

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**AVALIAÇÃO DO USO DE RPA QUADRIMOTOR PARA
APLICAÇÕES DE MAPEAMENTO**

THIAGO LOPES

São Carlos

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

AVALIAÇÃO DO USO DE RPA QUADRIMOTOR PARA
APLICAÇÕES DE MAPEAMENTO

THIAGO LOPES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Edson Augusto Melanda

Co-orientador: Dr. Fábio Noel Stanganini

São Carlos

2019

*À minha esposa Graziella,
que comigo passou todos os momentos felizes,
também os momentos tristes e as incertezas,
mas sempre me apoiando.*

*Aos meus pais e irmão,
que me ensinaram tudo que sou, me apoiaram
e confiaram na minha capacidade.*

AGRADECIMENTOS

A produção deste trabalho foi possível graças à preciosa colaboração de diversas pessoas e instituições. Por isso, exponho meu reconhecimento e gratidão a todas elas.

Ao Prof. Dr. Edson Augusto Melanda pela orientação competente, pela dedicação e por todas as propostas e recomendações que foram essenciais para o andamento da pesquisa.

Ao Dr. Fábio Noel Stanganini pela coorientação precisa, competente e pela paciência com os períodos de questionamentos que foram imprescindíveis para o bom desenvolvimento da pesquisa.

Às empresas Lopes e Pécora Ltda. e Selet Engenharia e Topografia Ltda., pelo fornecimento das informações da área do aerolevanteamento e dos equipamentos utilizados nos levantamentos de campo.

Ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – USP pela possibilidade de cursar a disciplina isolada de Fotogrametria Analítica e Digital a qual foi ministrada pelo Prof. Dr. Irineu da Silva que me auxiliou muito na forma de como desenvolver a pesquisa.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar.

Aos colegas do programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana, pelo apoio nas disciplinas e trabalhos nesses dois anos de programa.

Aos demais amigos e familiares, pelo apoio e incentivo.

RESUMO

A partir da popularização da tecnologia das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) e da Legislação emitida recentemente pela ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) que regulamenta a utilização destas para fins comerciais, há uma tendência eminente de crescimento na aquisição desses equipamentos e uma disseminação das técnicas de uso dos mesmos para os mais variados usos. Neste trabalho é analisada pesquisa a utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas em levantamentos aerofotogramétricos para mapeamento de áreas, verificando assim a qualidade, a constância e a acurácia dos dados obtidos e gerando modelos tridimensionais de representação que correspondam seguramente a superfície da área em questão. Desta forma, com a confirmação dessa acurácia, pode-se indicar cada tipo de utilização desses dados a fim de propor novas regulamentações e aceitação dessa técnica de mapeamento.

Palavras-chaves: RPA, Aerofotogrametria, Mapeamento, Legislação, Comercial.

ABSTRACT

As a result of the popularization of the technology of the Remotely Aircraft (RPAs) and of the Legislation recently issued by ANAC (National Civil Aviation Agency) that regulates the use of these for commercial purposes, there is an imminent tendency of growth in the acquisition of such equipment and a dissemination of the techniques for the most varied uses. This research intends to analyze the use of Remotely Piloted Aircraft in aerophotogrammetric surveys for mapping areas, thus verifying the quality, consistency and accuracy of the data obtained and looking to generate three - dimensional models of representation that surely correspond to the surface of the area in question. Thus, with the confirmation of this accuracy, it is possible to indicate each type of use of this data in order to propose new regulations and acceptance of this mapping technique.

Palavras-chaves: RPA, Aerophotogrammetry, Mapping, Legislation, Commercial.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Fluxo Metodológico de Trabalho (desenvolvido pelo autor)	44
Figura 2: Localização da Área de Estudo	45
Figura 3: Mapa de Localização Município de Leme	46
Figura 4: Interface Drone Deploy e Plano de Voo	47
Figura 5: Exemplo de Alvo Utilizado como Ponto de Apoio	48
Figura 6: Interface de Criação de Projeto	49
Figura 7: Inserção das Imagens Capturadas	50
Figura 8: Imagens Inseridas e Posicionadas	51
Figura 9: Fluxo de Trabalho Agisoft PhotoScan	52
Figura 10: Processo de Alinhamento de Fotos	53
Figura 11: Inserção do Pontos de Apoio no Projeto	53
Figura 12: Inserção das Coordenadas do Pontos de Apoio	54
Figura 13: Pontaria dos Alvos Foto-Identificáveis	55
Figura 14: Segundo Alinhamento de Fotos	55
Figura 15: Processo de Otimização de Câmeras	56
Figura 16: Processo de Densificação da Nuvem de Pontos	57
Figura 17: Parâmetros para Obtenção do Modelo Digital de Superfície	58
Figura 18: Fluxo da Etapa de Classificação da Nuvem de Pontos	58
Figura 19: Parâmetros de Classificação da Nuvem de Pontos	59
Figura 20: Parâmetros para Obtenção do Modelo Digital de Terreno	59
Figura 21: Parâmetros para Obtenção do Curvas de Nível	60
Figura 22: Parâmetros para Obtenção do Ortomosaico	61
Figura 23: Parâmetros de Entrada de Dados no software GeoPEC	63
Figura 24: Distribuição dos Pontos de Apoio	65
Figura 25: Nuvem de Pontos provinda do Alinhamento de Fotos	66
Figura 26: Nuvem Densa de Pontos	67
Figura 27: Superfície Formada a partir da Nuvem de Pontos	67
Figura 28: Modelo Digital de Superfície	68
Figura 29: Superfície Classificada para Geração do Modelo Digital do Terreno	68
Figura 30: Modelo Digital de Terreno	69
Figura 31: Ortomosaico	70
Figura 32: Distribuição de Pontos Topografia Convencional	71
Figura 33: Distribuição de Pontos Script Python Software PhotoScan	71
Figura 34: Curvas de Nível a partir de Topografia Convencional	72
Figura 35: Curvas de Nível a partir de Processamento do MDT PhotoScan	72
Figura 36: Sobreposição das Duas Técnicas para Avaliação do Posicionamento. Em Detalhe Aproximado a Diferenças das Curvas	73
Figura 37: Vetorização das Áreas de Interesse	74
Figura 38: Testes Método Vizinho Mais Próximo	80
Figura 39: Gráfico das Discrepâncias Posicionais Planimétricas	81
Figura 40: Teste de Normalidade	81
Figura 41: Teste t de Student, Média Direcional e Variância Circular	82
Figura 42: Parâmetros Decreto-lei 89.817	83
Figura 43: Resultado Acurácia Posicional Planimétrica	83
Figura 44: Testes Acurácia Posicional Planimétrica - Classe B	84
Figura 45: Testes Acurácia Posicional Planimétrica - Classe C	84
Figura 46: Testes Acurácia Posicional Planimétrica – Sem Classificação	85
Figura 47: Gráfico das Discrepâncias Posicionais Altimétricas	85
Figura 48: Teste de Normalidade Equidistância Vertical	86
Figura 49: Teste t de Student	86
Figura 50: Parâmetros Acurácia Posicional Decreto-lei 89.817	87
Figura 51: Resultado Acurácia Posicional Altimétrica	87
Figura 52: Testes Acurácia Posicional Altimétrica - Classe B	88
Figura 53: Teste de Normalidade da Amostra	89
Figura 54: Teste de Tendência	89
Figura 55: Padrão INCRA versão 2	90
Figura 56: Acurácia conforme Padrão INCRA versão 2	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Critérios de Avaliação PEC-PCD.....	38
Tabela 2: Padrão de acurácia horizontal segundo ASPRS 2014.....	41
Tabela 3: Padrões de acurácia altimétrica para dados de elevação digital ASPRS 2014.....	42
Tabela 4: Número recomendado de pontos de verificação com base na área ASPRS 2014.....	43
Tabela 5: Coordenadas dos Pontos de Verificação nos Dois Cenários.....	91
Tabela 6: Valores RMSE.....	91
Tabela 7: Valores das Classes de Acurácia Planimétrica ASPRS	92
Tabela 8: Análise das Classes de Acurácia Planimétrica ASPRS	93
Tabela 9: Análise das Classes de Acurácia Altimétrica ASPRS	93

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGL	Above Ground Level
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
ASPRS	American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
CAVE	Certificado de Autorização de Voo Experimental
CMA	Certificado Médico Aeronáutico
DAC	Departamento de Aviação Civil
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
ERAST	Environmental Research Aircraft and Sensor Technology
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSD	Ground Sample Distance
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA	Instrução do Comando da Aeronáutica
IN CRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NBR	Norma Brasileira
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PCD	Produto Cartográfico Digital
PDI	Processamento Digital de Imagens
RAB	Registro Aeronáutico Brasileiro
RBAC	Regulamento Brasileiro da Aviação Civil
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
RTE	Regime de Tributação Especial
RTK	Real Time Kinematic
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto
TIN	Triangulated Irregular Network
USP	Universidade de São Paulo
UFSCAR	Universidade Federal de São Carlos
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UVS	Unmanned Vehicle Systems Association
VANT	Veículo Aéreo Não-Tripulado
VLOS	Visual Line-Of-Sight

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	9
1. INTRODUÇÃO.....	12
2. JUSTIFICATIVA.....	13
3. OBJETIVOS.....	15
3.1. Objetivos Gerais.....	15
3.2. Objetivos Específicos.....	15
4. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL.....	16
4.1. Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)	16
4.1.1. Tipos de Aeronaves Remotamente Pilotadas:	16
4.1.2. O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas para Cartografia.....	18
4.2. Legislações Vigentes para Operação de RPAs	19
4.3. Cartografia	23
4.4. Fotogrametria.....	27
4.5. Processamento Fotogramétrico de Imagens Digitais	30
4.6. Topografia.....	34
4.7. Verificação da Acurácia Posicional	37
5. MÉTODO E PLANO DE TRABALHO	44
5.1. Planejamento do voo.....	44
5.2. Planejamento dos pontos de apoio (Controle e Verificação).....	47
5.3. Distribuições dos alvos (em caso de voos pré-sinalizados).....	47
5.4. Coleta dos pontos de apoio	48
5.5. Voo e tomada das imagens	48
5.6. Preparação dos dados obtidos em campo.....	49
5.7. Processamento Fotogramétrico das Imagens	51
5.8. Geração da base cartográfica	57
5.9. Levantamento Topográfico Convencional.....	61
5.10. Acurácia Posicional e Enquadramento dos Produtos Gerados	62
6. RESULTADOS	65
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	93
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
Anexo A – Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso	102
Anexo B – Relatório Agisoft PhotoScan – MDS	104
Anexo C – Relatório Agisoft PhotoScan – MDT.....	114

1. INTRODUÇÃO

Desde os primórdios, a humanidade necessitou compreender o espaço em que habita, por diversas demandas. Algumas dessas demandas estão relacionadas com sua segurança, orientação, sobrevivência, organização, ocupação do meio, entre outros. No início, o entendimento desse espaço era representado com base na observação e descrição do meio, por meio das confecções de mapas. Com o passar do tempo, essas técnicas foram se apurando, surgindo um conjunto de estudos do espaço, os quais foram denominados de Cartografia.

Como define o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Cartografia é um conjunto de operações científicas, técnicas e artísticas que, tendo como base os resultados de observações diretas ou a análise de documentação já existente, visa a elaboração de mapas. Dentro dessas operações científicas e técnicas para a obtenção de dados cartográficos podemos destacar a utilização de tomada de fotos aéreas com sobreposição percentual, técnica essa denominada de aerofotogrametria, que visa demonstrar as dimensões e o desenho da superfície. Outra ciência que podemos destacar se define pela representação das feições e irregularidades da superfície, ciência esta nomeada de topografia, a qual utiliza métodos, técnicas e instrumentos para demonstrar a forma da superfície.

A combinação de dados cartográficos com estes tipos de levantamentos a uma base de dados já existentes e a imagens de satélites compõem os produtos cartográficos. Esses produtos são utilizados para os mais diversos fins, como, em planejamento de gestão pública e territorial, monitoramento ambiental, segurança de divisas, estudo de projetos governamentais e dimensionamento de obras, além de conhecimento da realidade, tendências e transformações do espaço, entre outros.

Porém, essa combinação de técnicas empregada na elaboração cartográfica demanda tempo e análises criteriosas para atingir resultados satisfatórios. O desafio, atualmente, com a evolução da tecnologia é fazer com que esse tempo seja reduzido, principalmente na aquisição de dados de levantamentos em campo, a fim de alcançar melhorias na tomada de decisão na gestão dos territórios, monitoramento de desastres, urgências em obras públicas e facilitar o planejamento em diversos níveis.

Com isso, esta pesquisa pretende avaliar novos equipamentos para auxiliar na redução de tempo e otimizar resultados. Neste caso, será avaliada a eficácia da tecnologia de aeronaves remotamente pilotadas (RPA) na obtenção de produtos aerofotogramétricos para fins de mapeamento em ambientes urbanos.

Será utilizada aeronave de modelo *DJI Phantom 4 Pro*, para efetuar voos automatizados com técnicas fotogramétricas em área pré-determinada no Jardim Alto das Palmeiras, bairro recém urbanizado, localizado na cidade de Leme no estado de São Paulo, utilizando pontos de apoio em solo com coordenadas geográficas obtidas com equipamentos com tecnologia GNSS de precisão milimétrica, além do processamento de imagens com *software* especializado.

As pesquisas realizadas com Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) com intuito de obtenção de um mapeamento aerofotogramétrico estão progredindo, com um grande esforço realizado para buscar uma melhor qualidade e acurácia dos produtos gerados, porém a aceitação desses dados ainda traz uma insegurança tanto para profissionais da área quanto para órgãos governamentais. Portanto, ainda é necessário um maior desenvolvimento nesses estudos para legitimar a qualidade dos dados obtidos por esse tipo de tecnologia e acurar os produtos cada vez mais, assim como seguir e melhorar a regulamentação de seus usos para que essa técnica venha facilitar e beneficiar aos profissionais que a utilizam.

2. JUSTIFICATIVA

No início, a utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) era de exclusividade militar, que eram operadas com objetivo de espionagem, mapeamento de tropas e territórios inimigos, monitoramento de divisas, entre outros. As aeronaves utilizadas eram dos mais diversos tamanhos e com autonomia de voo diversa. Contudo, a inserção dessas aeronaves no mercado de uso recreativo, foi a oportunidade para empregá-las comercialmente, tanto para filmagens e fotografias de eventos como mapeamento cartográficos cada vez mais precisos.

A disseminação da tecnologia trouxe para o mercado de mapeamento cartográfico inúmeros profissionais a procura de otimização na execução de levantamentos, redução de tempo de processamento dos dados e redução dos custos dos serviços de campo, porém, mantendo a qualidade dos produtos gerados e que os mesmos sejam amplamente aceitos por clientes e órgãos reguladores. Concomitantemente a isso, se desenvolveu um grande número de softwares de processamento de imagens que geram com agilidade produtos fotogramétricos.

A maioria das vantagens óbvias das RPAs no mapeamento fotogramétrico [...]. Estas vantagens incluem: custos de hardware relativamente baixos, alto nível de automação de levantamento fotográfico, custo operacional muito baixo e pequenas RPAs são particularmente adaptados para o levantamento em pequenas áreas. (GONÇALVES; HENRIQUES, 2015)

A partir da utilização dos RPAs, os custos diminuem proporcionando que pequenas e médias instituições tenham acesso aos produtos da fotogrametria, produtos esses que demandavam um grande investimento monetário, graças a essa nova tecnologia, a fotogrametria tornou-se competitiva junto à topografia, porém há ainda algumas questões em aberto sobre a operação, o planejamento dos voos e o processamento de imagens, o que acaba trazendo uma desconfiança relacionada a confiabilidade e consistência dos dados gerados por essas aeronaves.

Gonçalves e Henriques (2015) mencionam que os limites principais dos RPAs são: o tamanho da área de estudo, que não pode ser muito grande (da ordem de 1 km²), as condições meteorológicas (velocidade do vento e chuvas) e as massas de água que são superfície em movimento que não pode ser utilizado para a correspondência de pontos durante o processamento fotogramétrico (sem geração de pontos de ligação) [...]. A precisão vertical é avaliada de acordo com o processo de georreferenciamento e a resolução espacial das imagens.

A fim de demonstrar e comprovar que as Aeronaves Remotamente Pilotadas são capazes de fornecer produtos para elaboração de mapas com precisão, é necessário o desenvolvimento de estudos relacionados a forma de trabalho das aeronaves, de cada passo do funcionamento dos softwares, para enfim, apurar técnicas utilizadas nos levantamentos aerofotogramétricos, buscando melhorar a acurácia dos produtos gerados e proporcionar uma melhor qualidade e constância aos dados obtidos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivos Gerais

Aprofundar os estudos sobre a qualidade e constância dos dados obtidos com o uso das tecnologias das aeronaves remotamente pilotadas e demonstrar a acurácia dos produtos gerados, seus diferenciais, limitações e aplicações, utilizando técnicas de processamento digital de imagens, de topografia e de fotogrametria.

3.2. Objetivos Específicos

O propósito desta pesquisa é elaborar um projeto em uma área pré-determinada por meio de um levantamento aerofotogramétrico obtido com dois voos cruzados planejados em altura pré-estabelecida com uma aeronave remotamente pilotada, acompanhada de pontos de apoio obtidos com receptor GNSS para georreferenciar e validar o levantamento.

O projeto será composto dos produtos gerados pela obtenção de imagens e processamento digital das mesmas com software especializado, os quais são apresentados a seguir:

- Modelo digital de superfície (MDS);
- Modelo digital de terreno (MDT);
- Curvas de nível;
- Nuvem de pontos;
- Mosaico de ortofotos;
- Vetorização das Áreas de Interesse.

Com o cruzamento das informações dos produtos obtidos com os dados de georreferenciamento dos receptores GNSS poderá ser verificada a acurácia e precisão alcançada pelo levantamento aerofotogramétrico feito com aeronaves remotamente pilotadas.

4. SÍNTESE DA BIBLIOGRAFIA FUNDAMENTAL

4.1. Aeronave Remotamente Pilotada (RPA)

O início do uso de tecnologia de pilotagem remota em aeronaves se deu com o avanço bélico durante as grandes guerras mundiais. A sua difusão para usos civis foi a partir de 1990, nos Estados Unidos da América. Surgiram, de acordo com a Equipe de Avaliação de UAV para uso Civil da NASA, em um relatório de 2006, da seguinte maneira:

Os EUA começaram a experimentar os *drones* de reconhecimento não tripulados ao final da década de 1950. A ideia de realizar missões aerotransportadas transpondo as linhas inimigas sem prejudicar um piloto intrigou estrategistas de guerra. Embora os esforços iniciais não tenham tido sucesso, a Guerra do Vietnã e a Guerra Fria estimularam uma variedade de programas de desenvolvimento, o que levou a vários *drones* de reconhecimento, como o *Firebee* e o *Lightning Bug*.

No lado civil, os programas da NASA, como o PA-30 em 1969, buscavam controlar automaticamente um avião, mas um piloto estava no *cockpit* para assumir o controle se a pesquisa não saísse como esperado. A NASA participou de vários outros programas bem-sucedidos para ajudar a desenvolver bases de dados para futuros pesquisadores de UAV [...].

A necessidade de tecnologias para auxiliar um mercado de UAVs incipiente levou a um programa chave liderado pela NASA por volta dos anos 90 que, iniciado com parceiros da indústria, trouxe em foco o potencial de um mercado de UAV comercial. O trabalho contínuo, desenvolvido a partir desse esforço, busca a resolução dos principais impedimentos tecnológicos e políticos que ainda travavam esse potencial. O programa da NASA, de nove anos de duração, chamado *Environmental Research Aircraft and Sensor Technology (ERAST)*, ajudou a redefinir a tecnologia UAV com pesquisas sobre motores, sensores e veículos integrados que conquistariam as barreiras de aeronaves de alto alcance e de voos de longa duração.

