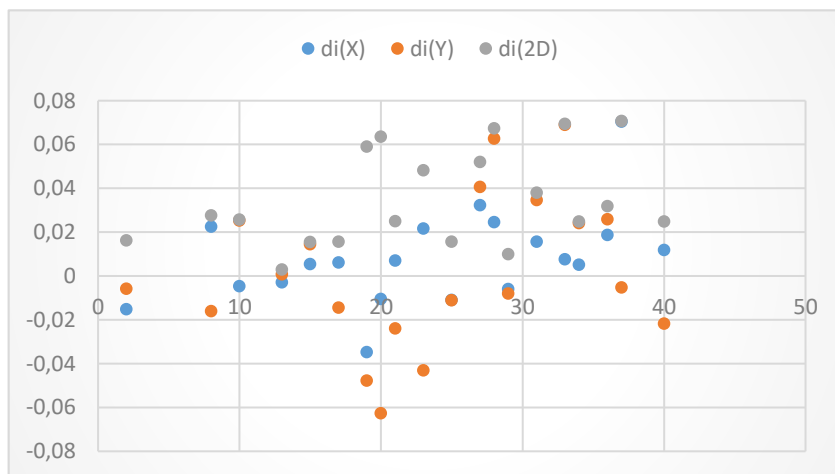
Apesar dessas oscilações nos parâmetros descritivos, os testes de padrão de distribuição espacial, realizados com base no método do vizinho mais próximo (1ª, 2ª e 3ª ordens), apresentaram resultados consistentes em todos os processamentos. Em todas as ordens, os valores de Z calculado (Z_{calc}) superaram o valor crítico $Z_{tab} = 1,96$, resultando na rejeição da hipótese nula (H_0) de distribuição aleatória. O padrão identificado foi “disperso”, com significância estatística de 95%, evidenciando boa distribuição espacial dos pontos de verificação.

Seguindo a metodologia proposta por Santos et al. (2016), os valores de índice R resultaram maiores que 1 em todas as ordens analisadas, confirmando a caracterização de padrão disperso. A significância estatística desse padrão foi validada por meio do teste Z, com nível de confiança de 95%, o que reforça a recomendação de rejeição de H_0 e, portanto, a negação da aleatoriedade espacial. Dessa forma, conclui-se que os pontos de verificação seguem um padrão de distribuição espacial estatisticamente disperso, garantindo cobertura espacial adequada para a avaliação da acurácia posicional.

Os pontos de verificação foram levantados no campo usando o receptor GNSS. Todos foram coletados a partir de um ponto processado com posicionamento cinemático em tempo real, resultando em uma precisão posicional na ordem de milímetros. Após a coleta

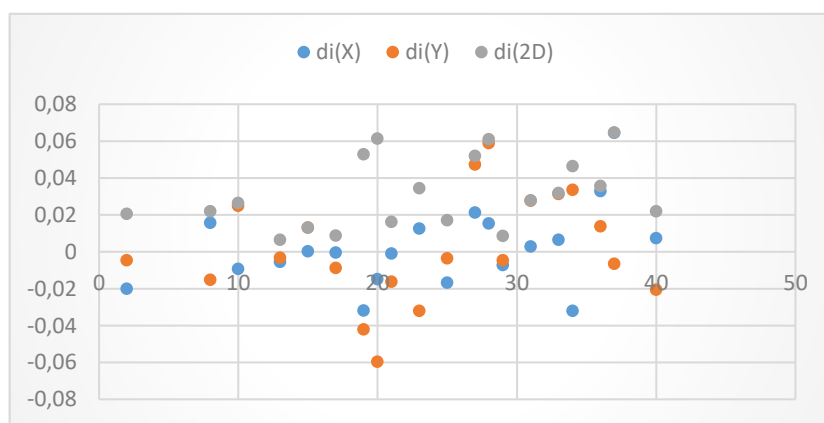
de todos os pontos de verificação no campo e seus alvos no ortomosaico, os resíduos posicionais planimétricos foram calculados para cada ponto. As Figuras 18 a 22 exibem os gráficos desses resíduos posicionais planimétricos observados nos ortomosaicos resultantes de cada processamento, com base na graduação de pontos de controle.

Figura 18 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 1



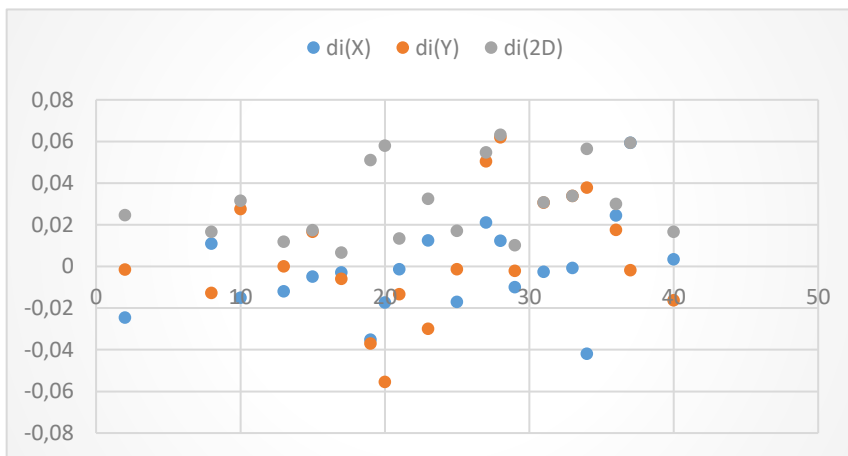
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 19 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 2



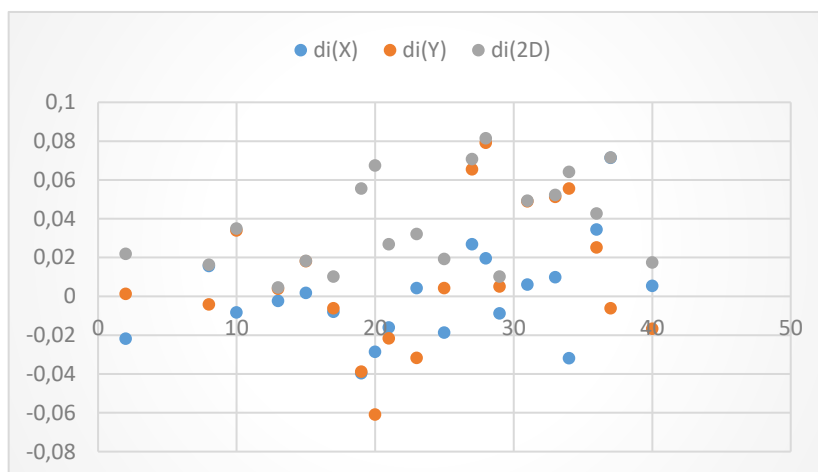
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 20- Figura 20 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 3



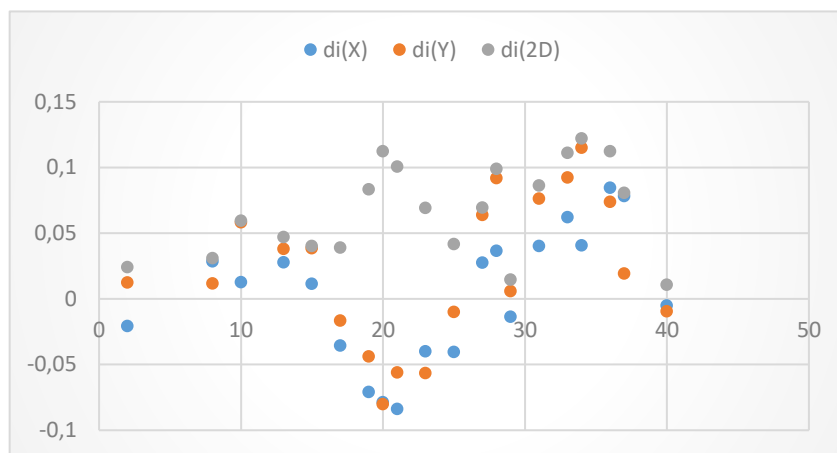
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 21 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 4



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 22 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétrico decorrentes do Processamento 5



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Os gráficos apresentados sintetizam o comportamento das discrepâncias posicionais nos cinco processamentos analisados, permitindo uma avaliação comparativa da qualidade geométrica dos produtos cartográficos gerados. A representação visual das discrepâncias nos eixos X, Y e 2D possibilita a identificação de padrões de tendência, estabilidade e eventuais anomalias em relação ao modelo geométrico de referência. Cabe destacar que o termo "2D" não se refere a um eixo específico, como ocorre com os eixos X (Leste/E) ou Y (Norte/N), mas a uma medida composta que integra os deslocamentos nas direções Leste (E) e Norte (N) para representar o erro plano total em uma única grandeza. Essa medida é empregada para avaliar a precisão planimétrica global de um levantamento, sendo comumente expressa em métricas como o RMS (*Root Mean Square*).

De modo geral, os processamentos 1 a 4 demonstraram uma distribuição homogênea das discrepâncias, com valores concentrados em torno de zero e baixa variabilidade estatística. A maioria dos pontos apresentou discrepâncias 2D inferiores a 0,05 m, o que evidencia boa precisão horizontal e adequada aderência ao modelo de aerotriangulação e aos pontos de controle utilizados. A ausência de variações abruptas nos gráficos desses processamentos reforça a qualidade da modelagem fotogramétrica, sobretudo no que se refere à consistência do bloco e à distribuição dos pontos de apoio.

Por outro lado, o processamento 5 apresentou maior dispersão nas discrepâncias, com valores 2D mais elevados e amplitude aumentada entre os erros mínimos e máximos. Essa maior variabilidade pode estar associada à redução na densidade de pontos de controle. O comportamento gráfico desse processamento indica instabilidade posicional

acentuada e redução da acurácia, refletida em discrepâncias superiores a 0,06 m em determinados pontos, o que compromete parcialmente a confiabilidade do produto cartográfico final, ainda que se mantenha dentro dos limites da Classe A estabelecidos pelo Decreto 89.817/1984.

Prosseguindo com a metodologia do *software*, conforme proposta por Santos et al. (2016), aplicaram-se avaliações de tendência e precisão aos dados de verificação. Para verificar a normalidade da amostra de resíduos posicionais, foi aplicado o teste de *Shapiro-Wilk* a um nível de confiança de 95%, cujos resultados são apresentados na Tabela 9. Os resultados não rejeitaram a hipótese nula (H_0), indicando que os resíduos seguem uma distribuição normal.

Tabela 9- Avaliação de normalidade- Processamento 1

Processamento	Wcalc (e)	P-value (e)	Wcalc (n)	P-value (n)	Wcalc (h)	P-value (h)	Nível de confiança	Amostra normal
1	0.9349	0.1914	0.9763	0.878	0.9657	0.6635	95%	Sim
2	0.9408	0.2479	0.9806	0.9412	0.9605	0.5545	95%	Sim
3	0.9538	0.4284	0.9796	0.9283	0.9278	0.1398	95%	Sim
4	0.9499	0.3655	0.9771	0.8913	0.9419	0.2605	95%	Sim
5	0.9592	0.5277	0.9703	0.7607	0.9578	0.5013	95%	Sim

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Considerando os cinco processamentos analisados, os valores de W calculado (Wcalc) e os respectivos *p-values* demonstraram, de maneira consistente, que todas as amostras seguem uma distribuição normal ao nível de confiança de 95%. Em todos os casos, os *p-values* foram superiores ao limiar crítico de 0,05, o que implica a não rejeição da hipótese nula (H_0); ou seja, os dados podem ser considerados normalmente distribuídos.

No componente Leste (E), os valores de Wcalc oscilaram entre 0,9349 e 0,9592, com *p-values* entre 0,1914 e 0,5277, indicando boa aderência dos resíduos à distribuição normal. De modo análogo, os resultados para o componente Norte (N) apresentaram Wcalc entre 0,9703 e 0,9806, com *p-values* elevados (até 0,9412), sugerindo que os erros nessa direção também estão bem ajustados à distribuição esperada. A análise da componente 2D (h), que integra os erros em E e N, igualmente confirmou a normalidade estatística em todos os processamentos. Os valores de Wcalc variaram entre 0,9278 e 0,9657, com *p-values* superiores a 0,13, o que sustenta a aceitação da hipótese de normalidade.

Com base nessa premissa, tanto o teste *t* de *Student* quanto as estatísticas espaciais da Média Direcional e da Variância Circular foram utilizadas para a análise de tendência, conforme demonstrado na Tabela 10. Verificou-se que o valor absoluto do *t* calculado

para as coordenadas planimétricas foi inferior ao t tabelado, levando à conclusão de que os ortomosaicos não são afetados por efeitos sistemáticos significativos. Neste contexto analítico, as hipóteses são avaliadas com base no número de pontos de referência, a partir do qual se obtém o valor crítico tabelado. Dado que o valor calculado do teste t de *Student* foi inferior ao valor tabelado, é possível afirmar que a ortofoto está livre de erros sistemáticos.

Na etapa subsequente da metodologia proposta por Santos et al. (2016), realizou-se a avaliação da média direcional, cujo resultado aproximou-se de zero, enquanto a variância circular aproximou-se de 1, indicando que os vetores de discrepância apresentam orientações aleatórias e não tendenciosas. Conclui-se, portanto, que não há presença de efeitos sistemáticos nos ortomosaicos produzidos. A análise conjunta dos resultados obtidos tanto pelo teste t de *Student* quanto pela Média Direcional/Variância Circular revela uma concordância, não indicando a existência de tendências significativas nos ortomosaicos.

Tabela 10 - Teste T de *Student* aplicado nas amostras dos ortomosaicos

Processamento	t _{calc} (E)	t _{calc} (N)	t _{tab}	Tendencioso	Média Direcional (Azimute)	Variância Circular	Estatística Espacial Tendenciosa
1	1,6978	0,2407	1,7291	Não	101,060	0,9011	Não
2	0,3993	0,2417	1,7291	Não	231,925	0,9158	Não
3	-0,4174	0,7554	1,7291	Não	276,017	0,8251	Não
4	0,0877	1,2517	1,7291	Não	326,513	0,7828	Não
5	0,2851	1,7132	1,7291	Não	347,1295	0,7287	Não

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A Tabela 10 sintetiza os resultados dos testes de tendência estatística aplicados aos erros nas direções Leste (E) e Norte (N), bem como os indicadores de estatística espacial vetorial para os cinco processamentos analisados. O objetivo dessa avaliação foi identificar possíveis padrões sistemáticos ou direções predominantes nos resíduos posicionais que pudessem comprometer a confiabilidade geométrica dos produtos cartográficos gerados. Para tanto, aplicou-se o teste t de *Student* individualmente aos resíduos em E e N, considerando um valor crítico (t_{tab}) de 1,7291, correspondente a um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Os resultados indicaram que, em todos os processamentos, os valores de t calculado (t_{calc}) permaneceram inferiores a esse limiar, resultando na não rejeição da hipótese nula (H_0). Isso demonstra que não foram detectadas tendências estatisticamente significativas nos erros, e que, portanto, os resíduos podem ser considerados centrados em torno de zero, tanto na direção Leste quanto na Norte. Embora os valores mais próximos do crítico tenham sido observados nos processamentos 1 ($t_{\text{calc}}(E) = 1,6978$) e 5 ($t_{\text{calc}}(N) = 1,7132$), tais resultados permaneceram dentro da faixa de

aceitação, sugerindo a ausência de viés sistemático nas distribuições analisadas.

A análise vetorial dos resíduos, com base na estatística espacial, forneceu informações complementares sobre a orientação espacial dos erros. Os valores de azimute médio (média direcional) variaram de 101,06° (Processamento 1) a 347,13° (Processamento 5), o que reflete variações naturais nas direções predominantes dos vetores de erro. A dispersão angular, representada pela variância circular, apresentou valores entre 0,7287 e 0,9158, indicando uma distribuição razoavelmente uniforme dos resíduos planimétricos, sem evidência de concentração significativa em um único rumo. Dessa forma, os resultados da estatística espacial confirmaram que todos os processamentos são espacialmente não tendenciosos, corroborando os achados do teste t e reforçando a ausência de direcionalidade sistemática nos resíduos. Esses resultados sustentam a consistência geométrica dos produtos gerados e asseguram a confiabilidade dos dados para aplicações técnicas e cartográficas de alta precisão.

