



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

AGOSTINHO PRADO ALVES JUNIOR

**QUALIDADE DE MODELOS DE REPRESENTAÇÃO  
ALTIMÉTRICOS E PLANIMÉTRICOS EM IMAGENS  
OBTIDAS COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADAS  
(RPA)**

AGOSTINHO PRADO ALVES JUNIOR

**QUALIDADE DE MODELOS DE REPRESENTAÇÃO  
ALTIMÉTRICOS E PLANIMÉTRICOS EM IMAGENS  
OBTIDAS COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADAS  
(RPA)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Luciano Nardini Gomes

Londrina  
2020

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

- A474 Alves Junior, Agostinho Prado.  
Qualidade de modelos de representação altimétricos e planimétricos em imagens obtidas com aeronave remotamente pilotadas (RPA) / Agostinho Prado Alves Junior. - Londrina, 2020.  
86 f. : il.
- Orientador: Luciano Nardini Gomes.  
Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2020.  
Inclui bibliografia.
1. Aerolevantamento - Tese. 2. Geografia - Tese. 3. Altimetria - Tese. 4. Terreno - 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

**QUALIDADE DE MODELOS DE REPRESENTAÇÃO ALTIMÉTRICOS  
E PLANIMÉTRICOS EM IMAGENS OBTIDAS COM AERONAVE  
REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA)**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

**BANCA EXAMINADORA**

---

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

---

Prof. Dr. Marciel Lohmann  
Universidade Estadual de Londrina – UEL

---

Prof. Dr. Osvaldo Coelho Pereira Neto  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

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

Londrina, 08 de abril de 2020.

Dedico este trabalho a minha mãe Mercedes,  
minha passarinha.  
Meu exemplo de força, bondade e  
honestidade.  
Com todo meu amor, carinho e gratidão. (*IN  
MEMORIAM*)

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer imensamente a minha mãe Mercedes da Costa que sempre me apoiou nos estudos e nas escolhas tomadas. Te amo, mãe.

Ao Thiago Rodrigo Brunassi pelo companheirismo e que sempre me incentiva a buscar meu melhor.

Aos meus queridos amigos que juntos fazemos uma nova família, em especial a Bete, Guilherme, Nayra, Matheus, Carol, Leonardo, Mari, Poli, André, Andressa, Júlio, Cary, Cynthia, Angelica, Rosa, Nadir, Roberto, Roberta e Daniele.

Agradeço também a Mirian, pela escuta atenciosa e que me ajuda no meu processo de conhecimento pessoal.

Aos amigos da pós-graduação, pela parceria e pelos bons momentos de descontração que tivemos durante o curso e os eventos.

Agradeço em especial ao professor Luciano Nardini Gomes que acreditou na minha capacidade e me orientou com tamanha dedicação. Agradeço pelos ensinamentos, paciência e toda contribuição pessoal e profissional que dele tive o privilégio de receber.

Aos membros da banca examinadora, os professores Marciel Lohmann, Osvaldo Coelho Pereira Neto e Teresa Cristina Terlé Pissarra pela disponibilidade e disposição em contribuir com a pesquisa, fornecendo seus conhecimentos e correções necessárias para a finalização do trabalho.

Agradeço ao programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, e aos excelentes professores que deste programa fazem parte.

E por fim, agradeço a CAPES pelo apoio financeira para realização da pesquisa.

E a todos que colaboraram de alguma forma, pois sem a ajuda de cada um não seria possível a realização do trabalho.

Obrigado!

*“É preciso lembrar que ninguém escolhe o ventre, a localização geográfica, a condição socioeconômica e a condição sociocultural para nascer. Nasce onde o acaso determinar. Por isso, temos que cuidar de todos aqueles que estão em todos os recantos deste país”  
(Geógrafo Aziz Ab’Saber)*

ALVES JUNIOR, A. P. **Qualidade de modelos de representação altimétricos e planimétricos em imagens obtidas com aeronave remotamente pilotadas (RPA)**, 2019. 86 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

## RESUMO

As Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPA, têm sido amplamente utilizadas na geração de ortofotos e modelos digitais de elevação - MDE, que subsidiam as análises geoespaciais. Atualmente é possível a geração automatizada destes produtos por meio do uso de rotinas preestabelecidas disponíveis em programas especializados na manipulação das imagens obtidas pelo RPA. No entanto, devido estar em fase inicial, seu uso é realizado muitas vezes sem conhecimento sobre a qualidade posicional do mesmo. Dessa forma, o presente trabalho está dividido em dois artigos, sendo que no primeiro buscou avaliar a acurácia posicional de pontos de projeção cartográfica em ortofotos obtidas de sensor a bordo de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) geradas com 16 pontos de apoio cadastrados em uma área rural, localizada no município de São Sebastião da Amoreira - PR. Para tanto, a avaliação foi realizada com base no método de testes de hipóteses, a partir da análise de tendência e precisão, e os resultados foram classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais que é baseada no Decreto-lei nº 89.817. Como resultado, verificou-se que as ortofotos dos três voos estão livres de erros sistemáticos, não apresentando tendências, uma vez que a hipótese nula foi aceita pelo teste com o valor de  $|t_{calc}|$  amostral em módulo inferior ao valor de tabela (2,015). As ortofotos apresentaram precisão 1:1.000 e obtiveram Classe A no Padrão de Exatidão Cartográfica. No segundo artigo teve como finalidade extrair a informação geográfica de pontos de projeção cartográfica geradas em rotinas de processamento para geração de ortofotos no *software Agisoft Metashape* em escala grande. Os resultados com ambas rotinas se mostraram satisfatórias para extração das informações geográficas, porém apenas as rotinas de alto rigor de qualidade se mostram como uma importante ferramenta no auxílio na atualização cadastral. Contudo, para o mapeamento de áreas rurais o processamento pode ser realizado nas cinco rotinas de processamento (Lowest, Low, Medium, High e UltraHigh).

**Palavras-chaves:** Aerolevantamento. Representação. Geografia. Terreno.

ALVES JUNIOR, A. P. **Quality of altimetric and planimetric representation models in images obtained with remotely piloted aircraft (RPA)**, 2019. 86 p. Master's Dissertation (Master in Geography) - Londrina State University, Londrina, 2019.

## ABSTRACT

Remotely Piloted Aircraft (RPA), have been widely used in the generation of orthophoto and digital elevation models - MDE, which subsidize geospatial analysis. Currently, the automated generation of these products is possible through the use of pre-established routines available in programs specialized in the manipulation of images obtained by RPA. However, because it is in its initial phase, its use is often carried out without knowledge about its positional quality. Thus, the present work is divided into two articles, the first of which sought to evaluate the positional accuracy of cartographic projection points in orthophoto obtained from a sensor on board remotely piloted aircraft (RPA) generated with 16 support points registered in an area located in the municipality of São Sebastião da Amoreira - PR. For this purpose, the evaluation was carried out based on the hypothesis testing method, based on the trend and precision analysis, and the results were classified according to the Cartographic Accuracy Standard for Digital Cartographic Products, which is based on Decree-Law no. 89,817. As a result, it was found that the orthophoto of the three flights are free of systematic errors, showing no tendencies, since the null hypothesis was accepted by the test with the value of  $|t_{\text{calc}}|_{\text{sample}}$  in module below the table value (2.015). The orthophoto showed precision 1: 1,000 and obtained Class A in the Cartographic Accuracy Standard. In the second article, it aimed to extract the geographical information from cartographic projection points generated in processing routines for the generation of orthophoto in the large scale Agisoft Metashape software. The results with both routines proved to be satisfactory for the extraction of geographic information, however only high-quality routines are shown as an important tool in helping to update the registration. However, for mapping rural areas, processing can be performed in the five processing routines (Lowest, Low, Medium, High and UltraHigh).

**Keywords:** Aerial survey. Representation. Geography. Terrain.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Referencial geodésico.....	19
Figura 2 – Superposição entre as fotografias.....	24
Figura 3 – Ilustração demonstrando os parâmetros utilizados para cálculo do GSD .....	30
Figura 4 – RTK Convencional .....	33
Figura 5 – Superposição entre as fotografias.....	43
Figura 6 – Área de estudo localizada no município de São Sebastião da Amoreira - PR.....	45
Figura 7 – Fluxograma da metodologia empregada para geração da ortofoto .....	46
Figura 8 – RPA utilizado no aerolevanteamento .....	49
Figura 9 – Fluxograma do processamento dos dados oriundos do RPA com base na metodologia apresentada .....	51
Figura 10 – Voo 1: Ortofoto gerada a 80m de altura com 10 PC's.....	55
Figura 11 – Voo 2: Ortofoto gerada a 100m de altura com 10 PC's.....	55
Figura 12 – Voo 3: Ortofoto gerada a 120m de altura com 10 PC's.....	56
Figura 13 – Área de estudo localizada na FCA da Unesp em Botucatu – SP .....	66
Figura 14 – Fluxograma da metodologia empregada para geração das ortofotos .....	67
Figura 15 – Vista do software Agisoft Metashape, fotografias alinhadas .....	70
Figura 16 – Vista do software Agisoft Metashape, nuvens de pontos densa .....	71
Figura 17 – Vista do software Agisoft Metashape, malha tridimensional.....	72
Figura 18 – Vista do software Agisoft Metashape, DEM .....	73
Figura 19 – Ortofoto gerada por meio da rotina (1) de processamento Lowest .....	75
Figura 20 – Ortofoto gerada por meio da rotina (2) de processamento Low .....	75
Figura 21 – Ortofoto gerada por meio da rotina (3) de processamento Medium .....	76
Figura 22 – Ortofoto gerada por meio da rotina (4) de processamento High .....	76
Figura 23 – Ortofoto gerada por meio da rotina (5) de processamento Ultra- High.....	77
Figura 24 – Áreas naturais extraídas por meio das rotinas de processamento.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia conforme PEC-PCD (DSG, 2011) e PEC (Decreto-Lei 89.817/84).....	35
Tabela 2 – Métodos de aquisição de amostras para a criação de modelos digitais de elevação.....	38
Tabela 3 – Coordenadas dos 16 pontos de apoio.....	48
Tabela 4 – Informações dos voos.....	49
Tabela 5 – Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia conforme PEC-PCD (DSG, 2011) e PEC (Decreto-Lei 89.817/84).....	52
Tabela 6 – Resultados quanto à qualidade altimétrica da ortofoto referente ao voo 1.....	56
Tabela 7 – Resultados quanto à qualidade altimétrica da ortofoto referente ao voo 2.....	57
Tabela 8 – Resultados quanto à qualidade altimétrica da ortofoto referente ao voo 3.....	57
Tabela 9 – Avaliação da acurácia - Teste de tendência e precisão para a escala 1:1.000 conforme descrito no Decreto-lei nº 89.817.....	58
Tabela 10 – Parâmetros adotados nas rotinas de processamentos das imagens.....	69
Tabela 11 – Tempo de processamento Build Dense Cloud.....	72

## LISTA DE ABREVIações

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
APP	Área de Proteção Permanente
ASP	American Society of Photogrammetry - Sociedade Americana de Fotogrametria
CCD	Charge Coupled Device - Dispositivo de Carga Acoplada
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
CTM	Cadastro Territorial Multifinalitário
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
EP	Erro Padrão
FCA	Faculdade de Ciências Agrônomicas
GNSS	Global Navigation Satellite System - Sistema Global de Navegação por Satélite
GPS	Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global
GSD	Ground Sample Distance - Distância da Amostra do Solo
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
IMU	Inertial Measurement Unit - Unidade de Medição Inercial
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
ITBI	Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis
ITR	Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural
LiDAR	Light Detection and Ranging - Detecção e Variação de Luz
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
MNT	Modelo Numérico de Terreno
PC	Ponto de Controle
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica – Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Digitais
PV	Ponto de Verificação
RPA	Remotely Piloted Aircraft - Aeronave Remotamente Pilotada
RTK	Real Time Kinematic - Cinemático em Tempo Real
SIG	Sistemas de Informação Geográfica

SIT	Sistema de Informações Territoriais
SPS	Standard Positioning Service - Serviço de Posicionamento Padrão
SR	Sensoriamento Remoto
TIN	Triangulated Irregular Network - Grade Irregular Triangular
UEL	Universidade Estadual de Londrina
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UTM	Universal Transverso de Mercator
ZEIS	Zonas Especiais de Interesse Social

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>18</b>
2.1	SISTEMAS DE COORDENADAS .....	18
2.2	SISTEMA DE COORDENADAS DE PROJEÇÕES CARTOGRÁFICAS .....	19
2.3	SENSORIAMENTO REMOTO .....	20
2.4	FOTOGRAMETRIA .....	21
2.4.1	Fotogrametria E Mapeamento .....	23
2.5	CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS NA CRIAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO (MDE) E ORTOFOTOS DERIVADOS DA FOTOGRAMETRIA .....	26
2.6	AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (RPA) .....	28
2.7	GROUND SAMPLE DISTANCE (GSD) .....	29
2.8	PONTOS DE APOIO .....	30
2.8.1	Métodos De Rastreo Das Coordenadas Dos Pontos De Apoio .....	31
2.8.2	Distribuição Dos Pontos De Apoio.....	33
2.9	CONTROLE DE QUALIDADE E AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DA ORTOFOTO/MDE .....	34
2.9.1	Análise De Tendência .....	36
2.9.2	Análise De Precisão .....	36
2.10	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) E O MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE (MDS).....	37
2.11	CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO (CTM) .....	38
<b>3</b>	<b>ARTIGO 1: ACURÁCIA POSICIONAL DE ORTOFOTOS OBTIDAS COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)</b> .....	<b>41</b>
3.1	RESUMO .....	41
3.2	ABSTRACT .....	41
3.3	INTRODUÇÃO .....	42
3.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	45
3.4.2	Materiais Utilizados .....	45
3.4.3	Metodologia .....	46
3.4.4	Cadastro Dos Pontos De Apoio .....	46

3.4.5	Aquisição Das Fotos Com RPA.....	48
3.4.6	Processamento De Dados.....	50
3.4.7	Avaliação Da Acurácia.....	51
3.4.8	Análise De tendência.....	53
3.4.9	Análise De precisão.....	53
3.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
3.5.1	Geração Das Ortofotos.....	54
3.5.2	Avaliação Da Acurácia.....	56
3.6	CONCLUSÕES .....	58
3.7	REFERÊNCIAS.....	60
4	<b>ARTIGO 2: EXTRAÇÃO DA INFORMAÇÃO POSICIONAL DE PONTOS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA GERADAS EM ROTINAS DE PROCESSAMENTO PARA GERAÇÃO DE ORTOFOTOS.....</b>	<b>62</b>
4.1	RESUMO .....	62
4.2	ABSTRACT.....	62
4.3	INTRODUÇÃO .....	62
4.4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
4.4.1	Área De Estudo .....	65
4.4.2	Materiais utilizados .....	66
4.4.3	Metodologia .....	66
4.4.4	Aquisição Das Fotos Com RPA.....	67
4.4.5	Processamento Dos dados.....	68
4.4.6	Alinhamento Das imagens.....	70
4.4.7	Construção Da Nuvem Densa .....	70
4.4.8	Construção Do Modelo Poligonal Do Terreno .....	72
4.4.9	Construção Do Modelo Digital De Elevação (DEM) .....	73
4.4.10	Atualização Cadastral Referente As Propriedades Tributáveis .....	73
4.5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	74
4.5.1	Extração Das Informações Geográficas A Partir Das Rotinas De Processamento.....	74
4.6	CONCLUSÕES .....	78
4.7	REFERÊNCIAS.....	79
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>82</b>

## 1 – INTRODUÇÃO

O Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) é um instrumento fundamental para o desenvolvimento de diferentes ações municipais. Este instrumento viabiliza a integração dos dados sociais, econômicos, jurídicos, físicos e ambientais da jurisdição, conformando a partir deles informações sistematizadas e padronizadas para a gestão completa das cidades, e o desenvolvimento sustentável, favorecendo a aplicação dos instrumentos previstos no Estatuto das Cidades (2009), como: Zonas Especiais de Interesse Social – ZEIS, solo criado, direito de superfície, usucapião especial urbana, uso da terra urbana, entre outros.

Sendo assim, a base cartográfica do CTM é fundamental para o apoio ao planejamento e a tomada de decisão. Deve estar sempre atualizada, em nível de detalhamento que propicie aos técnicos, responsáveis pelas diversas áreas do planejamento urbano, extrair as informações de interesse. Trata-se de um banco de dados espacializado sobre os lotes urbanos (parcelas), pois reflete a situação organizacional do espaço urbano. De acordo com o artigo 13, parágrafo 2º, da portaria nº 511 de 07 de dezembro de 2009 do Ministério das Cidades, que trata das Diretrizes para a criação, instituição e atualização do CTM nos municípios brasileiros: “Os limites físicos das parcelas podem ser obtidos por métodos topográficos, geodésicos, fotogramétricos e outros que proporcionem precisões compatíveis”. (Brasil, 2009).

O avanço tecnológico dos últimos anos tem mudado as técnicas e os equipamentos utilizados nos levantamentos topográficos. Passando dos métodos convencionais, por exemplo teodolitos, para o uso de outros equipamentos como o receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), conhecidas popularmente também como, “*Drones*”, que têm permitido a obtenção de dados para estudos e pesquisas em diferentes áreas. RPA é o termo adotado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2018) que significa *Remotely Piloted Aircraft*.

No entanto, após a posse dos dados obtidos em campo, surge a necessidade de avaliar a acurácia dos produtos georreferenciados gerados com RPA. Estes dados possuem alta resolução do terreno, permitindo ainda a possibilidade de aplicações fotogramétricas, pois se utilizam de técnicas de ajustamento no processo. Vale ressaltar, contudo, que dependendo da finalidade o que importa é a acurácia, ou seja, o quanto o produto final difere de uma medida tida como a verdadeira (real).

Embora, acurácia, precisão e exatidão são tratados como sinônimos, em geral, acurácia pode ser tratada como combinação entre exatidão e precisão. Ou seja,  $\text{acurácia} = \text{exatidão} + \text{precisão}$ . Para uma única medição, exatidão é a proximidade de uma medição com um valor considerado verdadeiro (ou de referência) e a precisão não é considerada (já que não saberemos o seu valor), de forma que acurácia e exatidão acabam sendo a mesma coisa.

No entanto, quando um conjunto de medições é realizado, este conjunto apresenta uma componente de erros aleatórios (erros que não podem ser previstos) e uma componente de erros sistemáticos (erros que seguem uma tendência). Neste caso, exatidão está relacionada com o erro entre a média destes valores e o valor tido como referência, enquanto precisão é a dispersão entre os valores de medição. Acurácia é, então, a combinação entre estes dois valores.

Como exemplo desta afirmativa, podem ser utilizados pontos de controle no processo de aerotriangulação. Estes pontos são coletados em campo com um receptor GPS/RTK (*Real Time Kinematic*) de dupla frequência e precisão de poucos centímetros, corrigindo a posição em tempo real e o processamento das posições observadas, permitindo assim, avaliar a acurácia entre a discrepância entre as coordenadas do ponto na imagem e o mesmo ponto coletado em campo.

Um problema recorrente na geração das ortofotos é a falta de análise efetiva do número e distribuição dos pontos de apoio, sendo possível encontrar o padrão de distribuição dos pontos do tipo agrupado, disperso ou aleatório. Segundo Zanetti (2017), um conjunto de pontos de apoio com o padrão de distribuição espacial do tipo agrupado pode comprometer a ortofoto gerada. Para tal, o padrão com pontos do tipo dispersos é satisfatório. Dessa forma, além da distribuição dos pontos de apoio, é de fundamental importância verificar a quantidade dos mesmos. Quanto mais pontos de controle bem distribuídos na região, utilizados no processamento das fotos, melhor a qualidade posicional da ortofoto gerada.

A avaliação da acurácia dos produtos cartográficos geralmente é realizada por meio de técnicas que se baseiam na verificação de feições pontuais homólogas do produto avaliado e o dado de referência para uma determinada qualidade. Neste estudo, para avaliação da acurácia foi utilizada o método de testes de hipóteses, baseado na análise de tendências e precisão do produto. Segundo Galo & Camargo (1994), os testes específicos para esse tipo de análise são realizados por meio da detecção de tendências, baseada na distribuição  $t$  de *Student*, identificando a

existência de erros sistemáticos, e a análise de precisão baseada na distribuição Qui-quadrado, para avaliação dos efeitos dos erros aleatórios.

Outro problema recorrente é a dificuldade de encontrar análises efetivas sobre o processamento das imagens para geração das ortofotos, por isso, a presente pesquisa se justifica pela carência de análises efetivas do processamento de imagens coletadas com RPA, no qual poderá contribuir metodologicamente com a extração da informação geográfica e para qualidade dos mapeamentos.

No Brasil, os índices atuais de mapeamento nas diferentes escalas evidenciam que a carência de cartas topográficas atinge com maior intensidade as escalas maiores, os quais são imprescindíveis para o Cadastro Territorial Multifinalitário pois estes devem conter uma descrição detalhada do território por meio da representação gráfica das parcelas, constituindo assim um importante referencial para caracterização da posse e da propriedade. Em termos quantitativos, verifica-se que apenas 1% do território nacional se encontra mapeado na escala de 1:25.000, 14% na escala 1:50.000 e 75% na escala de 1:100.000. Escalas, estas, imprescindíveis para projetos econômicos e sociais, e, no entanto, realizadas nas décadas de 60, 70 e início da década de 80 (CONCAR, 2005). Recentemente a escala 1:250.000 foi 100% mapeada. (IBGE, 2019).

Assim, o objetivo deste trabalho foi produzir dois artigos, o primeiro com propósito de avaliar a acurácia posicional de pontos de projeção cartográfica em ortofotos obtidas de sensor a bordo de aeronaves remotamente pilotadas (RPA). Para isso, foi utilizado os parâmetros de acurácia posicional classificados de acordo com o PEC-PCD (Padrão de exatidão cartográfica – Padrão de exatidão cartográfica de produtos digitais). Conforme tolerâncias estabelecidas pelo Decreto nº 89.817 de 1984 em conformidade com a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - DSG (2011) e por meio do método de testes de hipóteses.

Para atingir a essa meta foi utilizados pontos de controle no processo de aerotriangulação dos pontos de projeção geográficas para melhorar a qualidade posicional das ortofotos geradas. Para tal foram realizados três voos a partir da derivação de altura máxima permitida pela ANAC (2018), sendo, a 80, 100 e 120 metros de altura.