As Aeronaves Remotamente Pilotadas recebem algumas denominações que as popularizaram: Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), Drone (como mais popularmente conhecido), UAV (Unmanned Aerial Vehicle que, em português, também tem a tradução de Veículo Aéreo não Tripulado), porém de acordo com a regulamentação brasileira, devemos nomeá-los como Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA).

4.1.1. Tipos de Aeronaves Remotamente Pilotadas:

Existe uma classificação de tipos de Aeronaves Remotamente Pilotadas conforme o tipo de asa:

- Asa Fixa
- Hélice Rotativa
- Híbridos

Além dessa classificação básica, a ANAC, na cartilha de orientações para usuários divide a classificação das aeronaves remotamente pilotadas 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. Estas três classes são assim divididas:

Classe 1 – Peso máximo de decolagem maior que 150 quilogramas;

Classe 2 – Peso máximo de decolagem maior que 25 quilogramas e até 150 quilogramas;

Classe 3 – Pesos de decolagem de até 25 quilogramas.

Todas essas Classes, tem obrigatoriedade de fazer voos com altitude máxima de 400 pés que correspondem a 120 metros.

Caso os operadores aeronáuticos pretendam usar os equipamentos para voos acima de 400 pés, serão obrigatórias licença e habilitação emitidas pela ANAC para pilotos. Nos casos de aeronaves das classes 1 e 2 deverão possuir ainda Certificado Médico Aeronáutico (CMA).

Também é possível categorizar conforme os tamanhos, alcance, altitude em que voam e alguns usos especiais, assim como a UVS International (Associação Internacional dos Sistemas de Veículos Aéreos Não-tripulados), categoriza:

- Micro
- Mini
- Tático
- Faixa de perto (CR)
- Curto alcance (SR)
- Faixa média (MR)
- Resistência de alcance médio (MRE)
- Penetração profunda de baixa altitude (LADP)
- Baixa altitude longa resistência (LALE)
- Altitude média de longa duração (MALE)
- Estratégico
- Alta altitude longa resistência (HALE)
- Estratosférico (Strato)
- Exo-estratosférico (EXO)
- Veículo Aéreo de Combate Não Tripulado (UCAV)
- Letal
- Decoys (DEC)

Utilizações Civas para Aeronaves Remotamente Pilotadas:

- Filmagens
- Lazer e entretenimento
- Fiscalização de obras civis
- Reconhecimento e coleta de dados em áreas de desastres
- Vigilância das fronteiras
- Fiscalização de obras civis
- Cartografia
- Monitoramento da poluição atmosférica
- Monitoramento e tratamentos culturais
- Monitoramento de tráfego de veículos
- Monitoramento e controle de incêndio
- Localização dos recursos naturais
- Link de comunicação
- Transporte de encomendas
- Busca e Salvamento

4.1.2. O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas para Cartografia

O uso de aeronaves remotamente pilotadas para aquisição de dados que possibilitam compor uma base cartográfica se mostra cada vez mais útil e comum. Com a rápida evolução tecnológica das aeronaves e dos sensores embarcados, mostra-se mais viável a utilização desse tipo de veículo para os levantamentos aerofotogramétricos se comparado aos levantamentos feitos com aeronaves convencionais.

Apesar das aeronaves convencionais cobrirem uma área muito maior com tempo de voo menor, elas necessitam de um investimento financeiro maior, uma equipe mais especializada, isso acaba reduzindo o número de investidores, pois em muitos casos não é necessário o mapeamento de uma área extensa, portanto esses investidores optam por um investimento menor e uma tecnologia mais barata, requisitos atendidos pelas RPAs.

De acordo com Baglione (2016): “A fotografia aérea teve uma grande revolução com o advento da tecnologia UAV, que na verdade permitiu superar os problemas objetivos do acesso a informação.”

As principais vantagens do sensoriamento remoto por VANTs, em relação ao

aerotransportado por aeronaves tripuladas e ao orbital, podem ser: a redução dos custos de obtenção de imagens/fotografias aéreas; a maior flexibilidade de resolução espacial; possibilidade de execução de missões em condições adversas sem o risco de vida para o piloto e operador da câmara aerofotogramétrica; menor necessidade de gastos de treinamento de pilotos e; a maior facilidade e velocidade de incorporação de novas tecnologias (LONGHITANO, 2010).

Apesar de já existir RPAs com uma tecnologia avançada, proporcionando resultados muitos satisfatórios e trazendo uma base de dados mais acessível para mapeamento, o desafio da área é conseguir embarcar sensores, câmeras e baterias cada vez mais desenvolvidos em dispositivos gradativamente mais compactos. Visto que, na etapa de campo, onde se dá a obtenção das imagens, é muito importante que estes instrumentos tenham a capacidade de obter o maior número de informações com uma autonomia de voo gradualmente maior, para que sejam necessários muito menos missões de voos para cobrir a área a ser mapeada. Ou seja, o objetivo é otimizar as quantidades de idas a campo dos operadores, deixando que o tempo economizado, seja totalmente voltado ao processamento e análises dos resultados, produzindo uma quantidade muito maior de informações em muito menos tempo.

4.2.Legislações Vigentes para Operação de RPAs

Para uso comercial dos RPAs, é necessário que se conheça a legislação brasileira relativa ao conteúdo antes de utilizar o equipamento, vez que a legislação apresenta alguns requisitos e habilitações diferentes de acordo com o tamanho e autonomia do RPA.

A ANAC emitiu a Cartilha de Orientações pontuando leis que regulamentam a atividades:

4.2.1. Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017:

Este regulamento trata de matéria exclusivamente técnica que possa afetar a segurança da aviação civil, estabelecendo normas para a operação de aeronaves não tripuladas no Brasil de acordo com a realidade do país, sendo necessária contínua atualização das normas, sendo algumas já existentes.

Primeiramente, estabeleceu-se como critério para aplicação de regras, o limite de voo: 30 metros horizontais para competência exclusiva da ANAC. Em caso de distância superior deve-se seguir, além das regras apresentadas pela ANAC, também as apresentadas pelo DECEA.

Estabeleceu ainda, a observação de outros entes de administração pública direta e indireta, tais como a ANATEL, o Ministério da Defesa, bem como legislações da esfera civil, penal e administrativa.

Em segundo lugar, os requisitos de aplicabilidade: RPAs com Certidão de Cadastro; Certificado de Matrícula Brasileiro ou Certificado de Marca Experimental, ambos emitidos pela ANAC e todos os que operarem em território brasileiro.

Posteriormente separou os RPAs de acordo com seu peso máximo de decolagem: Classe 1: peso superior a 150 kg; Classe 2: peso entre 25kg e 150kg; Classe 3: Peso igual ou inferior a 25kg.

Não esquecendo os requisitos para habilitação de piloto remoto e observador: idade superior a 18 anos; Pilotos remotos Classe 1 e 2 necessitam de Certificado Médico Aeronáutico de 1ª, 2ª ou 5ª classe válido ou 3ª classe se emitido segundo ICA 63-15. Pilotos remotos que atuarem acima de 400 pés do solo com RPAs Classe 1 e 2, deverão possuir licença e habilitação emitida pela ANAC¹.

Ressalta-se que em caso de descumprimento de qualquer requisito estabelecido, os infratores estarão sujeitos a Lei 7.565/86. Em caso de risco da operação poderá existir a suspensão temporária de operações até a apuração dos fatos.

Além da documentação necessária para direção dos RPAs, classifica ainda os documentos necessários para porte na hora do voo: Certidão de Cadastro; Certificado de Matrícula ou o Certificado de Marca Experimental válidos; Certificado de aeronavegabilidade válido; Manual de voo; Apólice de seguro ou o certificado de seguro com comprovante de pagamento válido; Avaliação de risco a que se referem os parágrafos E94.103(f)(2) e E94.103(g)(2) do Regulamento Especial; e licença, habilitação e extrato do CMA válidos. Outros documentos podem ser necessários por parte do DECEA, da ANATEL, ou de outros órgãos competentes.

Posteriormente às regras gerais, passou-se a tratar das regras do voo em específico: proibição de transporte de pessoas, de animais, de carga proibida por autoridade competente e de artigos perigosos referidos no RBAC nº 175, salvo exceções como lançamentos relacionados a atividades de agricultura e outras previamente estabelecidas; equipamentos eletrônicos que contenham baterias de lítio necessárias para seu funcionamento, como câmeras fotográficas, filmadoras, computadores etc; proibição de operação autônoma de RPAs, de maneira descuidada ou negligente, colocando em risco vidas ou propriedades de terceiros.

Obrigatoriedade de seguro com cobertura de danos a terceiros, exceto as operações de aeronaves pertencentes a entidades controladas pelo Estado e obrigatoriedade da presença de

¹ A ANAC determinará, para cada tipo de operação, os critérios aceitáveis para a emissão da licença e habilitação apropriadas.

um piloto remoto para a operação na RPAs durante todas as fases do voo, sendo admitida sua troca durante a operação, embora seja proibida a operação de mais de um RPA por vez; sendo do piloto remoto a responsabilidade total durante o trajeto.

Uma aeronave não tripulada somente poderá, em voo, cruzar as fronteiras nacionais para acessar o território brasileiro após a emissão de autorização expressa da ANAC, observada a regulamentação específica sobre o controle do espaço aéreo e de demais órgãos competentes.

Todas as RPAs que sejam de um projeto autorizado ou de um tipo certificado devem ser registradas atendendo ao disposto da Resolução nº 293 sobre o RAB. Essas aeronaves devem possuir Certificado de Marca Experimental ou a um Certificado de Matrícula, conforme aplicável.

Todo aeromodelo, ou RPA Classe 3 que opere somente em VLOS até 400 pés AGL, e que não seja de um projeto autorizado ou de um tipo certificado, deve ser cadastrado junto à ANAC e vinculado a uma pessoa física ou jurídica, que será a responsável legal pela aeronave, embora exista exceção, bem como possuir número de cadastro, que deverá ser visível na área externa da aeronave, ou interno, mas de fácil acesso sem uso de ferramentas e à prova de fogo.

Somente é permitido operar um RPA civil no Brasil se o projeto do RPA for autorizado pela ANAC levando em consideração a Classe do RPA e o tipo de operação, salvo exceções.

Embora exista outros pontos discutidos, o presente trabalho tratou de forma superficial, apresentando apenas os pontos gerais, sem adentrar as exceções e questões mais específicas. Os suplementos já existentes, tratam das seguintes questões:

4.2.2. Instrução Suplementar E94.503-001A:

Além de revogar Instrução Suplementar 21-002A, trata da emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental – CAVE com base no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94 – RBAC-E 94 para Aeronaves Remotamente Pilotadas.

4.2.3. Instrução Suplementar E94-001A:

Apresenta informações sobre os procedimentos gerais para a autorização de um projeto de um Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada, a fim de complementar o estabelecido no Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94 – RBAC-E 94.

4.2.4. Instrução Suplementar E94-002A:

Apresenta uma forma, porém não única, de orientação para cumprimento dos requisitos das seções E94.405 e E94.407 do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94.

4.2.5. Instrução Suplementar E94-003:

Estabelece os procedimentos para elaboração e utilização de avaliação de risco operacional para operadores de aeronaves não tripuladas, para cumprimento dos parágrafos E94.103(f)(2) e E94.103(g)(2) do Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial nº 94.

Como mencionado no início do capítulo, além das resoluções da ANAC, os operadores de RPAs devem seguir resoluções de outras agências. Primeiramente visualizaremos resoluções da ANATEL:

4.2.6. Resolução nº 242, de 30 de novembro de 2000:

Esta Resolução revogou diversos atos e portarias publicados anteriormente pela ANATEL, regulamentando Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações.

Foram revogados Ato n.º 11.127; Portaria SNC n.º 173; Portaria n.º 1.494; Portaria n.º 1.495; Portaria n.º 1.496; Portaria n.º 10; Portaria n.º 40; Portaria n.º 41; Portaria n.º 48 e Resolução n.º 47.

4.2.7. Resolução nº 635, de 9 de maio de 2014:

Revogou Resolução nº 457 e regulamentou sobre autorização e uso temporário de Radiofrequências.

Os equipamentos de telecomunicações utilizados em aplicações objeto de autorização de uso temporário de radiofrequências estão isentos de certificação.

Nos casos de utilização temporária de radiofrequências para as quais exista acordo internacional não será necessária a obtenção da autorização objeto deste Regulamento, incluindo embarcações e aeronaves comerciais estrangeiras em passagem pelo Brasil.

4.2.8. Portaria nº 465, de 22 de agosto de 2007:

Regula os procedimentos operacionais necessários ao requerimento para a execução do Serviço Especial para fins Científicos ou Experimentais.

As entidades que solicitarem autorização para executar Serviço Especial com Fins Científicos ou Experimentais, cujos pedidos se encontram pendentes de decisão, terão seus

processos analisados pelo Ministério das Comunicações e, caso aprovados pelo Ministro, encaminhados à Anatel para outorga da referida autorização.

Em caso de Aprovação e necessidade de prorrogação de prazo poderão se dirigir diretamente à Anatel.

Passemos ao DECEA:

4.2.9. ICA 100-40:

Apresenta os Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro.

4.2.10. ICA 100-12:

Apresenta as Regras do Ar.

4.2.11. ICA 100-37:

Apresenta as regras de Serviços de Tráfego Aéreo.

Por fim, vale mencionar a Receita Federal do Brasil:

Aeromodelos possuem autorização para importação em bagagem de viajantes retornando ao país, desde que o cidadão obedeça ao RTE - Regime de Tributação Especial.

Os RPAs que possuem autorização para importação possuem propósitos meramente recreativos, com diversas limitações operacionais, não estando sujeito a registro ou autorização da ANAC. Apesar disso devem seguir os regulamentos estabelecidos pela Portaria DAC nº 207/STE, de 7 de abril de 1999.

Para todas as demais utilizações, não recreativas, deverão ser importados obedecendo ao Regime Comum de Importação.

4.3. Cartografia

Desde seu início, a Cartografia, sempre contou com uma evolução das técnicas e equipamentos para sua composição, porém, teve seu maior salto com o surgimento do computador e a implementação de tecnologias digitais. Esse novo modelo foi denominado Cartografia digital e trouxe à Cartografia um novo rumo e novas áreas de aplicações.

A Cartografia Digital tem por objetivo desenvolver um modelo de representação de dados digitais em conformidade com os processos que ocorrem em espaços geográficos. Com isso, permite a identificação e espacialização da real condição de uma área de interesse,

apoiando-se na computação e em base de dados já existentes, a fim de produzir representações digitais da geografia do ambiente em questão, de forma precisa e com possibilidade futuras de alterações, tornando a elaboração dos produtos dinâmica e interativa, auxiliando assim no planejamento urbano e ambiental e facilitando as tomadas de decisões.

“A Cartografia Digital ou Cartografia Assistida por Computador deve ser vista não apenas como um processo de automação de métodos manuais, mas sim como um meio de buscar ou explorar novas maneiras de lidar com dados espaciais”. (TAYLOR, 1991)

O frequente desenvolvimento da Cartografia Digital, aliado às novas tecnologias e equipamentos que foram surgindo no mercado a transformaram em uma potente ferramenta utilizada nas mais variadas disciplinas de interesse de estudo, sendo possível incorporar em um mesmo plano cartográfico diversas informações que podem ser correlacionadas no meio geográfico. A esse conjunto de dados associados deu-se o nome de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que acabou se tornando uma potente ferramenta de gestão territorial.

Um sistema de informação geográfica (SIG), numa definição restrita, é um sistema de computador de entrada, manipulação, armazenamento e saída de dados espaciais. Numa definição mais ampla, trata-se de um sistema digital para a aquisição, gestão, análise e visualização de dados espaciais para fins de planejar, administrar e monitorar os recursos naturais e socioeconômicos do meio ambiente. Representa um modelo digital de geografia no seu sentido mais amplo (KONECNY, 2003).

Um Sistema de Informações Geográficas, permite integrar em uma única base de dados, informações espaciais obtidas por dados cartográficos, imagens de satélite, dados de cadastro urbano e rural, redes e modelos da superfície, entre outros.

A evolução dos Sistemas de Informações Geográficas possibilitou sua crescente utilização como ferramenta de auxílio à análise espacial, tornando possível avaliar cenários geográficos com rapidez e conseqüentemente tornar mais ágil as tomadas de decisão tanto em nível governamental como no gerenciamento de uma empresa. Assim, neste trabalho, apresentam-se algumas características da associação destas técnicas e alguns exemplos de aplicação das mesmas. (CRUZ; CAMPOS, 2005).

Para a obtenção de dados cartográficos e informações espaciais, utilizam-se comumente alguma base cartográfica existente e que esteja em formato digital, consulta em cartas topográficas e levantamentos topográficos, utilizando a topografia como técnica, além de fotos aéreas, sendo elas obtidas de satélites ou por um levantamento aerofotogramétrico, utilizando o sensoriamento remoto e a fotogrametria como técnicas base.

Silva e Segantine (2015) conceitua Topografia como:

Ciência que estuda a representação e a descrição das irregularidades da superfície física (ou topográfica) terrestre a partir de técnicas e métodos topográficos, utilizando instrumentos ou equipamentos topográficos. A partir das técnicas e métodos topográficos são gerados desenhos representativos da superfície do terreno, aos quais se dá o nome de plantas topográficas.

Carta Topográfica é definida por Gaspar (2004) como:

Carta de base que representa, tão fiel e pormenorizadamente quanto a escala o permite, a topografia da superfície terrestre [...]. Atualmente, designa-se por carta topográfica qualquer carta de base que represente zonas emersas, independentemente da sua escala.

O Sensoriamento Remoto tem como definição mais conhecida apresentada por Meneses e de Almeida (2012): “Sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto”.

Fotogrametria é a técnica que permite o estudo e a definição das formas, das dimensões e da posição de objetos no espaço, baseando-se em medições obtidas a partir de fotografias ou imagens digitais. Ela está dividida em Fotogrametria Terrestre e Fotogrametria Aérea (Aerofotogrametria). Dá-se o nome de Fotogrametria Terrestre àquela baseada em imagens obtidas a partir de câmaras fotográficas ou, mais recentemente, a partir de sensores fotogramétricos digitais, posicionados sobre a superfície física terrestre. Dá-se o nome de Fotogrametria Aérea àquela baseada em imagens obtidas a partir de sensores aéreos fotogramétricos (sensores fotogramétricos aerotransportados), com a finalidade de obter imagens digitais de áreas da superfície física terrestre. (SILVA; SEGANTINE, 2015)

Esses levantamentos demandam horas em campo, equipe especializada e equipamentos muitas vezes com um custo muito elevado. No entanto, nos tempos atuais, surgiram novas tecnologias e equipamentos com o intuito de facilitar a execução dessa obtenção de dados. As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) vem mudando a forma de produção cartográfica.

A tecnologia das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), no passado de exclusividade de uso militar, nos últimos anos vem sendo disseminada para os mais diversos usos civis. Um desses usos que vem sendo difundido e se desenvolvendo com muita rapidez, é a utilização desses veículos em confecções cartográficas com técnicas fotogramétricas e topográficas.

A aerofotogrametria empregando o RPA na aquisição de aeroimagens é adequado para projeto de engenharia que se utilizam de informações atualizadas da superfície terrestre, com elevada resolução espacial e relacionada a coleta de informações frequentes, como monitoramento de impactos ambientais, na agricultura de precisão, no deslocamento de terra, mapeamento de minas a céu aberto, cadastro urbano, mapeamento de pequenas áreas em projeto de engenharia e no sensoriamento remoto (EISENBEISS, 2009).

A utilização da tecnologia de Sensoriamento Remoto (SR), aliada a tecnologia VANT, constitui-se em um importante meio para a obtenção de imagens em locais de difícil acesso. Além disso, devido à operação da unidade aérea por controle remoto, não há a necessidade de profissionais embarcados, não oferecendo risco ao operador de câmera ou ao piloto (WATTS et al., 2012).