Uma vez verificada a ausência de tendências sistemáticas nos resíduos posicionais, procedeu-se à avaliação da precisão planimétrica e altimétrica dos produtos, confrontando-as com os padrões técnicos vigentes. Essa etapa é fundamental para atestar a qualidade métrica final dos ortomosaicos e sua adequação a aplicações cartográficas. Para o teste de precisão, foi aplicado o padrão de acurácia posicional especificado no PEC-PCD, com uma escala base de 1:1.000, conforme apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 - Precisão de Posicionamento Planimétrico dos Ortomosaicos - Conformidade com Decreto-lei 89.817 - Classe A

Processamento	Escala de Referência	PEC (m)	EP (m)	Resultado (Classe)
1	1/1000	0.28	0.17	Classe A
2	1/1000	0.28	0.17	Classe A
3	1/1000	0.28	0.17	Classe A
4	1/1000	0.28	0.17	Classe A
5	1/1000	0.28	0.17	Classe A

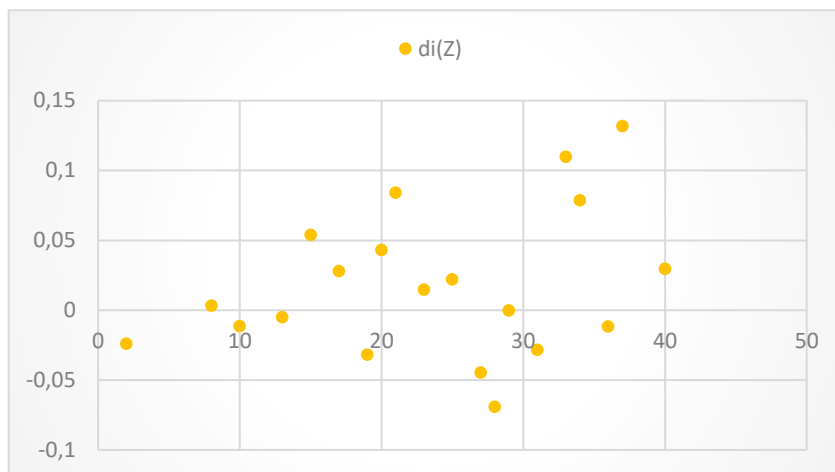
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise da precisão planimétrica dos cinco processamentos demonstrou conformidade total com os parâmetros exigidos para a escala 1:1.000, com enquadramento na Classe A da norma PEC-PCD.

De forma complementar, avaliou-se também a precisão posicional altimétrica dos produtos, tendo o mesmo *software* como ferramenta de análise. Para tanto, a análise considerou uma equidistância vertical de referência de 1,0 metro, parâmetro que define

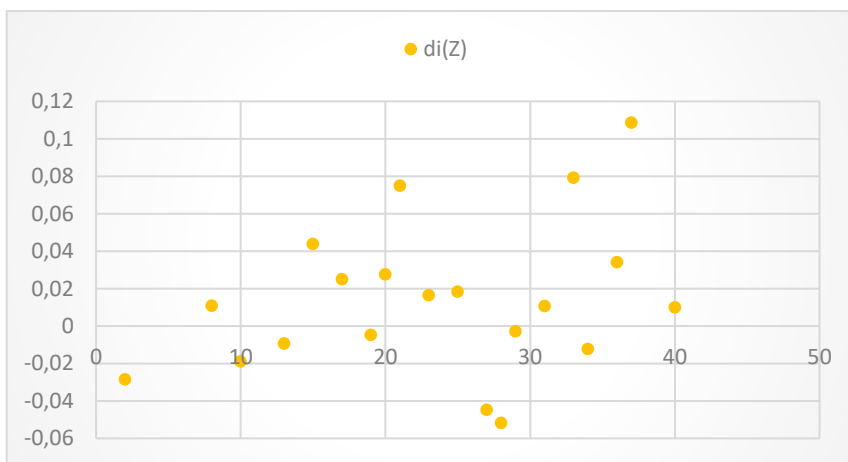
o intervalo de amostragem vertical para a avaliação. As discrepâncias altimétricas resultantes, que expressam a diferença entre a elevação modelada e os dados de referência, são sintetizadas nos gráficos das Figuras 23 a 27.

Figura 23 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 1



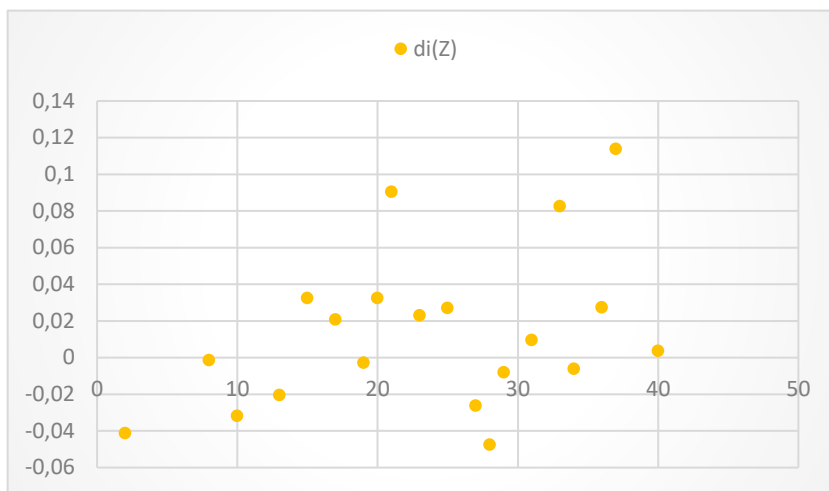
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 24 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 2



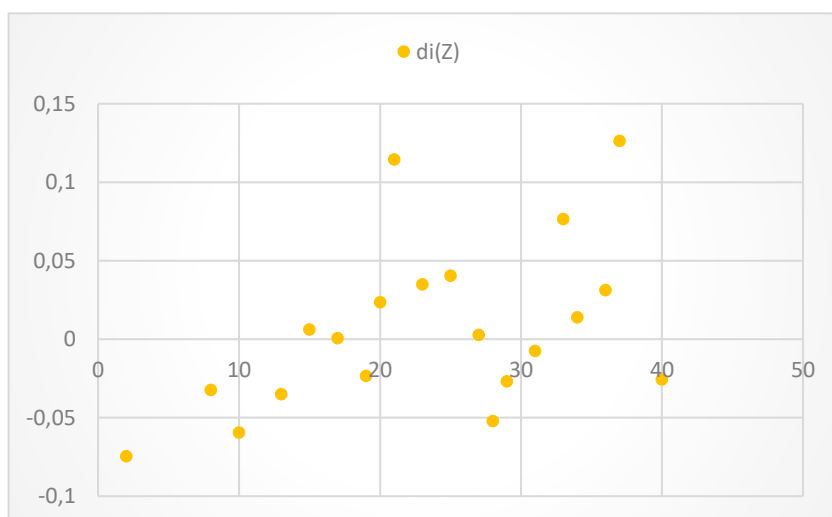
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 25 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 3



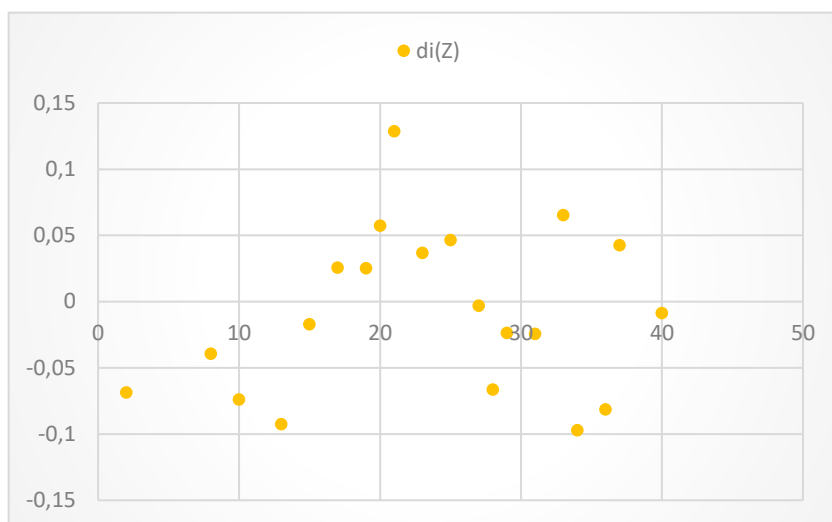
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 26 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 4



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 27 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétrico - Processamento 5



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise gráfica das discrepâncias altimétricas nos cinco processamentos evidenciou variações significativas nos resíduos verticais, permitindo uma avaliação qualitativa da precisão altimétrica dos modelos gerados. De modo geral, os processamentos 1 a 4 apresentaram comportamento mais estável, com distribuição dos resíduos centrada na origem e ausência de *outliers* acentuados. Os erros mantiveram-se, majoritariamente, dentro do intervalo de $\pm 0,10$ m, indicando boa aderência aos pontos de controle altimétrico e conformidade com os critérios de acurácia estabelecidos para produtos cartográficos de alta resolução.

O processamento 5, por sua vez, apresentou desempenho inferior, com maior dispersão dos resíduos altimétricos, ocorrência de valores extremos e variações abruptas ao longo da série de pontos analisados. A presença de resíduos superiores a $\pm 0,15$ m em regiões específicas reforça a tendência de degradação da qualidade altimétrica observada.

Em consonância com a metodologia proposta por Santos et al. (2016), procedeu-se à avaliação de tendência e precisão dos dados de verificação. Para verificar a normalidade da amostra de resíduos posicionais, foi aplicado o teste de *Shapiro-Wilk* com nível de confiança de 95%. Os resultados não rejeitaram a hipótese nula (H_0), indicando que os resíduos seguem uma distribuição normal. Tendo essa premissa estatística confirmada, o teste *t* de *Student* foi empregado para a análise de tendência.

Constatou-se que o valor absoluto do *t* calculado foi inferior ao *t* crítico tabelado para as coordenadas planimétricas, o que leva à não rejeição da hipótese nula de ausência de tendência. Portanto, com base nos resultados do teste *t* de *Student*, conclui-se que não há evidências de efeitos sistemáticos significativos nos ortomosaicos.

Além disso, em conformidade com a proposta de Santos et al. (2016), aplicou-se o padrão de acurácia posicional estabelecido pelo Decreto nº 89.817/1984, considerando uma equidistância vertical de referência de 1,0 metro. Os resultados dessa avaliação, consolidados na Tabela 12, demonstram que os ortomosaicos atendem integralmente aos requisitos do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para a equidistância vertical de 1,0 metro, sendo enquadrados na Classe A de qualidade

Tabela 12 - Precisão de Posicionamento Altimétrico dos Ortomosaicos - Conformidade com Decreto-lei 89.817 - Categoria A

Processamento	Equidistância vertical (m)	Wcalc (h)	P-value (h)	Amostra normal	Pec (m)	Ep (m)	Classe	Tcalc (h)	Ttab	Tendencioso
1	1,0	0.9657	0.6635	Sim	0.27	0.1667	A	1,5844	1,7291	Não
2	1,0	0.9605	0.5545	Sim	0.27	0.1667	A	1.568	1,7291	Não
3	1,0	0.9278	0.1398	Sim	0.27	0.1667	A	1,4594	1,7291	Não
4	1,0	0.9419	0.2605	Sim	0.27	0.1667	A	0.5507	1,7291	Não
5	1,0	0.9578	0.5013	Sim	0.27	0.1667	A	-	1,7291	Não
								0.6118		

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A avaliação altimétrica dos cinco processamentos fotogramétricos demonstrou resultados consistentes quanto à qualidade vertical dos dados. O teste de *Shapiro-Wilk* confirmou a normalidade dos resíduos altimétricos em todos os casos ($p > 0,05$), validando as análises estatísticas subsequentes. Os valores do erro padrão vertical mantiveram-se inferiores ao limite estabelecido pela PEC-PCD para a Classe A ($EP < 0,27$ m), assegurando a conformidade normativa e a precisão exigida para aplicações técnicas. Além disso, o teste *t* de *Student* indicou ausência de tendência sistemática nos resíduos ($|t_{\text{calc}}| < t_{\text{tab}} = 1,7291$), cuja distribuição se mostrou estatisticamente centrada em zero.

De forma complementar, a análise foi estendida aos padrões internacionais estabelecidos pela ASPRS (2014), com foco nos resíduos amostrais calculados a partir do Erro Médio Quadrático (RMSE) em cada um dos três eixos coordenados (X, Y, Z). Os resultados completos desses cálculos, incluindo os resíduos e estatísticas descritivas, são apresentados nas Tabelas 13 a 17.

Tabela 13- Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 1

$\Delta E(m)$	$\Delta E^2(m^2)$	$\Delta N(m)$	$\Delta N^2(m^2)$	$\Delta abs(m)$	$\Delta h(m)$	$\Delta h^2(m^2)$
-0,004600	0,000021	0,025300	0,000640	0,025700	-0,011500	0,000132
-0,002900	0,000008	0,000800	0,000001	0,003000	-0,005000	0,000025
0,005400	0,000029	0,014500	0,000210	0,015500	0,053700	0,002884
0,006200	0,000038	-0,014400	0,000207	0,015700	0,027900	0,000778
-0,034700	0,001204	-0,047800	0,002285	0,059100	-0,032000	0,001024
-0,015100	0,000228	-0,005800	0,000034	0,016200	-0,024100	0,000581
-0,010500	0,000110	-0,062700	0,003931	0,063600	0,043100	0,001858
0,007100	0,000050	-0,024000	0,000576	0,025000	0,084000	0,007056
0,021600	0,000467	-0,043100	0,001858	0,048200	0,014700	0,000216
-0,010900	0,000119	-0,011100	0,000123	0,015600	0,021900	0,000480
0,032300	0,001043	0,040700	0,001656	0,052000	-0,044700	0,001998
0,024600	0,000605	0,062700	0,003931	0,067400	-0,069300	0,004802
-0,006000	0,000036	-0,008000	0,000064	0,010000	-0,000300	0,000000
0,015700	0,000246	0,034600	0,001197	0,038000	-0,028500	0,000812
0,007600	0,000058	0,069000	0,004761	0,069400	0,109800	0,012056
0,005200	0,000027	0,024200	0,000586	0,024800	0,078600	0,006178
0,018700	0,000350	0,025900	0,000671	0,031900	-0,011700	0,000137
0,070500	0,004970	-0,005300	0,000028	0,070700	0,131700	0,017345
0,011900	0,000142	-0,021800	0,000475	0,024800	0,029600	0,000876
0,022500	0,000506	-0,016100	0,000259	0,027700	0,003100	0,000010
$(\sum \Delta)^2$	0,0103		0,0235			0,0592
N amostral	20		20			20
RMSE	0,0224		0,0344	0,040900		0,0545

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 14 - Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 2

$\Delta E(m)$	$\Delta E^2(m^2)$	$\Delta N(m)$	$\Delta N^2(m^2)$	$\Delta abs(m)$	$\Delta h(m)$	$\Delta h^2(m^2)$
-0,0094	0,000088	0,0248	0,000615	0,0265	-0,019	0,000361
-0,0055	0,000030	-0,0033	0,000011	0,0064	-0,0095	0,000090
0,0002	0,000000	0,0131	0,000172	0,0131	0,0438	0,001918
-0,0004	0,000000	-0,0088	0,000077	0,0088	0,0249	0,000620
-0,0319	0,001018	-0,0421	0,001772	0,0528	-0,0049	0,000024
-0,0201	0,000404	-0,0047	0,000022	0,0206	-0,0286	0,000818
-0,0149	0,000222	-0,0596	0,003552	0,0614	0,0275	0,000756
-0,001	0,000001	-0,0162	0,000262	0,0162	0,0749	0,005610
0,0126	0,000159	-0,0321	0,001030	0,0345	0,0164	0,000269
-0,0167	0,000279	-0,0036	0,000013	0,0171	0,0183	0,000335
0,0213	0,000454	0,0473	0,002237	0,0519	-0,0448	0,002007
0,0153	0,000234	0,0589	0,003469	0,0609	-0,0518	0,002683
-0,0072	0,000052	-0,0047	0,000022	0,0086	-0,0029	0,000008
0,0029	0,000008	0,0276	0,000762	0,0278	0,0106	0,000112
0,0064	0,000041	0,0313	0,000980	0,0319	0,0791	0,006257
-0,0321	0,001030	0,0335	0,001122	0,0464	-0,0124	0,000154
0,0329	0,001082	0,0137	0,000188	0,0356	0,034	0,001156
0,0644	0,004147	-0,0065	0,000042	0,0647	0,1085	0,011772
0,0074	0,000055	-0,0206	0,000424	0,0219	0,0098	0,000096
0,0157	0,000246	-0,0153	0,000234	0,0219	0,0107	0,000114
$(\sum \Delta)^2$	0,0096		0,0170			0,0352
N amostral	20		20			20
RMSE	0,0218		0,0292	0,0366		0,0420

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 15- Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 3

$\Delta E(m)$	$\Delta E^2(m^2)$	$\Delta N(m)$	$\Delta N^2(m^2)$	$\Delta abs(m)$	$\Delta h(m)$	$\Delta h^2(m^2)$
-0,0151	0,000228	0,0248	0,000615	0,0315	-0,0317	0,001005
-0,0119	0,000142	-0,0033	0,000011	0,0119	-0,0204	0,000416
-0,0049	0,000024	0,0131	0,000172	0,0174	0,0325	0,001056
-0,0029	0,000008	-0,0088	0,000077	0,0067	0,0208	0,000433
-0,0352	0,001239	-0,0421	0,001772	0,0511	-0,0027	0,000007
-0,0246	0,000605	-0,0047	0,000022	0,0246	-0,0411	0,001689
-0,0173	0,000299	-0,0596	0,003552	0,058	0,0325	0,001056
-0,0014	0,000002	-0,0162	0,000262	0,0134	0,0906	0,008208
0,0124	0,000154	-0,0321	0,001030	0,0324	0,0231	0,000534
-0,017	0,000289	-0,0036	0,000013	0,0171	0,0271	0,000734
0,0211	0,000445	0,0473	0,002237	0,0547	-0,0262	0,000686
0,0123	0,000151	0,0589	0,003469	0,0632	-0,0474	0,002247
-0,01	0,000100	-0,0047	0,000022	0,0102	-0,008	0,000064
-0,0026	0,000007	0,0276	0,000762	0,0307	0,0096	0,000092
-0,0008	0,000001	0,0313	0,000980	0,0339	0,0827	0,006839
-0,0419	0,001756	0,0335	0,001122	0,0565	-0,006	0,000036
0,0244	0,000595	0,0137	0,000188	0,03	0,0274	0,000751
0,0594	0,003528	-0,0065	0,000042	0,0594	0,114	0,012996
0,0034	0,000012	-0,0206	0,000424	0,0167	0,0037	0,000014
0,0109	0,000119	-0,0153	0,000234	0,0167	-0,0013	0,000002
$(\sum \Delta)^2$	0,0097		0,0170			0,0389
N	20		20			20
amostral						
RMSE	0,0219		0,0294	0,0367		0,044