O segundo teve como finalidade extrair a informação geográfica de pontos de projeção cartográfica geradas em rotinas de processamento para geração de ortofotos no *software Agisoft Metashape* em escala grande. Assim, pode auxiliar

metodologicamente a atualização do cadastro multifinalitário referente às propriedades tributáveis, que são os lotes (IPTU). Com isso, foi formando um banco de dados de qualidades distintas, onde permitirá realizar as análises de qualidade entre elas. A área de estudo deste artigo está localizada na Unesp - Faculdade de Ciências Agrônômicas – Campus de Botucatu – SP.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

Serão descritos na sequência os conceitos empregados nos trabalhos realizados, procurando o esclarecimento das definições aplicadas e que serviram de base para os procedimentos metodológicos utilizados nos artigos.

### 2.1 - Sistemas de coordenadas

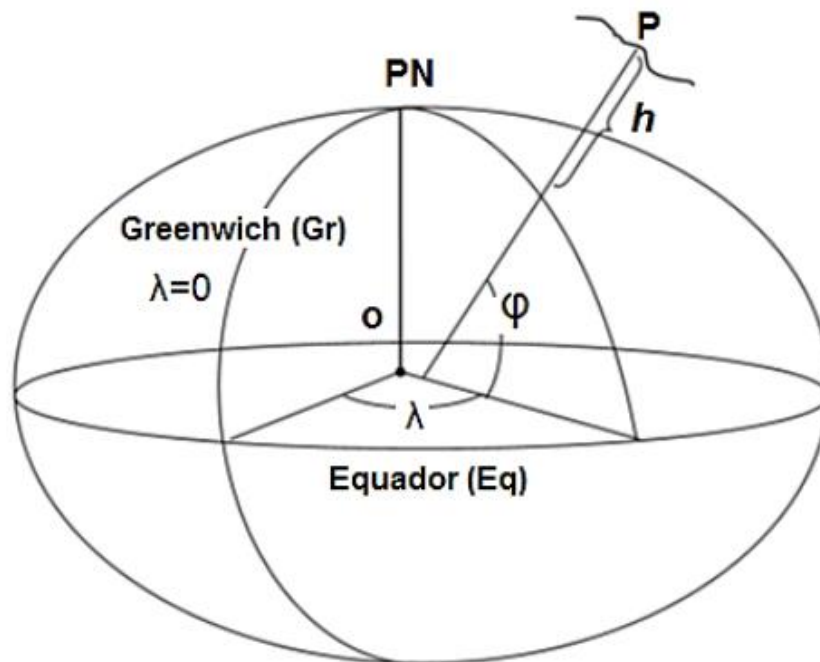
A Fotogrametria digital utiliza transformações de sistemas de coordenadas, sendo que cada transformação entre sistemas necessita de um modelo matemático que representa de forma matemática a conversão entre um sistema de coordenadas e outro (ANDRADE, 1998).

Na resolução do sistema de equações são obtidos os parâmetros de conversão entre os sistemas de coordenadas. No entanto, para se converter o sistema imagem (L, C) num sistema de coordenadas de terreno (E, N, H) são necessárias sucessivas transformações, (ROBERTO, 2017).

Nos sistemas analógicos eram utilizadas as orientações: interior, relativa e absoluta. Nos sistemas digitais estas operações são feitas a partir de modelos matemáticos advindos dos sistemas analógicos, sendo os parâmetros de orientação calculados analiticamente, com suporte computacional e as orientações feitas através de funções compostas (ANDRADE, 1998).

No referencial geodésico, a latitude ( $\varphi$ ) é o ângulo formado entre o Equador e o ponto no terreno (P), variando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  ao Norte e de  $0^\circ$  a  $-90^\circ$  ao Sul; a longitude  $\lambda$  é o ângulo formado entre o meridiano de Greenwich e o ponto no terreno (P), variando de  $0^\circ$  a  $180^\circ$  graus a Leste e de  $0^\circ$  a  $-180^\circ$  a Oeste, a terceira coordenada conhecida como altitude geométrica (h) é a distância contada sobre a normal do ponto (P), a partir deste ponto até a superfície do elipsóide (SANTOS, 2008), conforme a Figura 1.

Figura 1 - Referencial geodésico



Fonte: Adaptado de Santos (2008)

Estas coordenadas usam como referência um elipsóide de revolução, cujos parâmetros que o define é denominado “Datum do sistema geodésico”. Na engenharia, a altitude geométrica não é utilizada de forma direta, por não representar uma grandeza física, assim usualmente é utilizada a altitude ortométrica ( $H$ ), que é a distância na vertical do lugar entre o ponto ( $P$ ) e a superfície equipotencial da gravidade no nível médio dos mares, denominado de “Geóide de Referência” (SANTOS, 2008).

## 2.2 - 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).

É importante ressaltar que ao projetar a superfície terrestre na superfície de referência para gerar mapas cartográficos, esses nunca estarão isentos de distorções. As projeções cartográficas são desenvolvidas para minimizar as imperfeições dos mapas e proporcionar maior rigor científico à cartografia. Dentre as principais

projeções cartográficas destacam-se: as planas, as cônicas e as cilíndricas (BAKKER, 1965).

Um dos principais sistemas de projeção utilizado é o Universal Transverso de Mercator (UTM), que usualmente representa suas coordenadas com Leste (E), Norte (N) e altitude Ortométrica (H) (BAKKER, 1965). Os dados cadastrados em campo foram georreferenciados no datum SIRGAS 2000, no sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) do fuso 22S.

### **2.3 - Sensoriamento remoto**

Para Moraes (2002), Sensoriamento Remoto 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 os mesmos. Isto é, Sensoriamento Remoto (SR) 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.

Ainda, segundo Novo (1989), estas informações sobre certa área da superfície terrestre podem ser obtidas diretamente em campo ou indiretamente por meio de produtos do Sensoriamento Remoto, que consiste na utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos, aeronaves etc., com objetivo de estudar o ambiente terrestre mediante do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

Em 1988, *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) adotou uma definição combinada de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, sendo a arte, ciência e tecnologia de obter informação confiável sobre objetos físicos e o ambiente por meio do processo de registro, medição, e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de sistemas sensores sem contato físico (COLWELL, 1997).

Portanto, por meio do Sensoriamento Remoto, o ambiente mais distante, ou de difícil acesso, torna-se mais acessível. Os avanços obtidos com os novos sensores remotos, que produzem dados com melhores resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal, permitem mapear, medir e estudar, uma variedade de fenômenos geomorfológicos e ambientais com uma rapidez e precisão nunca obtidas anteriormente.

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 *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), que tem permitido a obtenção de dados para estudos e pesquisas na geografia e também em diferentes áreas.

Assim, entende-se, portanto, que o Sensoriamento Remoto é parte contida na fotogrametria, uma vez que a aquisição das imagens, sendo de satélite e/ou RPA são produtos do SR.

## **2.4 – Fotogrametria**

Wolf e Dewitt (2004) define o termo Fotogrametria como a arte, ciências e tecnologia de se obter informações confiáveis sobre objetos e o ambiente, através dos processos de gravação, medição e interpretação de fotografias, imagens e outros elementos. Cientificamente, até a década de 60, a *American Society of Photogrammetry* (ASP) define Fotogrametria como ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias.

Com o advento de novos tipos de sensores uma definição mais abrangente de Fotogrametria foi proposta também pela ASP em 1979. Segundo esta sociedade, Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente atendendo a processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes.

Já para Brito e Coelho (2007), a 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). Embora originalmente a Fotogrametria se ocupasse de analisar fotografias, nesta definição atual convencionou-se classificá-la 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. Ex: 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. Ex: 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 dos mesmos.

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.

Os RPA são equipamentos modernos, de pequeno ou médio porte que possuem uma alta tecnologia, design prático e um baixo custo acessível quando comparado aos outros instrumentos utilizados nas fases anteriores da Fotogrametria. A Fotogrametria convencional, por ter um alto custo, passou a ser menos utilizada nos dias de hoje, sendo aderida em sua maioria em projetos onde são imageadas grandes áreas, ou regiões onde existem restrições para uso de RPA, como nas proximidades de aeroportos. De forma diferente, o RPA tem grande participação nos projetos da geografia, bem como nos setores da construção civil, mineração, meio ambiente, infraestrutura e principalmente no setor agrícola, sendo considerada uma tecnologia cada vez mais crescente e utilizada no mercado atual.

#### **2.4.1 - Fotogrametria e mapeamento**

A grande maioria das operações fotogramétricas destinam-se ao mapeamento, como os realizados nas ciências geográficas. 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:

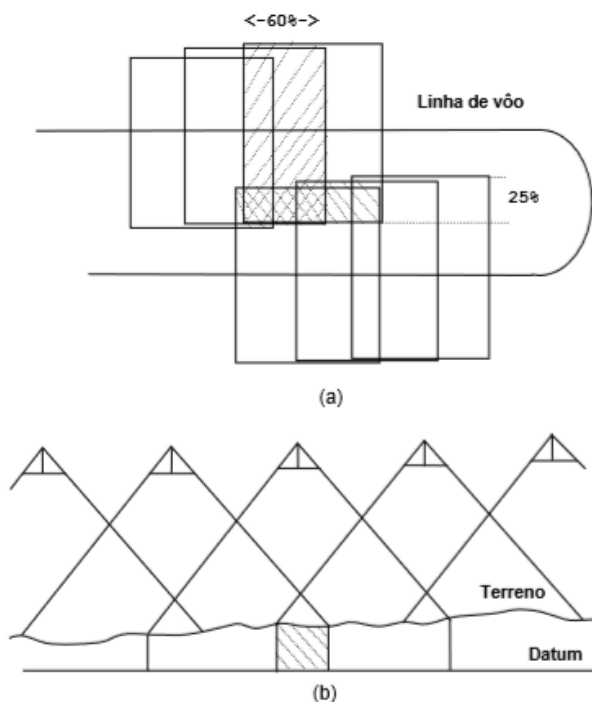
- Permitir a cobertura do terreno de dois pontos de vista distintos, ou seja, observação estereoscópica, que proporcionam uma vista tridimensional e criam a ilusão de que o observador está vendo um modelo 3D do terreno.

- 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 2, apresenta o esquema da linha de voo com as sobreposições laterais e longitudinais com os critérios descritos acima.

Figura 2 - 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)

Para que seja possível realizar medições de objetos, isto é, o mapeamento por meio da fotogrametria, são necessários dois tipos de orientação para as fotografias: orientação interior e orientação exterior. A orientação da imagem em relação ao sistema cartográfico é designada de Orientação Exterior. Para Andrade (1998), através dela são obtidas as coordenadas e atitudes do centro perspectivo da câmera

no sistema de coordenadas de terreno a partir de pontos bem definidos na imagem digital e de suas respectivas coordenadas de terreno.

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  $\omega$  (ômega),  $\varphi$  (phi) e  $\kappa$  (Kappa) (COELHO & BRITO, 2007).

Segundo Sato (2003) a qualidade geométrica de obtenção de imagem aéreas é aumentada quando a câmara é dotada de dispositivos de compensação dos ângulos de orientação ( $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$ ), de Euler. No entanto, atualmente, os sistemas das câmaras aéreas são compostos por um sistema de posicionamento por satélites e o sistema de medição inercial (Inertial Measurement Unit – IMU) que permitem o registro automático das coordenadas do centro da foto, inclusive dos dados de rotação da aeronave, aumentando significativamente a produtividade, reduzindo a densidade de pontos de controle bem como as tarefas de ajustamento da aerotriangulação.

Portanto, se tratando de RPA, o seu sistema de câmara aérea realiza automaticamente a correção dos parâmetros das coordenadas. Assim, a aferição correta destes parâmetros se torna fundamental para a obtenção de ortofotos e modelos digitais de elevação com qualidade cartográfica.

Ainda segundo Jensen (2009), a orientação exterior determina a relação matemática entre coordenadas da imagem e dos pontos de controle coletados no terreno. Assim, após a realização da orientação exterior, a informação pode ser usada para executar a aerotriangulação.

A aerotriangulação consiste na técnica fotogramétrica, pelo qual as coordenadas do terreno podem ser determinadas com base nas coordenadas medidas em fotografias. A aerotriangulação utiliza um ajuste geral por método dos mínimos quadrados com injunção de pesos para orientar adequadamente as imagens. Este ajuste é baseado no uso de equação de colinearidade (JENSEN, 2009).

De acordo com Lima et al. (2010), a equação de colinearidade é um modelo matemático bastante usado nos processos fotogramétricos, pelo qual associa as informações das fotografias e do objeto. Consistem em um modelo que une por uma reta, o ponto no espaço objeto, o ponto na imagem e o centro perspectivo, sendo

possível formar a imagem. O modelo de colinearidade relaciona o ponto medido na imagem com o ponto no espaço objeto.

## **2.5 - Classificação das imagens na criação de modelos digitais de elevação (MDE) e ortofotos derivados da fotogrametria**

A classificação de imagens consiste em se estabelecer um processo de decisão no qual um grupo de pixels é definido como pertencente a uma determinada classe (VENTURIERI & SANTOS, 1998). Nesse sentido, os sistemas computacionais auxiliam o usuário na interpretação da imagem. Para Richards (1986), a classificação multiespectral consiste em rotular os pixels de uma cena a partir de suas características espectrais, sendo que essa categorização é implementada por um programa computacional habilitado para reconhecer os pixels espectralmente similares. Segundo Novo (1989), as técnicas de classificação digital implicam na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos (pixels) a uma determinada classe.

Segundo Jessen (2009), a estereocorrelação automática, isto é, o grupo de pixels pertencentes a uma determinada classe utilizados para criar um Modelo Digital de Elevação - MDE, funciona bem quando o terreno está livre de árvores, edificações, viadutos, pontes, etc., os quais se elevam acima do terreno nominal. Mas quando tais objetos estão presentes, os algoritmos assumem-se como pertencentes ao terreno e computam a paralaxe diferencial e a altura resultante de tais superfícies. Ou seja, as alturas são então inseridas no MDE.

Por isso, para a análise desses dados são definidos dois métodos de classificação, diferenciados em função da presença ou não de uma fase de treinamento onde o intérprete interage com o computador. Um deles, definido como classificação não-supervisionada, é um meio pelo qual os pixels de uma imagem são associados às classes espectrais, sem que haja um conhecimento prévio da existência ou nome destas classes. Nos métodos não-supervisionados, o algoritmo de classificação não utiliza a priori qualquer conhecimento sobre as classes existente na imagem e define, sem a interferência do intérprete, a estratificação da cena, atribuindo cada pixel a uma determinada classe espectral.

O outro método é a classificação supervisionada, o qual se constitui na ferramenta analítica essencial usada na extração da informação quantitativa a partir de dados de sensoriamento remoto. O processo é dito supervisionado, pois implica

na interação entre o intérprete humano e o sistema de análise, e no conhecimento prévio de algumas áreas que se deseja trabalhar, o que permite a seleção de amostras confiáveis que são usadas para o treinamento de um algoritmo de classificação. Nas abordagens supervisionadas, geralmente, o algoritmo classificador opera com base na probabilidade de ocorrência de cada classe selecionada. Numa linguagem mais popular, o intérprete inicialmente treina o classificador a partir de amostras das classes conhecidas, para depois associar os demais pixels da imagem a uma determinada classe (previamente definida), mediante do uso de regras estatísticas pré-estabelecidas (VENTURIERI & SANTOS, 1998).

Ainda sobre o método de classificação supervisionada, Jensen (2009) ressalta que para editar este MDE, a fim de que ele não impacte na sua precisão, o sistema de fotogrametria digital deverá permitir visualizar a grade de pontos de elevação sobreposta a um par estéreo em três dimensões (imagem). Segundo o autor, a edição dos pontos de elevação deve ser realizada individualmente, movendo-os de forma que eles entrem em contato com terreno, usando o "princípio de marca flutuante", em que cada ponto se torna uma marca flutuante. Para isso deve seguir os seguintes critérios:

- Corrigir os pontos individualmente, selecionando um polígono de pontos para passar todos para a mesma elevação;
- Selecionar um polígono de pontos ao longo de uma encosta e realocá-los para que se situem entre os valores máximo e mínimo encontrados dentro do polígono.

Assim, se usados criteriosamente, o analista pode corrigir a maior parte dos problemas encontrados no MDE.

Entretanto, se os edifícios e árvores não forem muito grandes, é possível identificar a tendência geral do terreno entre os edifícios e as árvores, de modo que os pontos correspondentes à elevação desses objetos possam ser movidos para a elevação nominal do terreno. Uma edição cuidadosa do MDE original, seguindo este procedimento, pode produzir um MDE revisado que descreva apenas o relevo local da área, sem edifícios e árvores.

Segundo Jessen (2009), quanto maior a escala da fotografia aérea e maior altura dos edifícios e das estruturas da área de estudo, maior a dificuldade para obter um MDE preciso do terreno. Os MDE's são mais precisos e requerem menos edição quando produzidos para áreas rurais que não apresentam cobertura arbórea densa ou estruturas artificiais (edifícios, pontes, etc.). Como por exemplo, pode-se considerar o MDE de alta qualidade extraído da fotografia aérea de grande escala com poucas

árvores e edifícios como os apresentados neste trabalho. Lembrando que as ortofotos utilizadas neste estudo são extraídas do MDE.

## **2.6 - Aeronaves remotamente pilotadas (RPA)**

Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), conhecidas popularmente também como, “*Drones*”, têm permitido a obtenção de dados para estudos e pesquisas em diferentes áreas. RPA é o termo adotado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2018) que significa *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 os 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) 100-40/2017. Esse documento visa esclarecer os procedimentos necessários para realização dos voos de RPA's (Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA, 2018). Segundo a ANAC (2017), sua proposta tem o objetivo de viabilizar as operações das Aeronaves Remotamente Pilotadas, garantindo que haja segurança 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, 2018). Segundo as regras para uso de RPA (ANAC, 2017), 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:

- 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, sendo elas:

- 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.

Quanto ao sistema de navegação embarcado, dois tipos são encontrados no mercado, 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.).

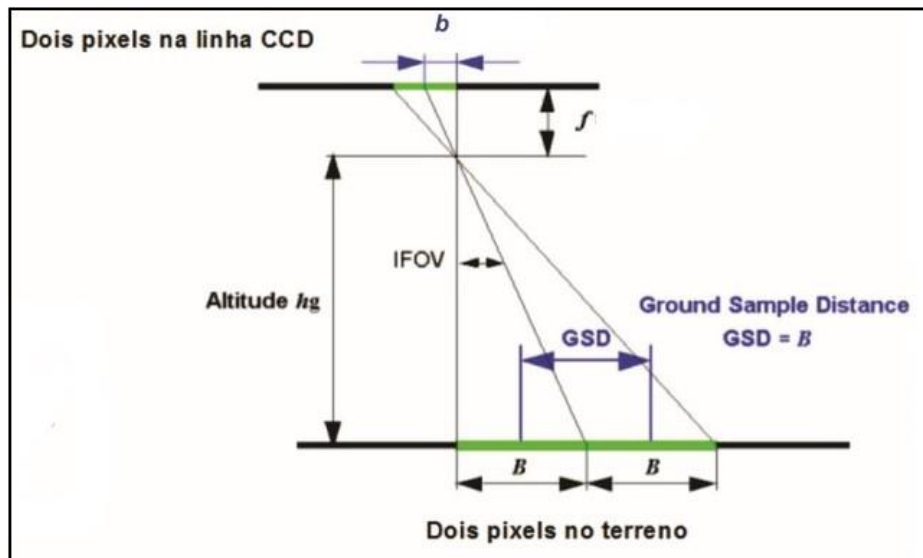
Entre os produtos obtidos com o uso de RPA, destacam-se dois: o ortomosaico e o Modelo Digital de Elevação (MDE). O ortomosaico corresponde ao mosaico das ortofotos e, o MDE, a imagem na qual cada pixel apresenta um valor relativo à altitude da superfície modelada. Estes materiais servem de base para obtenção de medidas planimétricas e altimétricas, permitindo a aplicação desses resultados no planejamento urbano/rural, planejamento agrícola, atividades da mineração, monitoramento de barragens e outros.

## **2.7 - Ground Sample Distance (GSD)**

Para captação direta de imagens digitais usamos o termo GSD - *Ground Sample Distance*. O GSD representa o tamanho real, em unidades do terreno, que um determinado pixel representa em função da resolução de uma imagem.

O GSD é diretamente relacionado com a altura da aeronave em relação ao solo, da distância focal da câmera e do tamanho do pixel no CCD – *Charge Coupled Device* (Dispositivo de Carga Acoplada), que é um sensor, como por exemplo, CMOS usado no RPA *Phantom 4 Pro* da empresa *DJI*. A Figura 3, a seguir, representa esta 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.

## 2.8 - Pontos de apoio

Segundo Alves Junior, A. P. (2019), pontos de apoio são pontos fotos identificáveis, ou melhor, são objetos e detalhes no terreno que irão aparecer nas imagens aéreas, ou seja, são objetos, alvos ou detalhes no campo, que têm necessariamente que aparecer nas imagens. Esses objetos são utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno. O ponto rastreado em campo, isto é, o sistema de coordenada do terreno é diretamente relacionado com esse mesmo ponto na fotografia, que é chamada de sistema imagem, que permite essa relação.

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.

Ainda conforme Alves Junior, A. P. (2019), os pontos de controle são pontos de referência do solo que são utilizados nos pós-processamento das imagens para aumentar a precisão dos produtos cartográficos gerados, ou seja, esses pontos são

utilizados durante o processamento, para garantir que ele sirva de referência. Enquanto que os pontos de verificação, são pontos que ajudam como indicadores da qualidade dos projetos, servem para verificar e atestar a qualidade e a acurácia dos produtos gerados. Por isso que é importante ter tanto pontos de controle quanto pontos de verificação.

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.

### **2.8.1 - 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 também 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.