Com o rápido aperfeiçoamento da tecnologia na área, demonstrou-se a necessidade de se regulamentar o uso comercial dessas aeronaves, assim, no mês de maio de 2017, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), publicou uma normativa com o seguinte objetivo: “que

as operações passem a ocorrer a partir de regras mínimas, preservando-se um nível de segurança das pessoas e de bens de terceiros. Ao mesmo tempo, o normativo pretende contribuir para o desenvolvimento sustentável e seguro para esse segmento da aviação. Por se tratar de um regulamento especial, está sujeito a alterações que vierem a ser necessárias”. Assim sendo, torna-se indispensável, a todos os operadores que pretendem fazer voos comerciais, buscarem entender todas essas regulamentações. E, o mais importante, fazer os registros tanto para si mesmo quanto para as aeronaves em órgãos especializados.

Além da regulamentação das aeronaves e de seus voos nos sistemas regulatórios, é inevitável a discussão sobre as técnicas utilizadas em voos que visam a geração de produtos cartográficos precisos, pois a negligência de algum elemento técnico pode acarretar uma sucessão de erros e conseqüentemente resultados com baixa qualidade e precisão.

Para realização de aerolevanteamento, algumas empresas especializadas têm utilizado técnicas fotogramétricas em seus estudos de caso da seguinte forma: utilizando equipamentos que permitam que o voo seja linear e constante, isso significa que a aeronave terá de respeitar faixas de voo e altitude pré-determinadas, sendo necessário para que as imagens capturadas sejam sequenciais e tenham sobreposição entre elas. Para isso são comumente utilizados softwares especializados em planejamento de voos totalmente automatizados que atendem todos esses parâmetros anteriores, além de delimitar, com auxílio de imagens de satélite, a área de interesse.

Na etapa do voo em campo, é importante que, o operador verifique as condições climáticas para a data e local do voo. Depois de iniciado o voo, o operador deve acompanhar o voo visualmente intercalando o visor do equipamento utilizado no planejamento e a Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) propriamente dita, verificando os parâmetros de voo como: altitude, velocidade da aeronave, velocidade do vento e estabilidade para garantir que as fotos sejam tomadas de forma satisfatória. Finalizado voo, o operador verifica rapidamente as fotos obtidas para validar o fim do processo.

A próxima etapa é o georreferenciamento das imagens e o processamento para obtenção do mapa e outros produtos.

Paralelamente, para voos em que se busca o posicionamento preciso das imagens, é necessária uma ligação entre as imagens e pontos topográficos levantados com tecnologia GNSS, o que se faz através de alvos distribuídos de maneira uniforme pela área de interesse de forma que seja possível identifica-las visualmente durante a etapa de georreferenciamento das imagens.

Essa sequência de técnicas vem mostrando resultados satisfatórios comparados aos padrões de mapeamentos cartográficos, porém, também demonstram algumas limitações que devem ser verificadas caso a caso dependendo da sua aplicação.

4.4.Fotogrametria

A Fotogrametria é uma técnica que utiliza imagens fotográficas para obter informações precisas sobre o meio físico. Geralmente ela é utilizada para mapeamentos com sensores embarcados em aeronaves, a qual se denomina aerofotogrametria. Seus primeiros destaques são a partir da Primeira Guerra Mundial, onde os instrumentos aerotransportados eram utilizados para mapear territórios inimigos, mas também há registros de utilização da técnica com dispositivos embarcados em balões, pipas, dirigíveis, helicópteros, multirrotores e até pombos.

A palavra Fotogrametria deriva de três palavras de origem grega, *photos*, *gramma* e *metron* que têm, respectivamente, o significado de: luz, descrição e medidas e define uma técnica desenvolvida no início do Século XIX e que se encontra em constante evolução de instrumentos e processos (VALENÇA, 2011).

A classificação da Fotogrametria é definida de acordo com o instrumento utilizado para utilizar a técnica e é dividida em três formas:

- Fotogrametria Analógica: onde a obtenção das fotografias é feita de forma analógica, ou seja, em filme, o processamento das imagens são analógicos (óptico-mecânico) e as saídas das imagens, ou melhor, os produtos gerados são em forma analógica também (scribes ou fotolito) e mais recentemente em formato digital;
- Fotogrametria Analítica: onde a obtenção das fotografias é feita de forma analógica, ou seja, em filme, o processamento das imagens são analíticos (computacional) e os produtos gerados são em forma analógica também (scribes ou fotolito) e mais recentemente em formato digital;
- Fotogrametria Digital: onde a obtenção das fotografias é feita de forma digital, ou seja, imagem digital obtida com câmera digital, ou digitalizada, obtida de forma analógica e submetida a um *scanner*, os processamentos das imagens são analíticos (computacional) e os produtos gerados são em formato digital.

Também pode ser dividida em Fotogrametria Terrestre, onde as imagens são captadas utilizando como sensor, uma câmera métrica a partir de uma posição fixa, com finalidade de medição especializada e controle de deformações, restauração de patrimônio histórico

arquitetônico e restauração de monumentos arqueológicos. E em Fotogrametria Aérea ou Aerofotogrametria, que tem como objetivo elaborar mapas mediante o uso de fotografias aéreas tomadas com câmaras de precisão aerotransportadas, com eixo ótico posicionado na vertical ou diagonal, utilizando-se aparelhos e métodos para se obter produtos estereoscópicos, como já mencionado acima.

De acordo Silva e Segantine (2015) a evolução principal de Fotogrametria a partir da década de 1990:

A Fotogrametria baseava-se exclusivamente no uso de dispositivo ou fotografias impressas em papel, obtidas com o uso de câmaras analógicas. A partir desse período, com a disseminação do manuseio de imagens gravadas em meio digital, ela passou a desenvolver soluções baseadas nesse tipo de imagem. A essa nova era da Fotogrametria deu-se o nome de *Fotogrametria Digital*. No início, as imagens digitais eram obtidas a partir do escaneamento dos dispositivos ou das fotografias em papel, por intermédio de escâneres de alta qualidade geométrica e radiométrica. Mais tarde, a partir do ano 2000, com o advento da primeira câmara aérea digital, as imagens digitais passaram a ser geradas diretamente por meio de sensores digitais aerotransportados.

Para Konecny (2003), a fotogrametria digital permite novas possibilidades:

Fotogrametria digital faz uso de imagens digitais ou digitalizadas. Isto permite possibilidades de automação muito prolongados [...] Além dos recursos oferecidos pelos plotters analíticos, estações de trabalho digitais agora permitem o uso de tecnologia automatizada recém-desenvolvida, tais como:

- Aerotriangulação automatizada ou automática;
- A derivação de modelos digitais de elevação por meio de técnicas de imagem correspondente;
- Técnicas de visualização e análise adicional;
- Integração em sistemas GIS.

Ruzgiene et al. (2015), descreve a evolução da fotogrametria digital da seguinte maneira:

Alguns anos atrás e até agora, a aplicação de técnicas de fotogrametria digital para a coleta de dados cartográficos de imagens tomadas por câmeras digitais integrados em veículos aéreos não tripulados (UAV) aumentou significativamente. A emergência da tecnologia UAV pode ser atribuída a desenvolvimentos técnicos de componentes eletrônicos e a possibilidade de sua integração em aeronaves controladas remotamente.

O termo UAV é comumente usado na Inteligência Artificial, Computação e Robótica, bem como nas comunidades de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. "Fotogrametria de UAV" descreve uma plataforma de medição fotogramétrica, que opera remotamente controlada, semi-autônoma ou totalmente autônoma sem um piloto sentado no veículo.

A operação de sistemas UAV abre várias novas aplicações no domínio de proximidade, combinando fotogrametria aérea e terrestre. É uma nova aplicação em tempo quase real e alternativas de baixo custo para a fotogrametria aérea clássica tripulada.

As principais aplicações da fotogrametria são:

- Produção de cartas topográficas;
- Projeto e manutenção de estradas;

- Inventários florestais e minerais;
- Arqueologia;
- Geologia;
- Planejamento e cadastro urbano;
- Cadastro rural;
- Medicina;
- Indústria.

Para se executar esta técnica, deve-se planejar cada uma das etapas com afinco e seguir todos os conceitos teóricos da mesma, com o intuito de imagear toda área de interesse e obter fotografias de qualidade.

O voo fotogramétrico é efetuado depois de concluído o planejamento da missão, que se baseia na análise minuciosa com todos os parâmetros necessários para detalhar toda área em questão extraindo o máximo possível de informações.

O propósito de planejar o voo é parametrizar os componentes para assim, traçar as linhas de voo a fim de conduzir os operadores ao longo do voo aerofotogramétrico.

A fase de voo aerofotogramétrico constitui-se pela tomada de imagens em toda a área a ser levantada utilizando-se de câmera fotográfica desenvolvida para esse tipo de função embarcadas em aeronaves que tenham sido produzidas para efetuar esse tipo de serviço, mais recentemente, ocorreram a inserção de aeronaves remotamente pilotadas, nessa gama de aeronaves.

As imagens aéreas são obtidas de forma sequencial com o cuidado de manter superposição no sentido longitudinal e no sentido lateral da imagem, permitindo que fotografias de toda a região de interesse sejam captadas.

Durante a tomada de imagens, deve-se respeitar intervalos de tempo para a sucessão de cada tomada. Nas faixas longitudinais, ou seja, no sentido do voo, deve ser respeitado um requisito de sobreposição de cerca de 60%. Nas faixas laterais, como o próprio nome diz, nas laterais das linhas de voo, o requisito é que se sobreponha cerca de 30%. Esses são requisitos mínimos para obter-se estereoscopia entre as imagens do levantamento.

O sucesso de uma missão fotogramétrica depende da qualidade do material fotográfico obtido, que por sua vez depende da estabilidade do voo e da capacidade da aeronave se manter na altura e na rota de voo planejada. (RODZEWICZ; GLOWACKI; HAJDUK, 2017).

Para Tommaselli (2004), para se estudar a Fotogrametria é necessário ter dois conceitos bem definidos: estereoscopia e paralaxe. A estereoscopia diz respeito à visualização de um

mesmo foco por dois mecanismos de captação de imagens. A paralaxe é o deslocamento aparente na posição de um objeto, em relação a um ponto de referência, causado por uma mudança na posição de observação.

A condição favorável para que possa observar a estereoscopia com maior facilidade, é que a paralaxe só seja encontrada em um dos eixos, ou seja, as linhas que ligam os pontos homólogos, entre as imagens tomadas, devem ser paralelas à linha de voo.

A utilização de imagens aéreas de alta resolução provenientes de veículos aéreos não tripulados (VANT) na extração de informações métricas da superfície terrestre tem sido vastamente pesquisada nestes últimos anos. As facilidades existentes na realização do voo autônomo, associado com o baixo custo do recobrimento e do sistema fotogramétrico VANT são os principais atrativos desta nova tecnologia em aplicações aerofotogramétricas [...] (MITISHITA et. al., 2014)

Dessa forma, a aerofotogrametria em si se torna uma técnica mais acessível do que anteriormente e com um potencial de disseminação mais amplo. Os RPAs são capazes de gerar produtos da mesma qualidade dos gerados pela aerofotogrametria convencional. Para o mapeamento cartográfico, as fotografias aéreas produzidas são utilizadas para a geração de mosaicos dessas fotos, ortofotomosaicos, ortofotocartas, cartas topográficas, mapas temáticos, modelos digitais de terreno e de superfície, entre outros.

4.5. Processamento Fotogramétrico de Imagens Digitais

O processamento digital de imagens tem como objetivo o tratamento das imagens obtidas, o que oferece uma enorme facilidade aos operadores. Com o desenvolvimento dos *softwares* de processamento das imagens, algumas operações tornaram-se automatizadas, fazendo com que a manipulação seja mais ágil.

Por Processamento Digital de Imagens (PDI) entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (SPRING, 1996).

A definição de processamento digital de imagens dado por Gonzalez e Woods (2007):

Uma imagem pode ser definida como uma função bidimensional, $f(x,y)$, em que x e y são coordenadas *espaciais* (plano), e a amplitude de f em qualquer par de coordenadas (x,y) é chamada de *intensidade ou nível de cinza* da imagem nesse ponto. Quando x,y e os valores de intensidade de f são quantidades finitas e discretas, chamamos de *imagem digital*. O campo do *processamento digital de imagens* se refere ao processamento de imagens digitais por um computador digital. Observe que uma imagem digital é composta de um número finito de elementos, cada um com localização e valor específico. Esses elementos são chamados de *elementos pictóricos, elementos de imagem, pels e pixels*. *Pixel* é o termo mais utilizado para representar os elementos de uma imagem digital.

Pixel foi um termo criado que provém de abreviação do termo inglês “Picture Element”. É a menor unidade que compõe uma imagem digital.

“A imagem é uma longa sequência destes dois números que, então, se “transformam” em quadros minúsculos. Cada pequeno quadro, denominado pixel (contração de imagem x elemento ou elementos da imagem), representa uma intensidade de luz e de cor que todos estes, em conjunto, irão formar a imagem digital. Logo, a unidade básica formadora da imagem digital é o pixel”. (MACHADO; SOUKI, 2004)

Para obter a representação do tamanho real do pixel da imagem digital no terreno, é necessário definir uma variável importante para garantir a resolução e o nível de detalhamento do produto obtido, essa variável denomina-se GSD (Ground Sample Distance).

“O GSD, ground sample distance, traduzido como distância amostral do terreno, é uma referência para a reprodução dos pixels da imagem em unidades reais (metros). O pixel de uma imagem representa uma porção equivalente do campo. A distância da altura da câmera, ou altura do voo do equipamento aerofotogramétrico, tem relação direta com a medida do GSD, além da distância focal e do tamanho da lente utilizados para o processo”. (FERREIRA, 2017)

Segundo Queiroz (2003), as formas de manipulação das imagens podem ser divididas em 4 procedimentos computacionais:

- A. Retificação e Restauração de Imagens:** operações realizadas para minimizar as distorções e degradações dos dados de uma imagem, com a finalidade de criar uma representação mais fiel da cena.
- B. Realçamento de Imagens:** procedimentos aplicados aos dados de uma imagem com o objetivo de melhorar efetivamente a visualização da cena, para subsequente interpretação visual.
- C. Classificação de Imagens:** estas operações têm a finalidade de substituir a análise visual dos dados por técnicas quantitativas de análise automática, visando a identificação das regiões presentes na cena.
- D. Combinação de Dados (data merging):** procedimentos utilizados para combinar os dados de uma imagem, referente a uma certa área geográfica, com outros conjuntos de dados referenciados geograficamente, para a mesma área.

Para uma maior agilidade na manipulação de imagens, foi necessário o desenvolvimento de *softwares* com algoritmos que objetivam relacionar os dados obtidos das imagens com todos os procedimentos de manipulação, gerando de maneira automatizada foto triangulações, modelos digitais com representações tridimensionais e mosaico de fotos ortorretificado.

No caso de imagens obtidas com sensores aerotransportados para mapeamento cartográfico, temos a partir da aquisição das fotos, a necessidade do processamento fotogramétrico das mesmas, utilizando uma sequência de técnicas fotogramétricas, também chamada de restituição fotogramétrica digital, desenvolvida para formação dos mosaicos de ortofotos, juntamente com todos os outros, como modelo digital de terreno e superfície, cartas topográficas, entre outros.

A alma do modo de operação é basicamente a mesma da restituição tradicional: o restituidor colima a marca estereoscópica no terreno, definindo as coordenadas de um ponto nas duas imagens. Sabidos os parâmetros da orientação interior e exterior, estas coordenadas são transformadas em coordenadas métricas de câmara e, desta forma, encontram-se as coordenadas de terreno graças às equações de colinearidade e através da interseção espacial (COELHO FILHO; BRITO, 2007).

A sequência da restituição fotogramétrica se dá a partir da orientação da câmara onde se analisa os parâmetros e as condições dos registros das fotografias são analisadas as orientações interiores e exteriores.

- **Orientação Interior:** Segundo Amorin (2000), entende-se por orientação interior analógica a operação de reconstrução do feixe de raios de uma fotografia aérea que pode ser feita inserindo um dispositivo em um projetor, executando a centragem do mesmo em um porta-placa através das marcas fiduciais e ajustando a distância focal nos projetores, a fim de recuperar a geometria interna dos feixes de raios. No caso, de a orientação interior ser analítica ou digital, a operação necessita-se da distância focal calibrada, as coordenadas das marcas fiduciais e do ponto principal calibradas, onde todas essas informações são fornecidas pelo certificado de calibração da câmera.
- **Orientação Exterior:** Conforme pontuado por Coelho Filho e Brito (2007), o objetivo primordial da orientação exterior (ou externa) é a obtenção da posição e da atitude do sensor ao coletar cada imagem fotográfica em relação ao referencial do espaço-objeto. Pode-se dizer, então, que uma imagem está orientada exteriormente se são conhecidos seus seis parâmetros de orientação exterior: as coordenadas no espaço-objeto para o centro de perspectiva e os ângulos de rotação ou de altura do sensor (φ , ω e κ). Amorim (2000) descreve a etapa dividida em duas fases, a primeira é a orientação relativa onde um projetor com uma segunda fotografia aérea orientada interiormente, assume a mesma posição em relação à uma primeira fotografia, também orientada anteriormente, que a câmara ocupava no momento da tomada da segunda fotografia. Em sequência, o modelo formado precisa ser nivelado e colocado em escala, através de pontos identificados no modelo que tenham coordenadas conhecidas no espaço objeto. Esse processo dá-se o nome de orientação absoluta.

A seguir, o fluxo de trabalho continua com a execução da Fototriangulação Analítica, conforme Lugnani (1987) que tem como objetivo, eficientemente, gerar coordenadas precisas de pontos do espaço objeto, a partir de coordenadas medidas em fotografias, devidamente

tomadas ou em modelos estereoscópicos formados, e a de um mínimo de informações do sensor.

De acordo com Arana (1994), na Fototriangulação Analítica, o tratamento matemático tem início a partir de coordenadas medidas na foto, restringindo a intervenção humana na participação instrumental e de observações a um mínimo. No tratamento analítico dois procedimentos podem ser adotados:

- a – Pré-processamento (minimizar a influência dos erros sistemáticos); e
- b – Fototriangulação com parametrização.

A sucessão do trabalho se dá pelo item de Retificação de Imagens Digitais, Amorim (2000) utiliza Wolf (1983) para definir que retificar uma fotografia é construir uma fotografia vertical equivalente ao negativo inclinado, tornando-a teoricamente verdadeira por estar livres das distorções (geométricas) causadas pelos deslocamentos devido à inclinação da câmara. Porém com a ressalva do próprio Amorim (2000), não se deve esquecer que a imagem ainda não está livre das distorções causadas pelos deslocamentos devido ao relevo, que podem ser minimizados por procedimentos de ortoretificação.

Ainda, segundo Amorim (2000), que recorre a Andrade (1998), para a retificação de uma fotografia, faz-se necessário anular os ângulos φ e ω , minimizar as distorções geométricas e aplicar um fator de escala. Além disso, considerando que não existe correspondência biunívoca entre os pixels da imagem retificada e da imagem original, existe a necessidade de amostragem que pode ser implementada com o processo de interpolação bilinear.

Dando sequência, a próxima tarefa é a geração de Modelos Digitais de Terreno, que em definição de Almeida (1989), o mesmo deve-se apresentar como um conjunto de altitudes do terreno, configurado numa malha regular. Para se obter uma ortofoto com boa precisão e resolução é fundamental que se tenha um Modelo Digital de Terreno de boa qualidade também. As informações primárias sobre o relevo da região podem ser obtidas, entre outros processos, a partir: de um modelo estéreo-fotogramétrico, da digitalização das curvas de nível já existente e de dados coletados no campo por topografia convencional. O modelo digital de terreno é obtido após um planejamento da estrutura de dados que reflita com precisão e informação geomorfológica. O modelo digital de terreno na forma de uma malha regular é gerado aplicando-se métodos de interpolação.