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 16 - Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 4

$\Delta E(m)$	$\Delta E^2(m^2)$	$\Delta N(m)$	$\Delta N^2(m^2)$	$\Delta abs(m)$	$\Delta h(m)$	$\Delta h^2(m^2)$
-0,0083	0,000069	0,0339	0,001149	0,0349	-0,0596	0,003552
-0,0024	0,000006	0,0039	0,000015	0,0046	-0,0351	0,001232
0,0017	0,000003	0,0181	0,000328	0,0182	0,0061	0,000037
-0,008	0,000064	-0,0061	0,000037	0,0101	0,0006	0,000000
-0,0397	0,001576	-0,0389	0,001513	0,0556	-0,0235	0,000552
-0,0218	0,000475	0,0013	0,000002	0,0218	-0,0746	0,005565
-0,0286	0,000818	-0,061	0,003721	0,0674	0,0234	0,000548
-0,0161	0,000259	-0,0216	0,000467	0,0269	0,1145	0,013110
0,0043	0,000018	-0,0318	0,001011	0,0321	0,0348	0,001211
-0,0187	0,000350	0,0042	0,000018	0,0192	0,0404	0,001632
0,0269	0,000724	0,0654	0,004277	0,0707	0,0027	0,000007
0,0196	0,000384	0,0791	0,006257	0,0815	-0,0522	0,002725
-0,0088	0,000077	0,0051	0,000026	0,0102	-0,0269	0,000724
0,0061	0,000037	0,0489	0,002391	0,0493	-0,0075	0,000056
0,0099	0,000098	0,0513	0,002632	0,0522	0,0765	0,005852
-0,0319	0,001018	0,0556	0,003091	0,0641	0,0138	0,000190
0,0344	0,001183	0,0251	0,000630	0,0426	0,0312	0,000973
0,0713	0,005084	-0,0061	0,000037	0,0716	0,1263	0,015952
0,0053	0,000028	-0,0167	0,000279	0,0175	-0,0257	0,000660
0,0109	0,000119	-0,0153	0,000234	0,0167	-0,0013	0,000002
$(\sum \Delta)^2$	0,0124		0,0281			0,0546

N amostral	20	20	20
RMSE	0,0250	0,0372	0,0448

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 17 - Resíduos do RMSE referente ao ortomosaico 5

$\Delta E(m)$	$\Delta E^2(m^2)$	$\Delta N(m)$	$\Delta N^2(m^2)$	$\Delta abs(m)$	$\Delta h(m)$	$\Delta h^2(m^2)$
0,0128	0,000164	0,0582	0,003387	0,0596	-0,074	0,005476
0,0278	0,000773	0,038	0,001444	0,0471	-0,0925	0,008556
0,0115	0,000132	0,0386	0,001490	0,0403	-0,0172	0,000296
-0,0354	0,001253	-0,0164	0,000269	0,039	0,0257	0,000660
-0,0708	0,005013	-0,0439	0,001927	0,0833	0,0251	0,000630
-0,0206	0,000424	0,0126	0,000159	0,0241	-0,0685	0,004692
-0,0787	0,006194	-0,0801	0,006416	0,1123	0,0574	0,003295
-0,0837	0,007006	-0,056	0,003136	0,1007	0,1286	0,016538
-0,04	0,001600	-0,0565	0,003192	0,0692	0,0369	0,001362
-0,0405	0,001640	-0,0099	0,000098	0,0417	0,0464	0,002153
0,0277	0,000767	0,0638	0,004070	0,0696	-0,0031	0,000010
0,0367	0,001347	0,092	0,008464	0,099	-0,0665	0,004422
-0,0136	0,000185	0,0059	0,000035	0,0148	-0,0236	0,000557
0,0402	0,001616	0,0763	0,005822	0,0862	-0,0244	0,000595
0,0621	0,003856	0,0923	0,008519	0,1112	0,0654	0,004277
0,0408	0,001665	0,1151	0,013248	0,1221	-0,0971	0,009428
0,0847	0,007174	0,074	0,005476	0,1125	-0,0815	0,006642
0,0784	0,006147	0,0194	0,000376	0,0808	0,0426	0,001815
-0,005	0,000025	-0,0095	0,000090	0,0107	-0,0086	0,000074
0,0286	0,000818	0,0118	0,000139	0,0309	-0,0394	0,001552
($\sum \Delta$)²	0,0478		0,0678			0,7303
N amostral	20	20	20			
RMSE	0,0489	0,0582	0,0760			0,0605

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme a análise das Tabelas 13 a 17, a avaliação dos resíduos altimétricos provenientes dos cinco ortomosaicos revelou variações progressivas nos indicadores estatísticos de acurácia vertical, as quais refletem diretamente o impacto da configuração de cada processamento na qualidade dos produtos gerados. As estatísticas foram obtidas com base no cálculo da raiz do erro médio quadrático (RMSE) aplicado às componentes Leste (ΔE), Norte (ΔN), absolutos planimétricos (Δabs) e altimétricos (Δh), em conformidade com os padrões estabelecidos pela ASPRS (2014).

Os ortomosaicos 1 a 4 apresentaram valores de RMSE altimétrico (Δh) relativamente baixos, variando de 0,0545 m (Ortomosaico 1) a 0,0528 m (Ortomosaico 4), o que evidencia consistência na qualidade dos ajustes verticais e boa aderência aos pontos de apoio altimétricos. Nessas configurações, os resíduos mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos para produtos cartográficos de alta precisão, conforme os critérios normativos brasileiros e internacionais. O ortomosaico 5, no entanto, demonstrou um aumento expressivo

nos valores de RMSE, com destaque para o RMSE altimétrico (Δh) de 0,0605 m e o valor de Δ_{abs} , que atingiu 0,0760 m. A elevação desses valores sugere uma redução da acurácia vertical, possivelmente relacionada à menor densidade de pontos de controle, à distribuição menos homogênea dos pontos de verificação ou a limitações na modelagem altimétrica em áreas de relevo mais acentuado.

Além disso, a dispersão crescente dos resíduos, especialmente nos valores quadráticos acumulados ($\sum \Delta^2$), reforça essa perda de precisão no último processamento. A elevação desse parâmetro de 0,0592 (Ortomosaico 1) para 0,7303 (Ortomosaico 5) evidencia a ampliação dos desvios em relação à referência, indicando um comportamento menos estável do modelo digital de elevação.

Paralelamente, nas Tabelas 18 a 22, são apresentados os cálculos para a classificação da acurácia posicional planimétrica da amostra pesquisada nas cinco rotinas de processamento. Nessa avaliação, os limites de erro admissíveis foram estabelecidos em função do GSD (*Ground Sampling Distance*) final do processamento das imagens.

Tabela 18 - Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 1

Classes	Classe Acurácia horizontal	Acurácia Absoluta		
		RMSE _x e RMSE _y	RMSE _r	Nível de Confiança 95%
	GSD	≤ GSD	≤ 1,414*GSD	≤ 2,448*GSD
Classe I	3,2	3,2	4,52	7,83
Classe II		6,4	9,04	15,66
Classe III		9,6	13,56	23,49

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 19 - Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 2

Classes	Classe Acurácia horizontal	Acurácia Absoluta		
		RMSE _x e RMSE _y	RMSE _r	Nível de Confiança 95%
	GSD	≤ GSD	≤ 1,414*GSD	≤ 2,448*GSD
Classe I	3,19	3,19	4,51	7,81
Classe II		6,38	9,02	15,62
Classe III		9,57	13,53	23,43

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 20 – Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 3

Classes	Classe Acurácia horizontal	Acurácia Absoluta		
		RMSE _x e RMSE _y	RMSE _r	Nível de Confiança 95%
	GSD	≤ GSD	≤ 1,414*GSD	≤ 2,448*GSD
Classe I	3,19	3,19	4,51	7,81
Classe II		6,38	9,02	15,62
Classe III		9,57	13,53	23,43

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 21 – Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 4

Classes	Classe Acurácia horizontal	Acurácia Absoluta		
		RMSE _x e RMSE _y	RMSE _r	Nível de Confiança 95%
	GSD	≤ GSD	≤ 1,414*GSD	≤ 2,448*GSD
Classe I	3,19	3,19	4,51	7,81
Classe II		6,38	9,02	15,62
Classe III		9,57	13,53	23,43

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 22 – Classes de acurácia planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 5

Classes	Classe Acurácia horizontal	Acurácia Absoluta		
		RMSE _x e RMSE _y	RMSE _r	Nível de Confiança 95%
	GSD	≤ GSD	≤ 1,414*GSD	≤ 2,448*GSD
Classe I	3,19	3,19	4,51	7,81
Classe II		6,38	9,02	15,62
Classe III		9,57	13,53	23,43

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

As Tabelas 18 a 22 demonstram que, para todos os ortomosaicos, os valores de RMSE_x e RMSE_y situaram-se consistentemente na faixa \leq GSD, e os valores de RMSE_r permaneceram dentro do limite de $1,414 \times$ GSD. Esses resultados qualificam todos os ortomosaicos na Classe 1 de acurácia horizontal, a mais rigorosa estabelecida pela ASPRS, assegurando que os produtos cartográficos analisados possuem alta fidelidade posicional, uma vez que o GSD se manteve na faixa de 3,19 cm a 3,20 cm ao longo dos processamentos.

As Tabelas 23 a 27 apresentam a verificação para o enquadramento nas classes das amostras analisadas. A primeira análise utilizou os valores de RMSE do relatório gerado pelo *software Metashape*, resultando em uma classificação na Classe 1 para a acurácia planimétrica. A segunda análise considerou a amostra coletada e processada pelo *software GeoPEC*, igualmente resultando em uma classificação na Classe 1.

Tabela 23 – Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 1

Verificação de Acurácia	RMSE		RMSEr	Nível de Confiança 95%		Classificação
	RMSE _x	RMSE _y		RMSE _x	RMSE _y	
1ª Análise	2,22	2,92	3,67	5,43	7,14	Classe I
2ª Análise	2,24	3,44	4,09	5,48	8,42	Classe I

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 24 – Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 2

Verificação de Acurácia	RMSE		RMSEr	Nível de Confiança 95%		Classificação
	RMSE _x	RMSE _y		RMSE _x	RMSE _y	
1ª Análise	2,19	2,92	3,64	5,36	7,15	Classe I
2ª Análise	2,18	2,92	3,66	5,34	7,15	Classe I

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 25 – Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 3

Verificação de Acurácia	RMSE		RMSEr	Nível de Confiança 95%		Classificação
	RMSE _x	RMSE _y		RMSE _x	RMSE _y	
1ª Análise	2,20	2,94	3,67	5,39	7,20	Classe I
2ª Análise	2,19	2,94	3,66	5,36	7,20	Classe I

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 26 – Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 4

Verificação de Acurácia	RMSE		RMSEr	Nível de Confiança 95%		Classificação
	RMSE _x	RMSE _y		RMSE _x	RMSE _y	
1ª Análise	2,50	3,74	4,50	6,12	9,16	Classe I
2ª Análise	2,50	3,72	4,48	6,12	9,11	Classe I

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 27 - Análise das Classes de Acurácia Planimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 5

Verificação de Acurácia	RMSE		RMSEr	Nível de Confiança 95%		Classificação
	RMSE _x	RMSE _y		RMSE _x	RMSE _y	
1ª Análise	4,89	5,82	7,60	11,97	14,25	Classe I
2ª Análise	4,89	5,82	7,60	11,97	14,25	Classe I

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A avaliação da acurácia planimétrica dos ortomosaicos 1 a 5 foi realizada por meio de duas abordagens complementares: a primeira, baseada nos valores de RMSE gerados automaticamente pelo *software Metashape*; e a segunda, fundamentada nos valores obtidos a partir da amostra de verificação processada no *software GeoPEC*. Ambas as análises seguiram os critérios estabelecidos pela norma ASPRS (2014), considerando os valores de RMSE_x, RMSE_y e RMSE_r, além da verificação da classificação final nos níveis de confiança de 95%.

Os resultados foram consistentes entre as duas abordagens e ao longo dos cinco ortomosaicos, uma vez que todos os modelos foram classificados na Classe 1, que representa o mais alto nível de acurácia conforme a norma. Essa classificação manteve-se mesmo nos casos em que os valores de RMSE apresentaram incremento, como observado no ortomosaico 5, cujos RMSE_x e RMSE_y atingiram 4,89 cm e 5,82 cm, respectivamente, e RMSE_r de 7,60 cm. Apesar da elevação nos resíduos, os valores permaneceram dentro dos limites aceitáveis para a Classe 1, refletindo a robustez metodológica e a eficácia dos ajustes fotogramétricos aplicados.

Nas Tabelas 28 a 32, foi efetuada a verificação para o enquadramento nas classes de acurácia altimétrica das amostras analisadas, conforme os critérios descritos na Tabela 3.

Tabela 28 - Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 1

Verificação de Acurácia	RMSEz	Classe de Precisão de Dados Vertical	RMSEz em terreno não vegetado (cm)	Acurácia Vertical Não Vegetada (NVA) a 95% de Confiança (cm)	Acurácia Vertical Vegetal (VVA) no 95º Percentil (cm)
1ª Análise	4,10	III	5,00	9,80	14,70
2ª Análise	5,45	IV	10,00	19,60	29,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 29 - Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 2

Verificação de Acurácia	RMSEz	Classe de Precisão de Dados Vertical	RMSEz em terreno não vegetado (cm)	Acurácia Vertical NãoVegetada (NVA) a 95% de Confiança (cm)	Acurácia Vertical Vegetal (VVA) no 95° Percentil (cm)
1ª Análise	4,10	III	5,00	9,80	14,70
2ª Análise	4,20	III	5,00	9,80	14,70

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 30 - Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 3

Verificação de Acurácia	RMSEz	Classe de Precisão de Dados Vertical	RMSEz em terreno não vegetado (cm)	Acurácia Vertical NãoVegetada (NVA) a 95% de Confiança (cm)	Acurácia Vertical Vegetal (VVA) no 95° Percentil (cm)
1ª Análise	4,41	III	5,00	9,80	14,70
2ª Análise	4,40	III	5,00	9,80	14,70

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 31 - Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 4

Verificação de Acurácia	RMSEz	Classe de Precisão de Dados Vertical	RMSEz em terreno não vegetado (cm)	Acurácia Vertical NãoVegetada (NVA) a 95% de Confiança (cm)	Acurácia Vertical Vegetal (VVA) no 95° Percentil (cm)
1ª Análise	4,50	III	5,00	9,80	14,70
2ª Análise	5,28	IV	10,00	19,60	29,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Tabela 32 - Análise das Classes de Acurácia Altimétrica norma ASPRS referente ao ortomosaico 5

Verificação de Acurácia	RMSEz	Classe de Precisão de Dados Vertical	RMSEz em terreno não vegetado (cm)	Acurácia Vertical NãoVegetada (NVA) a 95% de Confiança (cm)	Acurácia Vertical Vegetal (VVA) no 95° Percentil (cm)
1ª Análise	6,04	IV	10,00	19,60	29,40
2ª Análise	6,05	IV	10,00	19,60	29,40

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise da acurácia altimétrica dos cinco ortomosaicos contempla os valores de RMSE_z obtidos por meio de duas abordagens distintas, ambas empregadas para classificar os produtos nas classes de acurácia vertical correspondentes. De modo geral, os ortomosaicos 1 a 4 apresentaram desempenho satisfatório, enquadrando-se predominantemente na Classe 3 da ASPRS, com valores de RMSE_z variando de 4,10 cm a 4,50 cm na primeira análise. A segunda análise manteve-se dentro de limites semelhantes, apresentando pequenas variações que não alteraram significativamente a classificação. Uma exceção ocorreu nos ortomosaicos 1 e 4, cuja segunda análise indicou um aumento no RMSE_z, resultando em uma reclassificação para a Classe 4, mantendo-se, contudo, dentro dos padrões aceitáveis para diversas aplicações técnicas.

O ortomosaico 5, por sua vez, apresentou os maiores valores de RMSE_z (6,04 cm e 6,05 cm nas duas análises), sendo classificado integralmente na Classe 4. Esse resultado pode estar relacionado a fatores como a menor densidade de pontos de controle. Apesar disso, os valores permanecem inferiores aos limites máximos estabelecidos para essa classe, o que garante a utilidade técnica dos dados, ainda que com uma redução na acurácia em comparação aos demais processamentos.

6.4 CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou a relevância da densidade e distribuição de pontos de apoio (PA) na geração de produtos cartográficos georreferenciados, com ênfase em seu papel fundamental para a precisão posicional de ortomosaicos. Constatou-se que a quantidade e a disposição espacial dos PA exercem influência direta na acurácia dos produtos, sendo determinantes para o controle posicional, a minimização de erros e a conformidade com os padrões estabelecidos pela ASPRS (2014) e pelo Decreto nº 89.817 em conjunto com a ET-CQDG (2016).