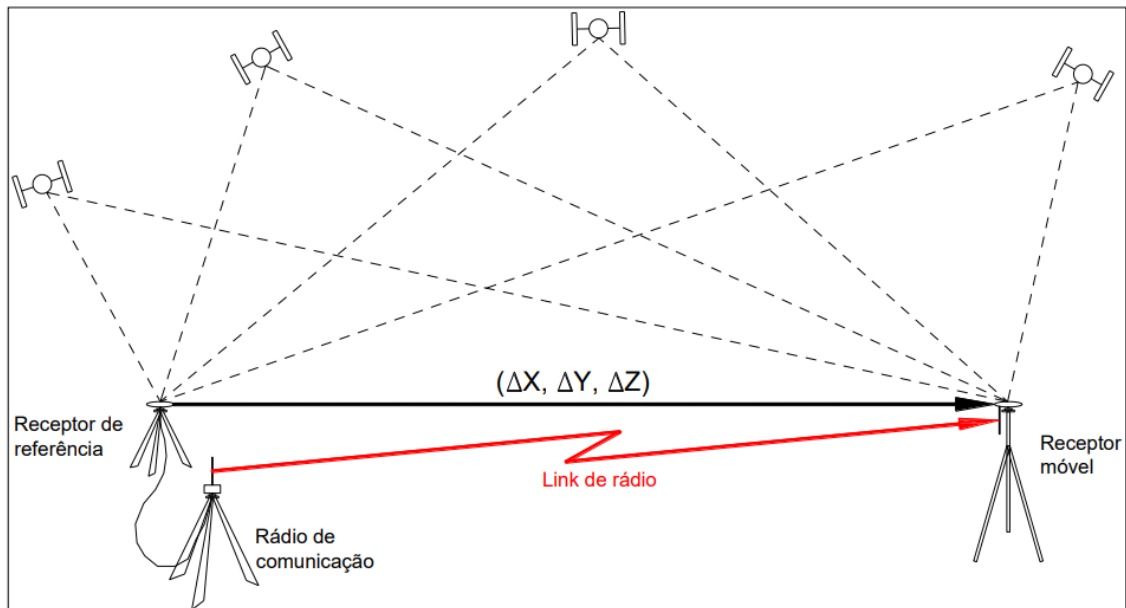
A sigla GNSS significa *Global Navigation Satellite System* – (Sistema de Navegação por Satélite). São sistemas que permitem a localização tridimensional de um objeto em qualquer parte da superfície da Terra, por intermédio de aparelhos que receptam ondas de rádio emitidas por seus respectivos satélites, fazendo cálculo de triangulação e correção de horas. Esse sistema Global inclui diversos outros sistemas compostos por uma rede de satélites, sendo eles: *GPS*, *GLONASS*, *GALILEU* e *COMPASS*.

Os fundamentos básicos do GNSS baseiam-se na determinação da distância entre um ponto, o receptor, a outros de referência, os satélites. Isto é, o receptor rastreia um satélite pela recepção de seu sinal para obtenção de uma posição fixa tridimensional (latitude, longitude e altitude). No entanto, são necessários no mínimo 4 satélites para determinar a posição do objeto corretamente, onde o maior número de satélites implica na melhor precisão. 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 2013

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.

### 2.8.2 - Distribuição dos pontos de apoio

Os pontos de apoio não podem ser coletados em locais aleatórios em campo, sem critério, isso pode piorar os resultados no processamento em vez de melhorá-los. Por isso, deve-se atentar aos seguintes critérios:

- Distribuir os pontos de controle na extremidade da área, pois nessas áreas tem poucas sobreposições de imagem. A sobreposição das imagens são áreas das imagens em comum em cada foto, é a partir dessa sobreposição das imagens que o *software* vai conseguir encontrar os pontos semelhantes e fazer o processamento sobre estes. Como nas bordas há pouca sobreposição de imagens, é necessário colocar os pontos de controle para firmar a precisão necessária ao projeto.

- Colocar os pontos de controles nas áreas onde tem mais variações de terreno/altitude. Em um mapeamento aéreo, a qualidade da planimetria é melhor do que da altimetria, por isso, para evitar erros altimétricos, piores do que teriam, é necessário colocar os pontos em regiões mais altas e mais baixas, ou seja, espalhadas pelo terreno.

- Por último, para distribuir os pontos de forma homogênea nas áreas, será necessário distribuir mais alguns pontos nas áreas que talvez estejam vazias. Assim sendo, haverá a garantia que nenhuma área fique sem pontos de apoio. Por fim, será necessário distribuir os pontos de verificação por toda área, são eles que garantem a precisão/acurácia do projeto.

Segundo Zanetti (2017), um conjunto de pontos de apoio com o padrão de distribuição espacial do tipo agrupado pode comprometer a ortofoto gerada, por isso, o padrão com pontos do tipo dispersos é mais adequado. Dessa forma, além da distribuição dos pontos de apoio, é de fundamental importância verificar a quantidade dos mesmos. Quanto mais pontos de controle bem distribuídos na região, utilizados no processamento das fotos, melhor a qualidade posicional da ortofoto gerada

Os pontos de apoio são importantes para definir a geometria do bloco fotogramétrico para geração de produtos que utilizem de medidas diretas, por exemplo, modelo digital de superfície (MDS), modelo digital de elevação (MDE) e ortomosaico. Medidas de áreas e projetos que necessitam de acurácia centimétrica precisam de pontos de apoio. Já nos casos de produtos gerados com a finalidade de uso informativo, como: projetos ambientais que não envolva acurácia centimétrica e projetos agrícolas, que tem interesse de verificar uma cultura agrícola, não é necessário a utilização de pontos de apoio.

## **2.9 – Controle de qualidade e avaliação da acurácia da ortofoto/MDE**

Segundo Zanetti (2017), a qualidade dos produtos cartográficos deve ser garantida por leis e normas específicas que apresentem os parâmetros mínimos de qualidade. No caso do Brasil, as normas que norteiam a produção e a análise de qualidade posicional de produtos cartográficos podem ser encontradas no Decreto Lei no 89.817, de 20 de junho de 1984.

A avaliação da acurácia das ortofotos geradas pelo RPA foi realizada a partir da análise de tendência e precisão dos modelos, sendo os resultados classificados de acordo com o PEC-PCD, conforme tolerâncias estabelecidas pela Diretoria de Serviço

Geográfico do Exército Brasileiro - DSG (2011). As classes “B”, “C” e “D” do PEC-PCD, correspondem, em ordem, as classes “A”, “B” e “C” do PEC previstas no Decreto 89.817/84. A Tabela 1 apresenta as tolerâncias utilizadas na avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão descrito no Decreto-lei 89.817/ET-ADGV para a escala 1:1000.

Tabela 1 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia conforme PEC-PCD (DSG, 2011) e PEC (Decreto-Lei 89.817/84)

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria		Altimetria	
		PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
	A	0,27	0,17	0,27	0,17
A	B	0,5	0,3	0,5	0,33
B	C	0,8	0,5	0,6	0,4
C	D	1	0,6	0,75	0,5

Fonte: Adaptado de DSG 2011

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. Para esta avaliação da acurácia, foi utilizado o método proposto por Galo e Camargo (1994) de testes de hipóteses, a partir da análise de tendências (baseada na distribuição *t* de *Student*, quando é verificada a presença de erros sistemáticos), e precisão (com base na distribuição Qui-quadrado, para avaliação dos efeitos dos erros aleatórios). Ambos os testes são realizados com nível de significância de  $\alpha = 10\%$ . O modelo é considerado acurado para uma determinada classe do PEC-PCD, desde que aceite a hipótese nula da avaliação de tendência e precisão realizada com base nas discrepâncias entre as altitudes observadas na ortofoto ( $h_0$ ) e as altitudes de referência ( $h_r$ ) dos pontos de verificação (PV) (Equação 1). Estes pontos são selecionados da relação dos pontos de apoio, pré-sinalizados em campo e georreferenciados com GNSS geodésico, de onde obtêm-se as estatísticas como média (Equação 2) e desvio padrão (Equação 3), sendo ( $n$ ) o número de elementos da amostra.

$$1) \Delta h = (h_0 - h_r)$$

$$2) \overline{\Delta h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h$$

$$3) S_{\Delta h} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta h - \overline{\Delta h})^2}$$

### 2.9.1 - Análise de tendência

Na análise de tendência são avaliadas as hipóteses: H0: Se  $\Delta h = 0$ , então  $h$  não é tendencioso, contra H1: Se  $\Delta h \neq 0$ , então  $h$  é tendencioso. A partir do número de pontos de referência utilizados na análise, obtém-se o valor limite tabelado  $t_{n-1, \alpha/2}$ . Se o valor do teste  $t$  de *Student* calculado (Equação 4) for inferior ao tabelado, atendendo a Equação 5, podemos afirmar que a ortofoto está livre de erros sistemáticos significativos.

$$4) t_n = \frac{\overline{\Delta h}}{S_{\Delta h}} \sqrt{n}$$

$$5) |t_{calc}| < t_{n-1, \alpha/2}$$

### 2.9.2 - Análise de precisão

A análise de precisão é realizada utilizando o teste Qui-quadrado, obedecendo aos valores do EP (erro padrão) altimétrico (Tabela 1), estabelecidos na ET-ADGV (DSG, 2011). Para realizar este teste, inicialmente calcula-se o erro padrão esperado ( $\sigma_h$ ), conforme a Equação 6. Posteriormente aplica-se um teste de hipótese, comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o EP esperada para a classe do PEC-PCD a qual se deseja testar, H0:  $S^2_{\Delta h} = \sigma_h^2$ , contra, H1:  $S^2_{\Delta h} > \sigma_h^2$ . Para atender a precisão de uma determinada classe (A, B, C ou D) o valor do teste Qui-quadrado calculado  $X_h^2$ , conforme a Equação 7, deve ser inferior ao teste Qui-quadrado tabelado  $\chi^2_{(n-1, \alpha)}$ , de acordo com a Equação 8, permitindo determinar a escala de representação a qual a ortofoto se enquadra. Onde  $n$  é o tamanho da amostra,  $s$  o desvio padrão das discrepâncias e  $\sigma$  é o EP esperada para uma determinada classe PEC-PCD.

$$6) \sigma_h = EP_{Alt} \times Eq. \text{ das curvas denível}$$

$$7) X_h^2 = (n - 1) \frac{S^2_{\Delta h}}{\sigma_h^2}$$

$$8) X_h^2 \leq x^2_{(n-1, \alpha)}$$

## 2.10 – Modelo digital de elevação (MDE) e o modelo digital de superfície (MDS)

Dentre as definições da representação de uma área da superfície terrestre, existem algumas nomenclaturas utilizadas com o intuito de distinguir as informações contidas na superfície. Dentre elas podem ser citadas o Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Numérico de Terreno (MNT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e o Modelo Digital de Superfície (MDS).

De acordo com Gripp Jr. (2009), um Modelo Digital de Elevação (MDE) é a representação da superfície da Terra, no modo digital, cuja característica principal é descrever a morfologia de uma área qualquer de forma contínua visando representar a altimetria sem a cobertura vegetal e/ou edificações. Enquanto que o Modelo Digital de Superfície (MDS), segundo Cruz et al. (2011), representa a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos, como árvores e construções, onde o topo desses objetos será representado como a superfície do terreno. Contudo, de acordo com Baltsavias et al. (1995), MDE corresponde ao modelo digital do terreno, sem os objetos 3D existentes sobre o terreno (vegetação, edificações, etc.), e MDS ao modelo digital da superfície que considera o MDE mais os objetos 3D sobre o terreno.

Assim, como pode ser visto na sequência, Felgueiras (1998) descreve as etapas para o processo de geração digital de representação, ou seja, o MDE.

- Aquisição dos dados representativos do fenômeno em análise (amostragem);
- Modelagem que envolve a elaboração de um modelo matemático a partir da criação de estruturas de dados e de funções de interpolação. Isso resultará na definição de superfícies de ajuste com uma representação contínua do fenômeno em análise, a partir da amostragem considerada;
- Utilização do modelo gerado, em substituição à superfície real, com o emprego de diferentes procedimentos de análise.

De acordo com Zanetti (2017), a aquisição dos dados de amostragem pode ser obtida no terreno por meio da topografia clássica, posicionamento por satélites,

fotogrametria, entre outros. Segundo Felicísimo (1994), existem diferentes métodos para a obtenção de dados amostrais para a criação de modelos digitais. Basicamente, os métodos são classificados em diretos e indiretos (Tabela 2), de acordo com a forma de aquisição das amostras.

Tabela 2 - Métodos de aquisição de amostras para a criação de modelos digitais de elevação

<b>Diretos</b>	<b>GPS</b>	<i>Global Positioning System</i> , sistema de localização por satélite.
	<b>Topografia</b>	Uso de estação total e níveis.
<b>Indiretos</b>	<b>Restituição</b>	Digital: imagens estereoscópicas orbitais ou de sistemas aerotransportados.
		Analógica: pares de fotografias estereoscópicas analógicas.
	<b>Digitalização</b>	Manual: mediante mesas digitalizadoras. Automática: com uso de scanners.

Fonte: Adaptado de Felicísimo (1994)

Na etapa de modelagem, os modelos mais comumente utilizados são os de grade regular retangular e os de grade irregular triangular (também denominados TIN – *Triangulated Irregular Network*). A representação da superfície em grades retangulares é mais adequada para superfície suave e de variação, enquanto a de grade irregular, é mais adequada em áreas com relevo mais acidentado (COELHO & BRITO, 2007).

A distribuição, a densidade e acurácia, dos pontos de referências, bem como a escolha dos métodos de modelagem, são fatores primordiais para gerar um modelo mais confiável (ANDRADE, 1998). São inúmeras as aplicações do modelo digital na área de informações espaciais. Para o presente trabalho destaca-se a utilização do MDS no processo de ortorretificação de imagens.

### 2.11 - Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM)

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) pode ser entendido como um sistema de banco de dados espaciais. Representam a estrutura urbana, constituída por uma componente geométrica e outra descritiva que lhe conferem agilidade e diversidade no fornecimento de dados para atender diferentes funções, inclusive a de planejamento urbano (BLACHUT et al., 1974).

De acordo com Antunes (2007), um sistema cadastral atualizado possibilita desenvolver um Cadastro Técnico Multifinalitário como ferramenta de apoio à gestão pública municipal, permitindo analisar as potencialidades do município para um desenvolvimento sustentável, possibilitando assim, uma melhor gestão dos recursos e desenvolvimento dos diversos processos econômicos, jurídicos e técnicos envolvidos na dinâmica das cidades. Loch (1998) complementa afirmando que, o Cadastro Técnico Multifinalitário é uma área de pesquisa interdisciplinar, que envolve conhecimentos, desde as medidas cartográficas, até o nível do imóvel, a legislação que rege a ocupação do solo, bem como uma avaliação rigorosa da melhor forma de ocupação deste espaço para se obter o desenvolvimento da área.

Em conformidade com Zanetti (2017), a principal característica de um Cadastro Técnico Multifinalitário é o suporte para o conhecimento do território, mediante informatização de um banco de dados públicos com informações confiáveis sobre as propriedades municipais. A cartografia associada ao banco de dados é fundamental para o registro oficial das informações que definem a realidade da propriedade, formando assim, o cadastro técnico.

“Com isso pode-se afirmar que o cadastro técnico urbano é composto por duas partes, a primeira são os produtos cartográficos e a segunda é o banco de dados. A cartografia deve ser composta por mapas de escala grande, 1:1.000, 1:2.000 até 1:5.000, visto que a unidade cadastral e o lote ou ainda a parcela urbana. O banco de dados deve ter registrado diversas informações referentes ao lote ou parcela, estas informações devem ser vinculadas ao lote por meio de um código único. Este código servirá também para relacionar a representação gráfica do lote (na base cartográfica) as informações armazenadas no banco de dados. Vale a pena ressaltar que o lote ou parcela define-se como uma área delimitada (fisicamente ou não) a qual são impostos restrições, direitos e responsabilidades ao proprietário (ERBA, 2005).”

Sendo assim, a base cartográfica do CTM é fundamental para o apoio ao planejamento e às tomadas de decisão. Esta deve estar sempre atualizada em um nível de detalhamento que propicie aos técnicos, responsáveis pelas diversas áreas do planejamento urbano, extrair as informações de interesse. Um banco de dados especializado sobre as parcelas reflete a situação organizacional do espaço urbano.

O banco de dados do CTM deve permitir que os dados possam ser compartilhados com outros sistemas, dentro e fora da prefeitura municipal. Em primeiro lugar, deve-se compartilhar, por meio de conexão entre computadores, os dados do CTM com o Registro de Imóveis, desde que o Registro de Imóveis seja informatizado.

De acordo com Manual de Apoio – CTM, 2010, o Sistema de Informações Territoriais (SIT), é composto de diferentes cadastros temáticos baseados na informação das parcelas. Um SIT, pode, de preferência, ser estruturado em uma plataforma de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Porém, nos municípios onde essa tecnologia ainda não chegou, será suficiente se forem relacionadas às bases alfanuméricas em um único mapa de referência que seja utilizado por todos os parceiros. O número de cadastros temáticos pode variar de um município para outro segundo a necessidade do local.

Ainda segundo Manual de Apoio – CTM, 2010, o cadastro de parcelas será o fundamento para qualquer outro cadastro temático. Cada cadastro temático tem seu próprio objetivo e se refere muitas vezes a objetos distintos. O cadastro fiscal refere-se às propriedades tributáveis, que são os lotes (IPTU) e as glebas (Imposto Territorial Rural – ITR). O cadastro de logradouros registra a malha das ruas urbanas no município, etc.

Dessa forma, o caráter multifinalitário do CTM, dado pela interconexão dos bancos de dados dos diferentes cadastros temáticos, está também presente na avaliação dos imóveis na medida em que o conhecimento sobre o valor do imóvel pode servir para múltiplas finalidades, tanto na esfera pública quanto na privada, entre as quais podem ser citadas:

- Lançamento e aplicação da política tributária para o Imposto sobre a Propriedade Predial e Territorial Urbana – IPTU, o Imposto sobre a Transmissão de Bens Imóveis e de Direitos a eles relativos – ITBI e Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural – ITR;

- Aplicação de diferentes instrumentos de política urbana, previstos no Estatuto da Cidade, tais como: IPTU progressivo, outorga onerosa do direito de construir, direito de preempção e transferências de potencial construtivo, entre outros;

- Determinação de indenizações para fins de desapropriações ou outras compensações; etc.

### 3 – ARTIGO 1: ACURÁCIA POSICIONAL DE ORTOFOTOS OBTIDAS COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (RPA)

#### 3.1 – RESUMO

Dentre as diversas tecnologias utilizadas para a geração de modelos tridimensionais da superfície terrestre, o uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), popularmente conhecida como Drones, surge como alternativa rápida e precisa em comparação às técnicas de topografia tradicionais. Diante dessa nova tecnologia, este estudo avaliou três ortofotos, geradas a partir de aerolevantamentos configurados em 80m, 100m e 120m de altura, em uma propriedade localizada as margens da Rodovia Agostinho Ducci (PR-218), zona rural do município de São Sebastião da Amoreira no estado do Paraná. Este estudo tem como objetivo 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 no georreferenciamento das imagens. A avaliação da acurácia foi realizada a partir da análise de tendência e precisão, sendo os resultados classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Todo o procedimento foi realizado em duas etapas, sendo a primeira empregando uma distribuição *t-Student* destinada à verificação da ausência de tendência (erro sistemático) e a segunda, a distribuição Qui-Quadrado destinada para a verificação da validade do Erro-Padrão (EP) obtido da amostra em relação à precisão requerida para o produto, EP do PEC-PCD para a escala 1:1.000. Como resultado, verificou-se que as ortofotos dos três voos estão livres de erros sistemáticos, não apresentando tendências, uma vez que a hipótese nula foi aceita pelo teste com o valor de  $|t_{calc}|$  amostral em módulo inferior ao valor de tabela (2,015). Assim vê-se que as ortofotos passaram no teste de precisão na escala 1:1.000 para a Classe A da PEC.

**Palavras-chave:** RPA; Ortofoto. Modelo Digital de Elevação. Topografia.

#### 3.2 – ABSTRACT

Among the various technologies used for the generation of three-dimensional models of the Earth's surface, the use of Remote Piloted Aircraft (RPA), popularly known as Drones, appears as a fast and precise alternative in comparison to traditional topography techniques. In view of this new technology, this study evaluated three orthophoto images, generated from aerial surveys configured at 80m, 100m and 120m in height, on a property located on the banks of the Agostinho Ducci Highway (PR-218), in the rural area of the municipality of São Sebastião da Mulberry in the state of Paraná. This study aims to evaluate the positional accuracy of cartographic projection points in orthophoto obtained from a sensor on board remotely piloted aircraft (RPA) using support points in the georeferencing of images. The assessment of accuracy was performed based on the trend and precision analysis, with the results being classified according to the Cartographic Accuracy Standard of Digital Cartographic Products (PEC-PCD). The entire procedure was performed in two stages, the first employing a *t-Student* distribution to verify the absence of trend (systematic error) and the second, the Chi-Square distribution designed to verify the validity of the Standard Error (EP) obtained from the sample in relation to the precision required for the product, EP from the PEC-PCD for the 1: 1,000 scale. As a result, it was found that the

orthophoto of the three flights are free of systematic errors, showing no tendencies, since the null hypothesis was accepted by the test with the value of  $|t_{\text{calc}}|$  sample in module below the table value (2.015). Thus it can be seen that the orthophotos passed the precision test on the scale 1: 1,000 for Class A of the PEC

**Keywords:** RPA; Orthophoto. Digital Elevation Model. Topography.

### 3.3 – INTRODUÇÃO

Os recentes avanços na tecnologia tornaram a utilização das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), mais possível e acessível. Essas facilidades têm permitido que profissionais com pouca ou nenhuma experiência cartográfica utilizem o RPA para geração de mapas. No entanto, o não conhecimento da acurácia e discrepâncias posicionais de pontos de projeção cartográfica presentes em seus produtos acabam trazendo incertezas quanto à qualidade do mapeamento.

A grande maioria das operações fotogramétricas realizadas com RPA destinam-se ao mapeamento, como os realizados nas ciências geográficas. 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%. Contudo, 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:

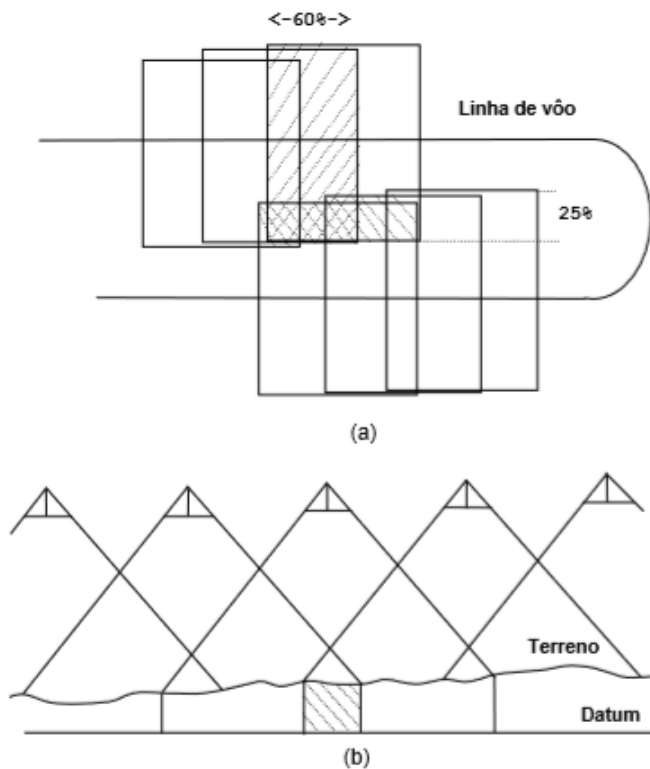
- Permitir a cobertura do terreno de dois pontos de vista distintos, ou seja, observação estereoscópica, que proporcionam uma vista tridimensional e criam a ilusão de que o observador está vendo um modelo 3D do terreno.