Em seguida é possível gerar as Ortofotos, que de acordo com Sato (2003), para se produzi-las é necessário realizar todos os processos anteriores, para em sequência retificar as imagens diferencialmente, processando-se cada *pixel* da imagem por meio das equações de retificação espacial. Portanto, para o cálculo de geração da ortofoto, são utilizados os arquivos

que contêm as informações das orientações (foto-coordenadas conjugadas dos pontos-de-controle e parâmetros de orientação da câmera) e os arquivos dos Modelos Digitais de Terreno correspondentes.

Ao final de todas essas etapas, é possível gerar o Mosaico de Ortofotos onde a área em questão estará restituída e será possível fazer a extração todas as informações da área em questão, inclusive, vetorizar em *softwares* pontos de interesses nas imagens, gerar as curvas de nível da área, produzir mapas para as mais diferentes finalidades urbanas e rurais, ou seja, reproduzir de maneira fiel a cartografia do ambiente estudado.

4.6.Topografia

Na etimologia da palavra TOPOGRAFIA, TOPOS, significa lugar e GRAPHIA, significa descrição, assim, de uma forma bastante simples, Topografia significa descrição do lugar.

Acredita-se que a partir de os primórdios da civilização o indivíduo demarcou a sua posição no espaço, realizando dessa maneira primeiro serviço topográfico. Por exemplo, babilônios, egípcios, gregos, chineses, árabes e romanos já utilizavam acessórios e processos que, apesar de que rudimentares, serviram com finalidade de relatar, abalizar e classificar propriedades urbanas tanto quanto rurais, com finalidades cadastrais.

Essa ciência tem como objetivo efetuar um levantamento (coleta de dados de medições de ângulos, distâncias e desníveis), de forma que se obtenha uma representação adequada do local estudado em uma escala. A partir das medidas obtidas com a ajuda de equipamentos e métodos topográficos é possível calcular coordenadas, volumes, áreas e representar essas informações em gráficos e mapas (VEIGA; ZANETTI; FAGGION, 2012).

Para a Norma NBR 13.133/94 de Execução de Levantamento Topográfico, o levantamento detalhes é:

O conjunto de operações topográficas clássicas (poligonais, irradiações, interseções, ou por ordenadas sobre uma linha-base), destinado à determinação das posições planimétrica e/ou altimétrica dos pontos, que vão permitir a representação do terreno a ser levantado topograficamente a partir do apoio topográfico. Estas operações podem conduzir, simultaneamente, à obtenção da planimetria e da altimetria, ou então, separadamente, se condições especiais do terreno ou exigências do levantamento obrigarem à separação.

Com a finalidade de obter mapeamentos cadastrais urbanos, existem duas Normas que regem os Levantamentos Topográficos, são elas a já citada acima NBR 13.133/94 de Execução de Levantamento Topográfico e a NBR 14.166/98 de Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento.

A NBR 13.133/94 fica como condições exigíveis para execução de levantamento topográfico destinando-se a obter:

- a) conhecimento geral do terreno: relevo, limites, confrontantes, área, localização, amarração e posicionamento;
- b) informações sobre o terreno destinadas a estudos preliminares de projetos;
- c) informações sobre o terreno destinadas a anteprojetos ou projetos básicos;
- d) informações sobre o terreno destinadas a projetos executivos.

Já a NBR 14.166/98 fixa as condições exigíveis para a implantação e manutenção da Rede de Referência Cadastral Municipal destinada a:

- a) apoiar a elaboração e a atualização de plantas cadastrais municipais;
- b) amarrar, de um modo geral, todos os serviços de topografia, visando as incorporações às plantas cadastrais do município;
- c) referenciar todos os serviços topográficos de demarcação, de anteprojetos, de projetos, de implantação e acompanhamento de obras de engenharia em geral, de urbanização, de levantamentos de obras como construídas e de cadastros imobiliários para registros públicos e multifinalitários.

Para efetuar esses levantamentos faz-se uso de uma quantidade bem variada de equipamentos que com o tempo foram evoluindo, possibilitando uma melhor qualidade dos dados obtidos, com maior rapidez e menos tempo em campo. Destes, podemos citar de alguns exemplos utilizados sequenciando conforme sua cronologia evolutiva: bussolas, trenas, teodolitos, níveis, estações totais e receptores GNSS.

Os receptores GNSS pertencem a uma categoria de equipamentos que se encontra, nos dias de hoje, entre os mais avançados do mercado desse setor e são destinados ao posicionamento e navegação. Os receptores GNSS são usados para as atividades de levantamentos topográficos e posicionamento geográficos.

Na atualidade os equipamentos utilizados na topografia, estão acessíveis aos usuários, tal público crescente, equipamentos sofisticados com preços acessíveis, equipamentos como estações totais e principalmente, aparelhos de GPS, esse sistema projetado pelo Departamento de Defesa Americano. O GPS é um sistema de geoposicionamento através de satélites artificiais baseados na transmissão e recepção de ondas de radiofrequência captadas por receptores GPS, obtendo posicionamento na superfície terrestre (ROCHA, 2004).

Os tipos de levantamentos de campo com a equipamento do tipo GNSS são Estático Pós-Processado, Cinemático Pós-Processado e RTK (Real-Time Kinematic, em português, cinemático em Tempo Real), sendo este último o mais recomendado.

A tecnologia Global Navigation Satellite System (GNSS) engloba os sistemas de posicionamento global de satélites e determina a posição de um ponto em um sistema

de coordenadas geográficas. Entre as tecnologias que empregam o sistema GNSS está o Real Time Kinematic (RTK). O RTK é um sistema que permite a correção imediata das observações. As informações são tratadas simultaneamente com o momento do levantamento dos dados. É a ação em "tempo real", o que resulta em obtenção de dados com maior rapidez. (MELO et al., 2011).

Para Silva e Segantine (2015) essa é a sequência de operações de campo para o levantamento de detalhes por intermédio de tecnologia GNSS:

1. Estacionar a antena do receptor da base (referência) sobre um dos pontos de apoio disponível na área;
2. Configurar o receptor de acordo com as exigências do fabricante, medir a altura da antena e indicar a identificação do ponto ocupado;
3. Iniciar o processo de transmissão das correções diferenciais RTK;
4. Configurar o receptor remoto de acordo com as exigências do fabricante e do tipo de levantamento e medir a altura da antena receptora;
5. Escolher o tipo de detalhe a ser levantado e aplicar a codificação e a numeração adequadas para o ponto a ser medido;
6. Ocupar os pontos a serem medidos com a antena remota;
7. Repetir o passo 6 para os demais pontos de levantamento.

Em um levantamento de detalhes topográficos, com o intuito de reprodução de um mapeamento com uso de equipamentos aerofotogramétricos, é necessário um levantamento de apoio com pontos de coordenadas conhecidas a fim de melhorar a acurácia do levantamento.

4.6.1. Pontos de Apoio

Pontos de apoio, como o próprio nome diz, apoiam o levantamento topográfico de detalhes, são pontos que auxiliam na criação de uma rede local de coordenadas conhecidas. Eles se dividem em Pontos de Controle e Pontos de Verificação.

4.6.2. Pontos de Controle

Ferreira (2017), descreve pontos de controle como:

Pontos de controle são pontos visualmente identificáveis ao sistema, ou seja, objetos, alvos, detalhes no terreno que irão fazer parte do reconhecimento aéreo, utilizados para fazer uma relação entre o sistema de coordenadas providos da imagem com o sistema de coordenadas referente ao terreno. Basicamente são pontos de referência no solo que são utilizados no processamento das tomadas de imagens a fim de aumentar a precisão dos produtos finais gerados.

Na fotogrametria, os pontos de controle têm uma enorme importância no processamento dos dados, pois os softwares disponíveis nem sempre são capazes de processar as imagens sem uma referência em solo, e mesmo com o avanço da visão computacional e aprimoramento dos algoritmos nos *softwares*, os pontos de controle ainda são requeridos para que se opere o reconhecimento aéreo com margem de segurança maior em nível confiabilidade de informações.

4.6.3. Pontos de Verificação

Ponto de verificação são definidos por Ferreira (2017), como:

Os pontos de verificações apresentam as mesmas características dos pontos de controle, mas se diferem pelo modo como é a sua utilização. Enquanto os pontos de controle são utilizados unicamente no processamento georreferenciado do bloco fotogramétrico, os pontos de verificação são utilizados apenas para análise qualitativa do produto final.

A partir dos pontos de verificação coletados no terreno e suas respectivas coordenadas geográficas, é feita na etapa de processamento uma comparação entre as coordenadas obtidas na imagem com as do terreno, e a diferença entre esses valores é uma medida de confiabilidade das imagens. Em níveis de verificação, são estes pontos que são utilizados para medir a acurácia de um levantamento.

Os pontos de verificação, portanto, não são utilizados diretamente no processamento do bloco fotogramétrico, ou seja, no objetivo de mapeamento propriamente dito. Se isto ocorrer, irão participar do processo estatístico de ajustamento influenciando diretamente em suas coordenadas e precisão e com isso mascarando os resultados finais, portanto, eles são mensurados na imagem paralelamente. No momento da aerotriangulação eles não são selecionados (NETO, 2015).

4.7.Verificação da Acurácia Posicional

Antes de entrar propriamente no estudo de verificação de acurácia posicional de levantamento fotogramétrico com utilização de imagens aéreas obtidas com RPAs apoiados em pontos com coordenadas GNSS conhecidas, devemos conceituar dois termos: Acurácia e Precisão, que recorrentemente aparecem para indicar a qualidade dos produtos fotogramétricos gerados, mas que tem significados diferentes e podem trazer interpretações errôneas sobre os conceitos.

De acordo com breve definição de Mikhail e Ackermann (1976):

A acurácia refere-se ao grau de proximidade de uma estimativa ao seu parâmetro, enquanto a precisão expressa o grau de observações à sua média. Portanto, a acurácia reflete a proximidade de uma estatística de localização com o valor do parâmetro para o qual é uma estimativa, e a precisão está diretamente relacionada à dispersão de uma distribuição. No caso unidimensional, a precisão é considerada como sendo representada pelo valor do desvio padrão.

Ou seja, de maneira mais simplificada ainda, utilizando de forma hipotética uma analogia com lançamentos de dardos em um alvo, pode-se dizer que a precisão seria a verificação da proximidade dos dardos entre si, nos lançamentos efetuados pela repetição do processo, não importando o local em que o alvo tenha sido atingido. Enquanto a acurácia seria a verificação da proximidade desses lançamentos dos dardos entre si, juntamente com a proximidade desses dardos em relação ao centro do alvo.

No Brasil, para avaliar a acurácia posicional em produtos cartográficos é utilizada uma norma oficial estabelecida pelo Decreto-lei n° 89.817/84. Esse Decreto, institui instruções reguladores das normas técnicas da cartografia nacional e se destinam a estabelecer procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de normas da cartografia nacional, bem como padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas.

No capítulo II, seção 1 do Decreto 89.817, estabelece o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, conforme critério abaixo indicado:

1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica – Planimétrico - estabelecido.
 2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas-de-nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico - estabelecido.
- §1º Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.
- §2º A probabilidade de 90% corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão - PEC = 1,6449 EP.
- §3º O Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não ultrapassará 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica.
- §4º Para efeito das presentes Instruções, consideram-se equivalentes as expressões Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.

Assim, as cartas são classificadas em Classes A, B e C conforme sua exatidão e os critérios seguintes:

A - Classe A

1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,5 mm, na escala da carta, sendo de 0,3 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.
2. Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: metade da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de um terço desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

B - Classe B

1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 0,8 mm na escala da carta, sendo de 0,5 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.
2. Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: três quintos da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de dois quintos o Erro-Padrão correspondente.

C - Classe C

1. Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico: 1,0 mm na escala da carta, sendo de 0,6 mm na escala da carta o Erro-Padrão correspondente.
2. Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico: três quartos da equidistância entre as curvas-de-nível, sendo de metade desta equidistância o Erro-Padrão correspondente.

De forma mais sucinta, abaixo a tabela 1 mostra o critério de avaliação do Decreto.

Tabela 1: Critérios de Avaliação PEC-PCD

Carta	Planimetria		Altimetria	
	PEC	Erro Padrão	PEC	Erro Padrão
Classe A	0,5mm x Escala	0,3mm x Escala	0,50 x Equidistância	0,33 x Equidistância
Classe B	0,8mm x Escala	0,5mm x Escala	0,60 x Equidistância	0,40 x Equidistância
Classe C	0,1mm x Escala	0,6mm x Escala	0,75 x Equidistância	0,50 x Equidistância

Fonte: Adaptado a partir da PEC-PCD

Uma outra maneira, adotada no Brasil, de se avaliar a acurácia voltada a imóveis rurais, apesar de a pesquisa estar detalhada em ambiente urbano e ser importante avaliar esses dados para dar uma maior abrangência, é a norma (que veio em consonância ao momento de abertura das atuações comerciais de RPAs nos ambientes rurais) de execução de nº 02 do INCRA

(Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária), de 19 de fevereiro de 2018. A mesma estabelece critérios para aplicação e avaliação de produtos gerados a partir de aerofotogrametria para a determinação de coordenadas de vértices definidores de limites de imóveis rurais. No seu artigo 5º, é estabelecido que quando for utilizada a aerofotogrametria em georreferenciamento de imóveis rurais, é necessária a avaliação da acurácia posicional obedecendo os seguintes critérios:

- I. Utilização de no mínimo vinte pontos de verificação, os quais deverão ser devidamente sinalizados em campo;
- II. Teste estatístico que comprove a normalidade das discrepâncias posicionais planimétricas ao nível de confiança de 95%, utilizando o método de Shapiro-Wilk;
- III. Teste de tendência ao nível de 90%, utilizando-se o teste *t-Student*, que comprove a não tendenciosidade;
- IV. 100% das discrepâncias posicionais serem menores ou iguais à precisão posicional correspondente a cada tipo de limite.

A norma busca se alinhar ao mercado e beneficiar os profissionais que trabalham com a tecnologia facilitando e diminuindo o tempo na execução dos serviços.

Já nos Estados Unidos da América, o padrão de acurácia da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS) trata das atuais tecnologias de mapeamento, levando isso em conta, foi elaborada a norma de Padrões da Acurácia para Dados Digitais Geoespaciais da ASPRS (ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data) em 2014.

De acordo com a norma (ASPRS, 2014), o objetivo dos Padrões de Acurácia ASPRS para Dados Geoespaciais Digitais é substituir os Padrões de Acurácia ASPRS para Mapas em Grande Escala, 1990, e as Diretrizes ASPRS, Relatório de Acurácia Vertical para Dados Lidar, 2004, com novos padrões de acurácia mais propícios para ortofotos digitais e dados digitais de elevação. O novo padrão inclui limites de precisão para ortofotos digitais e dados de elevação digital, independente da escala do mapa publicada ou do intervalo de contorno, enquanto o novo padrão para dados planimétricos, ainda ligado ao fator de escala do mapa, aperta o padrão de mapeamento planimétrico publicado na ASPRS, 1990.

Ainda segundo a norma, o padrão de acurácia planimétrica ASPRS é baseado em classes de acurácia usando estatísticas de erro quadrático médio (RMSE), enquanto o padrão de acurácia altimétrica ASPRS é baseado em classes de precisão usando estatísticas RMSE em terreno não vegetado e estatísticas de 95º percentil em terreno vegetado. Os produtos

horizontais de Classe I referem-se a dados geoespaciais de grau de levantamento de alta acurácia para aplicações de engenharia mais exigentes, produtos de Classe II referem-se a dados geoespaciais de grau de mapeamento de alta hígidez e produtos de classe III e de classe superior referem-se a classes de visualização de menor precisão dados geoespaciais adequados para aplicações de usuário menos exigentes.

Segundo a ASPRS, RMSE_x é igual ao RMSE linear horizontal na direção X (Leste) e RMSE_y é igual ao RMSE linear horizontal na direção Y (Norte). RMSE_r é igual a raiz quadrada do somatório de RMSE_x e RMSE_y ao quadrado. Já RMSE_z é igual ao RMSE vertical. Abaixo é possível identificar pelas Equações 1, 2, 3 e 4, como são avaliados a acurácia posicional que está diretamente ligada ao RMSE:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{base} - X_{check})^2}{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{base} - Y_{check})^2}{n}} \quad (2)$$

$$RMSE_r = \sqrt{(RMSE_x - RMSE_y)^2} \quad (3)$$

$$RMSE_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_{base} - Z_{check})^2}{n}} \quad (4)$$

Onde:

X base, *Y base* e *Z base*: são as coordenadas dos pontos bases de fonte de maior acurácia;

X check, *Y check* e *Z check*: são as coordenadas dos pontos de verificação de fonte de levantamento;

n: número de pontos de verificação analisados.

Com os padrões utilizados para análise de acurácia posicional horizontal é possível avaliar conforme a Tabela 2 apresenta classes de acurácia padrão (I, II, III) aplicáveis a ortofotos digitais produzidas a partir de imagens digitais com qualquer distância de amostra do solo (Ground Sample Distance - GSD), bem como classes de menor acurácia variável para

ortoimagem. É o tamanho do pixel da ortofoto digital final que está sendo testada que é usada para estabelecer classes de precisão horizontal para ortofotos digitais. O RMSEr apresenta um fator considerado como se os valores de RMSE_x e RMSE_y fossem iguais, portanto, esse fator é igual a 1,414. Para avaliar Acurácia da resultante horizontal (radial) no nível de confiança de 95% segundo a norma é utilizado um fator de 2,448.

Tabela 2: Padrão de acurácia horizontal segundo ASPRS 2014

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

Fonte: Adaptado de Zanetti, 2018

Já na pesquisa de acurácia altimétrica, inclui classes de precisão verticais para dez níveis de precisão relevantes para as tecnologias de elevação e em quatro tipos de análises conforme Tabela 3. Na sequência, as definições segundo a ASPRS.

A Acurácia Vertical Não Vegetada (NVA), isto é, acurácia vertical ao nível de confiança de 95% em terreno não vegetado, é aproximada multiplicando o RMSE_z (apenas nas categorias de cobertura de terra não vegetada) por 1,96. Isso inclui pontos de verificação de pesquisa localizados em terreno aberto tradicional (solo nu, areia, pedras e grama curta) e terreno urbano (superfícies de asfalto e concreto). O NVA, baseado em um multiplicador RMSE_z, deve ser usado em terrenos sem vegetação, onde os erros de elevação geralmente seguem uma distribuição de erro normal. As estatísticas baseadas em RMSE_z não devem ser usadas para estimar a precisão vertical em terrenos com vegetação, onde os erros de elevação geralmente não seguem uma distribuição normal por razões inevitáveis.

Tabela 3: Padrões de acurácia altimétrica para dados de elevação digital ASPRS 2014

Classes de Acurácia de Dados Vertical	RMSEz em terreno não-vegetado (cm)	Acurácia Vertical Não-Vegetada (NVA) a 95% de Confiança (cm)	Acurácia Vertical Vegetal (VVA) no 95° Percentil (cm)	Acurácia relativa faixa a faixa em terreno não-vegetado (RMSDz / Max Diff) (cm)
I	1.0	2.0	2.9	0.8/1.6
II	2.5	4.9	7.4	2.0/4.0
III	5.0	9.8	14.7	4.0/8.0
IV	10.0	19.6	29.4	8.0/16.0
V	12.5	24.5	36.8	10.0/20.0
VI	20.0	39.2	58.8	16.0/32.0
VII	33.3	65.3	98.0	26.7/53.3
VIII	66.7	130.7	196.0	53.3/106.6
IX	100.0	196.0	294.0	80.0/160.0
X	333.3	653.3	980.0	266.6/533.4

Fonte: Norma ASPRS,2014

A Acurácia Vegetal Vertical (VVA), é uma estimativa de acurácia vertical no nível de confiança de 95% em terreno vegetado, é calculada como o percentil 95° do valor absoluto de erros verticais em todas as categorias de cobertura vegetal combinadas, incluindo ervas daninhas altas e culturas e totalmente florestadas.