Por meio do uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) e de tecnologias de processamento como o método RTK e o *software Agisoft Metashape*, foi possível avaliar o impacto da redução gradual no número de pontos de controle (PC) sobre a qualidade final dos ortomosaicos. Os resultados indicaram que, até determinado limite, é possível reduzir a quantidade de PC's sem comprometer a acurácia posicional exigida pelas normas. No entanto, reduções mais acentuadas afetaram negativamente a qualidade dos produtos, especialmente nas extremidades das imagens, evidenciando a necessidade de planejamento criterioso na definição e posicionamento dos pontos.

As configurações com 20, 16, 12 e 8 PC's apresentaram estabilidade geométrica, ausência de tendências sistemáticas e resíduos com distribuição normal, conforme atestado pelos testes do Vizinheiro Mais Próximo, de *Shapiro-Wilk* e *t* de *Student*. Esses cenários mantiveram-se enquadrados na Classe A do PEC-PCD e na Classe I da ASPRS (2014), atendendo aos requisitos de precisão para a escala 1:1000. Por outro lado, o processamento com apenas 5 PCs resultou em maior dispersão dos erros, sobretudo no componente altimétrico, o que levou a uma classificação inferior segundo a ASPRS, embora dentro das tolerâncias do Decreto nº 89.817/ET-CQDG (2016).

Conclui-se, portanto, que há uma relação direta entre a densidade de PC's e a qualidade posicional dos produtos cartográficos. A redução excessiva desses pontos, ainda que operacionalmente viável, acarreta aumento mensurável dos erros planialtimétricos e maior susceptibilidade a distorções no bloco fotogramétrico.

Além disso, evidenciou-se que o planejamento adequado na seleção e localização dos PA contribui para a eficiência do levantamento, sem comprometer a qualidade cartográfica. A comparação entre diferentes arranjos amostrais demonstrou que a distribuição correta dos PA, associada a parâmetros adequados de sobreposição de imagens, possibilita o atendimento aos níveis de acurácia estabelecidos pelo PEC-PCD da DSG (2016).

A combinação de metodologias consolidadas, ferramentas estatísticas robustas e tecnologias de processamento especializadas, como o *Agisoft Metashape* e o *GeoPEC*, permitiu uma avaliação confiável da precisão posicional. O estudo reforça ainda a importância da adesão a padrões normativos nacionais e internacionais, assegurando que os produtos cartográficos gerados sejam confiáveis, geometricamente consistentes e adequados a aplicações que demandam exatidão.

Dessa forma, os resultados obtidos confirmam a viabilidade de otimização de recursos em levantamentos aerofotogramétricos com RPA, sem prejuízo à qualidade cartográfica, desde que observados os critérios técnicos e normativos vigentes. A abordagem multidisciplinar adotada, integrando geotecnologias, fotogrametria e análise espacial, consolida-se como uma contribuição relevante para a produção cartográfica digital e para o uso qualificado de RPA em aplicações de alta precisão.

7. ARTIGO 2

VIABILIDADE DO USO DA TECNOLOGIA RPA PARA GEORREFERENCIAMENTO DE IMÓVEIS RURAIS: ATENDIMENTO ÀS NORMAS DO INCRA

Resumo: O georreferenciamento de imóveis rurais com Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) precisa atender aos rigorosos padrões do INCRA. Este estudo avaliou a viabilidade técnica do uso da RPA *DJI Mini 2* para essa finalidade. A metodologia envolveu o mapeamento de uma área de 20,9 ha em Londrina-PR, utilizando 28 pontos de apoio (8 Pontos de Controle e 20 Pontos de Verificação) coletados com GNSS RTK. As imagens, processadas no *software Agisoft Metashape*, foram analisadas quanto à acurácia posicional conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD) - Decreto 89.817/ET-CQDG (2016) e as normas do INCRA (2022). Os resultados demonstraram que a configuração com 8 PCs permitiu que o ortomosaico atendesse à Classe A do PEC-PCD na escala 1:1.000, com Erro Padrão de 0,17 m, cumprindo os limites de precisão para limites artificiais ($\leq 0,50$ m), naturais ($\leq 3,00$ m) e inacessíveis ($\leq 7,50$ m). Conclui-se que a RPA de baixo custo, com uma configuração adequada de pontos de controle, é uma ferramenta viável e eficiente para o georreferenciamento de imóveis rurais em conformidade com as normas do INCRA.

7.1 INTRODUÇÃO

As RPA, equipadas com sensores de alta precisão, permitem a captura de imagens e dados com uma acurácia compatível com os padrões mais rigorosos, o que assegura a qualidade dos produtos cartográficos gerados, como ortofotos e modelos digitais de elevação. Essas aeronaves têm se consolidado como uma alternativa viável e econômica em comparação aos métodos tradicionais de levantamento, principalmente no que tange ao aumento da precisão na medição de áreas e delimitação de limites, tanto naturais quanto artificiais.

A conformidade com os requisitos de acurácia e precisão é essencial para garantir que os dados obtidos com RPA estejam em conformidade com as normas vigentes. Para o caso específico de imóveis rurais no Brasil, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) estabelece diretrizes rigorosas para o uso de RPA em georreferenciamento, com foco em limites artificiais, naturais e inacessíveis. Essas normas garantem que os

georreferenciamentos realizados atendam aos padrões de qualidade estabelecidos, assegurando que os produtos possam ser utilizados com segurança em processos de regularização fundiária e outras finalidades.

Este estudo busca avaliar a viabilidade técnica e normativa do uso de RPA no georreferenciamento de imóveis rurais, conforme as diretrizes estabelecidas pelo INCRA. O foco principal está na conformidade com os padrões de precisão para limites artificiais (igual ou melhor que 50 centímetros), limites naturais (igual ou melhor que 3 metros) e limites inacessíveis (igual ou melhor que 7,5 metros), conforme definido pelo Manual Técnico de Georreferenciamento de Imóveis Rurais (INCRA, 2022).

Além da conformidade com os padrões de precisão, este estudo também visa avaliar a ortofoto, produto do georreferenciamento, em relação à exatidão cartográfica para produtos cartográficos digitais (PEC/PCD). Essa avaliação foi conduzida conforme a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) e a Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), ambas elaboradas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército.

É importante ressaltar que, para a realização do georreferenciamento utilizando RPA, é necessária a emissão de uma Anotação de Responsabilidade Técnica (ART) específica para o serviço de aerofotogrametria. Essa ART deve ser registrada no sistema do CONFEA/CREA por profissional habilitado, garantindo a responsabilidade técnica pela execução do aerolevante. Além disso, é imprescindível arquivar todos os arquivos gerados durante o processo de georreferenciamento, pois podem ser requisitados em auditorias ou verificações futuras. Essa prática assegura a integridade e a rastreabilidade dos dados utilizados no levantamento.

No que tange à utilização de ortomosaicos, é importante destacar que eles são adequados para a identificação de vértices dos tipos P (pontos) e V (vértices naturais). Para vértices do tipo M (marco), que são elementos materiais como cercas ou muros, a identificação deve ser realizada em campo, por meio de marcos físicos, e não por meio de ortomosaicos.

A pesquisa combina planejamento meticuloso de voo, uso de *softwares* especializados e avaliação estatística dos dados geoespaciais. O objetivo final é demonstrar a viabilidade do uso de RPA no georreferenciamento, considerando aspectos técnicos e normativos, e assegurar que os produtos gerados atendam aos padrões de qualidade estabelecidos pelas normativas brasileiras.

Dada a ausência de especificações precisas sobre o modelo de RPA a ser utilizado e o número ideal de pontos de controle na normativa do INCRA, este estudo propõe a utilização da RPA *DJI Mini 2*, com peso padrão inferior a 250 gramas. Esta escolha é embasada em critérios de desempenho oferecidos pelo modelo da aeronave citada, visando atender aos padrões de qualidade e precisão estabelecidos nas normas. Para isso, o aerolevanteamento foi conduzido com 5 pontos de controle, permitindo o alinhamento tanto com a proporcionalidade da área estudada quanto com os padrões de qualidade exigidos. A área de estudo está localizada em uma região rural no distrito de Maravilha, no Município de Londrina, Estado do Paraná, Brasil.

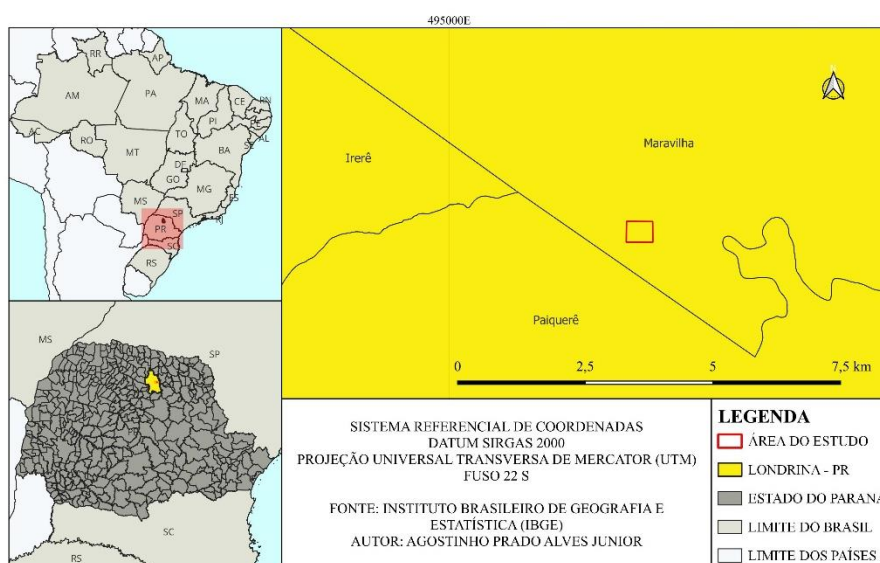
7.2 MATERIAL E METODOS

A seguir, serão apresentados o delineamento da área de estudo, os materiais utilizados, a metodologia empregada, bem como os resultados e análises desta pesquisa.

7.2.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 28) abrange uma área rural de cerca de 20,9 hectares (há) localizada no distrito de Maravilha, no município de Londrina, no Estado do Paraná, Brasil.

Figura 28 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

7.2.2 Materiais utilizados

Receptor GNSS RTK (base *ProMark 700*, *Rover ProMark 500*);

Software QGis 3.28 para manipulação dos dados espaciais;

Software fotogramétrico *Agisoft Metashape* para o processamento das fotos;

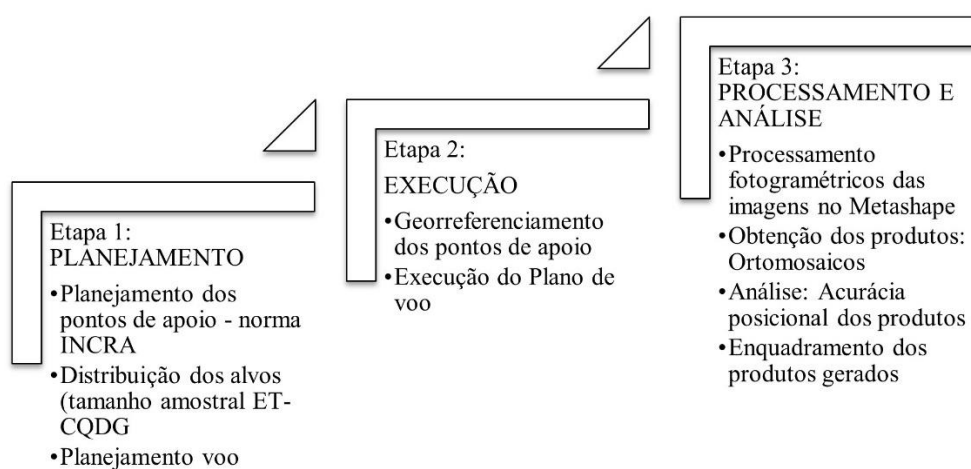
Software Drone Harmony para planejamento de voo e execução da captura de das imagens do mapeamento aéreo;

A aeronave utilizada para obter as imagens foi do tipo multirotor, do modelo *Mavic Mini 2* da empresa *DJI*.

7.2.3 Metodologia

A Figura 29, apresenta de forma ilustrativa, as etapas e os procedimentos metodológicos implementados na pesquisa.

Figura 29 - Fluxo metodológico de trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

7.2.4 Cadastro e distribuição dos pontos de apoio

Os pontos de apoio em um levantamento aerofotogramétrico são divididos em dois grupos principais: os pontos de controle (PC) e os pontos de verificação (PV). Ambos desempenham papéis cruciais na garantia da precisão e da qualidade dos produtos cartográficos, como ortomosaicos. Os pontos de controle são usados para orientar o processamento e ajustar

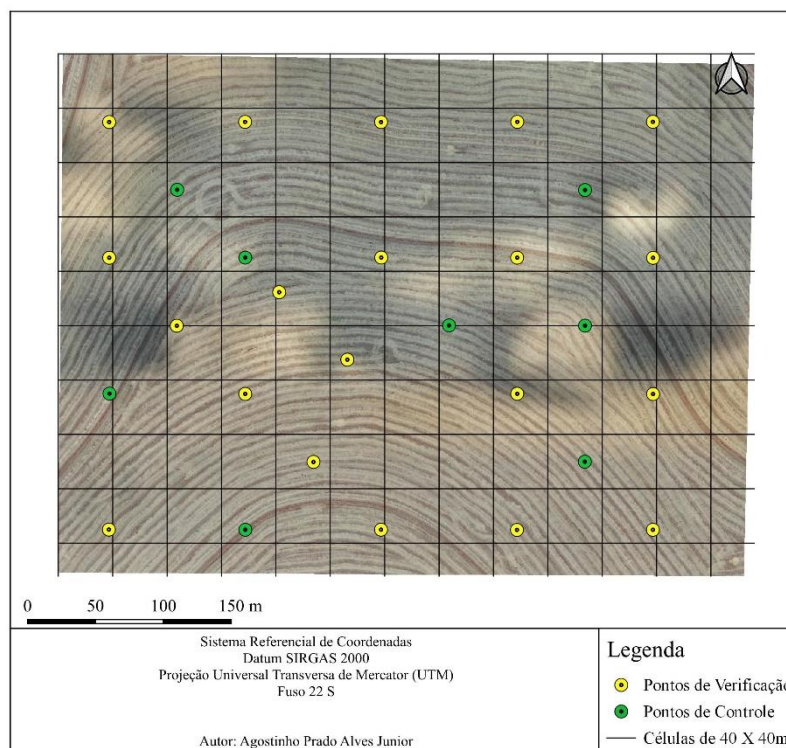
a precisão do modelo cartográfico, enquanto os pontos de verificação são destinados a avaliar a acurácia do produto, validando sua conformidade com os padrões normativos.

De acordo com Alves Júnior; Gomes (2022), os pontos de controle são marcos terrestres fundamentais no pós-processamento das imagens, sendo essenciais para ajustar as coordenadas do modelo fotogramétrico. Já os pontos de verificação têm como objetivo avaliar a qualidade do produto, garantindo que ele atenda aos critérios de exatidão exigidos. No caso do presente estudo, foi aplicada a norma de inspeção de produtos isolados (ISO 2859-2), que considera todas as células da área de estudo válidas para a coleta de pontos. Isso assegura que a distribuição seja representativa e abranja toda a área de interesse.

O processo de subdivisão da área segue as diretrizes da norma ET-CQDG (2016), que estabelece que o tamanho das células deve ser proporcional à escala do produto ou à escala de avaliação. A norma define uma divisão inicial da população em células de 4x4 cm na escala do produto. Por exemplo, para um produto com escala 1:10.000, as células teriam dimensões de 400x400 m, enquanto para um produto na escala 1:25.000, as células seriam de 1000x1000 m. No caso deste estudo, com uma área de 20,9 hectares e considerando a escala de 1:1.000, as células foram definidas com dimensões de 40x40 m (Figura 30), totalizando 130 células adequadas para a coleta de pontos fundamentais, ou seja, pontos de controle e pontos de verificação. Essas subdivisões permitem um planejamento mais detalhado e uma distribuição mais eficaz dos pontos de controle e verificação.