- 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 5, apresenta o esquema da linha de voo com as sobreposições laterais e longitudinais com os critérios descritos acima.

Figura 5 - 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)

Para que seja possível realizar medições de objetos, isto é, o mapeamento por meio da fotogrametria, são necessários dois tipos de orientação para as fotografias: orientação interior e orientação exterior. A orientação da imagem em relação ao sistema cartográfico é designada de orientação exterior. Para Andrade (1998), por meio dela são obtidas as coordenadas e atitudes do centro perspectivo da câmera no sistema de coordenadas de terreno a partir de pontos bem definidos na imagem digital e de suas respectivas coordenadas de terreno.

Esses 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  $\omega$  (ômega),  $\varphi$  (phi) e  $\kappa$  (Kappa) (COELHO & BRITO, 2007).

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 ( $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$ ), de Euler. No entanto, atualmente, os sistemas das câmaras aéreas são compostos por um sistema de posicionamento por satélites e o sistema de medição inercial (Inertial Measurement Unit – IMU) que permitem o registro automático das coordenadas do centro da foto, inclusive dos dados de rotação da aeronave, aumentando significativamente a produtividade, reduzindo a densidade de pontos de controle bem como as tarefas de ajustamento da aerotriangulação.

Portanto, se tratando de RPA, o seu sistema de câmara aérea realiza automaticamente a correção dos parâmetros das coordenadas. Assim, a aferição correta destes parâmetros se torna fundamental para a obtenção de ortofotos e modelos digitais de elevação com qualidade cartográfica.

Ainda segundo Jensen (2009), a orientação exterior determina a relação matemática entre coordenadas da imagem e dos pontos de controle coletados no terreno. Dessa forma, após a realização da orientação exterior, a informação pode ser usada para executar a aerotriangulação, mesmo que o produto contenha uma significativa produtividade. Ou seja, segundo Andrade (1998) o maior objetivo da fototriangulação é fornecer coordenadas precisas para os pontos necessários para a orientação de modelos fotogramétricos para a restituição ou elaboração de ortofotos.

Assim, um outro problema recorrente na geração das ortofotos é a falta de análise efetiva do número e distribuição dos pontos de apoio, sendo possível encontrar o padrão de distribuição dos pontos do tipo agrupado, disperso ou aleatório. Segundo Zanetti (2017), um conjunto de pontos de apoio com o padrão de distribuição espacial do tipo agrupado pode comprometer a ortofoto gerada, por isso, o padrão com pontos do tipo disperso é mais adequado. Dessa forma, além da distribuição dos pontos de apoio, é de fundamental importância verificar a quantidade dos mesmos. Quanto mais pontos de controle bem distribuídos na região, utilizados no processamento das fotos, melhor a qualidade posicional da ortofoto gerada.

Portanto, diante dessa nova tecnologia, este estudo tem como objetivo 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. Para isso, foi utilizado os parâmetros de acurácia posicional classificados de acordo com o PEC-PCD (Padrão de exatidão cartográfica – Padrão de exatidão cartográfica de produtos digitais). Conforme tolerâncias estabelecidas pelo Decreto nº

89.817 de 1984 em conformidade com a Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - DSG (2011) e por meio do método de testes de hipóteses. Para tal foram realizados três voos a partir da derivação de altura máxima permitida pela ANAC (2018), sendo, a 80, 100 e 120 metros de altura.

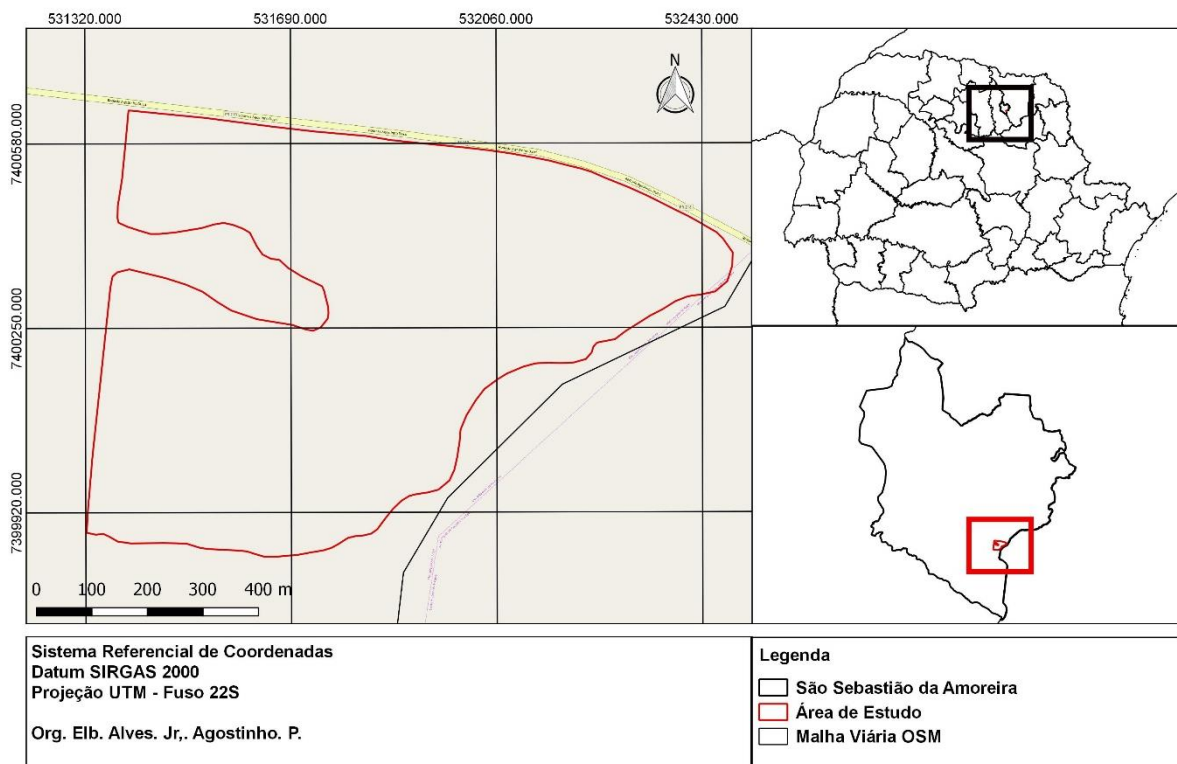
### 3.4 - MATERIAIS E MÉTODOS

São descritos neste tópico, os materiais e métodos empregados para mensurar a área objeto deste estudo, bem como a avaliação da acurácia dos modelos obtidos por meio do RPA, pontos de apoio e GNSS/RTK, utilizando-se da análise de tendência e precisão.

#### 3.4.1 – Área de estudo

A área de estudo consiste em um polígono irregular de 8,1 hectares e está localizada nas margens da Rodovia Agostinho Ducci (PR-218) da zona rural do município de São Sebastião da Amoreira no Estado do Paraná (Figura 6).

Figura 6 - Área de estudo localizada no município de São Sebastião da Amoreira - PR



#### 3.4.2 – Materiais utilizados

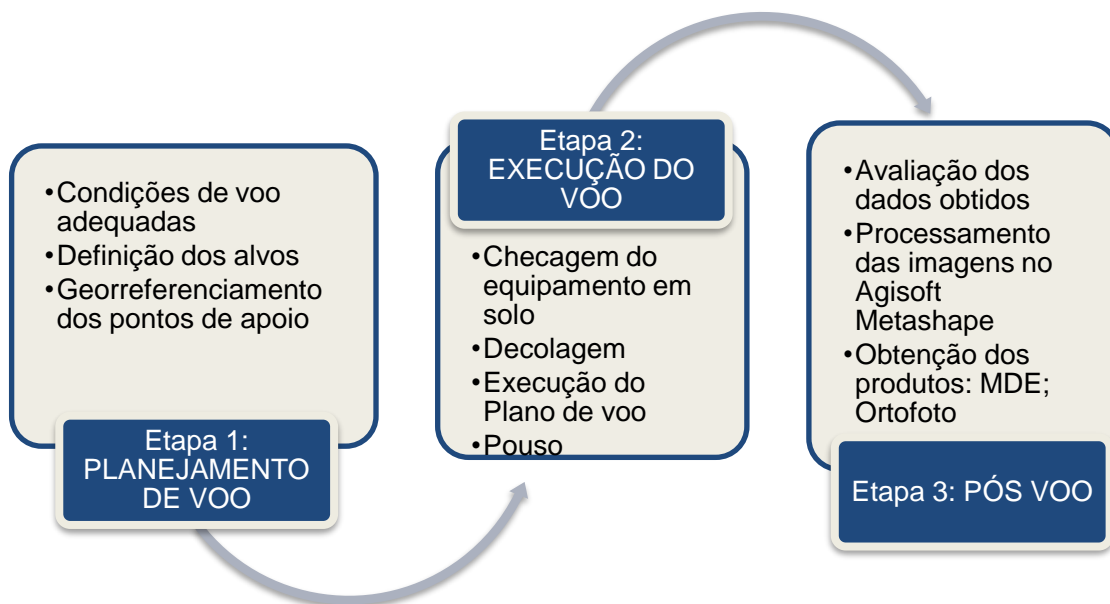
Foram utilizados os seguintes materiais:

- Receptor GNSS RTK (base *ProMark 700*, Rover *ProMark 500*);
- *Software QGis 2.18* para manipulação dos dados espaciais;
- *Software* fotogramétrico *Agisoft Metashape* para o processamento das fotos;
- A aeronave utilizada para obter as imagens foi do tipo multirotor, modelo *Phantom 4 Pro* da empresa *DJI*.

### 3.4.3 – Metodologia

A Figura 7, apresenta de forma ilustrativa, as etapas e os procedimentos metodológicos implementados para atingir os objetivos propostos neste trabalho.

Figura 7 - Fluxograma da metodologia empregada para geração da ortofoto



Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

### 3.4.4 – Cadastro dos pontos de apoio

A Fotogrametria digital utiliza transformações de sistemas de coordenadas, sendo que cada transformação entre sistemas necessita de um modelo matemático que representa de forma matemática a conversão entre um sistema de coordenadas e outro (ANDRADE, 1998).

Estas coordenadas usam como referência um elipsóide de revolução, cujos parâmetros que o define é denominado “Datum do sistema geodésico”. Um dos principais sistemas de projeção utilizado é o Universal Transverso de Mercator (UTM), que usualmente representa suas coordenadas com Leste (E), Norte (N) e altitude Ortométrica (H) (BAKKER, 1965).

Os pontos de apoio (PC e PV) cadastrados tiveram suas coordenadas elipsoidais determinadas e os valores de altitudes elipsoidais (h) convertidos para altitudes ortométricas (H), com o aplicativo MAPGEO2015 (IBGE, 2015). As coordenadas Geodésicas, latitude e longitude, também foram convertidas para o sistema cartesiano de projeção UTM, Fuso 22 do hemisfério Sul. Ou seja, os dados cadastrados em campo foram georreferenciados no Datum SIRGAS 2000, no sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) do fuso 22S.

Contudo, para sistematizar a escolha do local onde os pontos de apoio foram cadastrados na área de estudo, alguns cuidados foram observados, como:

- Ponto de acesso facilitado por questão de logística;
- Distribuição dos pontos sobretudo nas áreas próximas das bordas, pois o vento pode influenciar negativamente na etapa de orientação das fotos.

Neste trabalho, o cadastro dos pontos de apoio foi realizado por um conjunto RTK (base *ProMark 700*, Rover *ProMark 500*) com capacidade de rastreamento de satélites GPS e GLONASS utilizando o método RTK.

De acordo com Alves Junior, A. P (2019), pontos de apoio são pontos fotos identificáveis, ou melhor, são objetos, alvos e detalhes no terreno que irão aparecer nas imagens aéreas, ou seja, são objetos, alvos ou detalhes no campo, que têm necessariamente que aparecer nas imagens. Esses objetos são utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno. O ponto coletado em campo, isto é, o sistema de coordenadas geográficas do terreno é diretamente relacionado com esse mesmo ponto de coordenadas na fotografia, chamado de sistema imagem, que permite fazer essa relação. A Tabela 3 mostra as coordenadas dos 16 pontos de apoio coletados em campo.

Tabela 3 - Coordenadas dos 16 pontos de apoio

Ponto	Longitude	Latitude	Altitude
1	531.831.844	7.400.524.049	727.643
2	531.931.847	7.400.525.417	728.685
3	532.031.849	7.400.526.660	728.599
4	532.131.792	7.400.527.986	725.238
5	531.833.150	7.400.424.084	727.744
6	531.933.140	7.400.425.356	726.446
7	532.033.142	7.400.426.703	724.646
8	532.133.137	7.400.427.991	720.763
9	531.834.405	7.400.324.079	723.208
10	531.934.437	7.400.325.357	719.726
11	532.034.426	7.400.326.682	714.144
12	532.134.407	7.400.327.997	707.128
13	531.835.773	7.400.224.115	718.821
14	531.935.747	7.400.225.420	711.456
15	532.034.420	7.400.216.376	700.725
16	532.135.741	7.400.228.002	690.398

Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

Estes pontos de apoio cadastrados em campo são importantes no processo de triangulação, pois são utilizados para fazer a relação entre o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno, como também servem para verificar e atestar a qualidade e a acurácia dos produtos gerados.

### 3.4.5 – Aquisição das fotos com RPA

A aeronave utilizada para obter as imagens foi do tipo multirrotor, do modelo *Phantom 4 Pro* da empresa *DJI* (Figura 8). Esta aeronave é fabricada pela empresa chinesa *DJI Innovations*, e equipada com uma câmera de sensor *Complementary Metal Oxide Semicondutor* (CMOS) de 1 polegada de 20 *megapixels* capaz de fotografar e fazer filmes em 4k/60fps ou em modo *burst* (configuração da câmera que permite tirar várias fotos em sequência). O CMOS é um sensor semicondutor para captação de imagens formado por um circuito integrado que contém uma matriz de capacitores acoplados. Ou seja, é um sensor de carga acoplada com a função de capturar as imagens e transforma-las em elétrons (sinais eletromagnéticos) e em Bits e Bytes por meio de um microprocessador em um processo analógico digital que gera a imagem.

Figura 8 - RPA utilizado no aerolevanteamento



Fonte: <http://www.dji.com/>

Para a realização do aerolevanteamento foram relacionadas as seguintes variáveis: tempo, altura de voo, resolução espacial, sobreposição frontal e lateral e a distância de amostra do solo (Tabela 4). A altura dos voos foram de 80, 100 e 120 metros o que levaram a uma resolução estimada em 2,41, 3,00 e 3,50cm/pixel. Isto é, a distância de amostra do solo, do termo em inglês: Ground Sample Distance (GSD) é a representação do pixel da imagem em unidades de terreno (geralmente em cm).

A delimitação da área e os parâmetros de *FrontLap* (longitudinal) e *SideLap* (lateral), ou seja, sobreposição frontal e lateral, estão acima dos valores recomendados pela bibliografia para um bom resultado.

Tabela 4 – Parâmetros utilizados em cada voo.

Voo	Tempo	Imagens	Altura (m)	Resolução (cm/pixel)	Front Lap (%)	Side Lap (%)	GSD (cm/pixel)
1	10'23"	167	80	2,40	75	65	2,41
2	7'49"	107	100	3,00	75	65	3,00
3	6'39"	76	120	3,60	75	65	3,50

Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

A regulamentação para a operação de tais equipamentos é dada pela Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40/2017. Esse documento visa esclarecer os procedimentos necessários para realização dos voos de RPA (DECEA, 2017).

Segundo a ANAC (2018), sua proposta tem o objetivo de viabilizar as operações das RPA, garantindo que haja segurança para as pessoas. Para tal, as regras estabelecidas estão de acordo com o nível de complexidade e risco envolvido nas operações.

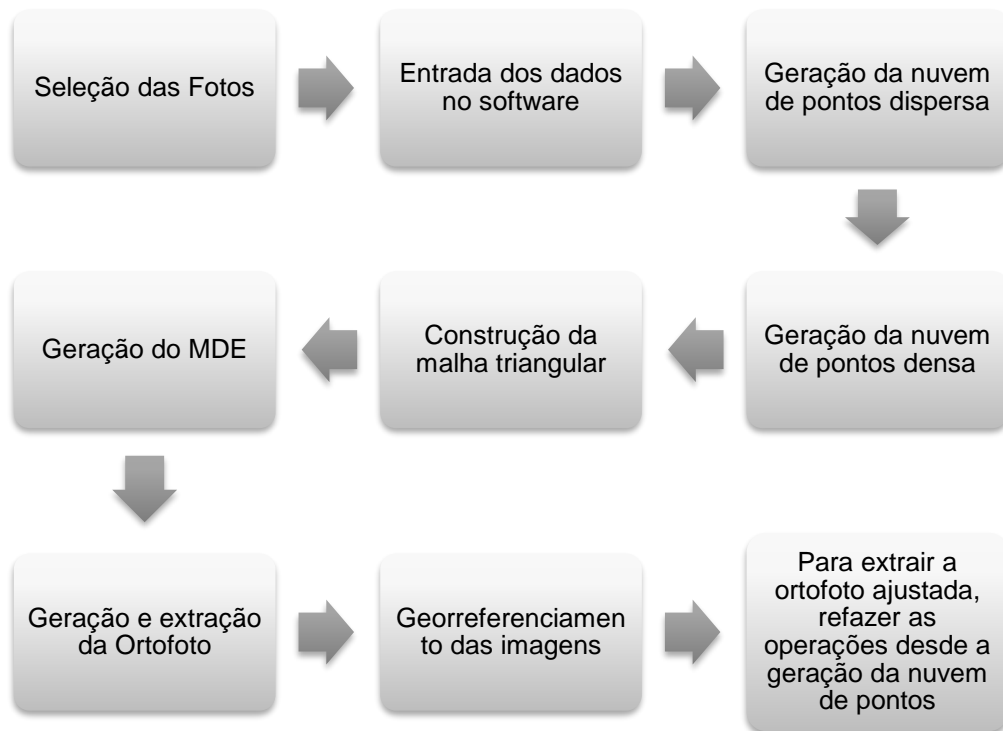
#### **3.4.6 - Processamento de dados**

Segundo *Agisoft LLC* (2016), o *Agisoft Metashape* foi desenvolvido pela empresa russa *AgiSoft LLC* para criar conteúdo tridimensional a partir de imagens estáticas. Esse programa possui uma interface simples e permite a geração da nuvem de pontos esparsa ou densa, malhas texturizadas tridimensionais e outras representações como as ortofotos por exemplo.

A metodologia utilizada para aquisição e processamento dos dados obtidos pelo RPA, está dividida em três etapas conforme exemplificado na Figura 6. Uma vez coletados os pontos apoio, as fotos foram processadas com 10 PC's distribuídos por toda a área de estudo, utilizando o software *Agisoft Metashape*. Os dados cadastrados em campo foram georreferenciados no datum SIRGAS 2000, no sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) do fuso 22S. O processamento de dados no *software* foi realizado no mesmo datum e sistema de projeção, em razão dos dados de campo compartilhar deste mesmo referencial.

O *Agisoft Metashape* possui um fluxo automatizado para processar as imagens. Estes foram realizados com base na metodologia apresentada na Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma do processamento dos dados oriundos do RPA com base na metodologia apresentada



Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

As fotos foram processadas utilizando a configuração (padrão) inicial do software. No entanto, apenas na primeira etapa, foi utilizada a opção no software de maior precisão (*highest accuracy*) para o alinhamento das fotografias, a fim de que o software encontre pontos homólogos entre as imagens e permita corresponder, bem como encontrar, a posição da câmera em cada imagem, e refinando em seguida os parâmetros de calibração da câmera. Como resultado obtém-se uma nuvem de pontos dispersa. As outras etapas seguiram o fluxo padrão do *software*.

### 3.4.7 - Avaliação da Acurácia

Segundo Zanetti (2017), a qualidade dos produtos cartográficos deve ser garantida por leis e normas específicas que apresentem os parâmetros mínimos de qualidade. No caso do Brasil, as normas que norteiam a produção e a análise de qualidade posicional de produtos cartográficos podem ser encontradas no Decreto Lei no 89.817, de 20 de junho de 1984.

A avaliação da acurácia das ortofotos geradas pelo RPA foi realizada a partir da análise de tendência e precisão dos modelos, sendo os resultados classificados de acordo com o PEC-PCD, conforme tolerâncias estabelecidas pela Diretoria de Serviço

Geográfico do Exército Brasileiro - DSG (2011). As classes “B”, “C” e “D” do PEC-PCD, correspondem, em ordem, as classes “A”, “B” e “C” do PEC previstas no Decreto 89.817/84. A Tabela 5 apresenta as tolerâncias utilizadas na avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão descrito no Decreto-lei 89.817/ET-ADGV para a escala 1:1000.

Tabela 5 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia conforme PEC-PCD (DSG, 2011) e PEC (Decreto-Lei 89.817/84)

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria		Altimetria	
		PEC (mm)	EP (mm)	PEC (mm)	EP (mm)
	A	0,27	0,17	0,27	0,17
A	B	0,5	0,3	0,5	0,33
B	C	0,8	0,5	0,6	0,4
C	D	1	0,6	0,75	0,5

Fonte: Adaptado de DSG 2011

Embora, acurácia, precisão e exatidão são tratados como sinônimos, em geral, acurácia pode ser tratada como combinação entre exatidão e precisão. Ou seja, acurácia = exatidão + precisão. Para uma única medição, exatidão é a proximidade de uma medição com um valor considerado verdadeiro (ou de referência) e a precisão não é considerada (já que não saberemos o seu valor), de forma que acurácia e exatidão acabam sendo a mesma coisa.

No entanto, quando um conjunto de medições é realizado, este conjunto apresenta uma componente de erros aleatórios (erros que não podem ser previstos) e uma componente de erros sistemáticos (erros que seguem uma tendência). Neste caso, exatidão está relacionada com o erro entre a média destes valores e o valor tido como referência, enquanto precisão é a dispersão entre os valores de medição. Acurácia é, então, a combinação entre estes dois valores.

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. Dessa forma, a avaliação da acurácia foi realizada considerando esta definição.