Para todas as classes de precisão vertical, o VVA é 1,5 vezes maior que o NVA. Se este padrão VVA não puder ser encontrado em vegetação impenetrável, como densos campos de milho ou manguezais, os polígonos de área de baixa confiança devem ser desenvolvidos e explicados nos metadados como o equivalente digital a contornos tracejados usados no passado quando os fotogrametros não conseguiam medir a terra nua em terreno de áreas florestais.

A acurácia relativa de faixa a faixa é computada como uma diferença quadrática média (RMSDz) porque nenhuma faixa representa uma fonte independente de acurácia mais alta, usada em cálculos de raiz quadrada de erro médio quadrático altimétrico (RMSEz) para dados testados em comparação com a verificação QA / QC pontos de maior acurácia. Os fatores para análise do fator RMSDz / Max Diff são 0,8/1,6 respectivamente.

Normas anteriores e padrões de acurácia normalmente especificam o número necessário de pontos de verificação e, em alguns casos, os tipos de cobertura da terra, mas não havia necessidade de definir e/ou caracterizar a distribuição espacial dos pontos. Evidentemente não é simples, mas caracterizar a distribuição de pontos por alguma medida e, conseqüentemente, fornecer um número de qualidade, é necessário. A ASPRS incentiva a pesquisa sobre este tema.

Tabela 4: Número recomendado de pontos de verificação com base na área ASPRS 2014

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

Fonte: Norma ASPRS 2014

Dando sequência, de acordo com a Tabela 4, as diretrizes para a distribuição da quantidade dos pontos através dos tipos de cobertura de terra e distribuição espacial dentro de um projeto.

O número recomendado e a distribuição dos pontos de verificação de NVA e VVA podem variar dependendo da importância das diferentes categorias de cobertura da terra e dos requisitos do cliente.

A ASPRS reconhece que algumas áreas do projeto são principalmente não vegetadas, enquanto outras áreas são principalmente vegetadas. Por esses motivos, a distribuição dos pontos de verificação pode variar com base na proporção geral de área com vegetação e sem vegetação no projeto. Os pontos de controle restantes devem ser distribuídos geralmente de forma proporcional entre os vários tipos de cobertura vegetal com vegetação no projeto.

Desta forma, é possível fazer uma análise completa da acurácia posicional utilizando métodos de estatísticos e modos variados de verificação que permitem a validação do conforme a normalidade da amostra, a tendência da amostra, avaliar os erros de coordenadas planimétricas e altimétricas da amostra, classificando os produtos qualitativamente e recomendando assim suas escalas e suas utilizações.

5. MÉTODO E PLANO DE TRABALHO

A pesquisa foi realizada em duas etapas. Uma delas foi caracterizada pela revisão da literatura existente incluindo todas as técnicas utilizadas e necessárias para o planejamento da segunda parte da pesquisa, que representa o planejamento do trabalho em campo para a coleta de dados e em sequência o processamento dos dados obtidos em campo. A etapa de campo foi dividida em 10 etapas que serão realizadas conforme fluxo de trabalho definido abaixo na figura 1 e estão descritas neste capítulo.

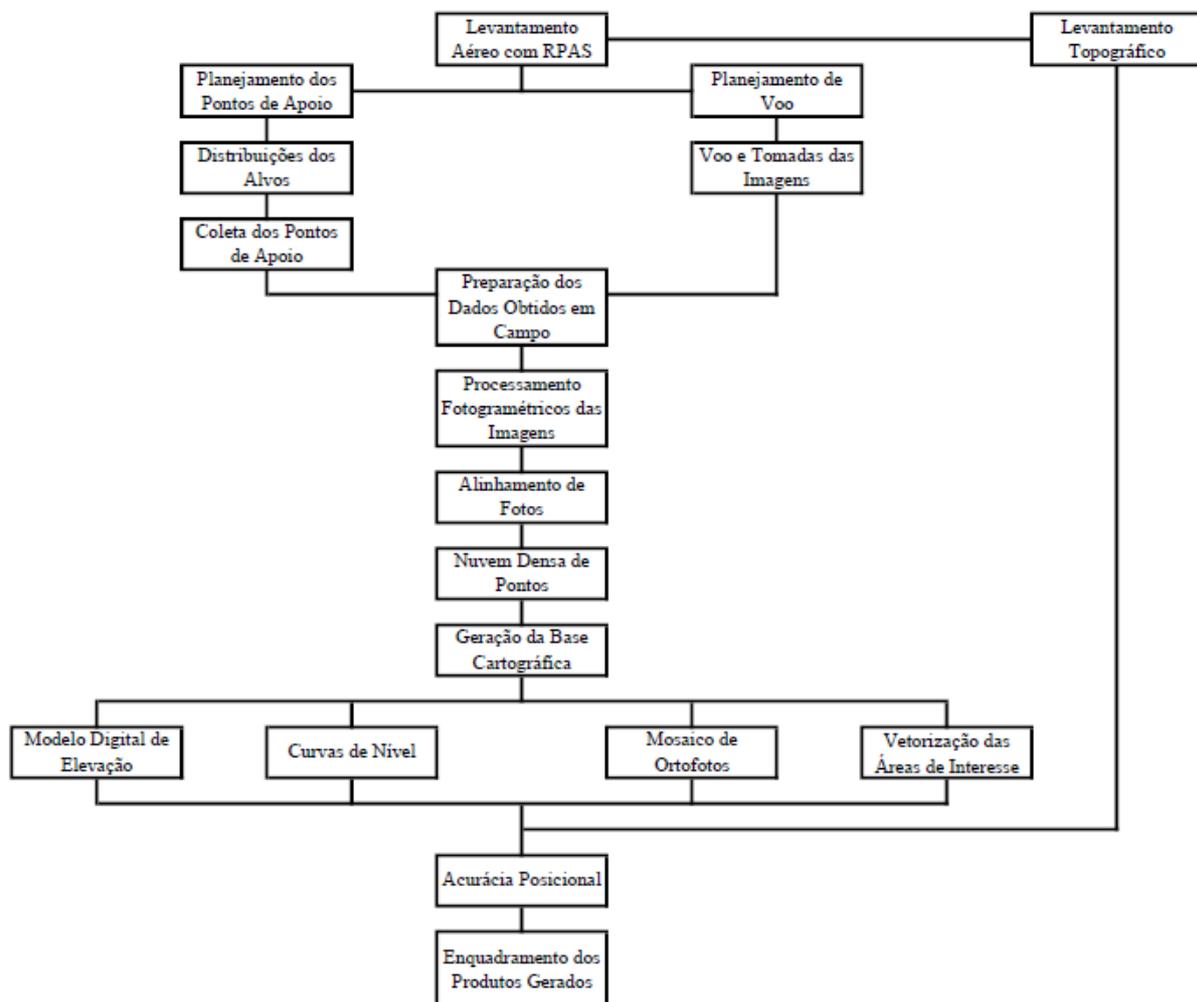


Figura 1: Fluxo Metodológico de Trabalho (desenvolvido pelo autor)

5.1. Planejamento do voo

Neste trabalho, o objeto de estudo é a área que compreende os limites do Bairro Jardim Alto das Palmeiras, loteamento lançado no final do ano de 2015 de uso misto com zona residencial e zona comercial-industrial com uma área aproximadamente de 729.000,00 metros quadrados localizada entre a Rodovia Anhanguera pelo lado oeste. Os bairros Cidade Jardim,

Jardim Universitário e Jardim São Pedro pelo sul e sudeste e a leste e norte por áreas rurais do município de Leme, estado de São Paulo, Brasil, conforme a imagem de localização da figura 2.



Figura 2: Localização da Área de Estudo

Distrito criado com a denominação de Leme pelo Decreto-lei Estadual n.º 124, de 20-01-1891, subordinado ao município de Pirassununga. Elevado à categoria de vila com a denominação de Leme pela Lei Estadual n.º 358, de 29-08-1895, sendo desmembrado do município de Pirassununga. Sede no atual distrito de Leme. Constituído do distrito sede. Instalado 30-11-1895. Elevado à categoria de cidade com denominação Leme pela Lei Estadual n.º 1.038, de 19-12-1906. Em divisão administrativa referente ao ano de 1911, o município é constituído do distrito sede. Em divisão territorial datada de 1-VII-1960, o município permanece constituído do Assim permanecendo em divisão territorial datada de 2014 (IBGE, 2018). O mapa de localização do município está representado na figura 3 abaixo.

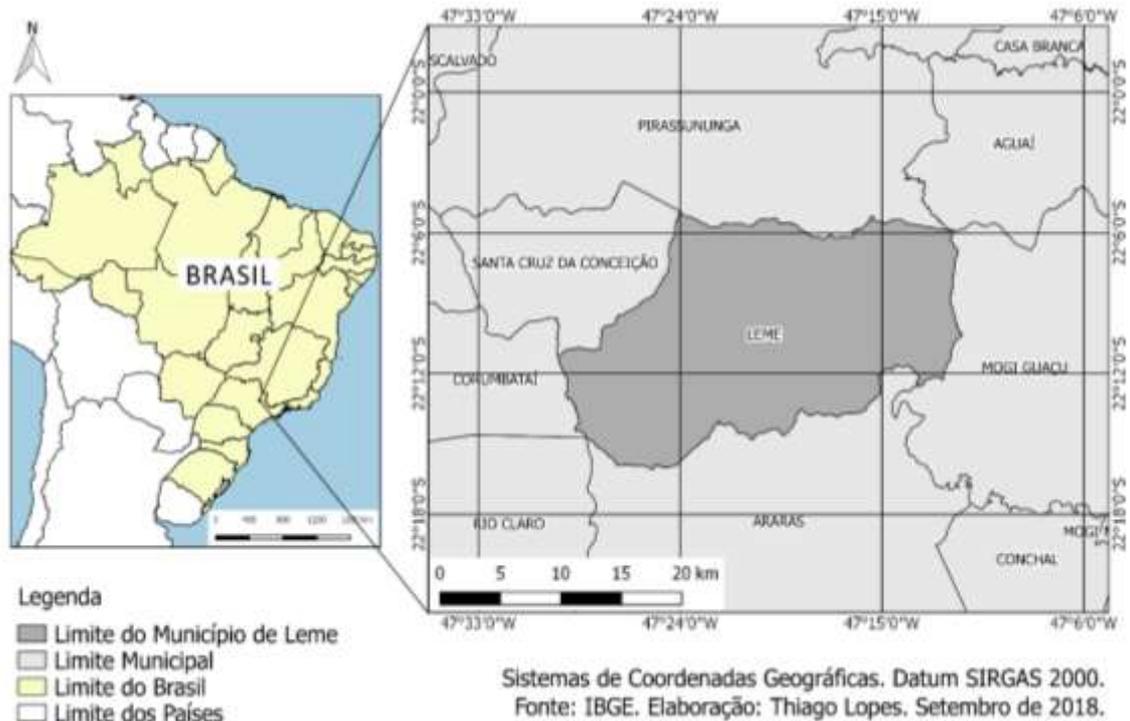


Figura 3: Mapa de Localização Município de Leme

A área em questão foi escolhida por conter acentuados pontos de desnível para facilitar a análise dos produtos gerados da superfície e do terreno. Foram planejados dois voos experimentais com mesma altura, neste caso, 200 metros, devidamente regularizado mesmo estando acima da altura máxima da regulamentação, com profissional com certificação de pilotagem específica, perpendiculares entre si, para compor um voo cruzado, para melhorar as condições de sobreposição das imagens.

O aplicativo utilizado para o planejamento destes voos é o DroneDeploy, que é um aplicativo de voo automatizado voltado para aeronaves da marca DJI. Nesta altura o GSD indicado pelo aplicativo é de 6,00 centímetros. Como o objetivo verificar a acurácia e o uso dos dados obtidos, as sobreposições serão definidas utilizando o princípio da fotogrametria considerando recobrimento longitudinal de 80% e lateral de 80%. Após a definição do recobrimento se determina a largura e comprimento das faixas, pois para esses equipamentos é recomendado executar os voos com um recobrimento maior, a quantidade de imagens, local de pouso e decolagem, que serão definidas com auxílio do aplicativo. Conforme figura 4 abaixo.

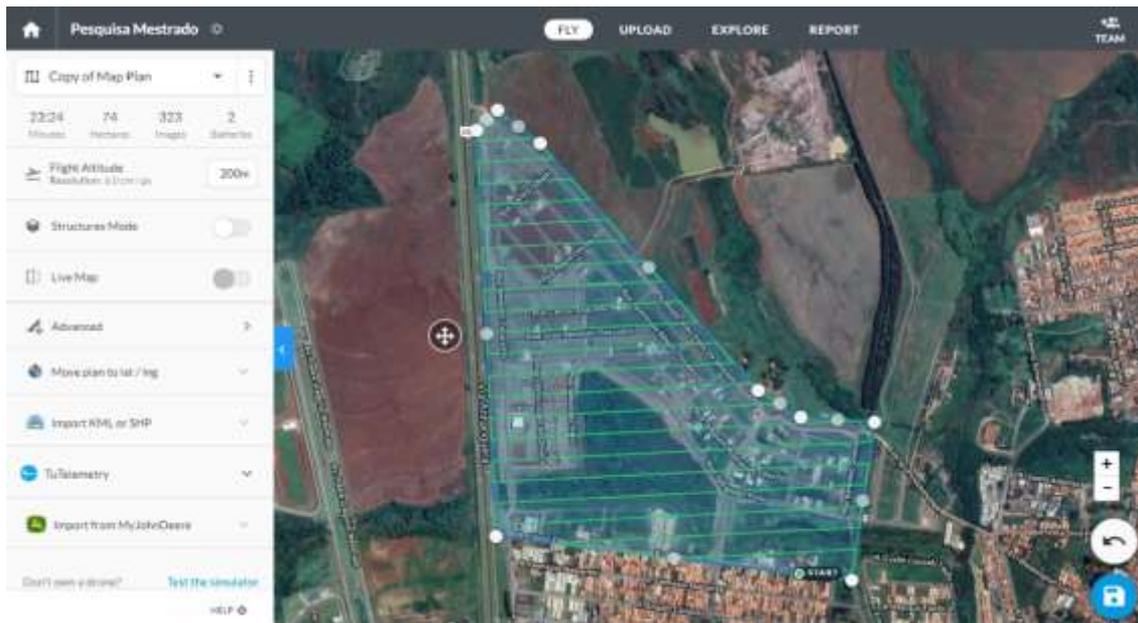


Figura 4: Interface Drone Deploy e Plano de Voo

5.2. Planejamento dos pontos de apoio (Controle e Verificação)

Distribuição dos pontos na área de forma que estejam visíveis no terreno, com coordenadas em levantamento por Receptor GNSS de Precisão em que os dados serão utilizados no processamento dos dados. Os pontos deverão ser identificáveis nas imagens e poderão ser naturais ou artificiais.

O uso desses pontos de apoio para levantamento de detalhes com RPAs pretende atingir uma precisão e acurácia topográfica.

5.3. Distribuições dos alvos (em caso de voos pré-sinalizados)

Usualmente os alvos são espalhados pelo terreno e logo após é realizado o voo, porém, na pesquisa em questão a coleta dos pontos de controle foi executada de forma diferente, não foram espalhados alvos artificiais, foram utilizados 78 pontos sinalização de trânsito e tampas de poços de visita distribuídos de forma dispersa na área para que não falte informações em determinadas regiões da área de estudo, como mostrado na figura 5.



Figura 5: Exemplo de Alvo Utilizado como Ponto de Apoio

5.4. Coleta dos pontos de apoio

A coleta dos pontos foi feita através do Receptor GNSS – RTK Topcon GR-3 de dupla frequência (L1/L2), em que um receptor base fica reconhecendo o ponto base. O tempo de coleta do ponto base foi de 5 horas e 45 minutos, para em sequência fazer o pós-processamento utilizando o IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso). No Anexo A do trabalho é apresentado do relatório IBGE-PPP.

A partir desse ponto georreferenciado, os pontos de apoio foram coletados com o receptor *rover* em modo RTK que dá o posicionamento cinemático do ponto em tempo real (o tempo de coleta do foi de aproximadamente dez segundos para cada ponto). Nos alvos de sinalizações de trânsito, como o aviso de PARE, o ponto coletado no canto superior esquerdo da letra “P”, nas tampas de poços de visita foram coletados pontos no centro da circunferência, em marcação pré-estabelecida no ferro das tampas.

5.5. Voo e tomada das imagens

Foram realizados os dois voos planejados com o aplicativo DroneDeploy, perpendiculares entre si, para compor um voo cruzado com a finalidade de utilização da fotogrametria com RPAs para mapear a área em questão. Neste caso, em uma área sobrevoada é de aproximadamente 74 hectares, os tempos dos dois voos são de 22 minutos e 15 segundos e 23 minutos e 24 segundos de duração, com 18 linhas de voo com imagens e 23 linhas de voo, respectivamente e contabilizando os dois voos foram capturadas 714 imagens.

5.6.Preparação dos dados obtidos em campo

Após a obtenção das imagens digitais, pelo voo fotogramétrico é necessário remover o cartão de memória da aeronave e carregá-las no diretório (C:) da estação de trabalho. Elas devem ser manipuladas, com intuito de melhoria da qualidade, com a mudança dos níveis de cinza ou das cores, ou com *softwares* especializados que fazem o procedimento automático, nesse caso será utilizado o *software* Agisoft PhotoScan, versão Profissional de avaliação. A figura 6 mostra a interface inicial do software.

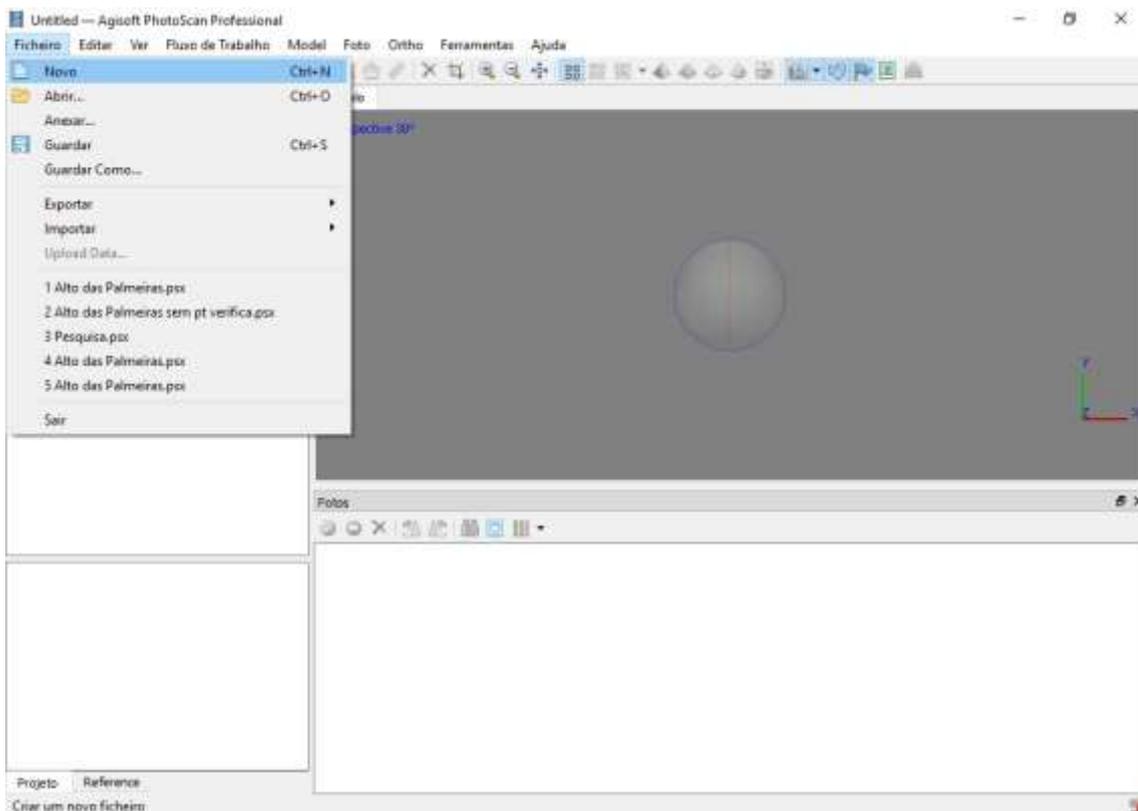


Figura 6: Interface de Criação de Projeto

A próxima fase depois de ter iniciado o *software* Agisoft PhotoScan é inserir as imagens, conforme a figura 7, a partir daí, inicia-se a fase de pré-processamento em que é recomendado avaliar as imagens.