Essa relação direta entre o tamanho das células e a escala do produto é essencial para garantir que a amostragem seja adequada às especificidades do levantamento. Uma escala maior, como 1:1.000, exige células menores para representar os detalhes com precisão, enquanto escalas menores, como 1:25.000, permitem células maiores devido ao menor nível de detalhamento exigido. Essa abordagem assegura que os dados coletados reflitam com precisão a área mapeada, atendendo aos padrões de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

Figura 30 - Áreas propícias para coleta de pontos de apoio após dividir a área em células de 40x40m



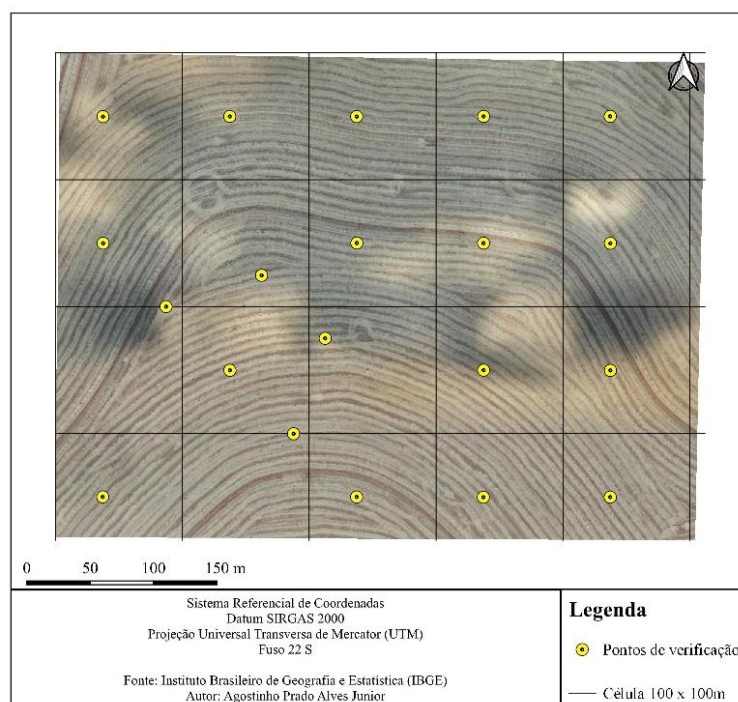
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Para uma área de estudo de aproximadamente 20,9 hectares (0,209 km²), a norma do INCRA estabelece que a amostragem deve incluir 20 pontos de verificação. No entanto, a norma não especifica a quantidade mínima de pontos de controle (PC) nem a forma como devem ser distribuídos. Diante disso, para este estudo, optou-se inicialmente pelo uso de 5 pontos de controle no processo de orientação das imagens. Essa escolha teve como objetivo avaliar a adequação dessa configuração inicial e sua influência na precisão dos resultados cartográficos.

Como o produto avaliado é um ortomosaico, aplica-se a norma de inspeção de produtos isolados (ISO 2859-2), na qual todas as células são consideradas válidas. Dessa forma, no *software* GeoPEC, ao utilizar o menu de amostragem e aplicar a norma ISO 2859-2, o número de células válidas é inserido, permitindo o cálculo preciso das células destinadas à distribuição dos pontos de verificação (PV) em campo. Com base na metodologia da ET-CQDG, que é compatível com a norma do INCRA, a área de estudo foi subdividida em 20 células efetivas de 100 x 100 m (Figura 31), assegurando uma distribuição uniforme dos 20 pontos de verificação. Esses procedimentos garantem que a avaliação da precisão posicional do ortomosaico ocorra de maneira representativa em toda a área de estudo.

Já os pontos de controle (PC) foram estrategicamente distribuídos nas regiões de maior variação altimétrica e nas extremidades da área, seguindo as orientações da ET-CQDG e do INCRA. Essa distribuição visa minimizar a influência de erros em áreas com menor sobreposição de imagens, contribuindo para a melhoria da acurácia altimétrica do produto. Por sua vez, os pontos de verificação (PV) foram distribuídos de forma uniforme por toda a área, considerando a subdivisão em células de 100 x 100 m, conforme as normas aplicáveis. Essa abordagem metodológica assegura que a qualidade do ortomosaico seja avaliada de maneira abrangente, garantindo a confiabilidade dos resultados obtidos ao longo de toda a extensão do levantamento.

Figura 31 - Distribuição dos 20 pontos de verificação em campo conforme a norma INCRA após dividir a área em células de 100x100m



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A definição das células efetivas depende da subdivisão da área de estudo com base nas diretrizes da norma ET-CQDG (2016), que estabelece que o tamanho das células deve ser proporcional à escala do produto ou à escala de avaliação. Dessa forma, áreas mais extensas resultarão em uma maior quantidade de células, garantindo uma amostragem adequada à precisão exigida. Essa abordagem metodológica permite atender às exigências normativas e assegurar que os produtos cartográficos gerados sejam confiáveis e precisos.

Para os cadastros dos bancos de dados empregados neste estudo, todo o material gerado foi georreferenciado utilizando o sistema de coordenadas SIRGAS 2000. A coleta dos pontos foi realizada por meio do Receptor GNSS *Ashtech ProMark 500* de dupla frequência (L1/L2), em que um receptor base tinha a responsabilidade de reconhecer o ponto de referência. O tempo dedicado à coleta do ponto de referência foi de 3 horas e 29 minutos. O receptor base GNSS utilizado foi o *Ashtech ProMark 700*.

Em seguida, foi realizada a correção utilizando o método de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) de forma estática, executado *online* na página inicial do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Utilizando essas coordenadas georreferenciadas, os pontos de apoio foram coletados com o receptor *rover* em modo RTK, proporcionando posicionamento cinemático em tempo real para cada ponto.

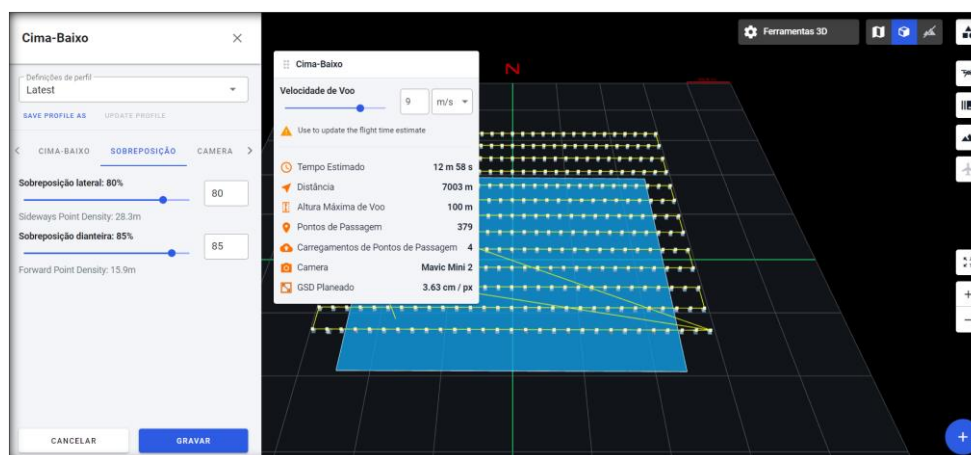
O *software* GNSS *Solutions* foi empregado para correlacionar os pontos provenientes da base e do *rover*. Todas as ocupações dos pontos com o *rover* em campo tiveram suas ambiguidades de vetor fixadas, garantindo a qualidade do levantamento. O relatório IBGE-PPP encontra-se no Anexo deste trabalho.

7.2.5 Aquisição das imagens com a RPA

Um voo planejado utilizando o *software* *Drone Harmony* foi realizado com o propósito de empregar a fotogrametria com RPA para mapear a área da análise. A área sobrevoada abrangeu aproximadamente 21 hectares, e a duração do voo foi de 12 minutos e 58 segundos, resultando na captura de 160 imagens.

A aeronave utilizada para a aquisição das imagens foi um multirrotor do modelo *Mavic Mini 2*, fabricado pela empresa *DJI*. Para a realização deste levantamento aéreo, foram consideradas as seguintes variáveis: tempo de voo, altura de voo, sobreposição frontal e lateral, bem como a distância de amostra do solo, conforme mostrado na Figura 32.

Figura 32 - Interface *Drone Harmony* e Plano de Voo



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A altura de voo foi fixada em 100 metros, resultando em uma resolução estimada de $3,63 \text{ cm/pixel}$. A distância de amostra do solo, também conhecida como *Ground Sample Distance* (GSD), representa a dimensão do *pixel* da imagem em termos de unidades de terreno (geralmente em centímetros).

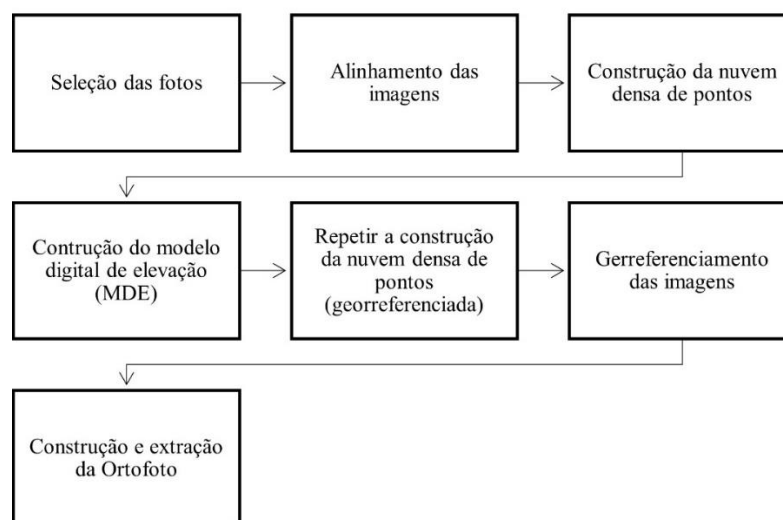
É importante destacar que a delimitação da área e os parâmetros de sobreposição frontal (*FrontLap*) e lateral (*SideLap*) foram definidos em 80% e 85%, respectivamente, valores que superam as recomendações encontradas na literatura para garantir um resultado de alta qualidade, isto é, de aproximadamente 70-80%.

7.2.6 Processamento dos dados

A metodologia adotada para adquirir e processar os dados coletados pelo RPA envolve três etapas, conforme ilustrado na Figura 32. Após a coleta dos pontos de apoio, as fotografias foram processadas utilizando cinco pontos de controle distribuídos na área de estudo, utilizando o *software Agisoft Metashape*. Os dados registrados durante a coleta foram georreferenciados no Datum SIRGAS 2000, usando o sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) no fuso 22S. O processamento dos dados no *software* foi realizado no mesmo Datum e sistema de projeção, para manter a consistência com o referencial utilizado durante a coleta.

O *Agisoft Metashape* oferece um fluxo de trabalho automatizado para o processamento das imagens, como descrito na Figura 33.

Figura 33 - Fluxo de processamento dos dados provenientes do RPA, baseado na metodologia apresentada



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

As fotografias foram processadas utilizando a configuração padrão inicial do *software*. Contudo, nas etapas de alinhamento e construção da nuvem densa de pontos, foi selecionada a opção de maior precisão (*highest accuracy*) no *software*. Isso foi feito para que o *software* identifique pontos homólogos entre as imagens, permitindo a correspondência e localização da posição da câmera em cada imagem, além de refinar os parâmetros de calibração da câmera. As demais etapas seguiram o fluxo padrão do *software*.

7.2.7 Avaliação da acurácia posicional dos pontos de projeção cartográfica e enquadramento do ortomosaico gerado

Para validar a precisão dos resultados, foram adotadas duas abordagens de análise distintas. A primeira consistiu no método de avaliação fornecido pelo *software Agisoft PhotoScan*, que examina o posicionamento dos pontos de verificação em dois momentos específicos: no terreno, com coordenadas adquiridas por um equipamento GNSS de alta precisão, e na imagem processada, com coordenadas obtidas após o processamento fotogramétrico. Esse método permite identificar e mensurar a discrepância entre os valores observados e estimados, fornecendo uma visão detalhada sobre a acurácia posicional dos produtos gerados.

A acurácia dos pontos de verificação foi avaliada utilizando o método estatístico da Raiz do Erro Médio Quadrático (*Root Mean Square Error - RMSE*). Amplamente

utilizado em análises de precisão, o RMSE mede a dispersão dos erros, ou seja, a diferença entre os valores estimados e os reais, fornecendo uma medida clara da precisão dos resultados. Essa técnica é especialmente eficaz em análises experimentais, como a avaliação posicional de ortomosaicos ou modelos digitais de elevação (MDE), verificando se os produtos atendem aos limites de erro aceitáveis estabelecidos por normas como as do INCRA e ASPRS.

No contexto desta análise, o RMSE foi aplicado para avaliar a precisão dos dados em coordenadas planimétricas (X e Y) e altimétricas (Z). Essa abordagem é fundamental para garantir que os produtos cartográficos gerados estejam dentro dos padrões de qualidade e precisão exigidos, permitindo a validação de sua aplicabilidade em projetos que demandam alta acurácia posicional.

Além disso, foi empregada uma abordagem manual para complementar a análise. Nessa etapa, os pontos de verificação desempenharam um papel crucial. O processo começou com a exportação dos erros estimados dos alvos no *software Agisoft Metashape*. Em seguida, as coordenadas planimétricas e altimétricas dos pontos foram calculadas e comparadas manualmente, possibilitando uma análise detalhada da precisão dos dados gerados.

A avaliação da discrepância entre as coordenadas foi realizada comparando os alvos nas imagens com os pontos de apoio coletados em campo. Para essa análise, utilizou-se o *software GeoPEC*, especializado na análise posicional de dados espaciais conforme os padrões de Exatidão Cartográfica Brasileiro. A interface de entrada de dados no *software*, representada na Tabela 33, permitiu o início da avaliação da acurácia planialtimétrica, que representa a primeira norma considerada neste estudo.

Tabela 33 - Dados extraídos do *Metashape* para entrada no *software GeoPEC*

Ponto	E (m) Teste	N (m) Teste	h (m) Teste	E (m) Referência	N (m) Referência	h (m) Referência
40	498.657.757.000	7.400.742.917.000	518.739.000	498.657.764.673	7.400.742.914.134	518.666.270
13	498.557.238.000	7.400.843.103.000	510.748.000	498.557.220.808	7.400.843.077.979	510.784.764
2	498.682.676.000	7.400.818.139.000	514.807.000	498.682.659.766	7.400.818.130.647	514.791.973
17	498.807.618.000	7.400.793.032.000	514.660.000	498.807.647.240	7.400.793.027.924	514.658.754
15	498.607.566.000	7.400.792.945.000	514.560.000	498.607.560.728	7.400.792.958.861	514.616.463
8	498.707.635.000	7.400.893.267.000	510.371.000	498.707.638.641	7.400.893.234.185	510.406.999
29	498.807.558.000	7.400.893.201.000	509.506.000	498.807.547.320	7.400.893.181.278	509.538.782
10	498.632.568.000	7.400.867.784.000	512.046.000	498.632.547.349	7.400.867.791.296	511.996.256
20	498.807.422.000	7.400.692.892.000	518.245.000	498.807.448.233	7.400.692.881.664	518.150.552
21	498.907.417.000	7.400.692.990.000	514.090.000	498.907.494.178	7.400.693.027.689	513.942.632
28	498.807.647.000	7.400.993.102.000	504.224.000	498.807.638.391	7.400.993.087.693	504.284.769
27	498.907.409.000	7.400.993.143.000	502.855.000	498.907.405.894	7.400.993.121.790	502.910.885
37	498.507.314.000	7.400.693.143.000	514.688.000	498.507.296.313	7.400.693.168.875	514.645.918
36	498.507.581.000	7.400.893.131.000	504.891.000	498.507.592.180	7.400.893.097.980	504.987.398
19	498.707.460.000	7.400.693.079.000	521.870.000	498.707.449.615	7.400.693.106.949	521.702.697
25	498.907.525.000	7.400.893.082.000	507.572.000	498.907.528.413	7.400.893.072.989	507.577.569

23	498.907.544.000	7.400.792.857.000	510.495.000	498.907.596.949	7.400.792.849.538	510.519.477
31	498.707.486.000	7.400.992.980.000	505.589.000	498.707.494.575	7.400.992.959.534	505.594.874
34	498.507.511.000	7.400.992.985.000	500.743.000	498.507.525.398	7.400.992.936.202	500.779.940
33	498.607.464.000	7.400.993.096.000	507.377.000	498.607.469.489	7.400.993.089.734	507.282.470

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com base nos resultados obtidos *software* GeoPEC, avaliaremos a acurácia posicional dos produtos gerados pelo levantamento aerofotogramétrico, observando todos os critérios estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica do Decreto nº 89.817, em conjunto com a ET-CQDG (2016), e classificando-os de acordo com suas respectivas classes, visando obter uma reprodução precisa da área de interesse.

Além disso, foi utilizada uma segunda norma de avaliação, que se baseia na análise da acurácia posicional dos pontos de projeção cartográfica. Essa avaliação também é conduzida dentro do próprio *software* GeoPEC, com o propósito de mensurar a precisão posicional absoluta dos produtos provenientes do aerolevantamento, que são utilizados no processo de Georreferenciamento de Imóveis Rurais, conforme as diretrizes estipuladas pelo INCRA (2022). Esse procedimento utiliza técnicas estatísticas semelhantes àquelas empregadas na avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica, mas incorpora algumas definições específicas estabelecidas pelo INCRA.

Segundo as diretrizes dessa norma, no processo de posicionamento com dados provenientes de aerofotogrametria, é crucial realizar uma avaliação precisa da acurácia posicional absoluta, seguindo critérios determinados. O Ground Sample Distance (GSD), isto é, distância de amostra do solo, deve estar em conformidade com a feição a ser identificada, respeitando a precisão do tipo de limite a ser representado. Isso envolve a utilização de pontos de verificação, mantendo a proporcionalidade da área, geometria e relevo para atender ao Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC/PCD), conforme as Especificações Técnicas para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) e para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), ambas emitidas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército.

A classe resultante do cálculo do PEC deve estar adequada à precisão exigida para o tipo de limite a ser representado. É fundamental observar que os pontos de controle não devem ser utilizados como pontos de verificação. Para os vértices cujas coordenadas são determinadas por aerofotogrametria, os valores de precisão posicional são derivados do *Root Mean Square Error* (RMSE) obtido durante a avaliação da acurácia posicional. Os produtos

provenientes da aerofotogrametria incluem ortomosaicos, ortofotocartas, Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS) e curvas de nível.