Para esta avaliação, foi utilizado o método proposto por Galo e Camargo (1994, p.6) de testes de hipóteses, a partir da análise de tendências (baseada na distribuição *t* de Student, quando é verificada a presença de erros sistemáticos), e precisão (com

base na distribuição Qui-quadrado, para avaliação dos efeitos dos erros aleatórios). Ambos os testes são realizados com nível de significância de  $\alpha = 10\%$ . O modelo é considerado acurado para uma determinada classe do PEC-PCD, desde que aceite a hipótese nula da avaliação de tendência e precisão realizada com base nas discrepâncias entre as altitudes observadas na ortofoto ( $h_0$ ) e as altitudes de referência ( $h_r$ ) dos pontos de verificação (PV) (Equação 1). Estes pontos são selecionados da relação da Tabela 3, pré-sinalizados em campo e georreferenciados com GNSS geodésico, de onde obtêm-se as estatísticas como média (Equação 2) e desvio padrão (Equação 3), sendo ( $n$ ) o número de elementos da amostra.

$$1) \Delta h = (h_0 - h_r)$$

$$2) \overline{\Delta h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h$$

$$3) S_{\Delta h} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta h - \overline{\Delta h})^2}$$

#### 3.4.8 - Análise de tendência

Na análise de tendência são avaliadas as hipóteses: H0: Se  $\Delta h = 0$ , então  $h$  não é tendencioso, contra H1: Se  $\Delta h \neq 0$ , então  $h$  é tendencioso. A partir do número de pontos de referência utilizados na análise, obtém-se o valor limite tabelado  $t_{n-1, \alpha/2}$ . Se o valor do teste  $t$  de *Student* calculado (Equação 4) for inferior ao tabelado, atendendo a Equação 5, pode-se afirmar que a ortofoto está livre de erros sistemáticos significativos.

$$4) t_n = \frac{\overline{\Delta h}}{S_{\Delta h}} \sqrt{n}$$

$$5) |t_{calc}| < t_{n-1, \alpha/2}$$

#### 3.4.9 - Análise de precisão

A análise de precisão é realizada utilizando o teste Qui-quadrado, obedecendo aos valores do EP (erro padrão) altimétrico (Tabela 5), estabelecidos na ET-ADGV (DSG, 2011). Para realizar este teste, inicialmente calcula-se o erro padrão esperado ( $\sigma_h$ ), conforme a Equação 6. Posteriormente aplica-se um teste de hipótese, comparando-se o desvio-padrão das discrepâncias com o EP esperada para a classe do PEC-PCD a qual se deseja testar, H0:  $S^2_{\Delta h} = \sigma_h^2$ , contra, H1:  $S^2_{\Delta h} > \sigma_h^2$ . Para

atender a precisão de uma determinada classe (A, B, C ou D) o valor do teste Qui-quadrado calculado  $X_h^2$ , conforme a Equação 7, deve ser inferior ao teste Qui-quadrado tabelado  $x^2_{(n-1,\alpha)}$ , de acordo com a Equação 8, permitindo determinar a escala de representação a qual a ortofoto se enquadra. Onde  $n$  é o tamanho da amostra,  $s$  o desvio padrão das discrepâncias e  $\sigma$  é o EP esperada para uma determinada classe PEC-PCD (Tabela 5).

$$6) \sigma_h = EP_{Alt} \times Eq. \text{ das curvas denível}$$

$$7) X_h^2 = (n - 1) \frac{S^2_{\Delta h}}{\sigma_h^2}$$

$$8) X_h^2 \leq x^2_{(n-1,\alpha)}$$

### 3.5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.5.1 – Geração das ortofotos

Após realizar a distribuição espacial dos pontos de apoio, foram realizadas a coleta e o processamento dos dados de campo. Em seguida foram obtidas as três ortofotos conforme apresenta as Figuras 10, 11 e 12. Todas as imagens obtidas nos respectivos voos foram utilizadas na criação dos ortomosaicos.

As imagens das bordas do bloco fotogramétrico, que apresentaram pequenas distorções foram mantidas. Tais imagens, em função da inclinação do RPA, na entrada e saída das faixas, foram tomadas fora da verticalidade ideal, gerando assim, as distorções observadas e comentadas. No entanto, a falta de sobreposição das imagens, ou seja, linha de voo nas bordas, também geram estas distorções, pois a ausência da linha de voo faz com que nestas regiões não se tenha o aproveitamento da porção central das imagens.

Por isso, para corrigir essas distorções, foi distribuído um maior número de pontos de apoio, principalmente nas bordas da área de estudo, para melhorar a qualidade posicional das ortofotos geradas.

Os processamentos fotogramétricos foram realizados utilizando 10 PC's distribuídos na área de estudo. Apesar de serem cadastrados 16 pontos de apoio (PC e PV), foram utilizados somente 10 PC's no processamento das ortofotos.

Figura 10 - Voo 1: Ortofoto gerada a 80m de altura com 10 PC's

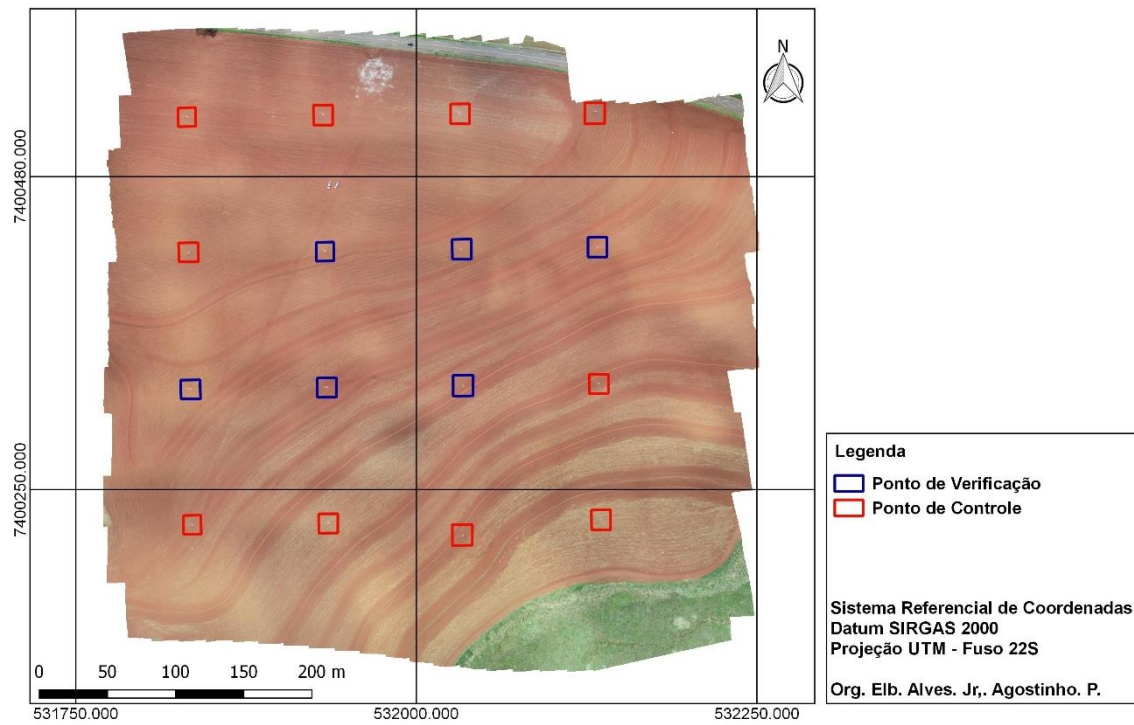


Figura 11 - Voo 2: Ortofoto gerada a 100m de altura com 10 PC's

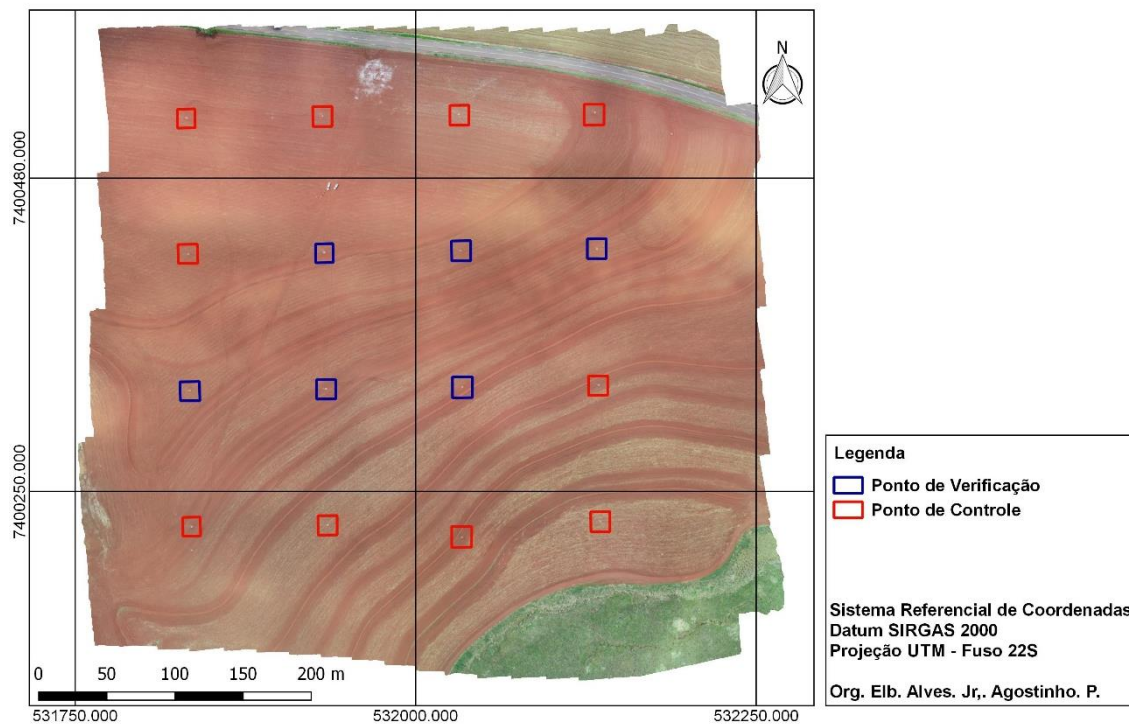
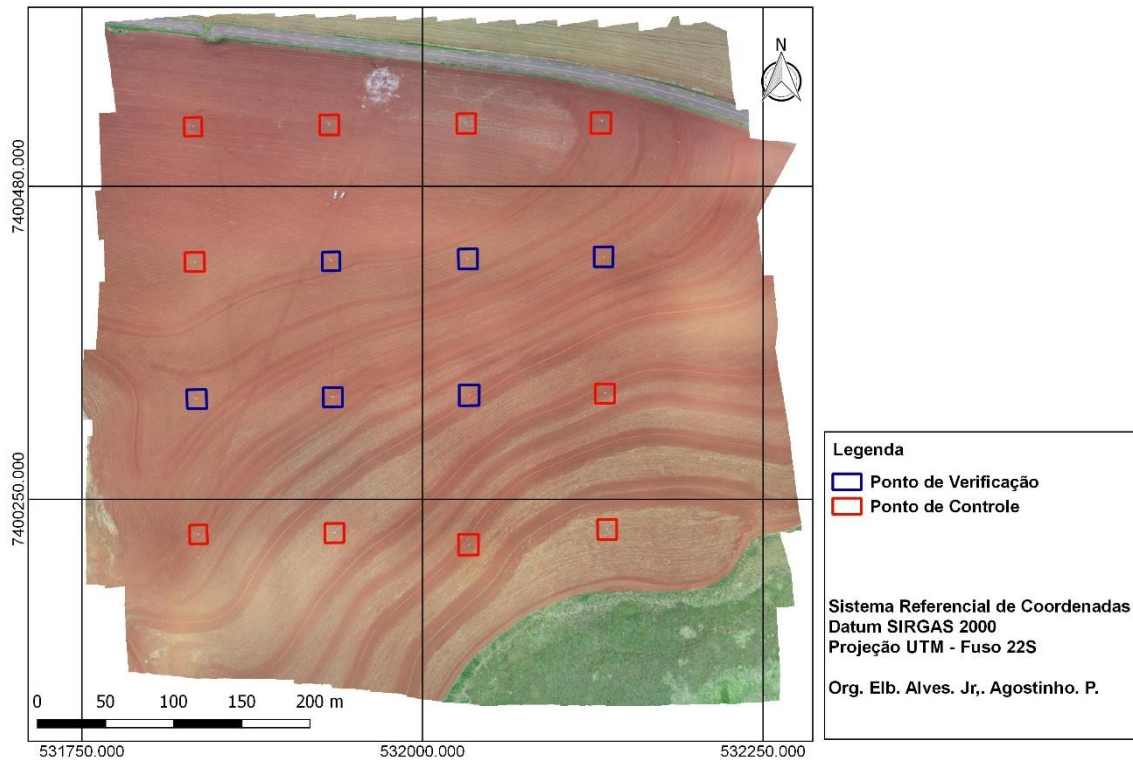


Figura 12 - Voo 3: Ortofoto gerada a 120m de altura com 10 PC's



### 3.5.2 - Avaliação da acurácia

Foram coletados somente 16 pontos de apoio (PCs e PVs), dos quais, foram utilizados 10 PC's para a orientação absoluta do bloco de imagens, e 06 PV's para a avaliação da acurácia dos ortomosaicos. Sendo assim, inicialmente foram calculadas as discrepâncias entre as altimetrias observadas na ortofoto e as cotas dos 6 PV's, obtidas em campo com GNSS geodésico (Equação 1), bem como sua média e desvio padrão (Equações 2 e 3), sendo os resultados apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 - Resultados quanto à qualidade altimétrica da ortofoto referente ao voo 1

Ponto	$h_0$	$h_r$	$\Delta h$
6	726.446.000	726.463.478	0.017478
7	724.646.000	724.680.893	0.034893
8	720.763.000	720.756.115	-0.006885
9	723.208.000	723.211.019	0.003019
10	719.726.000	719.709.039	-0.016961
11	714.144.000	714.106.090	-0.037910
<b>Média <math>\Delta h</math></b>			-0.001
<b>Desvio Padrão <math>S_{\Delta h}</math></b>			0.026

Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

Tabela 7 - Resultados quanto à qualidade altimétrica da ortofoto referente ao voo 2

Ponto	$h_0$	$h_r$	$\Delta h$
6	726.446.000	726.460.130	0.014130
7	724.646.000	724.667.337	0.021337
8	720.763.000	720.757.000	-0.006000
9	723.208.000	723.202.874	-0.005126
10	719.726.000	719.716.162	-0.009838
11	714.144.000	714.132.375	-0.011625
<b>Média <math>\Delta h</math></b>			0.001
<b>Desvio Padrão <math>S_{\Delta h}</math></b>			0.014

Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

Tabela 8 - Resultados quanto à qualidade altimétrica da ortofoto referente ao voo 3

Ponto	$h_0$	$h_r$	$\Delta h$
6	726.446.000	726.479.886	0.033886
7	724.646.000	724.705.078	0.059078
8	720.763.000	720.771.842	0.008842
9	723.208.000	723.202.904	-0.005096
10	719.726.000	719.707.946	-0.018054
11	714.144.000	714.109.657	-0.034343
<b>Média <math>\Delta h</math></b>			0.007
<b>Desvio Padrão <math>S_{\Delta h}</math></b>			0.034

Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

O procedimento foi realizado em duas etapas, a primeira emprega uma distribuição *t-Student* destinada à verificação da ausência de tendência (erro sistemático) e a segunda, a distribuição Qui-Quadrado destinada para a verificação da validade do Erro-Padrão (EP) obtido da amostra em relação à precisão requerida para o produto, EP do PEC-PCD para determinada escala.

Na análise de tendência verificou-se que os valores do *t* amostral calculado (Equação 4) para os dois modelos estavam no intervalo de aceitação da Equação 5, dado pelo valor tabelado de *t* de *Student* para um nível de confiança (1 -  $\alpha$ ) igual a 90% ( $\alpha = 0,10$ ), que neste estudo de caso, considerando os 06 pontos de verificação utilizados na análise obtém-se o valor limite de  $t_{10\%(5)}$  igual a 2,015 indicando que o modelo gerado não apresenta tendência amostral.

No tocante a precisão relativa, as ortofotos geradas a partir dos dados obtidos pelo RPA, obtiveram precisão altimétrica compatível com a Classe A do PEC-PCD para a escala 1:1000. Para tanto, foram consideradas os limites tabelados de  $x^2$  de

9,24 para uma amostra ( $n$ ) de tamanho 06, com nível de significância de 10% e 5 graus de liberdade (Tabela 9).

Tabela 9 – Resultado da avaliação da acurácia - Teste de tendência e precisão para a escala 1:1.000 conforme descrito no Decreto-lei nº 89.817

<b>CLASSE A</b>			
	<b>VOO 1</b>	<b>VOO 2</b>	<b>VOO 3</b>
$n$ (Amostral)	6 pontos	6 pontos	6 pontos
Média $\Delta h$	-0,001	0,001	0,007
Desvio Padrão $S_{\Delta h}$	0,026	0,014	0,034
EP - PEC	0,17	0,17	0,17
<b>Teste de Tendência</b>			
$t_{10\%(5)}$	2,015	2,015	2,015
$ t_{calc} $	-0,10	0,09	0,50
Análise	$ t_{calc}  < t_{(tabela)}$	$ t_{calc}  < t_{(tabela)}$	$ t_{calc}  < t_{(tabela)}$
	Sem tendência	Sem tendência	Sem tendência
<b>Teste de Precisão</b>			
$X^2_{10\%(5)}$	9,24	9,24	9,24
$X^2_{calc}$	0,12	0,03	0,2
Análise	$X^2_{calc} < X^2_{(tabela)}$	$X^2_{calc} < X^2_{(tabela)}$	$X^2_{calc} < X^2_{(tabela)}$
	Atente	Atende	Atende

Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

Conforme os resultados apresentados na Tabela 9, as ortofotos dos três voos estão livres de erros sistemáticos, não apresentando tendências, uma vez que a hipótese nula foi aceita pelo teste com o valor de  $|t_{calc}|$  amostral em módulo inferior ao valor de tabela (2,015). Assim vê-se que as ortofotos passaram no teste de precisão na escala 1:1.000 para a Classe A.

### 3.6 – CONCLUSÕES

Considerando que os voos foram realizados em uma janela de tempo de aproximadamente uma hora e que a geometria das constelações dos satélites observados pôde promover a ocorrência de tendência nas posições cadastradas para cada voo, quando analisada de forma isolada, a análise de tendência apresentou resultados compatíveis com o esperado para os tipos de produtos gerados.

A pesquisa aborda a qualidade das ortofotos produzidas de pontos de projeção cartográfica obtidas de sensor a bordo de RPA, utilizando rotinas automatizadas e com pontos de apoio. A não utilização de pontos de apoio, assim como também a alteração de rotinas de processamento e *softwares* e, do equipamento, podem produzir valores diferentes daqueles aqui observados.

Portanto, os resultados apresentados indicam que a geração de modelos altimétricos e planimétricos por fotogrametria digital utilizando RPA, implementado com o aplicativo *Agisoft Metashape*, são produtos com precisão e confiabilidade que atende os padrões de precisão e acurácia do PEC-PCD classe A para escalas 1:1000. O PEC-PCD baseia-se no cálculo da precisão e acurácia posicional, que estão fortemente vinculados ao método de determinação dos pontos de controle e de verificação.

Diante dos resultados expostos, pode-se perceber que o objetivo de analisar a acurácia posicional de pontos de projeção cartográfica em ortofotos obtidas de sensor a bordo de RPA a partir dos pontos de verificação foi alcançado. Verificou-se que a metodologia proposta permitiu avaliação da acuracidade conforme o padrão descrito no Decreto-lei 89.817/ET-ADGV, e conseqüentemente a precisão final das ortofotos geradas. Por intermédio desses produtos gerados com as imagens dos três voos coletadas pelo RPA, verificou-se ser uma técnica muito promissora, pois além da agilidade e praticidade da operação, nota-se um alto nível de detalhes, permitindo a identificação nítida de várias informações, podendo ser empregadas em várias áreas de estudo, como por exemplo, no auxílio da atualização cadastral referente às propriedades tributáveis, que são os lotes (IPTU), no processo de extração da informação geográfica, entre outras.

A pesquisa bibliográfica e adoção de processos estatísticos direcionados para pequenas amostras não invalida a aplicação em grandes amostras, o que mostra a consolidação correta da metodologia voltada para a padronização de uma atividade corporativa diversa. É válido ressaltar que a precisão encontrada na aplicação dos testes amostrais a partir do PEC-PCD é diferente do calculado pelo *Ground Sample Distanc (GSD)*, isto é, distância da amostra do solo, uma vez que esta última determina os valores estabelecidos em relação ao *pixel* do produto cartográfico e utiliza parâmetros diferentes na determinação dos atributos. Diferentemente do cálculo da acurácia posicional, que se baseia no método de levantamento estabelecido (GPS de navegação) e na realização do controle de qualidade.

### 3.7 - REFERÊNCIAS

AGISOFT LLC. **Agisoft PhotoScan User Manual**. Professional Edition, Version 1.2, p. 37, 2016. Disponível em: <[www.agisoft.ru](http://www.agisoft.ru)>. Acesso em: 20 fev. 2019

ALVES, JR., Agostinho P. Avaliação da acurácia do georreferenciamento em pontos de controle de aerolevante realizado com aeronave remotamente pilotada - rpa. **XIII ENANPEGE**, São Paulo, 2019. Disponível em: <[https://www.enanpege2019.anpege.ggf.br/resources/anais/8/1562632863\\_ARQUIVO\\_ARTIGOENAMPEGE-AGOSTINHO.pdf](https://www.enanpege2019.anpege.ggf.br/resources/anais/8/1562632863_ARQUIVO_ARTIGOENAMPEGE-AGOSTINHO.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2019.

ANAC - AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Regras da ANAC para uso de drones. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release\\_drone.pdf/view](http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf/view)>. Acesso em 20 fev. 2019.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. DRONES - Páginas Temáticas – Drone. ANAC, 2018. Disponível em <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ANDRADE, J. B. Fotogrametria. Curitiba: SBEE, 1998.

BAKKER, M. P. R. **Cartografia noções básicas**. Rio de Janeiro: 1965. 242 p.

COELHO, L.; BRITO, J. N. Fotogrametria digital. Ed. UERJ. 2007. 196 p.

COLOMINA, I.; MOLNA, P.. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v.92, p.79-97, 2014.

DECEA – **DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO**. Portaria DECEA Nº 282/DGCEA, de 22 de dezembro de 2016. Aprova a reedição da ICA 100-40, que trata dos “Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. Publicado no BCA, Brasília, DF, 02 fev. 2017.

Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais (ET- ADGV). Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia. Brasília – DF, 2ª edição, 2011

EXÉRCITO BRASILEIRO. DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. EB80-N-72.003: norma da especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais vetoriais de defesa da força terrestre (ET-ADVG DEFESA F Ter). 2.ed. Brasília, 2016.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, p. 41-48, 1994.