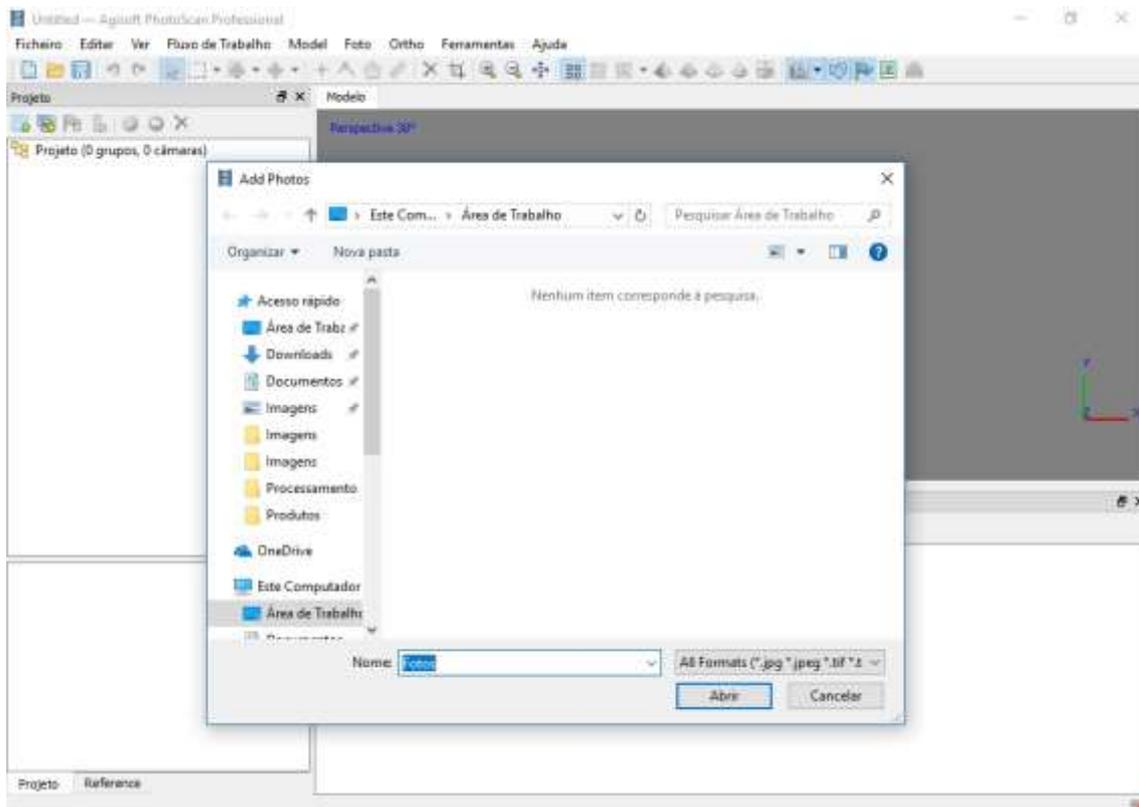


Figura 7: Inserção das Imagens Capturadas

Na figura 8 notamos as imagens já inseridas e posicionadas. Para avaliação das imagens, foi utilizado o procedimento de implantação de máscaras nas imagens a fim de eliminar zonas de baixa sobreposição fotogramétrica e zonas que podem trazer alguma confusão na fase de processamento. Em seguida, utiliza-se outra ferramenta para estimar a qualidade das imagens. Nesse processo as imagens que forem qualificadas em uma escala de zero a um com valores abaixo 0,5, devem ser suprimidas do processamento por recomendação dos fabricantes do *software*, com intuito de otimizar o processamento. Por fim, depois deste pré-processamento é possível executar a primeira etapa, o alinhamento das fotos.

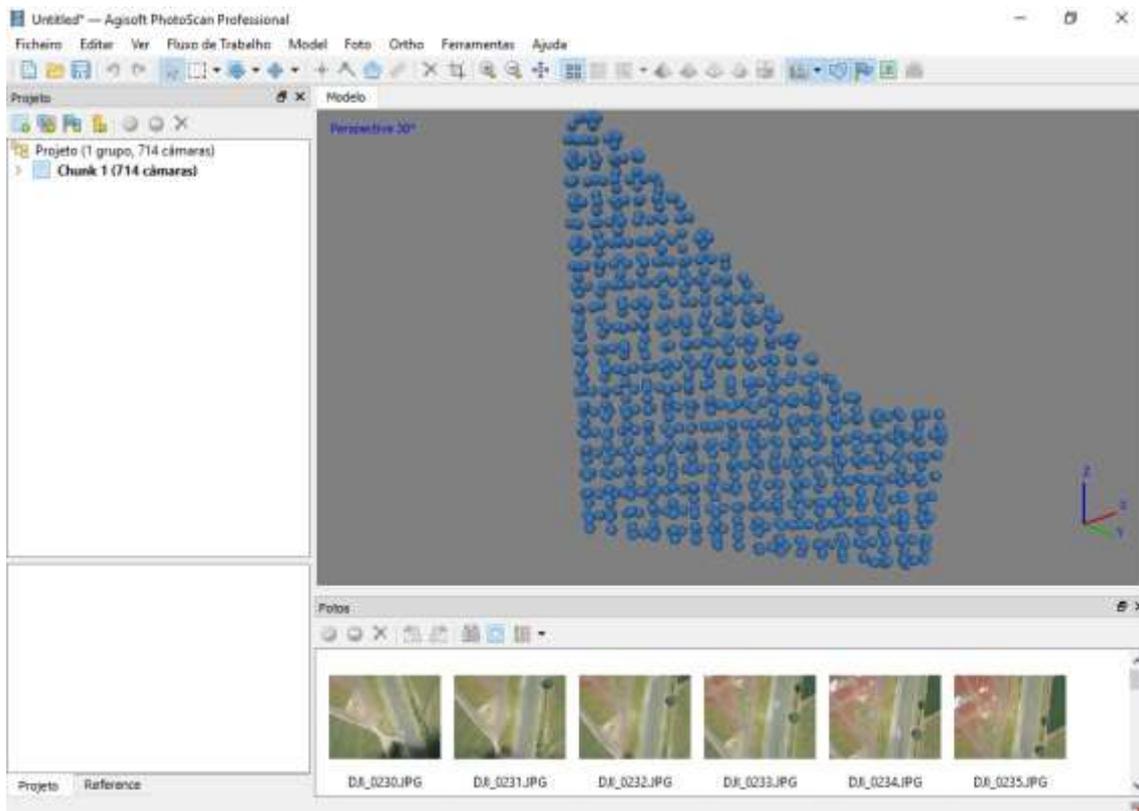


Figura 8: Imagens Inseridas e Posicionadas

5.7.Processamento Fotogramétrico das Imagens

5.7.1. Alinhamento de Fotos

O *software* PhotoScan trabalha de forma diferente se comparado com programas utilizados em processamento fotogramétricos convencionais não segue as etapas de processamento fotogramétricos descritas anteriormente. Os algoritmos utilizados em ambos processamentos são diferentes. O que o *software* utilizado neste processamento faz, é uma forma de constituir os processos de maneira similar ao realizado pelo processamento convencional e assim apresenta um fluxo de trabalho interno único. É possível identificar semelhanças entre as etapas.

O Alinhamento das Fotos é a primeira etapa deste processamento, onde é realizado um processo de triangulação dos pontos utilizando a base de pontos com coordenadas geográficas conhecidas e as medidas angulares entre eles, para que as correções de erros sejam feitas e que se determine as coordenadas de cada pixel da imagem, considerando a altura e a variação de relevo da superfície. O resultado é a geração da nuvem de pontos esparsa ou pontos fotogramétricos onde sua função é materializar o sistema de coordenadas do terreno.

O produto gerado na fase de alinhamento de fotos é um produto básico para geração da nuvem de pontos densificada, modelos 3D e ponto ligação entre as ortofotos no processo de geração do mosaico de ortofotos.

Para realizar o alinhamento das fotos (Aba Fluxo de Trabalho > Alinhar Fotos), conforme o Fluxo de Trabalho evidenciado na figura 9. Dependendo da aplicação a ser dada ao projeto e o detalhamento proposto, existem 5 níveis, os quais são: muito elevado, elevado, médio, baixo e muito baixo, que variam respectivamente de mais detalhado para menos detalhado.

No caso proposto, foi executado um alinhamento em baixa resolução para um simples posicionamento das fotos e criação de pontos básicos como visto na figura 10, para na sequência serem inseridos os pontos de apoio coletados em campo utilizados para melhorar a acurácia posicional da nuvem de pontos.

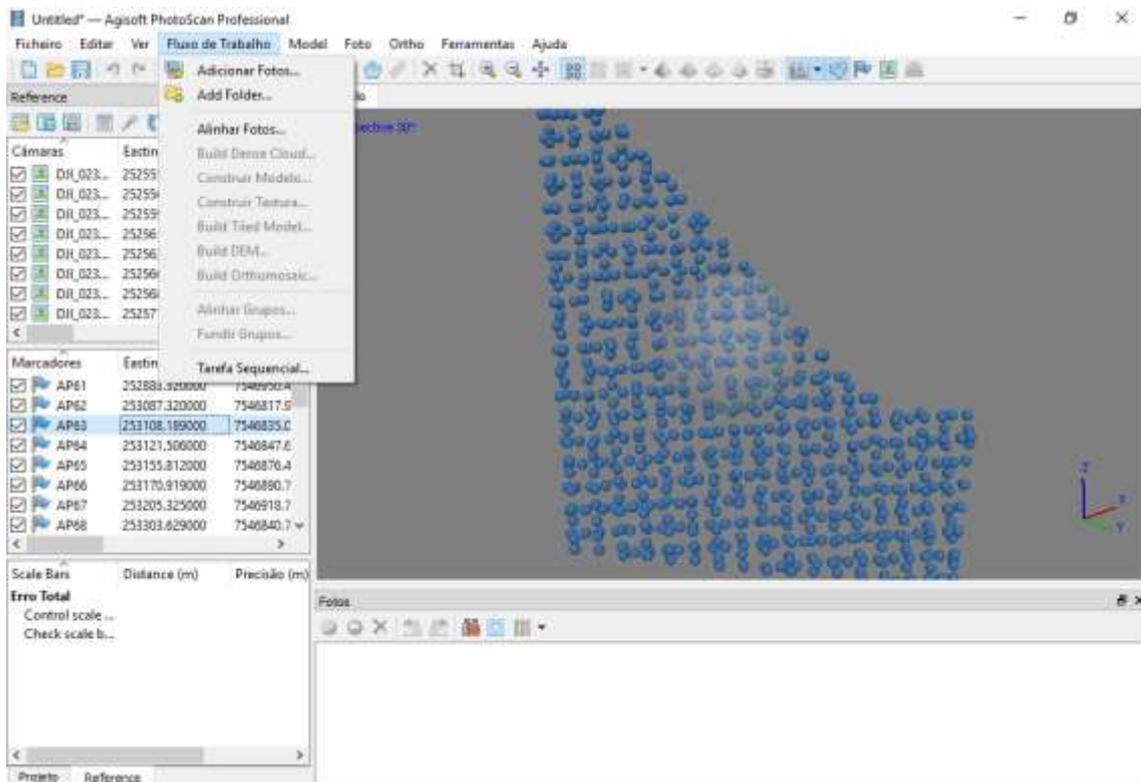


Figura 9: Fluxo de Trabalho Agisoft PhotoScan

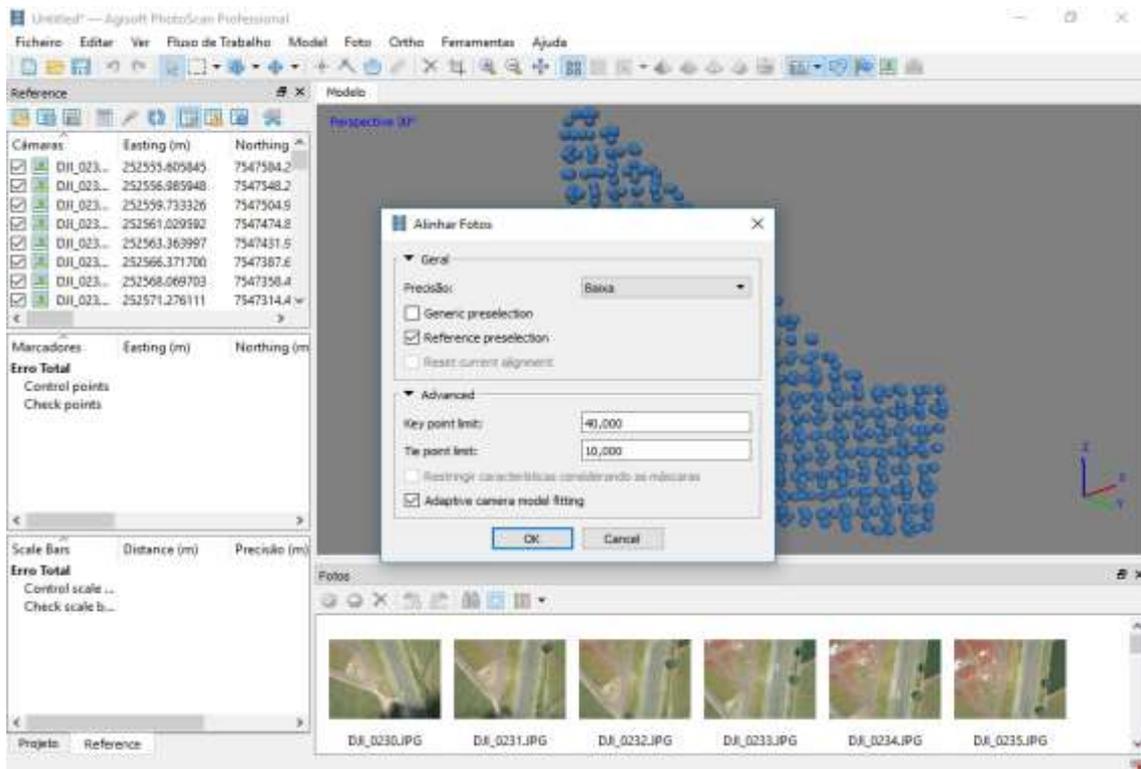


Figura 10: Processo de Alinhamento de Fotos

Para inserir os pontos de apoio ao projeto, é necessário importar um arquivo de texto com todas as coordenadas tanto altimétricas quanto planimétricas, como mostra a figura 11.

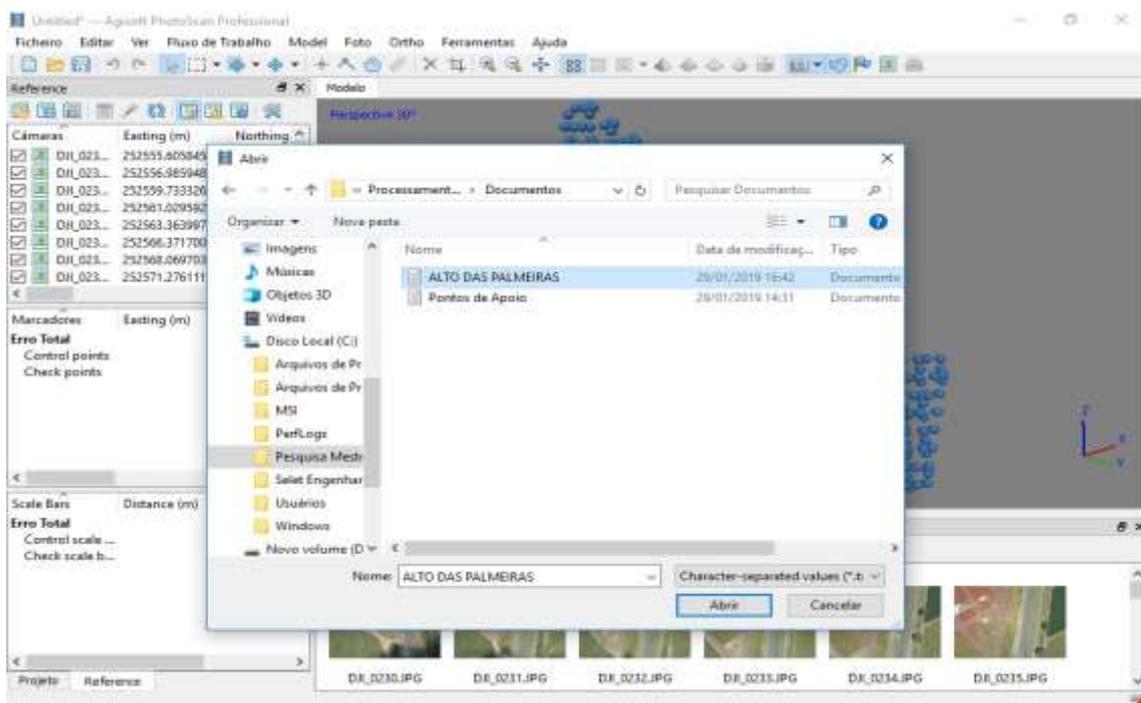


Figura 11: Inserção do Pontos de Apoio no Projeto

Já na figura 12, fica demonstrado a forma com que esses pontos serão introduzidos no processamento.

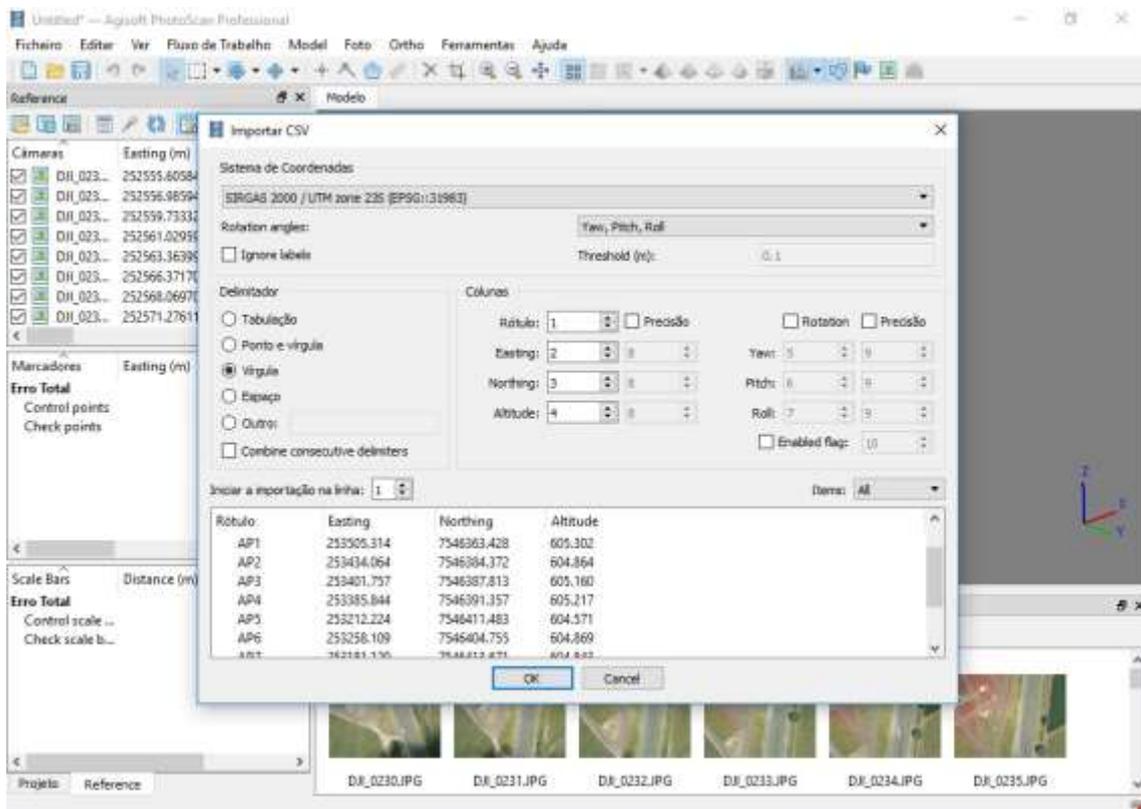


Figura 12: Inserção das Coordenadas do Pontos de Apoio

Após a inserção dos pontos de apoio no projeto, é feita em cada um dos pontos uma filtragem para se obter a quantidade de imagens capturadas que compreende esse ponto em questão. O passo seguinte é fazer a pontaria nos alvos escolhidos. Na figura 13 é mostrado como é feito dentro do processamento, todas as imagens em que o alvo estiver foto identificável devem ser marcadas, com o intuito de melhorar o posicionamento do bloco. Depois de feito esse procedimento para todos os alvos, é necessário fazer novamente o alinhamento das fotos, mas dessa vez, em detalhamento alto, utilizando como referência os pontos de apoio coletados em solo. Ao final do alinhamento, foi apresentada uma nuvem esparsa de pontos que inclui aproximadamente 804 mil pontos. A figura 14, é possível perceber a mudança dos parâmetros com relação ao processamento anterior.