Esses produtos são essenciais nos serviços de georreferenciamento de imóveis rurais, auxiliando na identificação das feições a serem representadas. Para feições foto identificáveis, como limites definidos por cercas, muros, estradas e ferrovias e ortomosaicos são indicados. Para feições de difícil definição, como linhas de cumeadas, áreas alagadiças, divisor de águas, cristas de encostas e talvegues, são recomendados ortomosaicos, combinados com MDT, MDS ou curvas de nível. E para limites inacessíveis, ortomosaicos combinados com MDT, MDS ou curvas de nível são os produtos indicados.

Os requisitos de precisão posicional para os vértices que determinam os limites das propriedades são os seguintes: a) Para vértices localizados em limites artificiais: igual ou inferior a 0,50 m; b) Para vértices localizados em limites naturais: igual ou inferior a 3,00 m; e c) Para vértices localizados em limites inacessíveis: igual ou inferior a 7,50 m. A tolerância máxima permitida será de até três vezes o valor de precisão para o tipo de limite, considerando as coordenadas de um ou mais vértices da área certificada em relação ao valor determinado por outro profissional credenciado.

7.3 RESULTADO E DISCUSSÃO

7.3.1 Rotina para confecção do ortomosaico

A densidade dos Pontos de Controle (PC) constitui um fator crítico para a qualidade dos produtos cartográficos gerados por aerofotogrametria, especialmente quando se almeja atender aos rigorosos padrões nacionais. Na área de estudo, foram coletadas as coordenadas de 28 pontos de apoio utilizando um receptor GNSS RTK de alta precisão. O procedimento envolveu o estabelecimento de uma estação base durante 2 horas e 26 minutos para o reconhecimento do ponto de referência, seguido de pós-processamento via sistema de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE, um método avançado que assegurou a confiabilidade posicional desde a etapa de levantamento de campo.

Os pontos foram coletados com um receptor *rover* em modo RTK, paralelamente à captura de 160 imagens por uma RPA. O processamento fotogramétrico foi realizado no *software Agisoft Metashape*, utilizando algoritmos para correspondência de imagens e reconstrução tridimensional. Parâmetros de alto rigor foram configurados para o alinhamento e para a geração da nuvem densa de pontos, e as rotinas de processamento

recomendadas pelo *software* foram seguidas para a obtenção do ortomosaico, cujo resultado é apresentado na Figura 55.

Para a avaliação da acurácia posicional do bloco, uma configuração inicial utilizou 25 pontos de apoio (5 para controle e 20 para verificação), distribuídos conforme as diretrizes do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) da ET-CQDG. As coordenadas de referência, obtidas em campo com GNSS de alta precisão, foram importadas para o *software* para georreferenciamento e orientação do modelo. No entanto, os resultados com essa configuração não atenderam aos requisitos da Classe A na escala 1:1.000, conforme o Decreto nº 89.817/1984 e os critérios do INCRA (2022).

Diante disso, adotou-se uma nova estratégia, aumentando gradativamente o número de pontos de controle. A configuração que se mostrou eficaz foi a de 8 pontos de controle e 20 de verificação (totalizando os 28 pontos), a qual garantiu a conformidade com as exigências normativas. Essa disposição final dos pontos permitiu processar as imagens e identificar as discrepâncias posicionais nos pontos homólogos das ortofotos, utilizando os 20 pontos de verificação para a validação final da acurácia.

A análise dos dados foi conduzida em conformidade com a ET-CQDG e o Manual Técnico do INCRA (2022). Inicialmente, os pontos foram inseridos no *software* GeoPEC para o cálculo de parâmetros estatísticos descritivos (média, desvio padrão, variância). Diferentemente do prescrito em manuais anteriores (como o de 2018), esta avaliação, orientada pela versão de 2022, não incluiu técnicas estatísticas como o Vizinho Mais Próximo ou testes de normalidade (*Shapiro-Wilk*) e tendência (*t-Student*). A nova abordagem exige que os pontos de verificação considerem a proporcionalidade da área, sua geometria e o relevo, em atendimento estrito ao PEC-PCD.

Para os vértices determinados por aerofotogrametria, a precisão posicional foi avaliada com base nos valores do *Root Mean Square* (RMS) derivados da análise de acurácia. A importação e projeção das coordenadas no *software* permitiu verificar a conformidade com o PEC-PCD, norma fundamental para a representação espacial confiável no georreferenciamento rural.

Por fim, a aplicação dos critérios do Manual do INCRA (2022) para o teste de precisão demonstrou que o ortomosaico gerado está em conformidade com os requisitos do Decreto nº 89.817/1984 para a escala 1:1.000, Classe A, conforme sintetizado na Tabela 34.

Tabela 34 - Precisão de Posicionamento Planimétrico - Conformidade com Decreto-lei 89.817 - Categoria A na Escala 1/1.000 e conforme o INCRA

Escala	PEC (m)	EP (m)	Classe	Limite Artificial (0,50 m)	Limite Natural (3,00 m)	Limite Inacessível (7,50 m)
1:1.000	0,28	0,17	Classe A	Atende	Atende	Atende

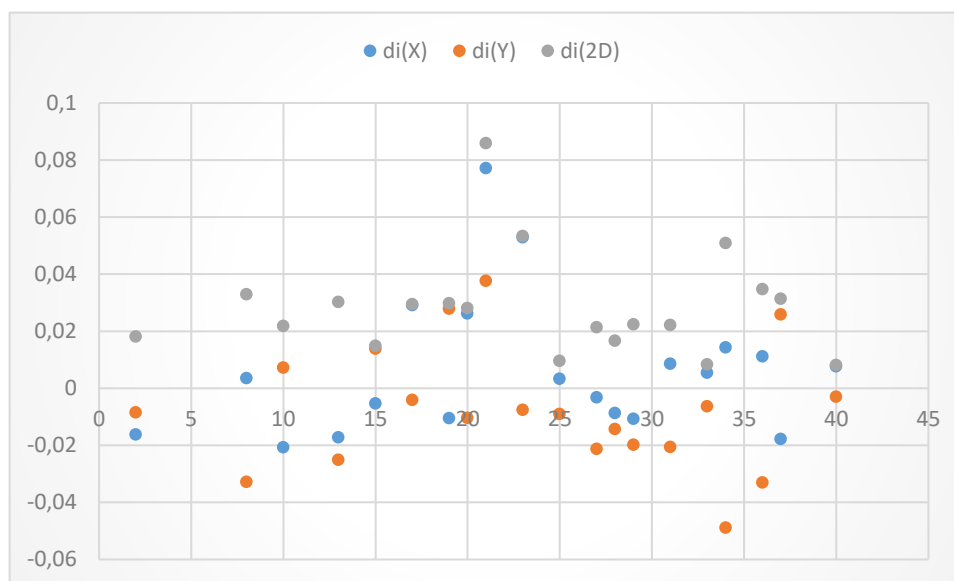
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A avaliação da precisão cartográfica, realizada conforme os parâmetros do Decreto nº 89.817/1984 e da Norma Técnica do INCRA (2022), demonstrou que o ortomosaico resultante do processamento atende integralmente aos critérios exigidos para produtos de alta resolução. Para a escala de trabalho de 1:1.000, o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) estabelece um erro padrão (EP) planimétrico máximo de 0,28 metro. O valor obtido no processamento analisado foi de 0,17 metro, o que enquadra o produto na Classe A, a categoria mais rigorosa da norma.

O produto também foi validado frente aos limites de tolerância definidos para as diferentes categorias de limites fundiários. Para limites artificiais (tolerância máxima de 0,50 m), verificou-se conformidade plena. Da mesma forma, os critérios para limites naturais (até 3,00 m) e limites inacessíveis (até 7,50 m) foram amplamente atendidos, consolidando a robustez geométrica do levantamento. Esses resultados atestam não apenas a conformidade legal e técnica, mas também a adequação do fluxo metodológico empregado. A acurácia posicional alcançada garante a confiabilidade necessária para aplicações que demandam rigor métrico, como o georreferenciamento de imóveis rurais, a regularização fundiária e a produção de bases cartográficas oficiais.

Em termos metodológicos, os pontos de verificação foram coletados em campo com um receptor GNSS, utilizando posicionamento cinemático em tempo real (RTK), o que assegurou uma precisão posicional satisfatória. Após a identificação dos alvos correspondentes no ortomosaico, calcularam-se os resíduos posicionais planimétricos para cada ponto. A Figura 34 ilustra a distribuição desses resíduos no ortomosaico gerado com a configuração final de 8 pontos de controle.

Figura 34 - Discrepâncias de Posicionamento Planimétricas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A representação gráfica das discrepâncias planimétricas observadas no evidência um comportamento estatisticamente estável e distribuído de forma homogênea em relação às componentes Leste (X), Norte (Y) e ao erro combinado 2D. Os resíduos posicionais encontram-se majoritariamente concentrados próximos ao valor nulo, com variações discretas e ausência de picos abruptos, o que indica boa aderência entre os pontos verificados e os pontos de controle utilizados.

A distribuição dos erros mostra-se simétrica, sem indicar tendências sistemáticas ou anomalias localizadas, o que sugere um modelo de aerotriangulação bem ajustado e um processo de restituição fotogramétrica realizado com rigor técnico. Os valores de erro 2D permanecem em sua maioria abaixo de 0,05 metros, o que está em conformidade com os limites estabelecidos pela Classe A da norma PEC-PCD para produtos cartográficos na escala de 1:1000. A uniformidade na distribuição dos resíduos também contribui para validar a acurácia posicional e reforça a eficácia dos parâmetros operacionais adotados, como a densidade e a distribuição dos pontos de apoio e verificação

Para a análise altimétrica dos dados, adotou-se o padrão de acurácia posicional estabelecido pelo Decreto-lei nº 89.817, levando em consideração uma equidistância de referência de 1,0 metro. Os resultados obtidos por meio desses métodos, em conformidade com as normas brasileiras, estão apresentados na Tabela 35, evidenciando que o ortomosaico atende aos requisitos do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) para uma equidistância vertical de 1,0 metro na Classe A.

Tabela 35 - Precisão de Posicionamento Altimétrico - Conformidade com Decreto-lei 89.817 - Classe A e INCRA

Parâmetro Avaliado	Valor	Critério de Referência	Resultado
Equidistância Vertical	1,0 m	–	–
Erro Padrão (EP)	0,1667 m	PEC-PCD: $\leq 0,27$ m	Classe A
Limite Artificial	0,1667 m	Tolerância: $\leq 0,50$ m	Atende
Limite Natural	0,1667 m	Tolerância: $\leq 3,00$ m	Atende
Limite Inacessível	0,1667 m	Tolerância: $\leq 7,50$ m	Atende

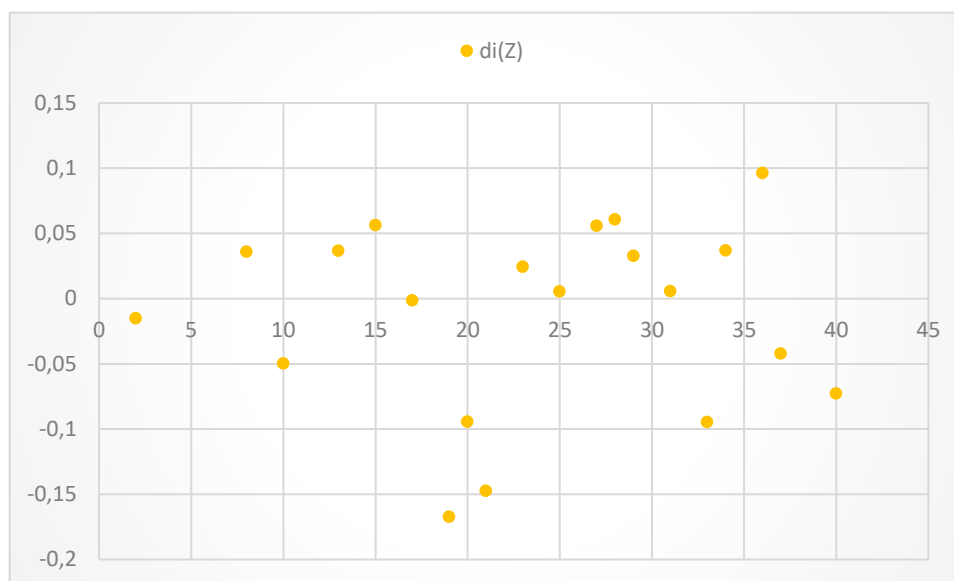
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com base nos resultados apresentados na Tabela de Precisão Altimétrica, elaborada conforme os critérios estabelecidos pelo Decreto nº 89.817/1984 e pela norma PEC-PCD (INCRA, 2022), é possível afirmar que o modelo altimétrico avaliado demonstra alta confiabilidade e precisão vertical, sendo adequado para aplicações técnicas e legais em geotecnologias.

O Erro Padrão (EP) calculado foi de 0,1667 metros, valor substancialmente inferior ao limite de 0,27 metros exigido para a Classe A, na faixa de equidistância vertical de 1 metro. Essa classificação evidencia que o modelo atende aos mais elevados padrões de acurácia altimétrica, o que o torna apropriado para aplicações em cartografia cadastral. Além disso, o erro padrão encontra-se dentro dos limites tolerados para os três principais tipos de marcos definidos pela norma do INCRA: Limite Artificial ($\leq 0,50$ m), Limite Natural ($\leq 3,00$ m) e Limite Inacessível ($\leq 7,50$ m).

Também foi realizada uma avaliação da precisão posicional altimétrica, utilizando o mesmo *software* e baseando-se nos mesmos pontos de análise, seguindo as condições estabelecidas pelo Decreto-lei 89.817. As discrepâncias posicionais altimétricas encontradas no ortomosaico avaliado estão ilustradas na Figura 35.

Figura 35 - Discrepâncias de Posicionamento Altimétricas



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A análise gráfica das discrepâncias altimétricas revela uma distribuição estável dos resíduos verticais, indicando boa precisão altimétrica para o processamento avaliado. A maior parte dos valores concentra-se no intervalo de $\pm 0,10$ metro, com reduzida variação entre os pontos, demonstrando consistência dos dados e adequada aderência ao modelo de elevação utilizado. Não foram identificados *outliers* acentuados ou oscilações abruptas, o que sugere homogeneidade na qualidade da restituição altimétrica ao longo de toda a área analisada. Essa estabilidade pode ser atribuída à distribuição uniforme dos pontos de apoio altimétricos, à qualidade da aerotriangulação e à resolução adequada do Modelo Digital de Elevação (MDE) empregado.

Além disso, o comportamento dos resíduos está em conformidade com os requisitos normativos da Classe A do PEC para acurácia altimétrica na equidistância de 1 metro, reforçando a confiabilidade dos dados para aplicações técnicas como projetos de engenharia, planejamento urbano e regularização fundiária.

7.4 CONCLUSÕES

O presente estudo demonstrou a viabilidade técnica e normativa do emprego de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), especificamente o modelo *DJI Mavic Mini 2*, para a execução de serviços de georreferenciamento de imóveis rurais, em estrita conformidade com as diretrizes estabelecidas pelo INCRA. A investigação evidenciou que a configuração inicial, baseada em 5 Pontos de Controle (PC), mostrou-se insuficiente para atender aos

rigorosos critérios de precisão posicional exigidos pelo Decreto nº 89.817 e pela Norma Técnica do INCRA (2022) para a Classe A na escala 1:1.000. Contudo, a reconfiguração do processamento fotogramétrico, ampliando o número de PCs para 8, em conjunto com 20 Pontos de Verificação (PV), resultou em um ortomosaico que atendeu integralmente aos padrões de exatidão.

Os resultados da avaliação de acurácia posicional atestaram a conformidade do produto gerado conforme estabelecido pelo PEC-PCD para a Classe A. Ademais, o ortomosaico demonstrou atender plenamente às tolerâncias de precisão para os diferentes tipos de limites fundiários: artificiais ($\leq 0,50$ m), naturais ($\leq 3,00$ m) e inacessíveis ($\leq 7,50$ m). A análise gráfica das discrepâncias planimétricas e altimétricas revelou uma distribuição homogênea e estável dos resíduos, sem a presença de tendências sistemáticas ou erros grosseiros, validando a robustez do modelo fotogramétrico e a eficácia da metodologia empregada.

Conclui-se, portanto, que o uso da RPA *DJI Mini 2*, um equipamento de baixo custo e categoria sub-250g, associado a uma configuração adequada de pontos de apoio, com destaque para a utilização de 8 Pontos de Controle estrategicamente distribuídos, constitui uma solução técnica e economicamente viável para o georreferenciamento de imóveis rurais. A integração entre a tecnologia acessível, os métodos de posicionamento de alta precisão (GNSS RTK) e os *softwares* especializados de processamento (*Agisoft Metashape*) e análise (GeoPEC) assegura a geração de produtos cartográficos digitais confiáveis, geometricamente consistentes e em total adequação às normativas nacionais.

Recomenda-se a continuidade de estudos para explorar o desempenho de outros modelos de RPA e a influência de diferentes configurações de pontos de controle em condições topográficas e ambientais mais complexas, a fim de ampliar ainda mais a aplicabilidade dessa tecnologia.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu seu objetivo central de avaliar e validar a acurácia posicional de produtos cartográficos digitais gerados por meio de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), em conformidade com as normativas da ASPRS (2014), do PEC-PCD da DSG (2016) e do Manual de Georreferenciamento de Imóveis Rurais do INCRA. Os resultados confirmaram as hipóteses iniciais por meio dos dois artigos que abordam a aplicação de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) na geração de produtos cartográficos de alta precisão.