GRIPP JR, Joel. Ortorectificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **O novo modelo de ondulação geoidal do Brasil: MAPGEO2015**. Rio de Janeiro, RJ, nov. 2015. Disponível em: < [ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelos\\_digitais\\_de\\_superficie/modelo\\_de\\_ondulacao\\_geoidal/carto\\_grama/rel\\_mapgeo2015.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelos_digitais_de_superficie/modelo_de_ondulacao_geoidal/carto_grama/rel_mapgeo2015.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2019

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

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3, p. 469–483, 2009.

SATO, S.S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais**. 2003. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Transportes) – 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

TOMMASELLI, A. M. G. Fotogrametria Básica. Presidente Prudente: Departamento de Cartografia, 1999.

ZANETTI, J. **Influência do Número e Distribuição de Pontos de Controle em Ortofotos Geradas a Partir de um Levantamento por Vant**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 84 p. Viçosa, 2017.

## 4 – ARTIGO 2: EXTRAÇÃO DA INFORMAÇÃO POSICIONAL DE PONTOS DE PROJEÇÃO CARTOGRÁFICA GERADAS EM ROTINAS DE PROCESSAMENTO PARA GERAÇÃO DE ORTOFOTOS

### 4.1 - RESUMO

As Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), têm sido amplamente utilizadas na geração de ortofotos e modelos digitais de elevação (MDE), que subsidiam as análises geoespaciais. Ocasionalmente, estas análises requerem levantamentos rápidos, o que inviabiliza o uso de RPA associado a pontos de apoio para a correção da posição, ajuste e avaliação da qualidade dos ortofotos e MDE. Atualmente é possível a geração automatizada destes produtos por meio do uso de rotinas preestabelecidas disponíveis em programas especializados na manipulação das imagens obtidas com RPA. Dessa forma, a presente pesquisa se justifica pela carência de análises efetivas do processamento de imagens coletadas com RPA, no qual poderá contribuir metodologicamente com a qualidade do mapeamento. Portanto, o objetivo deste trabalho foi extrair a informação posicional de pontos de projeção cartográfica geradas em rotinas de processamento para a geração de ortofotos no *software Agisoft Metashape*. Após o processamento das imagens, os resultados com ambas rotinas se mostraram satisfatórias para extração das informações geográficas, porém apenas as rotinas de alto rigor de qualidade se mostram como uma importante ferramenta no auxílio na atualização cadastral. Contudo, para o mapeamento de áreas rurais o processamento pode ser realizado nas cinco rotinas de processamento (Lowest, Low, Medium, High e UltraHigh).

**Palavras-chave:** Qualidade. RPA. Acurácia. IPTU.

### 4.2 - ABSTRACT

Remotely Piloted Aircraft (RPA), have been widely used in the generation of orthophoto and digital elevation models (MDE), which subsidize geospatial analysis. Occasionally, these analyzes require quick surveys, which makes the use of RPA associated with support points impossible to correct the position, adjust and assess the quality of orthophoto and MDE. Currently, the automated generation of these products is possible through the use of pre-established routines available in programs specialized in the manipulation of images obtained with RPA. Thus, this research is justified by the lack of effective analysis of the processing of images collected with RPA, in which it may contribute methodologically to the quality of the mapping. Therefore, the objective of this work was to extract positional information from cartographic projection points generated in processing routines for the generation of orthophoto in the Agisoft Metashape software. After processing the images, the results with both routines proved to be satisfactory for the extraction of geographic information, however only high-quality routines are shown as an important tool in helping to update the registration. However, for mapping rural areas, processing can be performed in the five processing routines (Lowest, Low, Medium, High and UltraHigh).

**Key-Words:** Quality. RPA. Accuracy. IPTU.

### 4.3 - INTRODUÇÃO

O uso de Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), pode ser entendido como uma evolução no mapeamento aéreo, similar à aerofotogrametria convencional. Embora a aerofotogrametria apresente uma série de aplicações nos mais diferentes campos e ramos da ciência geográfica, sua maior aplicação é no mapeamento topográfico, aplicação esta que também passa ser realizada com o RPA.

Este tipo de aeronave revolucionou o mapeamento de áreas na mesma proporção que os equipamentos de Sistema de Posicionamento Global (GPS) fizeram com a geodésia, topografia e agrimensura nas últimas décadas. Dos produtos que podem ser obtidos com o uso de RPA, dois se destacam nas análises geoespaciais, a ortofoto e o Modelo Digital de Elevação (MDE). O ortomosaico corresponde ao mosaico das ortofotos e o MDE, a imagem na qual cada pixel apresenta um valor relativo à altitude da superfície modelada (SOPCHAKI, 2016).

De acordo com Gripp Jr. (2009), um Modelo Digital de Elevação (MDE) é a representação da superfície da Terra, no modo digital, cuja característica principal é descrever a morfologia de uma área qualquer de forma contínua visando representar a altimetria sem a cobertura vegetal e/ou edificações. Enquanto que o Modelo Digital de Superfície (MDS), segundo Cruz et al. (2011), representa a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos, como árvores e construções, onde o topo desses objetos será representado como a superfície do terreno.

Estes materiais servem de base para obtenção de medidas planimétricas e altimétricas que subsidiam as análises geoespaciais. Assim, podem ser utilizados na delimitação de áreas de risco (SOLOMON et al., 2002), quantificação de cicatrizes de movimentos de massa (LUCIEER; JONG; TURNER, 2014), definição de áreas de proteção permanente (APP) (CÂNDIDO; DA SILVA; FILHO, 2015) e extração de informação geográfica a partir da ortofoto gerada para auxílio na atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário – CTM (ZANETTI, 2017).

Contudo, um problema recorrente encontrado na geração das ortofotos são as de análise efetiva do número e distribuição dos pontos de apoio e da análise da acurácia e discrepâncias posicionais das ortofotos, pois podem acabar trazendo incertezas quanto à qualidade do mapeamento. No entanto, análises efetivas sobre o processamento das imagens para geração das ortofotos não são encontradas. Dessa forma, a presente pesquisa se justifica pela carência de análises efetivas do processamento de imagens obtidas de sensor a bordo de RPA, no qual poderá contribuir metodologicamente com a qualidade do mapeamento.

No processamento dos dados, o *software* faz processo de decisão no qual um grupo de *pixels* é definido como pertencente a uma determinada classe. Nesse sentido, os sistemas computacionais auxiliam o usuário na interpretação da imagem. Para Richards (1986), esta classificação consiste em rotular os *pixels* de uma cena a partir de suas características espectrais, sendo que essa categorização é implementada por um programa computacional habilitado para reconhecer os *pixels* espectralmente similares. Segundo Novo (1989), as técnicas de classificação digital implicam na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos (*pixels*) a uma determinada classe.

Segundo Jassen (2009), a estereocorrelação automática, isto é, o grupo de *pixels* pertencentes a uma determinada classe utilizados para criar um Modelo Digital de Elevação - MDE, funciona bem quando o terreno está livre de árvores, edificações, viadutos, pontes, etc., os quais se elevam acima do terreno nominal. Mas quando tais objetos estão presentes, os algoritmos assumem-se como pertencentes ao terreno e computam a paralaxe diferencial e a altura resultante de tais superfícies. Ou seja, as alturas são então inseridas no MDE.

Ainda segundo o autor, quanto maior a escala da fotografia aérea e maior altura dos edifícios e das estruturas da área de estudo, maior a dificuldade para obter um MDE preciso do terreno. Os MDE's são mais precisos e requerem menos edição quando produzidos para áreas rurais que não apresentam cobertura arbórea densa ou estruturas artificiais (edifícios, pontes, etc.). Como por exemplo, pode-se considerar o MDE de alta qualidade extraído da fotografia aérea de grande escala com poucas árvores e edifícios.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi extrair a informação posicional de pontos de projeção cartográfica geradas em rotinas de processamento para a geração de ortofotos no *software Agisoft Metashape*. Com isso, foi formando um banco de dados de qualidades distintas, onde permitirá realizar as análises de qualidade entre elas.

Assim, essa informação geográfica extraída das ortofotos, se for de qualidade, poderá auxiliar na atualização cadastral referente às propriedades tributáveis, que são os lotes (IPTU), os quais são imprescindíveis para o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) por conter uma descrição detalhada do território por meio da representação gráfica das parcelas, constituindo um importante referencial para caracterização da posse e da propriedade privada.

De acordo com Antunes (2007), um sistema cadastral atualizado possibilita desenvolver um Cadastro Técnico Multifinalitário como ferramenta de apoio à gestão pública municipal, permitindo analisar as potencialidades do município para um desenvolvimento sustentável, possibilitando assim, uma melhor gestão dos recursos e desenvolvimento dos diversos processos econômicos, jurídicos e técnicos envolvidos na dinâmica das cidades. Loch (1998) complementa afirmando que, o Cadastro Técnico Multifinalitário é uma área de pesquisa interdisciplinar, que envolve conhecimentos, desde as medidas cartográficas, até o nível do imóvel, a legislação que rege a ocupação do solo, bem como uma avaliação rigorosa da melhor forma de ocupação deste espaço para se obter o desenvolvimento da área.

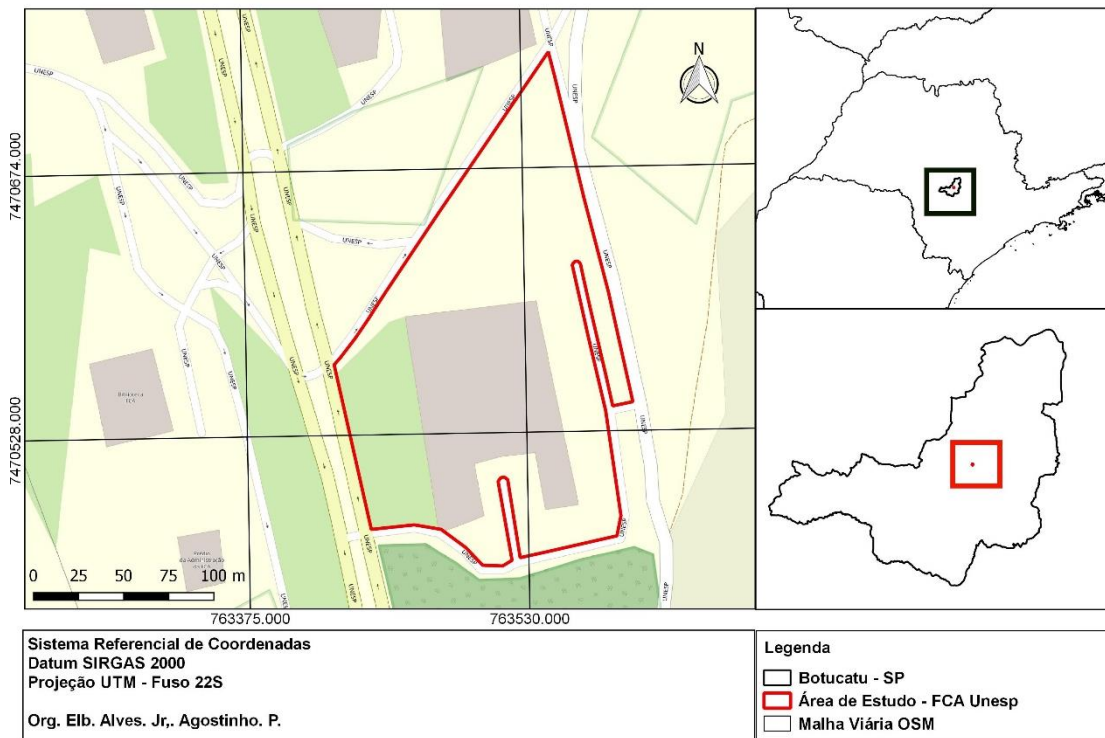
Em conformidade com Zanetti (2017), a principal característica de um Cadastro Técnico Multifinalitário é o suporte para o conhecimento do território, mediante informatização de um banco de dados públicos com informações confiáveis sobre as propriedades municipais. A cartografia associada ao banco de dados é fundamental para o registro oficial das informações que definem a realidade da propriedade, formando assim, o cadastro técnico.

#### **4.4 - MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **4.4.1 - Área de Estudo**

A área de estudo está localizada na Unesp - Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) – Campus de Botucatu – SP (Figura 13).

Figura 13 - Área de estudo localizada na FCA da Unesp em Botucatu – SP



#### 4.4.2 - Materiais utilizados

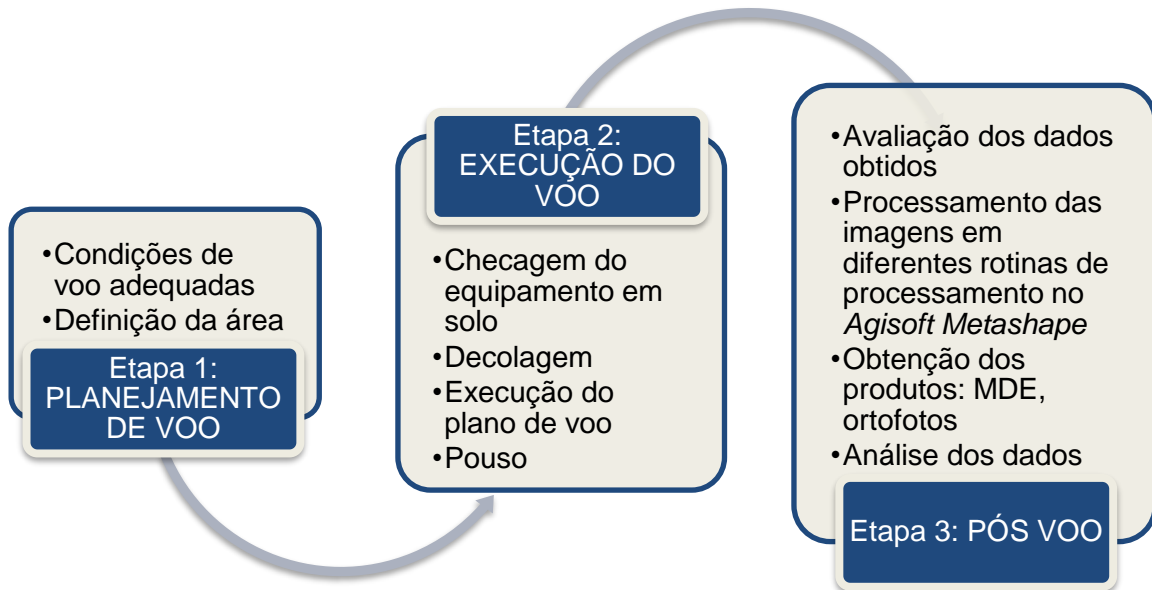
Os materiais utilizados foram:

- *Software QGis 2.18* 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, sendo do modelo *Phantom 4 Pro* da empresa *DJI*.

#### 4.4.3 - Metodologia

A Figura 14, apresenta de forma ilustrativa, as etapas e os procedimentos metodológicos implementados para atingir os objetivos propostos neste trabalho.

Figura 14 - Fluxograma da metodologia empregada para geração das ortofotos



Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

#### 4.4.4 - Aquisição das fotos com RPA

A metodologia utilizada para aquisição e processamento dos dados obtidos pelo RPA, está dividida em três etapas: (1) planejamento de voo; (2) execução do voo; e (3) pós voo. Conforme ilustradas no fluxograma da Figura 14.

A aeronaves utilizada para obter as imagens foi do tipo multirrotor, sendo do modelo *Phantom 4 Pro* da empresa DJI. Este modelo possui uma câmera de 20 *megapixels* integrada a aeronave. Este RPA é pilotado por um controle que é acoplado a um dispositivo tipo *IOS* ou *Android*, que apresenta o programa de navegação.

Atualmente, a regulamentação para a operação de tais equipamentos é dada pela Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40/2017. Esse documento visa esclarecer os procedimentos necessários para realização dos voos de RPA (DECEA, 2017). Segundo a ANAC (2018), sua proposta tem o objetivo de viabilizar as operações das Aeronaves Remotamente Pilotadas, garantindo que haja segurança para as pessoas. Para tal, as regras que serão estabelecidas estão de acordo com o nível de complexidade e o risco envolvido nas operações.

#### 4.4.5 - Processamento dos dados

A metodologia utilizada para aquisição e processamento dos dados obtidos pelo RPA, está dividida em três etapas conforme exemplificado na Figura 14. O processamento de dados no *software* foi realizado no Datum SIRGAS 2000, no sistema de projeção Universal Transverso de Mercator (UTM) do fuso 22 do hemisfério sul.

O processamento dos dados aerofotogramétrico foi totalmente realizado no *software Agisoft Metashape*. Segundo *Agisoft LLC* (2016), o *Software Agisoft Metashape* foi desenvolvido pela empresa russa *Agisoft LLC* para criar conteúdo tridimensional a partir de imagens estáticas. 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.

Foram aplicadas rotinas de processamento sugerida pelo *software*, conforme os parâmetros adotados na Tabela 10. Estas rotinas envolvem a orientação das fotos (*Align Photos*), identificação e densificação de pontos homólogos (*Build Dense Cloud*), geração dos modelos (*Build Mesh, Build DEM*), geração das curvas de nível (*Build Contours*) e geração das ortofotos (*Build Orthomosaic*).

Tabela 10 - Parâmetros adotados nas rotinas de processamentos das imagens

<b>Align Photo</b>	<b>General</b>	<i>Accuracy</i>	<i>Highest</i>
		<i>Pair preselection</i>	<i>Enabled</i>
	<b>Advanced</b>	<i>Key point limit</i>	<i>40,000</i>
		<i>Tie point limit</i>	<i>4,000</i>
		<i>Apply masks to Adaptive camera model fitting</i>	<i>None</i> <i>Enabled</i>
<b>Build Dense Cloud</b>	<b>General</b>	<b>Quality</b>	<b>Lowest - Rotina 1</b>
	<b>Advanced</b>	<i>Depth filtering</i>	<i>Mild</i>
		<i>Reuse depth maps</i>	<i>Disabled</i>
	<b>General</b>	<b>Quality</b>	<b>Low - Rotina 2</b>
	<b>Advanced</b>	<i>Depth filtering</i>	<i>Mild</i>
		<i>Reuse depth maps</i>	<i>Disabled</i>
	<b>General</b>	<b>Quality</b>	<b>Medium - Rotina 3</b>
	<b>Advanced</b>	<i>Depth filtering</i>	<i>Mild</i>
		<i>Reuse depth maps</i>	<i>Disabled</i>
	<b>General</b>	<b>Quality</b>	<b>High - Rotina 4</b>
	<b>Advanced</b>	<i>Depth filtering</i>	<i>Mild</i>
		<i>Reuse depth maps</i>	<i>Disabled</i>
<b>General</b>	<b>Quality</b>	<b>Ultra High - Rotina 5</b>	
<b>Advanced</b>	<i>Depth filtering</i>	<i>Mild</i>	
	<i>Reuse depth maps</i>	<i>Disabled</i>	
<b>Build Mesh</b>	<b>General</b>	<i>Surface type</i>	<i>Arbitrary</i>
		<i>Source data</i>	<i>Dense cloud</i>
		<i>Face count</i>	<i>Low</i>
<b>Build DEM</b>	<b>Projection</b>	<i>Geographic</i>	<i>Sirgas 2000 / UTM zone 22S</i>
	<b>Parameters</b>	<i>Source data</i>	<i>Mesh</i>
		<i>Interpolation</i>	<i>Enabled (default)</i>
		<i>Point classes: All</i>	<i>Disabled</i>
<b>Build Orthomosaic</b>	<b>Parameters</b>	<i>Surface</i>	<i>DEM</i>
		<i>Blending mode</i>	<i>Mosaic (default)</i>
		<i>Enable hole filtering</i>	<i>Enabled</i>
		<i>Pixel size (m)</i>	<i>Enabled</i>
		<i>Setup boundaries</i>	<i>Disabled</i>

Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

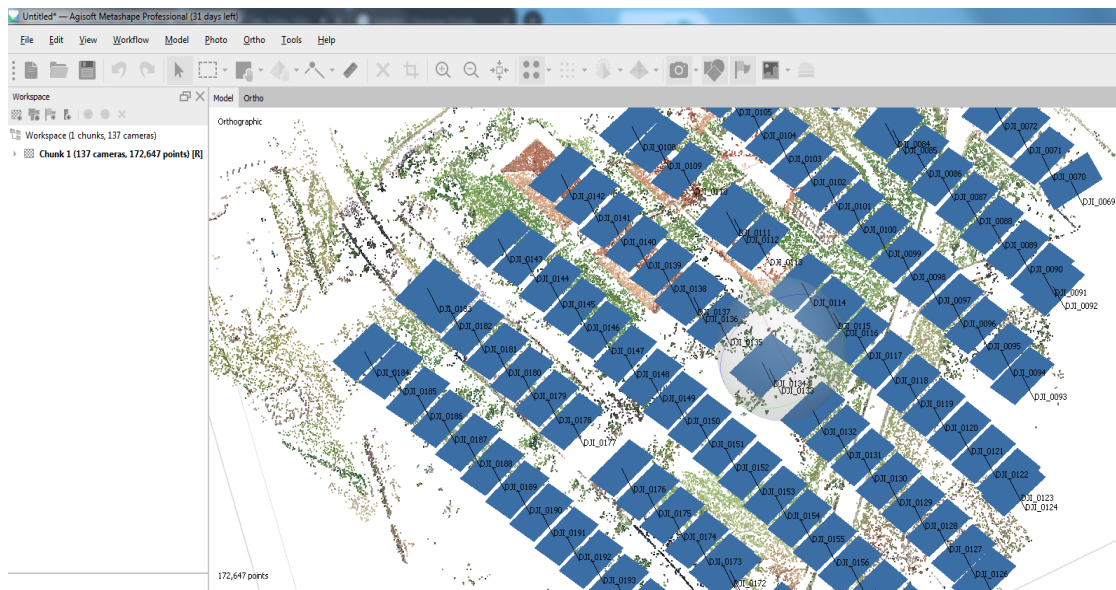
Estas rotinas fazem parte da ferramenta “fluxo de trabalho” fixado na barra de ferramentas do *software*, nela estão reunidas as etapas que foi utilizada no processamento até a geração da ortofoto. Assim, após o carregamento das fotografias coletadas com o RPA, foram realizados os procedimentos a seguir.

#### 4.4.6 - Alinhamento das imagens

O primeiro procedimento foi o *Align Photo*, exemplificado na Figura 15, que utiliza as informações de metadados incorporados nas fotografias. O resultado foi a geração da nuvem de “*tie points*” ou pontos fotogramétricos, no qual sua função é materializar o sistema de coordenadas do terreno. Por isso, recomenda-se nesta etapa o máximo de rigor no alinhamento (em detrimento ao tempo de processamento), visando assim melhor qualidade da futura ortofoto.