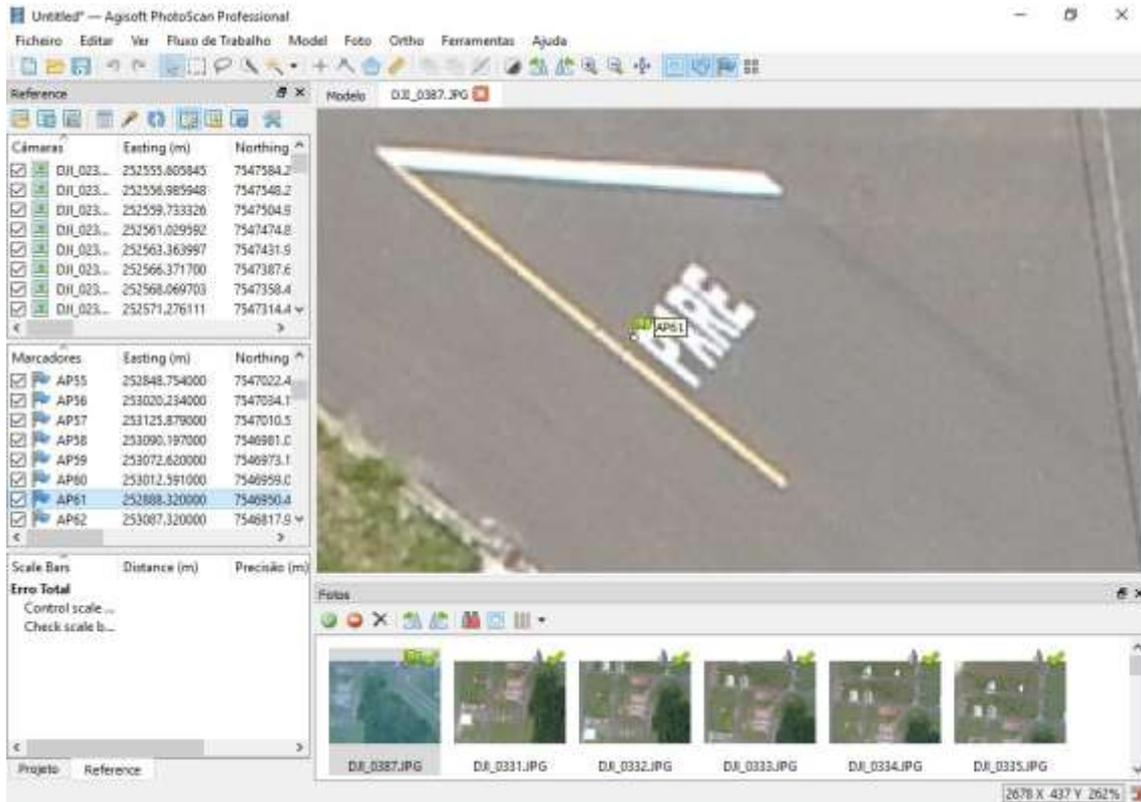


Figura 13: Pontaria dos Alvos Foto-Identificáveis

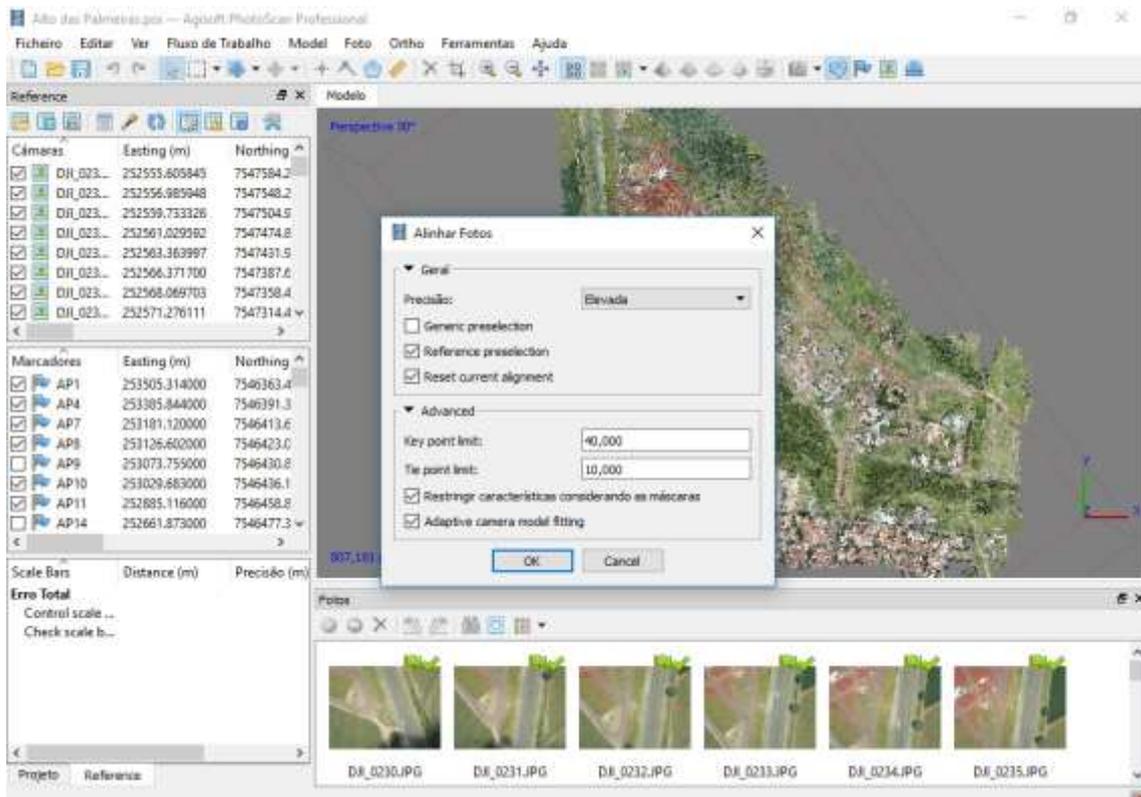


Figura 14: Segundo Alinhamento de Fotos

Na sequência, para melhorar o posicionamento, foi executada a otimização das câmeras, ícone localizado na aba “Reference” do software, como visto na figura 15. Depois de terminado o processo, o alinhamento está concluído e se parte para a etapa de obtenção da nuvem densa de pontos.

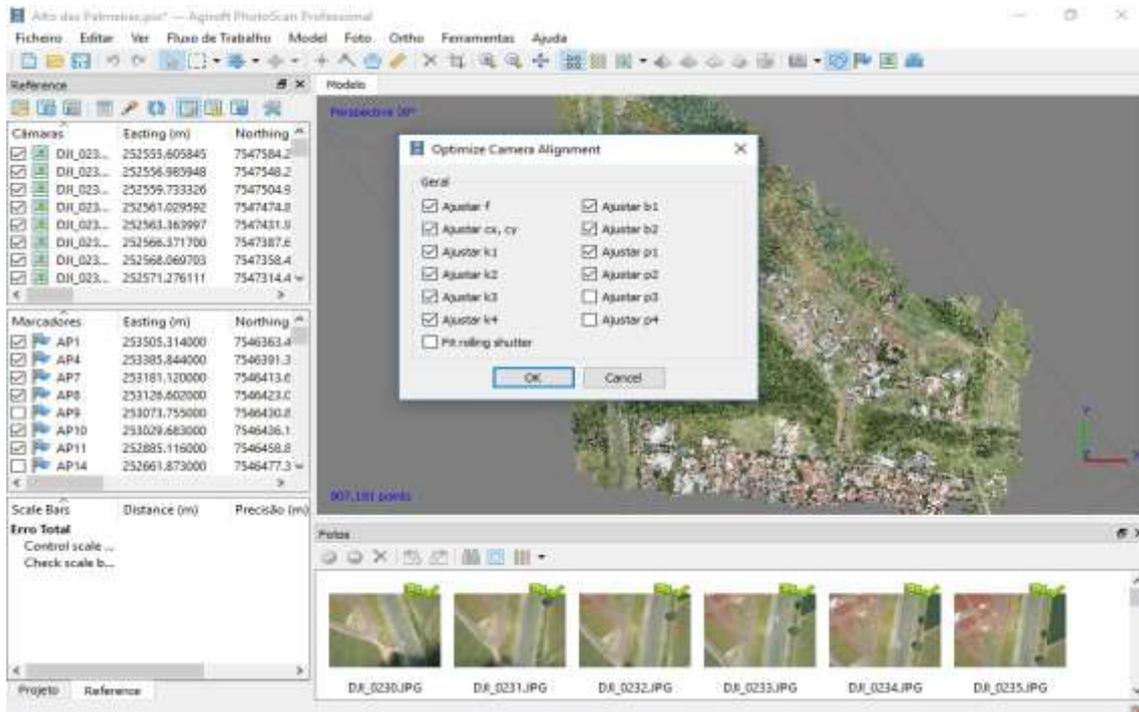


Figura 15: Processo de Otimização de Câmeras

5.7.2. Nuvem Densa de Pontos

A principal função desta etapa é densificar a nuvem de pontos gerada no processo anterior, basicamente o software irá aumentar a quantidade de pontos na nuvem de pontos diminuindo os espaços vazios para representar melhor a área mapeada. Este produto é usado para gerar o Modelo Digital de Superfície e o Modelo Digital Terreno.

Para executar essa densificação aba “Fluxo de Trabalho”, seleciona-se a opção “Build Dense Cloud”. Na mesma escala de produção da etapa Alinhamento de Fotos, muito elevado, elevado, médio, baixo e muito baixo, foi utilizado o parâmetro médio, assim pode-se obter uma nuvem densa de ótima qualidade e com um tempo não muito alto. A figura 16 exhibe os parâmetros utilizados nesta etapa. Ao final dessa etapa, foi obtido uma nuvem com uma quantidade de aproximadamente 31 milhões de pontos.

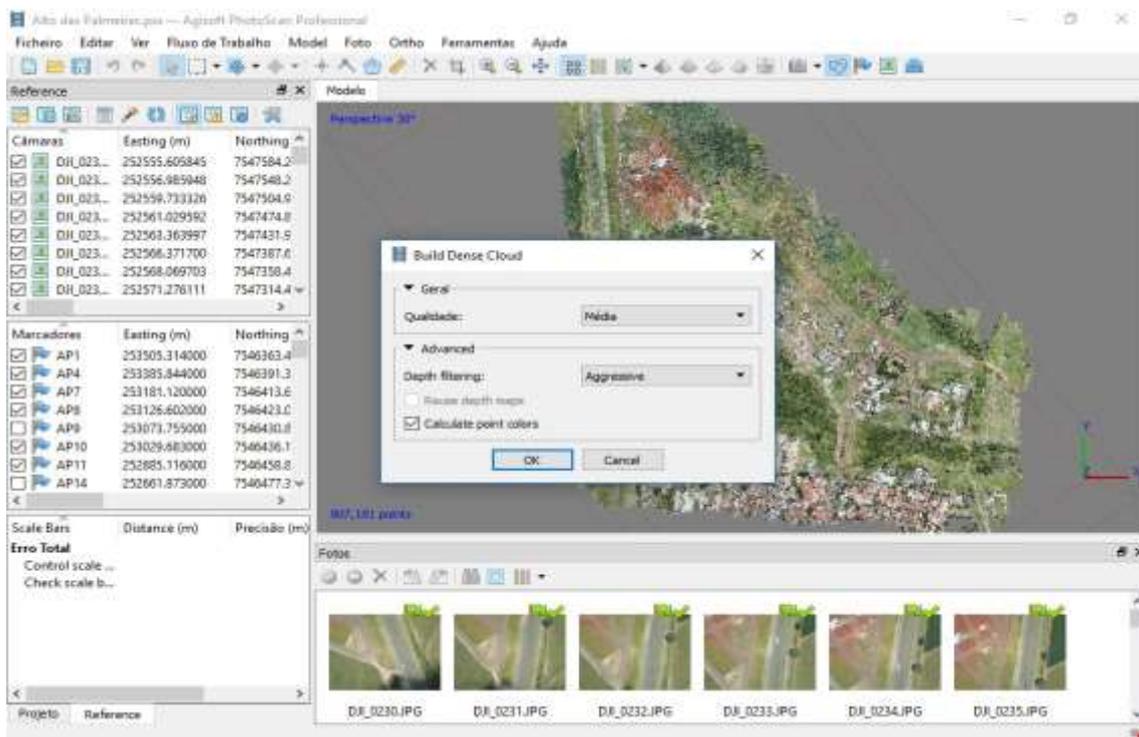


Figura 16: Processo de Densificação da Nuvem de Pontos

5.8. Geração da base cartográfica

5.8.1. Modelo Digital de Elevação (Superfície e Terreno)

Completada a etapa de densificação da nuvem de pontos, já há a possibilidade de dentro do processamento se obter os primeiros produtos cartográficos propostos. Esta etapa do fluxo para obtenção dos produtos cartográficos, é a de modelo digital de elevação. Para isso, é utilizada como base a nuvem densificada de pontos, se não classificarmos os objetos acima no nível do terreno, obtemos um Modelo Digital de Superfície, como mostra os parâmetros da figura 17.

Contudo, para se obter o Modelo Digital de Terreno, é necessário fazer uma classificação objetos constantes acima do terreno, como vegetação arbórea, vegetação arbustiva, construções, veículos, entre outros. Para isso é necessário ir na aba “Ferramentas” do software, na sequência “Dense Cloud” e por fim “Classify Ground Points” e utilizar os parâmetros como teste afim de eliminar os objetos acima do terreno em questão, para em sequência executar o comando do fluxo de trabalho “Build DEM”. As figuras 18, 19 e 20, exibem a sequência de etapas para obter essa classificação e os parâmetros utilizados são sempre os indicados pelo fabricante do *software*. O único parâmetro que se deve levar em consideração é a classificação da nuvem, no comando “Point Classes”. É preciso selecionar e

deixar o parâmetro de “Ground” como único constante. A partir daí é só manter os outros parâmetros e iniciar o processo.