No que se refere ao Artigo 1, os resultados demonstraram consistentemente a relação diretamente proporcional entre a densidade de Pontos de Controle (PC) e a acurácia posicional dos ortomosaicos. Configurações com 20, 16, 12 e 8 PCs mantiveram os resíduos dentro de uma distribuição normal, sem tendências sistemáticas, assegurando o enquadramento na Classe A do PEC-PCD e na Classe I da ASPRS para a escala 1:1.000. A aplicação de testes estatísticos (*Vizinho Mais Próximo*, *Shapiro-Wilk* e *t de Student*) e ferramentas especializadas (*Agisoft Metashape* e *GeoPEC*) atestou a eficácia da metodologia. A redução para 5 PCs resultou na redução significativa da qualidade, com aumento significativo da dispersão dos erros, particularmente na componente altimétrica, estabelecendo o limite prático de otimização em 8 PCs.

Quanto ao Artigo 2, a pesquisa comprovou a viabilidade técnica de RPA de baixo custo, especificamente o modelo *DJI Mavic Mini 2*, para aplicações que demandam alta precisão. Mediante uma configuração robusta de 8 PCs e 20 Pontos de Verificação (PV), foi possível gerar ortomosaicos que atenderam integralmente aos rigorosos critérios do INCRA para georreferenciamento de imóveis rurais na Classe A. O equipamento de baixo custo, pertencente à categoria até 250g, mostrou-se capaz de atender aos limites de tolerância para limites artificiais ($\leq 0,50$ m), naturais ($\leq 3,00$ m) e inacessíveis ($\leq 7,50$ m), atestando a viabilidade técnica e econômica dessa solução para o georreferenciamento de imóveis rurais.

As hipóteses foram integralmente validadas em ambos os artigos. Os produtos cartográficos gerados por RPA atenderam aos requisitos de precisão das normativas, a metodologia de avaliação baseada em normas nacionais e internacionais contribuiu para aumentar a confiabilidade dos dados, e a aplicação de protocolos padronizados forneceu uma base metodológica consistente. O estudo reforça que a integração entre geotecnologias acessíveis, métodos de posicionamento de alta precisão (GNSS RTK) e protocolos normativos consolidados possibilita a geração de produtos cartográficos digitais confiáveis e economicamente viáveis.

Recomenda-se, para pesquisas futuras, a investigação do desempenho de outros modelos de RPA e da influência de diferentes configurações de Pontos de Controle em cenários topográficos e de cobertura do solo mais complexos. Tal aprofundamento visa expandir a aplicabilidade e confiança nesta tecnologia promissora para o mapeamento de precisão. Além disso, ressalta-se que a abordagem multidisciplinar adotada reflete adequadamente a complexidade dos fatores que influenciam a qualidade dos produtos cartográficos, destacando a importância de uma perspectiva integrativa para os avanços na cartografia digital e geotecnologias.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Orientações para usuários de drones**. Brasília, 2017
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Páginas temáticas - drones**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017**. Brasília, 2017.
- AGISOFT. **Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 2.0**. Disponível em: <<https://www.agisoft.com/features/professional-edition/>>. Acesso em: 20 ago. 2023.
- ALVES JUNIOR, A. P.; GOMES, L. N. **Acurácia de pontos de projeção cartográfica de ortofotos obtidas com aeronave remotamente pilotada (RPA)**. *Geografares, [S. l.]*, v. 2, n. 34, p. 165–185, 2022. DOI: 10.47456/geo.v1i34.36298. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/geografares/article/view/36298>. Acesso em: 2 ago. 2023.
- ALVES JUNIOR, A. P.; GOMES, L. N. **Extração da Informação Posicional de Pontos de Projeção Cartográfica Geradas em Rotinas de Processamento para Geração de Ortofotos**. *Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.]*, v. 74, n. 1, p. 122 –, 2022. DOI: 10.14393/rbcv74n1-56925.
- ALVES JUNIOR, A. P.; GOMES, L. N.; GOMES, E. N. **Determinação do volume de material erodido em processos de ravinamento com base no uso de fotografias obtidas por Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)**. *Cadernos de Geografia, Coimbra*, n. 47, p. 55-70, 2023. Disponível em: https://dx.doi.org/10.14195/0871-1623_47_4. Acesso em: 8 dez. 2024.
- ASPRS. ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Edition 1, Version 1.0 – November, 2014, 26p.
- BAKKER, M. P. R. **Cartografia noções básicas**. Rio de Janeiro: 1965. 242 p.
- BRASIL. Decreto Nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brazil. Brasília, **Diário Oficial da União**, 20 de junho de 1984.
- COELHO FILHO, L.C.T.; BRITO, J. L. N. S. **Fotogrametria Digital**. Editora da Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil: 2007.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO – DECEA. **ICA 100-40 – Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**. Brasília, 2017.
- DSG. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG)**. 1ª. Edição. Brasília, 2016, 94p.
- GOODCHILD, M. F. “Foreword”. In: SHI, W. **Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. 432 p.

GOODCHILD, M. F. Twenty years of progress: GIScience in 2010. **Journal of Spatial Information Science**, n. 1, p. 3-20, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Noções básicas de cartografia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Recomendações para Levantamentos Relativo Estático - GPS**. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais – 2ª Edição**. Brasília, 23 de dezembro de 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Norma de Execução nº 02 do INCRA 39**, de 19 de dezembro de 2018.

ISO 2859- 1:1999: **Sampling procedures for inspection by attributes: part 1: sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection**. 2nd ed. Geneva: ISO, 1999. 87 p.

ISO 2859-2:1985: **Sampling procedures for inspection by attributes: part 2: sampling plans indexed by limiting quality (LQ) for isolated lot inspection**. Geneva: ISO, 1985. 21 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009, 604 p.

LOPES, Thiago. **Avaliação do uso de RPA quadrimotor para aplicações de mapeamento**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Urbana - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019, 128f.

MCGLONE, J. C.; LEE, G. Y. G. **Manual of photogrammetry**. 6.ed. Bethesda: ASPSR, 2013. 1318 p. ISBN 1-57083-099-1.

MENESES, P. R.; de ALMEIDA T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MIKHAIL, E. M.; ACKERMANN, F. **Observations and least squares**. New York: A DunDonnelley Publisher, 1976.

MIKHAIL, E. M.; BETHEL, J. S.; MCGLONE, J. C. **Introduction to Modern Photogrammetry**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

MONICO, J.F.M.; DAL PÓZ, A.P.; GALO, M.; SANTOS, M.C; OLIVEIRA, L.C. Acurácia e Precisão: Revendo os Conceitos de forma Acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, séc. Comunicações, Curitiba, vol.15, nº3, 2009. pp.469- 483.

MORAES, E.C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. INPE, São José dos Campos, 2002.

NETO, M. S. **Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com drone?** 2015. Drones & Engenharia. Disponível em: < <https://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quando-utilizar-no-mapeamento-aereo-com-drone/>> Acesso em: 20 ago. 2023.

SAMPAIO, T. V. M.; BRANDALIZE, M. C. B. **Cartografia geral, digital e temática**. In: Geotecnologias: teoria e prática, Volume 1. Primeira edição. Curitiba, PR: Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 2018.

SANTOS, A. P. **Controle de qualidade cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2015, 188f.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JÚNIOR, J. 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**, v. 22, n. 4, 2016. pp. 630-650. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000400036>.

SATO, S. S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para a produção de dados espaciais**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. A. J. 2014. **Qualidade de Ortomosaicos de Imagens de Vant processados Com os Softwares APS, PIX4D E PHOTOSCAN**. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 5, Recife-PE

SILVA, I.; SEGANTINE, P. C. L. **Topografia para engenharia: teoria e prática de geomática**. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015.

SOUSA, A.; SOUSA, J. J.; COSTA, J. **DETEÇÃO DE OBJETOS A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS POR VANT**. (U. N. de Lisboa, Ed.) In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL UAV, Lisboa. Anais... Lisboa: Universidade Nova de Lisboa, 2016.

TEMBA, P. **Fundamentos da Fotogrametria**. Departamento de cartografia, UFMG, 2000.

TOMMASELLI, A. M. **Princípios Básicos de Fotogrametria e Fotointerpretação**. São Paulo: Editora XPTO, 2006.

TOMMASELLI, A. M. G; **Fotogrametria Básica**. Presidente Prudente: Departamento de Cartografia, 1999 (Apostila).

ZANETTI, J.; BRAGA, F. L. S.; DOS SANTOS, A. de P. Comparativo das normas de controle de qualidade posicional de produtos cartográficos do Brasil, da ASPRS e da OTAN. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 70, n. 1, p. 359–390, 2018. DOI: 10.14393/rbcv70n1-45259.

ZEYBEK, M.; TAŞKAYA, S.; ELKHRACHY, I.; TAROLLI, P. A. Improving the Spatial Accuracy of UAV Platforms Using Direct Georeferencing Methods: An Application for Steep Slopes. **Remote Sensing**, v. 15, n. 10, p. 2700, 2023.

ZEYBEK, M.; TAŞKAYA, S.; ELKHRACHY, I.; TAROLLI, P. A comprehensive review on the use of UAVs in landslide monitoring: challenges and future perspectives. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 12, n. 3, p. 85, 2023.

ANEXOS

Anexo A: Relatório GEOPEC

GeoPEC

Software Científico para Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortomosaico - **Processamento 1**
Local: Distrito de Maravilha - Londrina PR
Data: 01/09/2023
Responsável Técnico: Agostinho Prado Alves Junior

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 "Ortomosaico - Processamento 1", **É ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso e Não Há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 20
RMS das discrepâncias (m): 0,0409

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 "Ortomosaico - Processamento 1", **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: 20

RMS das discrepâncias (m): 0,0545

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000

Pontos de checagem inseridos: 20

Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

>> *Outliers* detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 0,9

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0082

Média(N)= 0,0019

Média(ABS)= 0,0352

>> Desv-pad(E)= 0,0216

Desv-pad(N)= 0,0353

Desv-pad(ABS)= 0,0219

>> RMS(E)= 0,0224

RMS(N)= 0,0344

RMS(ABS)= 0,0409

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:

:: Área (m²) = 210000

:: 1ª ordem - R= 1,7692 Zcalc= 6,5805 Ztab= 1,96

> Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

> Resultado Final = Disperso

:: 2ª ordem - R= 1,2415 Zcalc= 2,9754 Ztab= 1,96

> Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

> Resultado Final = Disperso

:: 3ª ordem - R= 1,1338 Zcalc= 2,0354 Ztab= 1,96

> Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

> Resultado Final = Disperso

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:

Wcalc(E)= 0,9349 Wcalc(N)= 0,9763

p-value(E)= 0,1914 p-value(N)= 0,878

Nível de Confiança = 95%

Amostra Normal

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:

PEC= 0,28 EP= 0,17

Resultado: Classe A

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de *Student*

tcalc(E)= 1,6978 tcalc(N)= 0,2407 ttab= 1,7291

Resultado: Não Tendencioso

>> Estatística Espacial

Média Direcional (Azimute)= 101,0599

Variância Circular= 0,9011

Resultado: Não Tendencioso

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Altimétrica

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1

Pontos de checagem inseridos: 20

Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

>> *Outliers* detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 0,9999

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= 0,0186

>> Desv-pad(h)= 0,0525

>> RMS(h)= 0,0545

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:

Wcalc(h)= 0,9657 p-value(h)= 0,6635

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)= 1,5844 ttab= 1,7291

Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(X)	di(Y)	di(2D)	di(Z)	Excluído(2D)	Excluído(Z)
10	-0,0046		0,0253	0,0257	-0,0115	0
13	-0,0029		0,0008	0,003	-0,005	0
15	0,0054	0,0145	0,0155	0,0537	0	0
17	0,0062	-0,0144		0,0157	0,0279	0
19	-0,0347		-0,0478		0,0591	-0,032
2	-0,0151		-0,0058		0,0162	-0,0241
20	-0,0105		-0,0627		0,0636	0,0431
21	0,0071	-0,024	0,025	0,084	0	0
23	0,0216	-0,0431		0,0482	0,0147	0
25	-0,0109		-0,0111		0,0156	0,0219
27	0,0323	0,0407	0,052	-0,0447	0	0

28	0,0246	0,0627	0,0674	-0,0693	0	0
29	-0,006	-0,008	0,01	-0,0003	0	0
31	0,0157	0,0346	0,038	-0,0285	0	0
33	0,0076	0,069	0,0694	0,1098	0	
34	0,0052	0,0242	0,0248	0,0786	0	
36	0,0187	0,0259	0,0319	-0,0117	0	0
37	0,0705	-0,0053		0,0707	0,1317	0
40	0,0119	-0,0218		0,0248	0,0296	0
8	0,0225	-0,0161		0,0277	0,0031	0

Relatório gerado em: 21/09/2023 - 15:04:02

GeoPEC - versão 3.6 - 2023

GeoPEC

Software Científico para Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortomosaico - **Processamento 2**

Local: Distrito de Maravilha - Londrina PR

Data: 01/09/2023

Responsável Técnico: Agostinho Prado Alves Junior

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 "Ortomosaico - Processamento 2", **É ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso e Não Há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 20

RMS das discrepâncias (m): 0,0366

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 "Ortomosaico - Processamento 2", **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: 20
RMS das discrepâncias (m): 0,042

INFORMAÇÕES GERAIS

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

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000
Pontos de checagem inseridos: 20
Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,002	Média(N)= 0,0016	Média(ABS)= 0,0314
>> Desv-pad(E)= 0,0224	Desv-pad(N)= 0,0296	Desv-pad(ABS)= 0,0186
>> RMS(E)= 0,0218	RMS(N)= 0,0292	RMS(ABS)= 0,0366

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
 :: Área (m²) = 210000
 :: 1ª ordem - R= 1,7692 Zcalc= 6,5805 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso
 :: 2ª ordem - R= 1,2415 Zcalc= 2,9754 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso
 :: 3ª ordem - R= 1,1338 Zcalc= 2,0354 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:
 Wcalc(E)= 0,9408 Wcalc(N)= 0,9806
 p-value(E)= 0,2479 p-value(N)= 0,9412
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra Normal

TESTE DE PRECISÃO

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

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de *Student*
 tcalc(E)= 0,3993 tcalc(N)= 0,2417 ttab= 1,7291
 Resultado: Não Tendencioso

>> Estatística Espacial
 Média Direcional (Azimute)= 231,9251 Variância Circular= 0,9158
 Resultado: Não Tendencioso

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Altimétrica

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1
 Pontos de checagem inseridos: 20
 Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= 0,0142
 >> Desv-pad(h)= 0,0405
 >> RMS(h)= 0,042

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:
 Wcalc(h)= 0,9605 p-value(h)= 0,5545
 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)= 1,568 ttab= 1,7291
 Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(X)	di(Y)	di(2D)	di(Z)	Excluído(2D)	Excluído(Z)
----	-------	-------	--------	-------	--------------	-------------

10	-0,0094	0,0248	0,0265	-0,019	0	0	
13	-0,0055	-0,0033	0,0064	-0,0095	0	0	
15	0,0002	0,0131	0,0131	0,0438	0	0	
17	-0,0004	-0,0088	0,0088	0,0249	0	0	
19	-0,0319	-0,0421	0,0528	-0,0049	0	0	
2	-0,0201	-0,0047	0,0206	-0,0286	0	0	
20	-0,0149	-0,0596	0,0614	0,0275	0	0	
21	-0,001	-0,0162	0,0162	0,0749	0	0	
23	0,0126	-0,0321	0,0345	0,0164	0	0	
25	-0,0167	-0,0036	0,0171	0,0183	0	0	
27	0,0213	0,0473	0,0519	-0,0448	0	0	
28	0,0153	0,0589	0,0609	-0,0518	0	0	
29	-0,0072	-0,0047	0,0086	-0,0029	0	0	
31	0,0029	0,0276	0,0278	0,0106	0	0	
33	0,0064	0,0313	0,0319	0,0791	0	0	
34	-0,0321	0,0335	0,0464	-0,0124	0	0	
36	0,0329	0,0137	0,0356	0,034	0	0	
37	0,0644	-0,0065	0,0647	0,1085	0	0	
40	0,0074	-0,0206	0,0219	0,0098	0	0	
8	0,0157	-0,0153	0,0219	0,0107	0	0	

Relatório gerado em: 21/09/2023 - 15:09:23
GeoPEC - versão 3.6 - 2023

GeoPEC

Software Científico para Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO (completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortomosaico - **Processamento 3**
Local: Distrito de Maravilha - Londrina PR
Data: 01/09/2023
Responsável Técnico: Agostinho Prado Alves Junior

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 "Ortomosaico - Processamento 3", **É ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de

1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso e Não Há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 20

RMS das discrepâncias (m): 0,0366

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 "Ortomosaico - Processamento 3", **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: 20

RMS das discrepâncias (m): 0,044

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000

Pontos de checagem inseridos: 20

Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

>> *Outliers* detectados: 0

>> Valor limite - detecção: 0,9

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,0021

Média(N)= 0,005

Média(ABS)= 0,0318

>> Desv-pad(E)= 0,0225

Desv-pad(N)= 0,0296

Desv-pad(ABS)= 0,0188

>> RMS(E)= 0,0219

RMS(N)= 0,0294

RMS(ABS)= 0,0366

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:

:: Área (m²) = 210000

:: 1ª ordem - R= 1,7692 Zcalc= 6,5805 Ztab= 1,96

> Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

> Resultado Final = Disperso

:: 2ª ordem - R= 1,2415 Zcalc= 2,9754 Ztab= 1,96

> Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

> Resultado Final = Disperso

:: 3ª ordem - R= 1,1338 Zcalc= 2,0354 Ztab= 1,96

> Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

> Resultado Final = Disperso

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:
 Wcalc(E)= 0,9538 Wcalc(N)= 0,9796
 p-value(E)= 0,4284 p-value(N)= 0,9283
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra Normal

TESTE DE PRECISÃO

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

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de *Student*
 tcalc(E)= -0,4174 tcalc(N)= 0,7554 ttab= 1,7291
 Resultado: Não Tendencioso

>> Estatística Espacial
 Média Direcional (Azimute)= 276,0166 Variância Circular= 0,8251
 Resultado: Não Tendencioso

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Altimétrica

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1
 Pontos de checagem inseridos: 20
 Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= 0,014
 >> Desv-pad(h)= 0,0429
 >> RMS(h)= 0,044

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:
 Wcalc(h)= 0,9278 p-value(h)= 0,1398
 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)= 1,4594 ttab= 1,7291

 Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(X)	di(Y)	di(2D)	di(Z)	Excluído(2D)	Excluído(Z)
10	-0,0151		0,0276	0,0315	-0,0317	0 0
13	-0,0119		0	0,0119	-0,0204	0 0
15	-0,0049		0,0167	0,0174	0,0325	0 0
17	-0,0029		-0,006	0,0067	0,0208	0 0
19	-0,0352		-0,037	0,0511	-0,0027	0 0
2	-0,0246		-0,0015		0,0246 -0,0411	0 0
20	-0,0173		-0,0554		0,058 0,0325	0 0
21	-0,0014		-0,0133		0,0134 0,0906	0 0
23	0,0124	-0,0299		0,0324	0,0231	0 0
25	-0,017	-0,0014		0,0171	0,0271	0 0
27	0,0211	0,0505	0,0547	-0,0262		0 0
28	0,0123	0,062	0,0632	-0,0474		0 0
29	-0,01	-0,0022		0,0102	-0,008	0 0
31	-0,0026		0,0306	0,0307	0,0096	0 0
33	-0,0008		0,0339	0,0339	0,0827	0 0
34	-0,0419		0,0379	0,0565	-0,006	0 0
36	0,0244	0,0175	0,03	0,0274		0 0
37	0,0594	-0,0018		0,0594	0,114	0 0
40	0,0034	-0,0163		0,0167	0,0037	0 0
8	0,0109	-0,0127		0,0167	-0,0013	0 0

Relatório gerado em: 21/09/2023 - 15:13:17

GeoPEC - versão 3.6 - 2023

GeoPEC

Software Científico para Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

 (completo)

DADOS DO PRODUTO

 Produto: Ortomosaico - **Processamento 4**

Local: Distrito de Maravilha - Londrina PR

Data: 01/09/2023

 Responsável Técnico: Agostinho Prado Alves Junior

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 "Ortomosaico - Processamento 4", **É ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso e Não Há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 20
RMS das discrepâncias (m): 0,0448

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 "Ortomosaico - Processamento 4", **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: 20
RMS das discrepâncias (m): 0,0528

INFORMAÇÕES GERAIS

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

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000
Pontos de checagem inseridos: 20
Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0005	Média(N)= 0,0103	Média(ABS)= 0,0383
>> Desv-pad(E)= 0,0255	Desv-pad(N)= 0,0368	Desv-pad(ABS)= 0,024
>> RMS(E)= 0,025	RMS(N)= 0,0372	RMS(ABS)= 0,0448

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
:: Área (m²) = 210000

:: 1ª ordem - R= 1,7692 Zcalc= 6,5805 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso
 :: 2ª ordem - R= 1,2415 Zcalc= 2,9754 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso
 :: 3ª ordem - R= 1,1338 Zcalc= 2,0354 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:
 Wcalc(E)= 0,9499 Wcalc(N)= 0,9771
 p-value(E)= 0,3655 p-value(N)= 0,8913
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra Normal

TESTE DE PRECISÃO

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

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de *Student*
 tcalc(E)= 0,0877 tcalc(N)= 1,2517 ttab= 1,7291
 Resultado: Não Tendencioso

>> Estatística Espacial
 Média Direcional (Azimute)= 326,513 Variância Circular= 0,7828
 Resultado: Não Tendencioso

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Altimétrica

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1
 Pontos de checagem inseridos: 20
 Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= 0,0066
 >> Desv-pad(h)= 0,0536
 >> RMS(h)= 0,0528

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:

Wcalc(h)= 0,9419 p-value(h)= 0,2605
 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)= 0,5507 ttab= 1,7291
 Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(X)	di(Y)	di(2D)	di(Z)	Excluído(2D)	Excluído(Z)
10	-0,0083		0,0339	0,0349	-0,0596	0 0
13	-0,0024		0,0039	0,0046	-0,0351	0 0
15	0,0017	0,0181	0,0182	0,0061	0	0
17	-0,008	-0,0061		0,0101	0,0006	0 0
19	-0,0397		-0,0389		0,0556	-0,0235 0 0
2	-0,0218		0,0013	0,0218	-0,0746	0 0
20	-0,0286		-0,061	0,0674	0,0234	0 0
21	-0,0161		-0,0216		0,0269	0,1145 0 0
23	0,0043	-0,0318		0,0321	0,0348	0 0
25	-0,0187		0,0042	0,0192	0,0404	0 0
27	0,0269	0,0654	0,0707	0,0027	0	0
28	0,0196	0,0791	0,0815	-0,0522	0	0
29	-0,0088		0,0051	0,0102	-0,0269	0 0
31	0,0061	0,0489	0,0493	-0,0075	0	0
33	0,0099	0,0513	0,0522	0,0765	0	0
34	-0,0319		0,0556	0,0641	0,0138	0
36	0,0344	0,0251	0,0426	0,0312	0	0
37	0,0713	-0,0061		0,0716	0,1263	0
40	0,0053	-0,0167		0,0175	-0,0257	0 0
8	0,0156	-0,0042		0,0162	-0,0324	0 0

Relatório gerado em: 21/09/2023 - 15:17:31
 GeoPEC - versão 3.6 - 2023

GeoPEC

Software Científico para Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortomosaico - **Processamento 5**
 Local: Distrito de Maravilha - Londrina PR
 Data: 01/09/2023
 Responsável Técnico: Agostinho Prado Alves Junior

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 "Ortomosaico - Processamento 5", **É ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso e Não Há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 20
 RMS das discrepâncias (m): 0,076

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 "Ortomosaico - Processamento 5", **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: 20
 RMS das discrepâncias (m): 0,0605

INFORMAÇÕES GERAIS

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

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000
 Pontos de checagem inseridos: 20
 Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0032 Média(N)= 0,0213 Média(ABS)= 0,0678

>> Desv-pad(E)= 0,0502 Desv-pad(N)= 0,0556 Desv-pad(ABS)= 0,0354
 >> RMS(E)= 0,0489 RMS(N)= 0,0582 RMS(ABS)= 0,076

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
 :: Área (m²) = 210000
 :: 1ª ordem - R= 1,7692 Zcalc= 6,5805 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso
 :: 2ª ordem - R= 1,2415 Zcalc= 2,9754 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso
 :: 3ª ordem - R= 1,1338 Zcalc= 2,0354 Ztab= 1,96
 > Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 > Resultado Final = Disperso

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:
 Wcalc(E)= 0,9592 Wcalc(N)= 0,9703
 p-value(E)= 0,5277 p-value(N)= 0,7607
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra Normal

TESTE DE PRECISÃO

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

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de *Student*
 tcalc(E)= 0,2851 tcalc(N)= 1,7132 ttab= 1,7291
 Resultado: Não Tendencioso

>> Estatística Espacial
 Média Direcional (Azimute)= 347,1295 Variância Circular= 0,7287
 Resultado: Não Tendencioso

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Altimétrica

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1
 Pontos de checagem inseridos: 20
 Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= -0,0084
 >> Desv-pad(h)= 0,0614
 >> RMS(h)= 0,0605

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade *Shapiro-Wilk*:
 Wcalc(h)= 0,9578 p-value(h)= 0,5013
 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)= -0,6118 ttab= 1,7291
 Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(X)	di(Y)	di(2D)	di(Z)	Excluído(2D)	Excluído(Z)	
10	0,0128	0,0582	0,0596	-0,074	0	0	
13	0,0278	0,038	0,0471	-0,0925	0	0	
15	0,0115	0,0386	0,0403	-0,0172	0	0	
17	-0,0354		-0,0164		0,039	0,0257	0
19	-0,0708		-0,0439		0,0833	0,0251	0
2	-0,0206		0,0126	0,0241	-0,0685	0	0
20	-0,0787		-0,0801		0,1123	0,0574	0
21	-0,0837		-0,056	0,1007	0,1286	0	0
23	-0,04	-0,0565		0,0692	0,0369	0	0
25	-0,0405		-0,0099		0,0417	0,0464	0
27	0,0277	0,0638	0,0696	-0,0031	0	0	
28	0,0367	0,092	0,099	-0,0665	0	0	
29	-0,0136		0,0059	0,0148	-0,0236	0	0
31	0,0402	0,0763	0,0862	-0,0244	0	0	
33	0,0621	0,0923	0,1112	0,0654	0	0	
34	0,0408	0,1151	0,1221	-0,0971	0	0	
36	0,0847	0,074	0,1125	-0,0815	0	0	
37	0,0784	0,0194	0,0808	0,0426	0	0	
40	-0,005	-0,0095		0,0107	-0,0086	0	0
8	0,0286	0,0118	0,0309	-0,0394	0	0	

Relatório gerado em: 21/09/2023 - 15:22:17
 GeoPEC - versão 3.6 - 2023

GeoPEC

Software Científico para Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortomosaico - **Processamento Mini 2**
 Local: Distrito de Maravilha - Londrina PR
 Data: 01/09/2023
 Responsável Técnico: Agostinho Prado Alves Junior

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais - 2ª edição - 2022 - INCRA

O produto "Ortomosaico - Processamento Mini 2" **ATENDE** o processo de avaliação da acurácia posicional absoluta do INCRA, em relação à alínea "b" do item 3.4.1 do Manual Técnico para Georreferenciamento do INCRA (2ª edição - 2022).

O produto foi classificado com PEC-PCD "**Classe A**", na escala **1/1000**, de acordo com os critérios do Decreto 89.817 e da ET-CQDG.

O valor do PEC-PCD corresponde à **0,28** metros, sendo ADEQUADA à precisão do(s) **Limite Artificial, Natural e Inacessível**

Pontos de checagem utilizados: 20
 RMS das discrepâncias (m): 0,0338

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Manual Técnico para Georreferenciamento de Imóveis Rurais - 2ª edição - 2022 - INCRA

Análise da Acurácia Posicional Planimétrica Absoluta

PROCESSAMENTO

Pontos de checagem inseridos: 20
 Pontos de checagem utilizados: 20

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0065	Média(N)= -0,0076	Média(2D)= 0,0286
>> DesvP(E)= 0,0247	DesvP(N)= 0,0216	DesvP(2D)= 0,0179
>> RMS(E)= 0,025	RMS(N)= 0,0226	RMS(2D)= 0,0338
>> Max.(E)= 0,0772	Máx.(N)= 0,0377	Máx.(2D)= 0,0859
>> Min.(E)= -0,0207	Min.(N)= -0,0488	Min.(2D)= 0,0082

>> CLASSIFICAÇÃO DECRETO n. 89.817 / ET-CQDG

Escala= 1000

PEC-PCD= 0,28

Resultado: Classe A

>> TIPOS DE LIMITES

Artificial (0,5m) = Atende

Natural (3,0m) = Atende

Inacessível (7,5m) = Atende

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(X)	di(Y)	di(2D)	di(Z)	Excluído(2D)	Excluído(Z)
10	-0,0207		0,0073	0,0219	-0,0497	0
13	-0,0172		-0,025	0,0303	0,0368	0
15	-0,0053		0,0139	0,0149	0,0565	0
17	0,0292	-0,0041		0,0295	-0,0012	0
19	-0,0104		0,0279	0,0298	-0,1673	0
2	-0,0162		-0,0084		0,0182	-0,015
20	0,0262	-0,0103		0,0282	-0,0944	0
21	0,0772	0,0377	0,0859	-0,1474	0	0
23	0,0529	-0,0075		0,0534	0,0245	0
25	0,0034	-0,009	0,0096	0,0056	0	0
27	-0,0031		-0,0212		0,0214	0,0559
28	-0,0086		-0,0143		0,0167	0,0608
29	-0,0107		-0,0197		0,0224	0,0328
31	0,0086	-0,0205		0,0222	0,0059	0
33	0,0055	-0,0063		0,0084	-0,0945	0
34	0,0144	-0,0488		0,0509	0,0369	0
36	0,0112	-0,033	0,0348	0,0964	0	0
37	-0,0177		0,0259	0,0314	-0,0421	0
40	0,0077	-0,0029		0,0082	-0,0727	0
8	0,0036	-0,0328		0,033	0,036	0

Relatório gerado em: 28/09/2023 - 16:31:39

GeoPEC - versão 3.6 – 2023

GeoPEC

Software Científico para Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortomosaico - **Processamento Mini 2**
 Local: Distrito de Maravilha - Londrina PR
 Data: 01/09/2023
 Responsável Técnico: Agostinho Prado Alves Junior

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica
 Metodologia: ET-CQDG

O produto "Ortomosaico - Processamento Mini 2", foi classificado com PEC-PCD "**Classe A**", na escala **1/1000**, 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.

Pontos de checagem utilizados: 20
 RMS das discrepâncias (m): 0,0338

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Altimétrica
 Metodologia: ET-CQDG

O produto "Ortomosaico - Processamento Mini 2", foi classificado com PEC-PCD "**Classe A**", para a equidistância vertical de **1 m**, 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.

Pontos de checagem utilizados: 20
 RMS das discrepâncias (m): 0,0716

INFORMAÇÕES GERAIS

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

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000
 Pontos de checagem inseridos: 20
 Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0065	Média(N)= -0,0076	Média (ABS)= 0,0286
>> Desv-pad(E)= 0,0247	Desv-pad(N)= 0,0216	Desv-pad(ABS)= 0,0179
>> RMS(E)= 0,025	RMS(N)= 0,0226	RMS(ABS)= 0,0338

CLASSIFICAÇÃO

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

 INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

 Análise Altimétrica

PROCESSAMENTO

Equidistância vertical: 1
 Pontos de checagem inseridos: 20
 Pontos de checagem utilizados: 20

OUTLIERS

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

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= -0,0118
 >> Desv-pad(h)= 0,0724
 >> RMS(h)= 0,0716

CLASSIFICAÇÃO

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

 DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(X)	di(Y)	di(2D)	di(Z)	Excluído(2D)	Excluído(Z)
10	-0,0207		0,0073	0,0219	-0,0497	0 0
13	-0,0172		-0,025	0,0303	0,0368	0 0
15	-0,0053		0,0139	0,0149	0,0565	0 0
17	0,0292	-0,0041		0,0295	-0,0012	0 0
19	-0,0104		0,0279	0,0298	-0,1673	0 0
2	-0,0162		-0,0084		0,0182	-0,015 0 0
20	0,0262	-0,0103		0,0282	-0,0944	0 0
21	0,0772	0,0377	0,0859	-0,1474		0 0
23	0,0529	-0,0075		0,0534	0,0245	0 0
25	0,0034	-0,009	0,0096	0,0056		0 0
27	-0,0031		-0,0212		0,0214	0,0559 0 0
28	-0,0086		-0,0143		0,0167	0,0608 0 0
29	-0,0107		-0,0197		0,0224	0,0328 0 0
31	0,0086	-0,0205		0,0222	0,0059	0 0
33	0,0055	-0,0063		0,0084	-0,0945	0 0
34	0,0144	-0,0488		0,0509	0,0369	0 0
36	0,0112	-0,033	0,0348	0,0964		0 0

37	-0,0177	0,0259	0,0314	-0,0421	0	0
40	0,0077	-0,0029	0,0082	-0,0727	0	0
8	0,0036	-0,0328	0,033	0,036	0	

Relatório gerado em: 28/09/2023 - 16:37:12
GeoPEC - versão 3.6 - 2023

Anexo B: Relatório IBGE


Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)
Sumário do Processamento do marco: 1

Início: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/04/04 12:47:24,00
Fim: AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/04/04 16:16:10,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	SPP89823_10 NONE
Órbitas dos satélites:¹	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena³(m):	1,634
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,06 GPS 1,79 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,89 GPS 0,99 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude (gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (É a que deEle e ser usada) ⁴	-23° 30' 16,0140"	-51° 00' 42,2967"	520,94	7400636.115	498800.457	-51
Na data do levantamento⁵	-23° 30' 16,0050"	-51° 00' 42,2985"	520,94	7400636.392	498800.406	-51
Sigma(95%)⁶ (m)	0,001	0,003	0,005			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA	
Fator para Conversão (m):	-2,8	Incerteza (m): 0,08
Altitude Normal (m):	523,74	

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: <https://www.ibge.gov.br/atendimento.html> 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.