Segundo Cassemiro; Pinto (2014), o *software* utiliza algoritmos de identificação de pontos comuns, que permitem fazer a orientação relativa das imagens. Segundo estes autores, para a composição do alinhamento perfeito é necessária à sobreposição entre 55% a 65% sobre as fotos tiradas longitudinalmente e de 20% a 40% sobre as fotos sobrepostas lateralmente. No entanto, a sobreposição lateral utilizada foi de 75% e a sobreposição longitudinal de 65% entre as imagens.

Figura 15 - Vista do software Agisoft Metashape, fotografias alinhadas



Fonte: AGISOFT LLC, 2019. Organizado por Agostinho Prado Alves Junior (em 12/2019)

Efetuada a autocalibração da câmera, com a determinação de uma distância focal melhorada, os retângulos azuis, indicam a localização das câmeras no momento da aquisição das fotografias, esse processo é feito automático pelo *software*.

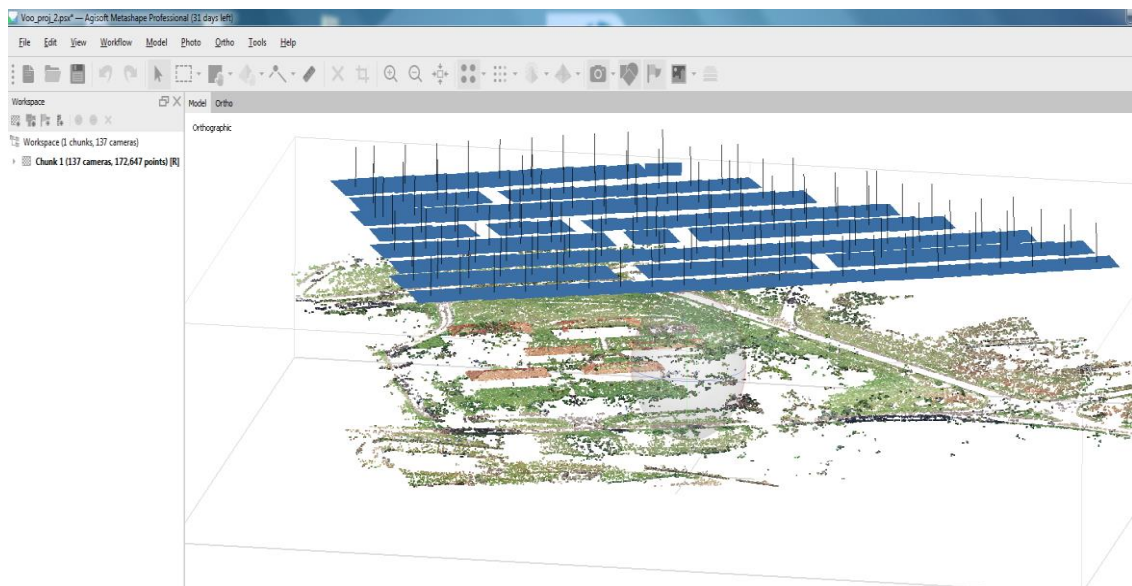
#### 4.4.7 – Construção da nuvem densa

A construção da *Build Dense Cloud* baseia-se na posição relativa de cada fotografia, assim é construída a nuvem de pontos densa, que possibilita determinar

informação de profundidade e completar a nuvem esparsa anterior. Ou seja, o software irá aumentar a quantidade de pontos na nuvem de pontos, diminuindo os espaços vazios para representar melhor a área mapeada.

Por isso, nesta etapa foi utilizados os cinco rigores de qualidade para sua construção, culminando em bancos de dados com variação nos números total de pontos, isto é, com qualidades diferentes. A nuvem de pontos que foi gerada nesta etapa constitui-se como base para o Modelo Digital de Elevação (MDE). A Figura 16 exemplifica o processamento do *Build Dense Cloud* em um desses rigores de qualidade.

Figura 16 - Vista do software Agisoft Metashape, nuvens de pontos densa



Fonte: AGISOFT LLC, 2019. Organizado por Agostinho Prado Alves Junior (em 12/2019)

O tempo de processamento dessa etapa teve uma variação, pois o processamento está diretamente ligado ao material bruto do levantamento com imagens de alta definição e o tipo da qualidade utilizada para construir a nuvem densa de pontos. Por isso, o *software* necessita de equipamento com boas configurações de *hardware*.

A etapa de tratamento de dados está altamente vinculada à capacidade de processamento do computador utilizado, sendo, portanto, de grande variação em virtude da velocidade dos processadores. Almeida (2014) ressalta que para o caso específico do DEM por fotogrametria terrestre, o computador a ser utilizado deverá conter memória compatível com a quantidade de fotos coletadas. A Tabela 11 contém

os dados de variação de tempo realizadas nesta etapa da construção das nuvens densa de pontos para as rotinas de processamento.

Tabela 11 - Tempo de processamento *Build Dense Cloud*

Rotinas	Imagens	Altura (m)	Resolução (cm/pixel)	Qualidade	Tempo de Processamento	Quantidade de Pontos
1	139	62,9	1,66	Lowest	0',37"	1,379,412
2	139	62,9	1,67	Low	1'44"	5,691,318
3	139	62,9	1,67	Medium	4'46"	22,480,428
4	139	62,9	1,67	High	19'16"	89,002,793
5	139	62,9	1,67	Ultra-High	1,23'0"	359,491,568

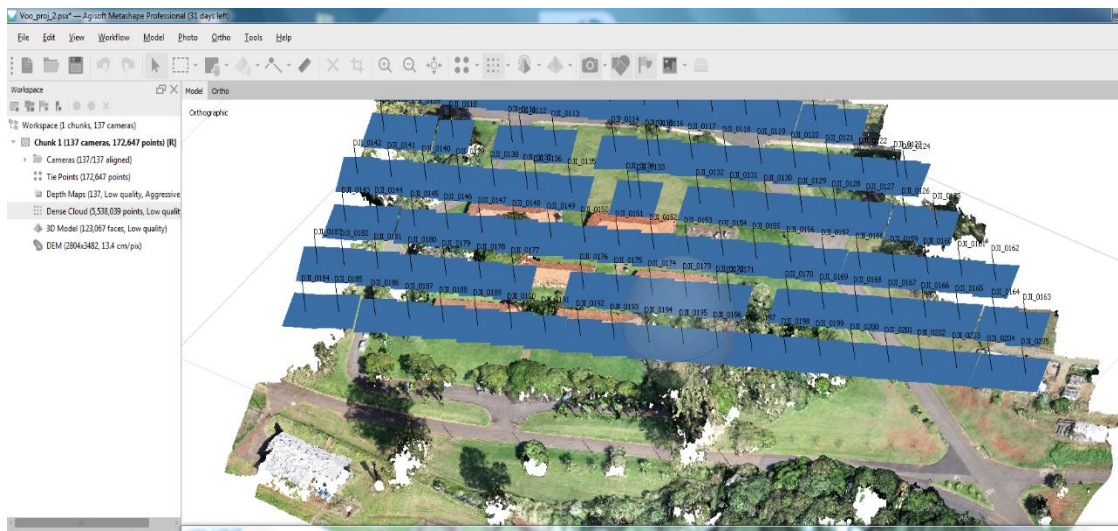
Fonte: Agostinho Prado Alves Junior

Portanto, quanto mais denso é o banco de dados (nuvem densa de pontos), maior o tempo de processamento. Consequentemente, maior qualidade do mapeamento.

#### 4.4.8 – Construção do modelo poligonal do terreno

A construção do modelo consiste basicamente na construção da malha poligonal do terreno mapeado tridimensionalmente. Por isso, nesta etapa foi utilizado baixo rigor, proporcionando menor números de triângulos e isolinhas altimétricas mais suavizadas, pois os pontos da nuvem densa são ligados, de modo a construir uma malha recorrendo a algoritmos de triangulação (Figura 17).

Figura 17 - Vista do software Agisoft Metashape, malha tridimensional

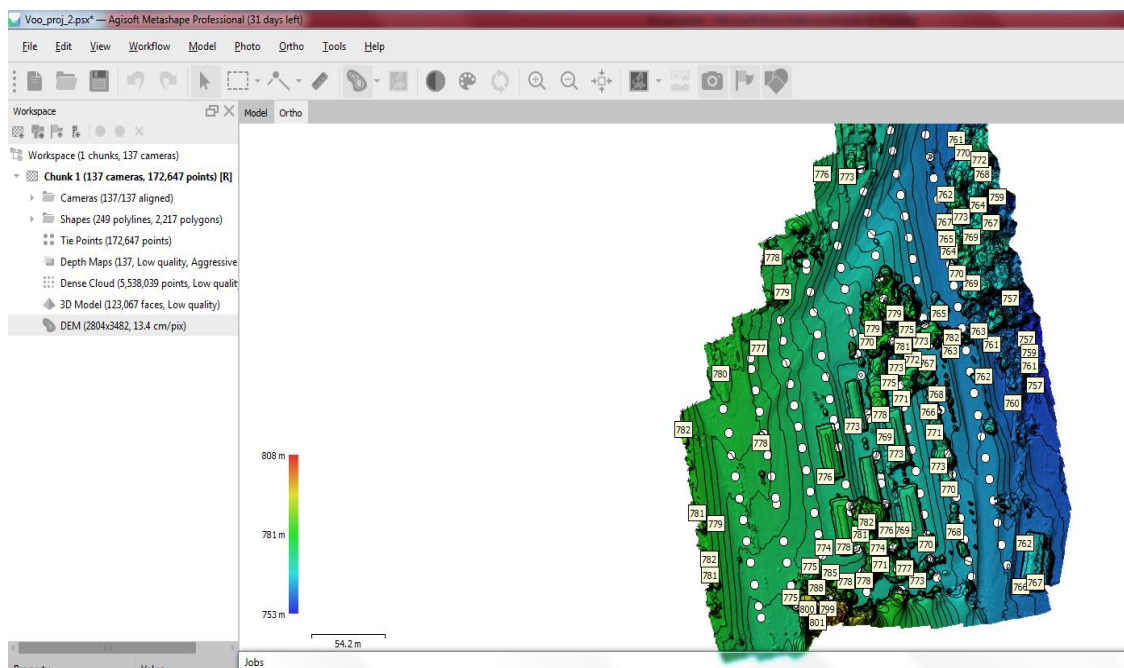


Fonte: AGISOFT LLC, 2019. Organizado por Agostinho Prado Alves Junior (em 12/2019)

#### 4.4.9 – Construção do modelo digital de elevação (DEM)

Na construção do Modelo Digital de Elevação (MDE) os produtos gerados são uma representação bidimensional em formato *raster* (imagem), sendo o Modelo Digital de Terreno (MDT) e o Modelo Digital de Superfície (MDS). Com o MDT é possível gerar as curvas de nível (Figura 18).

Figura 18 - Vista do software Agisoft Metashape, DEM



Fonte: AGISOFT LLC, 2019. Organizado por Agostinho Prado Alves Junior (em 12/2019)

Assim, a última etapa “*Build Orthomosaic*” consiste na geração da ortofoto a partir do MDE gerado no procedimento anterior.

#### 4.4.10 - Atualização cadastral referente as propriedades tributáveis

Segundo Zanetti (2017), os métodos de atualização podem ser classificados em: cíclico, seletivo e contínuo. No método cíclico a atualização é realizada em intervalos de tempo pré-definidos. No método seletivo, a atualização é realizada segundo uma ordem de prioridades e no método contínuo, a carta é mantida em constante atualização. Sem dúvida, a atualização contínua é a mais recomendada, porém em alguns casos é a de maior custo e em outros casos, de difícil implantação. A utilização deste ou daquele método dependerá da dinâmica de alteração superficial,

da finalidade das cartas e dos recursos disponibilizados para atualização. (ROBBI, 1990).

Neste contexto, as ortofotos geradas por RPA permitem a identificação de elementos (feições) do espaço físico que ao longo dos anos passam por modificações notáveis, como: trechos de rodovia, edificações, vegetação, etc., visando à atualização de bases cartográficas.

No âmbito da cartografia urbana, que necessita de mapas de grandes escalas, este problema se agrava, por se tratar de um ambiente onde há alterações a todo o momento. Todas essas alterações devem estar contidas nas cartas cadastrais. Com as cartas cadastrais, muitos setores que compõem a administração municipal podem extrair informações e tomar decisões apoiadas nos dados identificados. Daí a necessidade de se ter dados atualizados constantemente para que seja possível trabalhar com dados que condizem com a realidade e sem distorções dos objetos mapeados.

## **4.5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.5.1 – Extração das informações geográficas a partir das rotinas de processamento**

Os processamentos das fotografias aéreas obtidas com o RPA seguiram os passos descritos na Tabela 10. As fotografias foram processadas por meio de algoritmos computacionais de classificações de padrões e reconstrução tridimensional do terreno, oriundos do *software Agisoft Metashape*.

Os resultados obtidos com o mapeamento da área de estudo apresentaram variação de densidade. Isto é, as posições das informações relativas de cada fotografia, o que refletiu sobre a qualidade das ortofotos geradas, cuja estas informações tem maior importância para análises de identificação de elementos (feições), que podem ser utilizadas na atualização cadastral referente às propriedades tributáveis, que são os lotes (IPTU). Nesta etapa, o processamento realizado nas cinco rotinas de processamento (*Lowest, Low, Medium, High e Ultra-High*) gerou cinco produtos com variações no número total de pontos, de 1.379.472 milhões de pontos na rotina (*Lowest*) para 359.491.568 milhões de pontos na rotina (*Ultra-High*), conforme apresentado na tabela 11.

As Figuras 19, 20, 21, 22 e 23 apresentam as ortofotos geradas a partir das diferentes rotinas de processamento para extração da informação geográfica.

Figura 19 - Ortofoto gerada por meio da rotina (1) de processamento Lowest

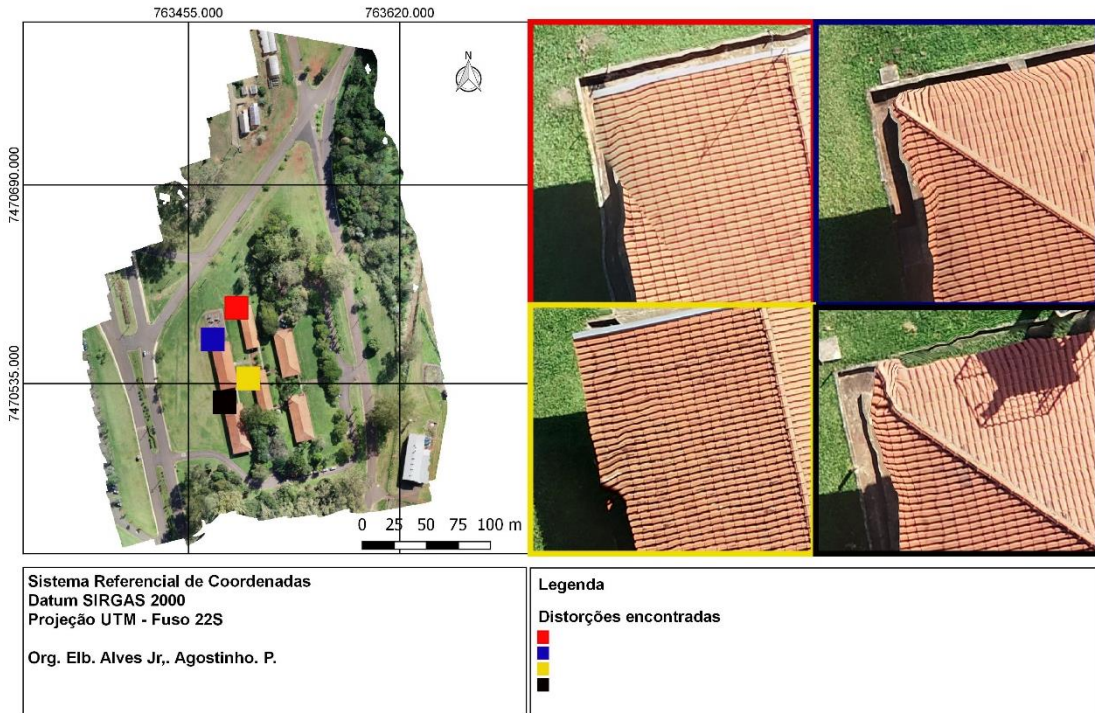


Figura 20 - Ortofoto gerada por meio da rotina (2) de processamento Low

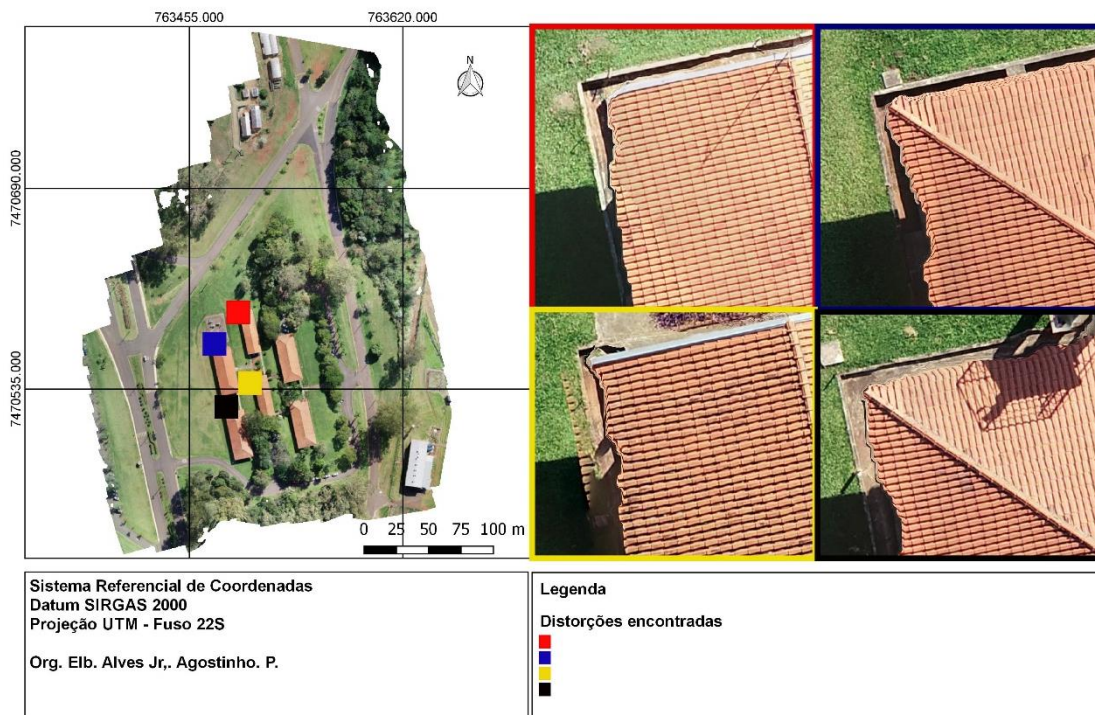


Figura 21 - Ortofoto gerada por meio da rotina (3) de processamento Medium

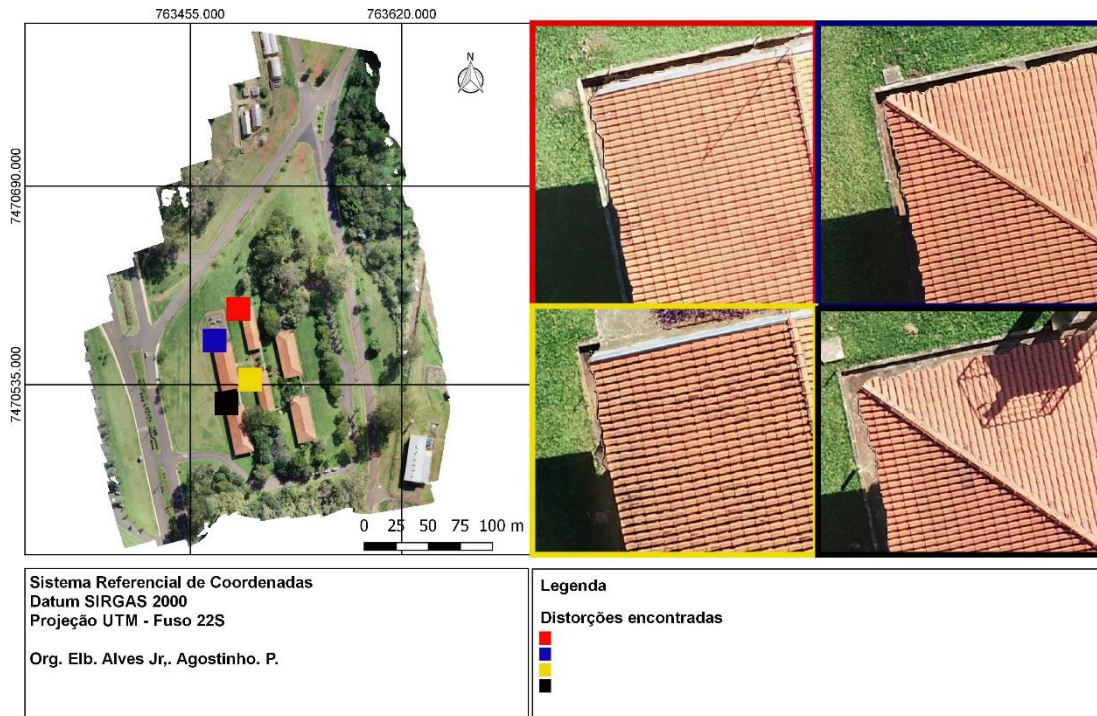


Figura 22 - Ortofoto gerada por meio da rotina (4) de processamento High

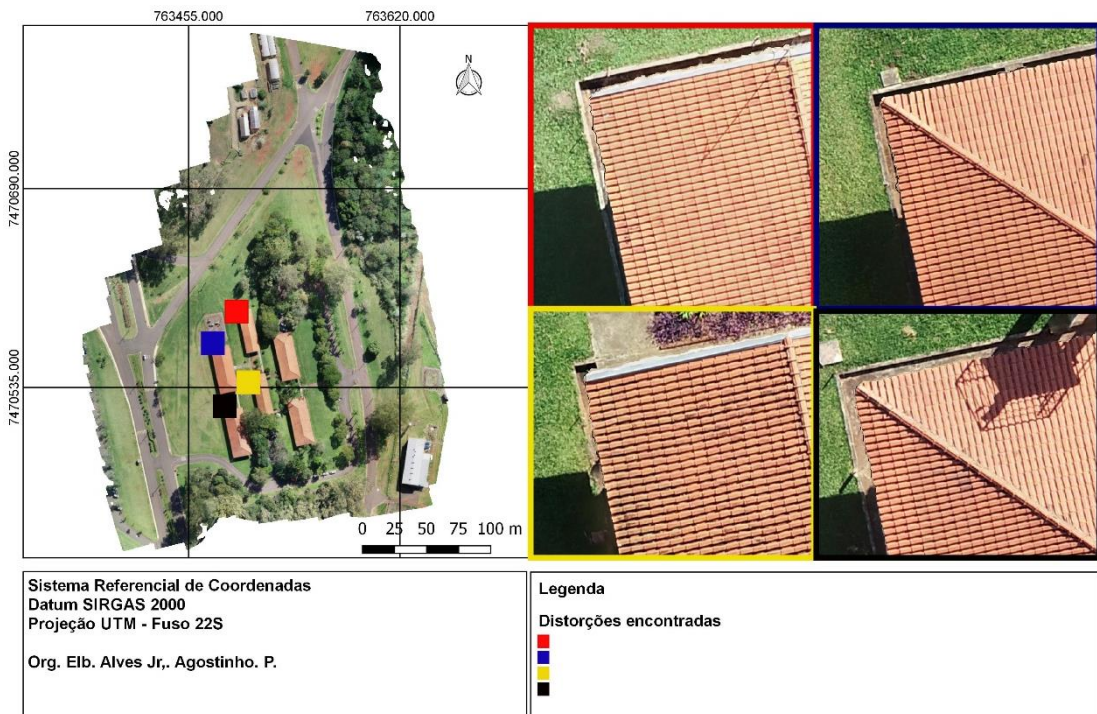
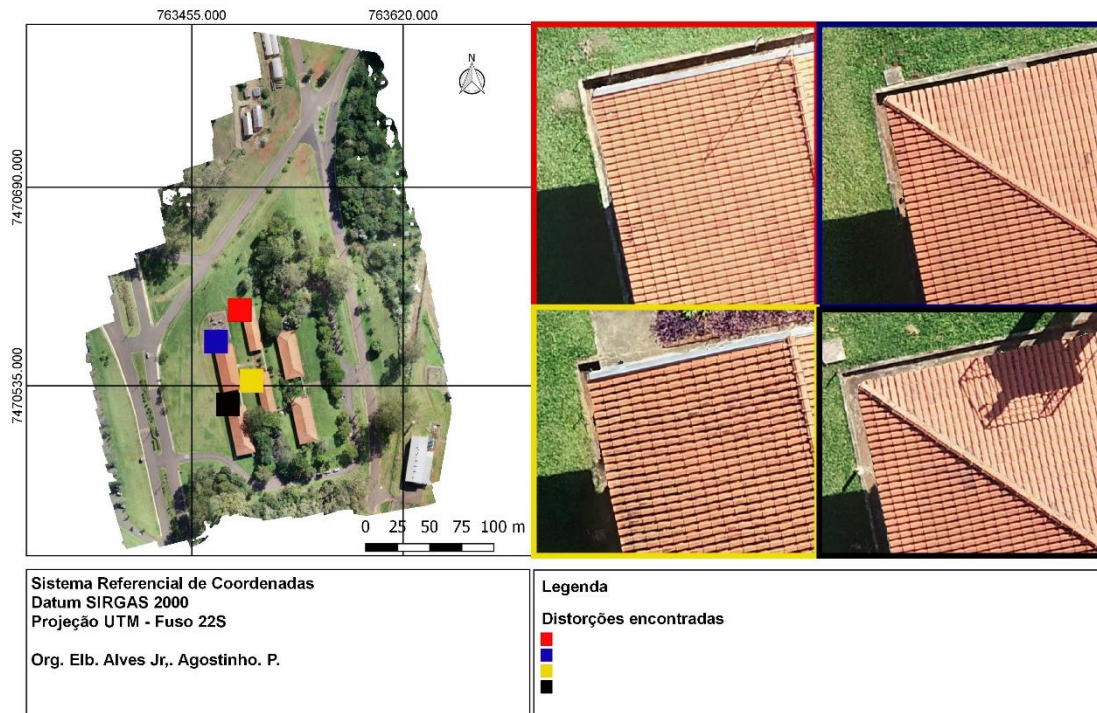


Figura 23 - Ortofoto gerada por meio da rotina (5) de processamento *Ultra-High*



Quanto ao resultado dos processamentos destas ortofotos obtidas por sensor a bordo de RPA, observa-se uma margem de distorções, principalmente para identificação das feições (áreas edificadas). Nota-se que os produtos finais tiveram distorções de geometria em alguns pontos, em particular nas extremidades. Ou seja, as distorções estão relacionadas particularmente pelas rotinas de processamento.

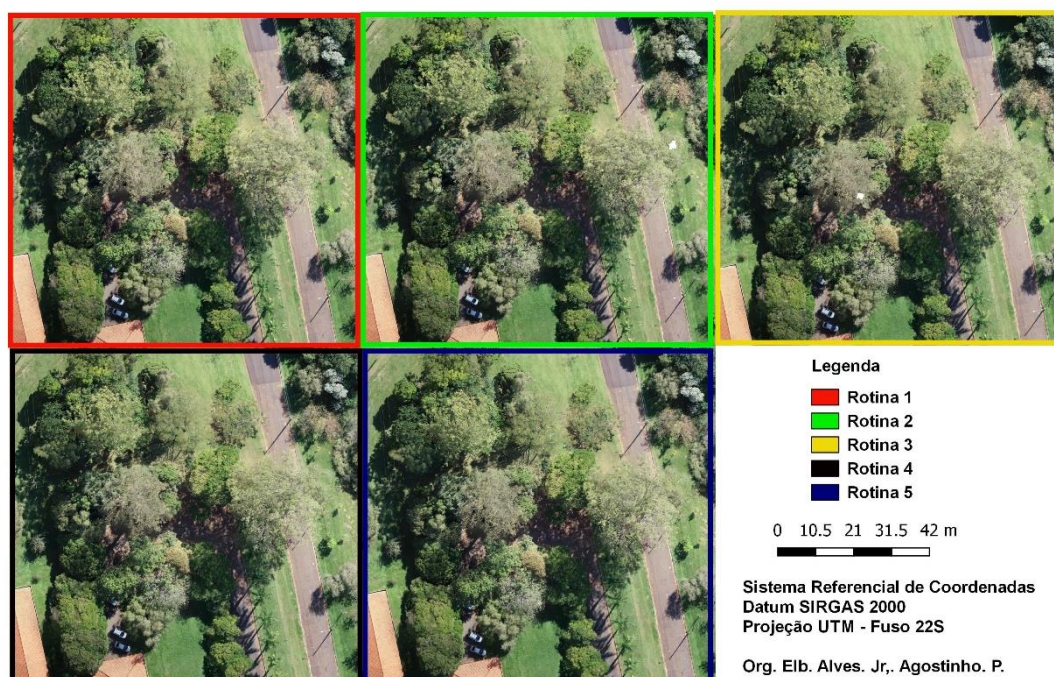
Por isso, conclui-se que nas rotinas de processamento com maior rigor de qualidade (*High e Ultra-High*), tiveram distorções suavizadas e/ou quase não foram identificadas. Diferente das rotinas de baixo rigor (*Lowest, Low e Medium*), onde as distorções foram mais perceptíveis. Isso ocorre quando as posições das imagens e as inclinações da câmera do RPA são adversas e também no processamento das ortofotos, particularmente na construção do *Build Dense Cloud*. Isto é, na densidade das informações onde a posição relativa de cada fotografia é construída, possibilitando determinação da informação a fim de representar melhor a área mapeada.

Assim, as informações geográficas extraídas das ortofotos processadas em alto rigor de qualidade, se mostram como uma importante ferramenta no auxílio na atualização cadastral referente às propriedades tributáveis, que são os lotes (IPTU), os quais são imprescindíveis para o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM).

Principalmente, por permitir identificar e analisar as feições da área urbana, constituindo assim um importante referencial para caracterização da posse e da propriedade privada.

Contudo, nas distorções apresentadas nas ortofotos processadas nas rotinas de baixo rigor de qualidade da nuvem densa de pontos, não as impedem que sejam consideradas como material cartográfico, já que as mesmas disponibilizam de informações da área mapeada obtidas pelos sensores de imageamento acoplado no RPA. Por meio dos modelos digitais, nuvens de pontos e ortofoto, podem se obter informações de relevo, distâncias e tipos de vegetação ou culturas. Estas informações podem ser percebidas na Figura 24.

Figura 24 - Áreas naturais extraídas por meio das rotinas de processamento



No entanto, apenas se forem para projetos de áreas rurais, já que nas áreas naturais as distorções foram suavizadas, mesmo em baixo rigor de qualidade de processamento.

#### 4.6 – CONCLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que a informação posicional de pontos de projeção cartográfica obtidas com Aeronaves Remotamente Pilotas (RPA) geradas

em rotinas de processamento no *software Agisoft Metashape* para a geração de ortofotos permite extrair as informações geográficas. No entanto, a partir do banco de dados formado, apenas as ortofotos geradas com alto rigor de qualidade se mostram como uma importante ferramenta no auxílio na atualização cadastral. Permitindo, pois, que sua utilização possa colaborar no auxílio do Cadastro Territorial Multifinalitário de pequenas cidades sob o ponto de vista de eficiência, qualidade e viabilidade econômica.

Contudo, em se tratando de mapeamento de áreas rurais para a escala até 1:500 o processamento pode ser realizado nas cinco rotinas de processamento (*Lowest, Low, Medium, High e Ultra-High*), pois, como visto, nas ortofotos geradas não foram encontradas grandes distorções nas feições, não as impedindo de extrair as informações da área mapeada mesmo nas rotinas de processamento de baixo rigor de qualidade. Ao contrário do mapeamento de áreas urbanas, onde se procura um maior detalhamento dos objetos, por isso recomenda-se as rotinas de processamento seja com maior rigor de qualidade (*High e Ultra-High*).

Dessa forma, os resultados descritos nesta pesquisa permitiram analisar as ortofotos geradas por meio das rotinas de processamento, sendo perceptível a qualidade final entre eles. Por isso, antes do processamento dos dados por meio de *softwares* automatizados, deve ser levado em consideração a finalidade do mapeamento. Isto é, se o objetivo é obter melhor qualidade será necessário o controle do rigor deste atributo no processamento.

#### 4.7 – REFERÊNCIAS

AGISOFT LLC. **Agisoft PhotoScan User Manual**. Professional Edition, Version 1.2, p. 37, 2016. Disponível em: <[www.agisoft.ru](http://www.agisoft.ru)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ALMEIDA, I de C. Estudo sobre o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários. 2014, 137f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Católica de Pernambuco. Recife-PE, 2014.

ANAC - AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Regras da ANAC para uso de drones. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release\\_drone.pdf/view](http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf/view)>. Acesso em 20 fev. 2019.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. DRONES - Páginas Temáticas – Drone. ANAC, 2018. Disponível em <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ANTUNES, A. F. B. Cadastro Técnico Urbano e Rural. Curso de Engenharia Cartografica, 2007.

BRASIL – Ministério das Cidades. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Portaria nº 511, de 07 de dezembro de 2009.

CÂNDIDO, A. K. A. A.; DA SILVA, N. M.; FILHO, A. C. P. Imagens de alta resolução espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. Anuario do Instituto de Geociencias, v. 38, n. 1, p. 147–156, 2015.

CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. Composição e processamento de imagens aéreas em alta resolução obtidas com drone. 2014, 79f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica), Universidade de Brasília (UNB). Brasília, DF, 2014.

CRUZ, C. B. M.; Barros, R. S.; Cardoso, F. V.; Reis, F. B.; Rosário, L. S.; Barbosa, S. S.; Rabaco, L. M. L.; Lourenço, J. S. Q. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba: INPE 2011. p. 5463, 2011.

DECEA – **DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO**. Portaria DECEA Nº 282/DGCEA, de 22 de dezembro de 2016. Aprova a reedição da ICA 100-40, que trata dos “Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. Publicado no BCA, Brasília, DF, 02 fev. 2017.

ERBA, D. A. **Cadastro multifinalitário como instrumento de política fiscal e urbana**. Rio de Janeiro, 2005. Ministério das cidades.

GRIPP JR, Joel. Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2009.

GRIPP JR, Joel. Ortorretificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2009

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

LOCH, C. Modernização do Poder Público Municipal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1998, Florianópolis. UFSC, 1998.

LUCIEER, A.; JONG, S. M. de; TURNER, D. Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multitemporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, v. 38, n. 1, p. 97–116, 2014

Manual de Apoio – CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros / Organizadores: Eglaisa Micheline Pontes Cunha e Diego Alfonso Erba – Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

NEVES, J. A. **Viabilidade de Uso do Drone em Levantamento Aerofotogramétrico: Estudo de caso com o Dji Phantom 2 Plus**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Geografia Regional, Universidade Federal de Goiás (UFG). Jataí, GO, 2017.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Jose dos Campos: Edgard Blücher, 1989.

RICHARDS, J. A. (1986). **Remote Sensing Digital Image Analysis: Na Introduction**. New York, Springer Verlag.

ROBBI, C. Atualização Cartográfica, In: lo Seminário Paranaense de Cadastro Técnico e Planejamento Municipal. Anais, Curitiba, 1990, p.65-73.

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; MAMO, T.; FRITZSCHE, F.; ZECH, W. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. *Geoderma*, v. 105, n. 1–2, p. 21–48, 2002

SOPCHAKI, C. H. **Influência do N Amostral e das Características do Relevo na Qualidade de Modelos Digitais do Terreno**. Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 161 f. Curitiba, 2016.

ZANETTI, J. **Influência do Número e Distribuição de Pontos de Controle em Ortofotos Geradas a Partir de um Levantamento por Vant**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 84 p. Viçosa, 2017.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT LLC. **Agisoft PhotoScan User Manual**. Professional Edition, Version 1.2, p. 37, 2016. Disponível em: <[www.agisoft.ru](http://www.agisoft.ru)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ALVES, JR., Agostinho P. Avaliação da acurácia do georreferenciamento em pontos de controle de aerolevante realizado com aeronave remotamente pilotada - rpa. **XIII ENANPEGE**, São Paulo, 2019. Disponível em: <[https://www.enanpege2019.anpege.ggf.br/resources/anais/8/1562632863\\_ARQUIVO\\_ARTIGOENAMPEGE-AGOSTINHO.pdf](https://www.enanpege2019.anpege.ggf.br/resources/anais/8/1562632863_ARQUIVO_ARTIGOENAMPEGE-AGOSTINHO.pdf)>. Acesso em: 15 dez. 2019.

ALMEIDA, I de C. Estudo sobre o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários. 2014, 137f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Católica de Pernambuco. Recife-PE, 2014.

ANAC - AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Regras da ANAC para uso de drones. Disponível em: <[http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release\\_drone.pdf/view](http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf/view)>. Acesso em 20 fev. 2019.

ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. DRONES - Páginas Temáticas – Drone. ANAC, 2018. Disponível em <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 20 fev. 2019.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998.

ANTUNES, A. F. B. Cadastro Técnico Urbano e Rural. Curso de Engenharia Cartografica, 2007.

BAKKER, M. P. R. **Cartografia noções básicas**. Rio de Janeiro: 1965. 242 p.

BALTSAVIAS, E.; MASON, S.; STALLMANN, D. **Use of DTMs/DSMs and orthoimages to support building extraction**. In Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial Space Images, edited by A. Gruen, O. Kuebler & P. Agouris, 199-210. (eds) Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images. Monte Verità (Proceedings of the Centro Stefano Franscini Ascona). Birkhäuser Base. 1995.

BRASIL, Decreto nº89.817 de junho de 1984 - **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**, Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1984.

BRASIL – Ministério das Cidades. Diretrizes para a criação, instituição e atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) nos municípios brasileiros. Portaria nº 511, de 07 de dezembro de 2009.

BLACHUT. T.J. Cadastre as a basis of general land inventory of the coutry: in Cadastre: Functions, characteristics, techniques and planning of a land record system. Canadá, National Council, 1974. p. 01-21

CÂNDIDO, A. K. A. A.; DA SILVA, N. M.; FILHO, A. C. P. Imagens de alta resolução espacial de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. Anuario do Instituto de Geociencias, v. 38, n. 1, p. 147–156, 2015.

CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B. Composição e processamento de imagens aéreas em alta resolução obtidas com drone. 2014, 79f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Eletrônica), Universidade de Brasília (UNB). Brasília, DF, 2014.

COELHO, L.; BRITO, J. N. Fotogrametria digital. Ed. UERJ. 2007. 196 p.

COLOMINA, I.; MOLNA, P.. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, v.92, p.79-97, 2014.

COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA (CONCAR). Planejamento Estratégico 2005. Disponível em <<http://www.concar.ibge.gov.br/planejEstrategico.aspx>>. Acesso em 15 de julho de 2019.

COLWELL, R. N. History and Placem of Photographic Interpretation, in Manual of Photographic Interpretation, 2d Ed., W. R. Phillipson (Ed.), Bethesda: ASPRS, 33-48.

CUNHA, E. M. P; ERBA, D. A. Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

CRUZ, C. B. M.; Barros, R. S.; Cardoso, F. V.; Reis, F. B.; Rosário, L. S.; Barbosa, S. S; Rabaco, L. M. L.; Lourenço, J. S. Q. Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba: INPE 2011. p. 5463, 2011.

DA SILVA, P. C. R.; **O emprego de veículos aéreos não tripulados no Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**. Trabalho de conclusão do curso de formação de Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2015.

DECEA – **DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO**. Portaria DECEA Nº 282/DGCEA, de 22 de dezembro de 2016. Aprova a reedição da ICA 100-40, que trata dos “Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro”. Publicado no BCA, Brasília, DF, 02 fev. 2017.

Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais (ET- ADGV). Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia. Brasília – DF, 2ª edição, 2011

ERBA, D. A. **Cadastro multifinalitário como instrumento de política fiscal e urbana**. Rio de Janeiro, 2005. Ministério das cidades.

EXÉRCITO BRASILEIRO. DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. EB80-N-72.003: norma da especificação técnica para aquisição de dados geoespaciais

vetoriais de defesa da força terrestre (ET-ADVG DEFESA F Ter). 2.ed. Brasília, 2016.

FELGUEIRAS, C. A. “Modelagem Numérica de Terreno”. In: CÂMARA, G. & MEDEIROS, J. S. (eds.). “Geoprocessamento para Projetos Ambientais”. São José dos Campos: INPE, 1998. cap. 4, p. 4-1 – 4-38.

FELICÍSIMO, A. M. Modelos digitais del terreno. Oviedo: Pentalfa, 1994.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, p. 41-48, 1994.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, p. 41-48, 1994.

GRIPP JR, Joel. Ortorectificação de imagens de alta resolução para aplicação no cadastro técnico rural e mapeamento de área de preservação permanente e reservas legais. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Viçosa. 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cartas e Mapas**. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/folhastopograficas/15809-folhas-da-carta-do-brasil.html?=&t=sobre>>. Acesso 15 de julho de 2019.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **O novo modelo de ondulação geoidal do Brasil: MAPGEO2015**. Rio de Janeiro, RJ, nov. 2015. Disponível em: < [ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelos\\_digitais\\_de\\_superficie/modelo\\_de\\_ondulacao\\_geoidal/cartogramma/rel\\_mapgeo2015.pdf](ftp://geoftp.ibge.gov.br/modelos_digitais_de_superficie/modelo_de_ondulacao_geoidal/cartogramma/rel_mapgeo2015.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2019

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Diretoria de Ordenamento da Estrutura Fundiária Coordenação Geral de Cartografia - **Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. Ed 1. Brasília, Brasil, 2013.

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

LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato. Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

LOCH, C. Modernização do Poder Público Municipal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1998, Florianópolis. UFSC, 1998.

LOPES, J.M.M.S.A. Fotogrametria e Detecção Remota Aplicada à Prospeção Mineira. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2015.

LUCIEER, A.; JONG, S. M. de; TURNER, D. Mapping landslide displacements using Structure from Motion (SfM) and image correlation of multitemporal UAV photography. *Progress in Physical Geography*, v. 38, n. 1, p. 97–116, 2014

Manual de Apoio – CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros / Organizadores: Eglaisa Micheline Pontes Cunha e Diego Alfonso Erba – Brasília: Ministério das Cidades, 2010.

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

MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, n. 3, p. 469–483, 2009.

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

NETO, MANOEL SILVA. **Planejamento de voo: tudo o que você precisa saber**. Droneng, 2015. Disponível em: <<http://droneng.com.br/planejamento-de-voo/>>. Acesso em 10 de junho de 2019.

NEVES, J. A. **Viabilidade de Uso do Drone em Levantamento Aerofotogramétrico: Estudo de caso com o Dji Phantom 2 Plus**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Geografia Regional, Universidade Federal de Goiás (UFG). Jataí, GO, 2017.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Jose dos Campos: Edgard Blücher, 1989.

RICHARDS, J. A. (1986). **Remote Sensing Digital Image Analysis: Na Introduction**. New York, Springer Verlag.

ROBBI, C. Atualização Cartográfica, In: lo Seminário Paranaense de Cadastro Técnico e Planejamento Municipal. Anais, Curitiba, 1990, p.65-73.

ROBERTO, L. **Acurácia do posicionamento e da orientação espacial de veículos aéreos a partir de imagens de câmera de pequeno formato embarcada**. 2017. 160 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.

SANTOS, D. R. Sistemas referenciais e transformações geométricas nos espaços 2D e 3D. In: **Fotogrametria**. v.2, p.31-84, 2008.

SATO, S.S. **Sistema de controle de qualidade dos processos fotogramétricos digitais para produção de dados espaciais**. 2003. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Transportes) – 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

SOLOMON, D.; LEHMANN, J.; MAMO, T.; FRITZSCHE, F.; ZECH, W. Phosphorus forms and dynamics as influenced by land use changes in the sub-humid Ethiopian highlands. *Geoderma*, v. 105, n. 1–2, p. 21–48, 2002

SOPCHAKI, C. H. **Influência do N Amostral e das Características do Relevo na Qualidade de Modelos Digitais do Terreno.** Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 161 f. Curitiba, 2016.

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

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de classificação de imagens para análise de cobertura vegetal. In: VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. **Sistemas de informações geográficas – aplicações na agricultura.** 1. ed. Brasília: Embrapa – SPI/ Embrapa-CPAC. 1998.

WOLF, P.R.; DEWITT, B.A. *Elements of Fotogrammetry: with Application in GIS.* 3rd edition. USA: McGraw-Hill, 2004.

ZANETTI, J. **Influência do Número e Distribuição de Pontos de Controle em Ortofotos Geradas a Partir de um Levantamento por Vant.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. 84 p. Viçosa, 2017.