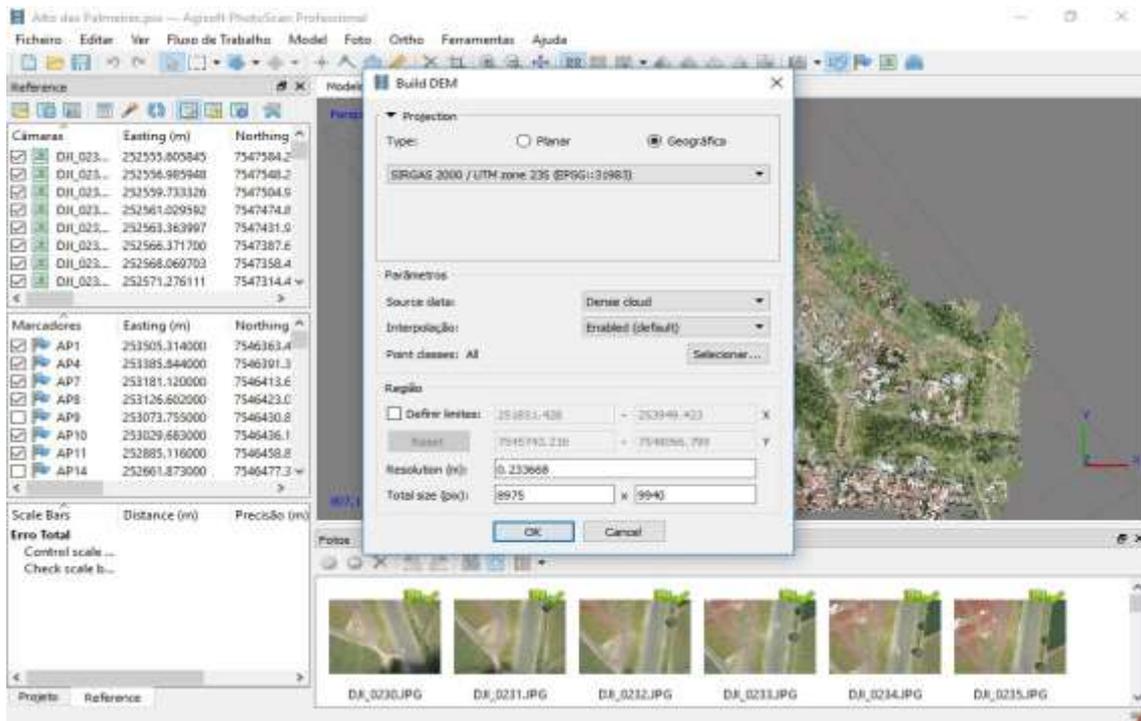


Figura 17: Parâmetros para Obtenção do Modelo Digital de Superfície

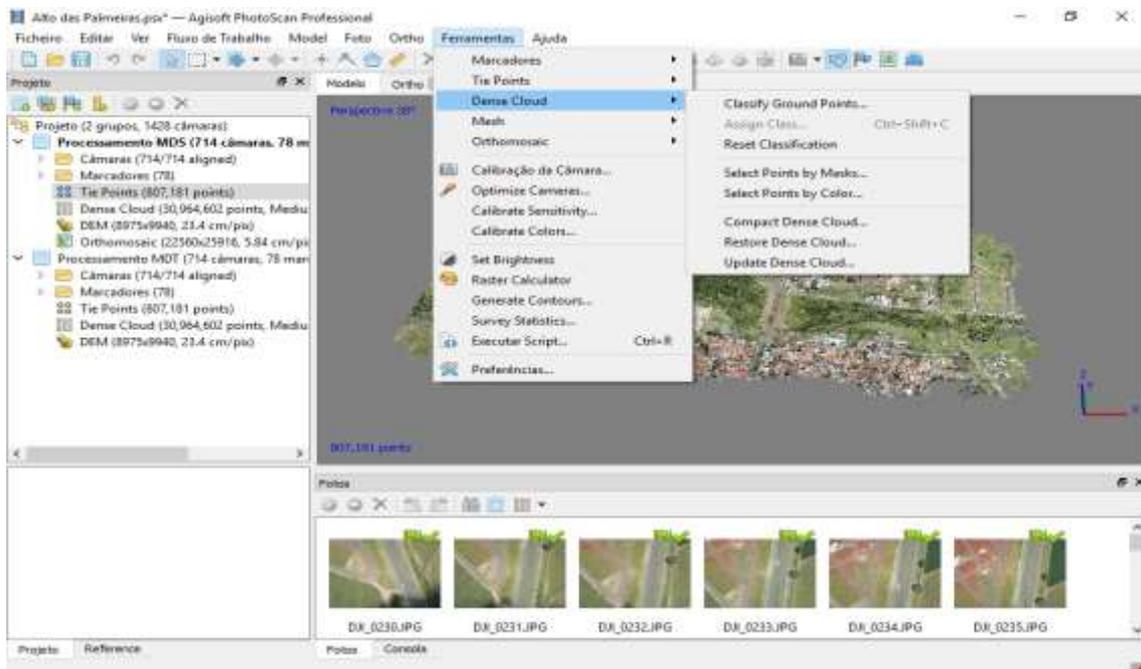


Figura 18: Fluxo da Etapa de Classificação da Nuvem de Pontos

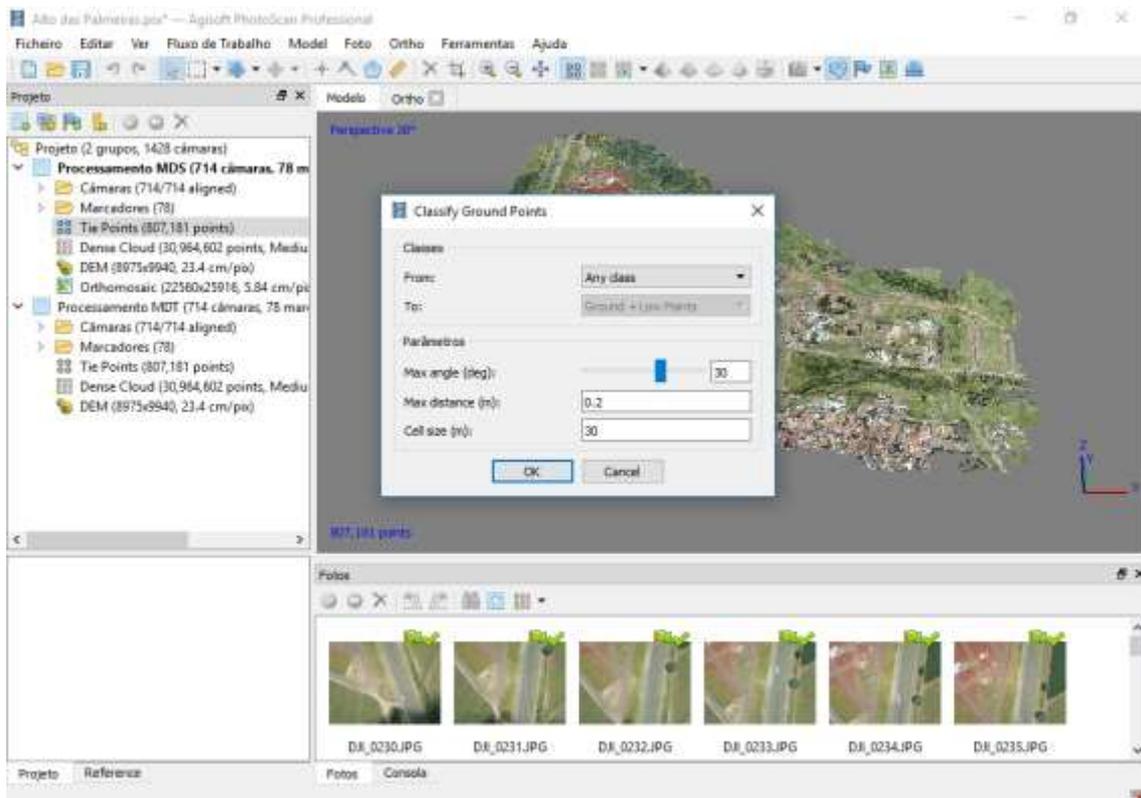


Figura 19: Parâmetros de Classificação da Nuvem de Pontos

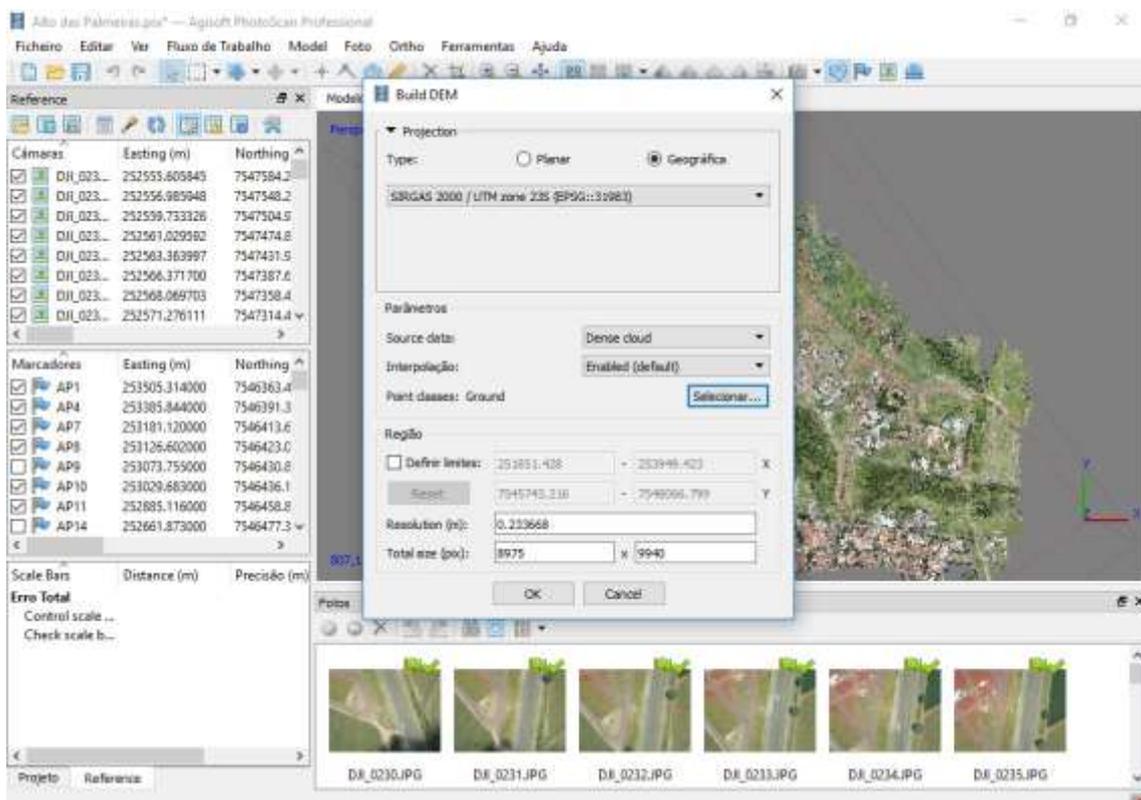


Figura 20: Parâmetros para Obtenção do Modelo Digital de Terreno

5.8.2. Curvas de Nível

A partir da conclusão da etapa Modelo Digital de Terreno, é possível extrair as curvas de nível do modelo. O software Agisoft PhotoScan é capaz de gerar essas Curvas de Nível, porém, no caso desta pesquisa, foi preferido utilizar o *software* Métrica City, para equiparar o método de obtenção de Curvas de Nível utilizando o Levantamento Aerofotogramétrico com o Levantamento Topográfico Convencional. Para isso, utiliza-se um *script* programado em *software* Python inserido no *software* PhotoScan, com esse *script* é possível gerar pontos planialtimétricos com espaçamento constante sobre Modelo Digital de Terreno.

Deste modo, é possível equiparar os dois métodos, pois a quantidade de pontos obtidos em topografia convencional é infinitamente menor a quantidade de pontos obtidas no processamento de imagens. Em seguida, exporta-se esses pontos para o *software* Métrica Topo. Na sequência, os comandos do *software* são os seguintes: com os pontos inseridos na interface principal, encaminha-se para na aba volumetria, cria-se uma triangulação dos pontos, depois da triangulação dos pontos é possível gerar as curvas de nível. Na figura 21, podemos ver os passos utilizados.



Figura 21: Parâmetros para Obtenção do Curvas de Nível

5.8.3. Mosaico de Ortofotos

Dando sequência a obtenção dos produtos cartográficos, a próxima etapa é a de elaboração do Mosaico de Ortofotos, a sequência para completar essa etapa é Fluxo de Trabalho e “Build Orthomosaic”, conforme a figura 22, fica evidenciado todos os parâmetros utilizados para obter o Ortomosaico.

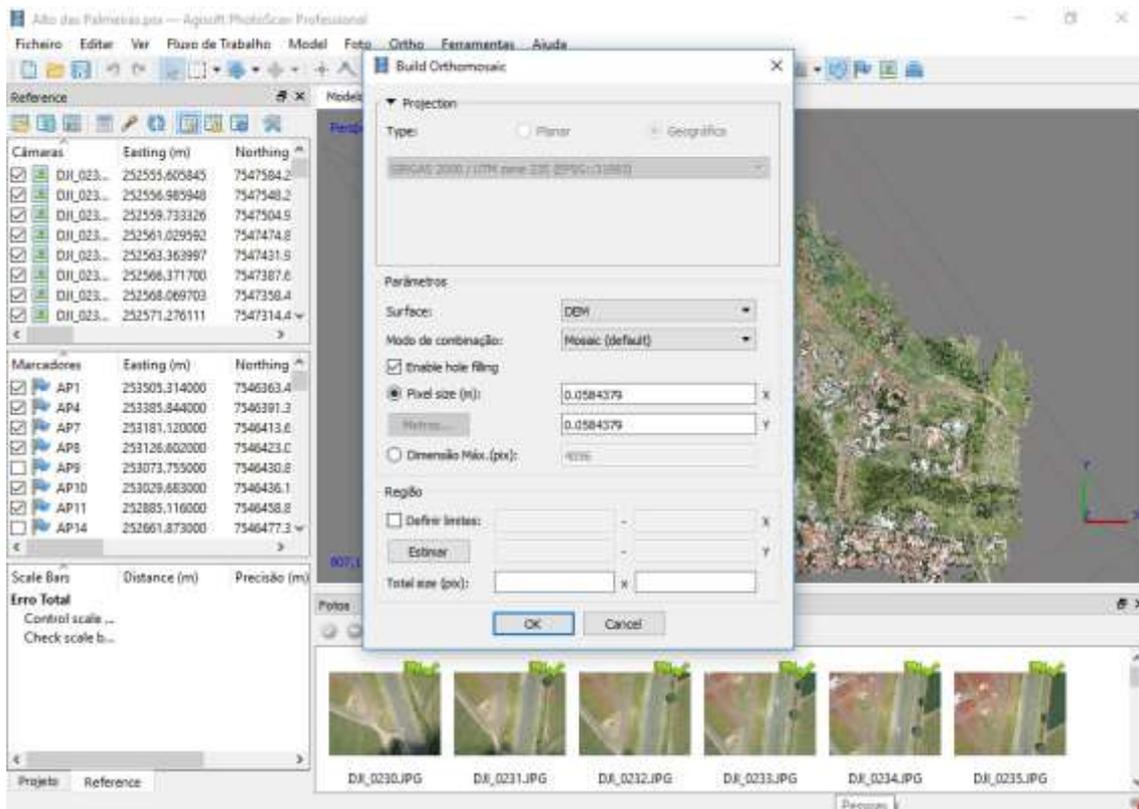


Figura 22: Parâmetros para Obtenção do Ortomosaico

5.8.4. Vetorização das Áreas de Interesse do Loteamento

A etapa de vetorização é feita através de um trabalho manual sobre o Ortomosaico obtido. Primeiramente, pontuou-se quais seriam as áreas de maior interesse para o mapeamento urbano como: quadras, áreas construídas, áreas verdes, córregos, áreas pavimentadas, etc. Para fazer esse tipo de trabalho manual de contornar essas áreas é possível utilizar os softwares Agisoft PhotoScan ou QGIS, porém a produtividade é menor do que utilizar softwares que trabalham em ambiente CAD (Desenho Assistido por Computador), por isso, foi utilizado o *software* Métrica Topo, que em ferramentas como poli linhas e a possibilidade de dividir as camadas em diferentes tipos, proporcionam uma melhor forma de desenhar e dar produtividade a esse tipo de atividade.

5.9. Levantamento Topográfico Convencional

Coleta dos pontos através do Receptor GNSS – RTK Topcon GR-3 de dupla frequência (L1/L2), em que um receptor base fica reconhecendo o ponto, o tempo de coleta do ponto base foi de 5 horas e 45 minutos, para em sequência fazer o pós-processamento utilizando o IBGE-PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), no Anexo A do trabalho é apresentado do relatório IBGE-PPP.

A partir desse ponto georreferenciado foi configurado o receptor de acordo com as exigências técnicas, foi medida a altura da antena e feita a identificação do ponto ocupado. Após isso, foi iniciado o processo de transmissão das correções diferenciais em RTK. Na sequência foi configurado o receptor *rover* e começou a ocupação dos pontos a serem levantados (o tempo de coleta do foi de aproximadamente dez segundos para cada ponto).

Ao final do levantamento foram coletados 1560 pontos de interesse no terreno entre eles contados os pontos de apoio que seguiram a mesma técnica de ocupação. Esses pontos estão distribuídos de forma mais homogênea possível no terreno para possibilitar obter uma quantidade boa das feições da área em questão. Os pontos vão ser utilizados para produção de uma superfície e em sequência vão ser usados para fazer a modelação do terreno e obtenção das curvas de nível para uma comparação simples com os produtos obtidos com o processamento das imagens capturadas com RPA, utilizando também o *software* Métrica Topo para se obter as curvas de nível com o mesmo processo da figura 21.

5.10. Acurácia Posicional e Enquadramento dos Produtos Gerados

Para afirmar a acurácia dos resultados foi utilizado dois tipos de análise, a primeira utiliza o método de avaliação do *software* Agisoft PhotoScan que avalia o posicionamento dos pontos de verificação em dois momentos, analisa as coordenadas dos pontos no terreno, obtidos com equipamento GNSS de precisão e depois do processamento na obtenção das coordenadas dos pontos na imagem e expõe a discrepância entre os dois valores, demonstrando assim, para os pontos de verificação escolhidos pelo operador, a acurácia, verificado utilizando método estatístico da Raiz do Erro Médio Quadrático, método estatístico geralmente utilizado para medir a dispersão dos erros com relação a uma linha de regressão em verificação de resultados experimentais, nesse caso, análise posicional.

A segunda técnica utilizada seria uma técnica manual, onde os pontos de verificação estão envolvidos. A forma de análise parte da pontaria manual dos alvos dentro do Ortomosaico gerado pelo *software*. Esses novos pontos, terão suas coordenadas altimétricas e planimétricas. A partir das coordenadas desses novos pontos e das coordenadas dos pontos de apoio em terreno, é proposta uma avaliação da diferença de coordenadas. Utilizando o *software* GeoPEC que é especializado em análise posicional de dados espaciais de acordo com a norma de Padrão de Exatidão Cartográfica Brasileiro. A figura 23, apresenta a interface de entrada de dados no *software*, a partir da entrada dos dados é possível iniciar avaliação da acurácia planialtimétrica, que é a primeira norma utilizada no presente estudo.

Ponto	Declinação	E (m teste)	N (m teste)	Z (m teste)						
AP04		253385,773	7542391,352	695,195	253385,644	7542391,267	695,217			
AP05		253373,755	7546436,809	608,639	253373,714	7546436,739	608,664			
AP14		253361,873	7548457,36	687,995	253361,795	7548457,429	687,963			
AP21		253312,498	7546304,762	631,581	253312,505	7546304,795	631,491			
AP27		253343,324	7543364,952	637,833	253343,328	7543364,936	637,809			
AP29		253308,239	7547348,228	643,436	253308,248	7547348,219	643,434			
AP33		2532701,909	7547427,127	648,435	2532701,64	7547427,184	648,44			
AP36		253242,668	7547364,398	636,352	253242,722	7547364,263	636,394			
AP38		2532791,889	7547236,337	636,576	2532791,889	7547236,36	636,571			
AP42		253275,168	7547358,268	638,82	253275,226	7547358,242	638,808			
AP45		253262,215	7547351,292	633,791	253262,176	7547351,277	633,768			
AP48		253276,283	7547308,483	630,089	253276,288	7547308,428	630,041			
AP50		253344,608	7547386,441	634,987	253344,521	7547386,411	634,864			
AP55		253348,754	7547322,837	636,395	253348,725	7547322,821	636,368			
AP62		253308,109	7546929,08	629,776	253308,134	7546929,129	629,775			
AP65		253295,812	7546925,48	623,284	253295,762	7546925,582	623,292			
AP73		253391,708	7546322,128	689,488	253391,878	7546322,188	689,494			
AP76		253408,803	7546781,73	612,514	253408,888	7546781,734	612,523			
AP78		253432,371	7546784,186	612,653	253432,436	7546784,133	612,638			
AP85		253327,442	7546784,367	616,023	253327,383	7546784,338	616,02			

Figura 23: Parâmetros de Entrada de Dados no software GeoPEC

O algoritmo do *software* GeoPEC foi desenvolvido seguindo os procedimentos descritos nas normas e na metodologia proposta por Santos et al. (2016). Esses procedimentos buscam fazer a análise do padrão de distribuição espacial da amostra de pontos de verificação, utilizando técnicas de estatística espacial como o Vizinho Mais Próximo de Altas ordens, a análise de tendências nos dados de discrepâncias posicionais através de estatística inferencial e espacial, a partir do teste *t-Student* e a análise da normalidade das discrepâncias posicionais. Assim, para avaliar a acurácia posicional dos produtos gerados pelo levantamento aerofotogramétrico será observado todos os critérios estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfica e avaliados nas classes dos mesmos, com intuito de buscar fiel reprodução da área de interesse.

Diante dos resultados obtidos serão indicadas as escalas de projeto de acordo com as classes A, B e C da PEC afim de estabelecer a utilização destes produtos cartográficos.

A segunda norma de avaliação de acurácia é utilizada dentro do próprio *software* GeoPEC avaliando da acurácia posicional absoluta de produtos de aerolevanteamento utilizados no Georreferenciamento de Imóveis Rurais, conforme definições do INCRA, que se utiliza de técnicas estatísticas similares com as de avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica, mas com algumas definições padrões do INCRA.

Depois dessas duas normas utilizadas, a terceira norma que irá fazer mais uma verificação está baseada no padrão de acurácia utilizado pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos desenvolvida em 2014 e que leva em consideração padrões mais atuais de tecnologia utilizada para produção de elementos

cartográficos. Para isso será utilizado os valores obtidos nas duas técnicas anteriores da seguinte forma, o resultado da Raiz do Erro Médio Quadrático utilizado pelo *software* PhotoScan para avaliar acurácia será usado para ser enquadrado segundo Padrões da Acurácia para Dados Digitais Geoespaciais da ASPRS (*ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*). Já no segundo caso que avalia os valores obtidos não são avaliados utilizando a Raiz do Erro Médio Quadrático, então será feita uma planilha adicional com os dados de coordenadas calculando seus diferenciais, dos erros planimétricos e altimétricos para enfim chegar aos resultados da Raiz do Erro Médio Quadrático e em seguida seus valores vão ser enquadrados segundo os padrões norte-americanos de acurácia.

Além da análise posicional, é possível fazer uma comparação simples entre os produtos gerados como MDT e Curvas de Nível, para evidenciar a diferença do detalhamento entre as duas formas de obtenção de dados espaciais e cartográficos.

6. RESULTADOS

Na etapa do planejamento de voo foi feita uma delimitação de área com uma margem maior do que a área de interesse descrita acima, para assim, conseguir uma sobreposição ideal de imagens, visto que as áreas de borda do bloco apresentam menores sobreposições. Com isso, o voo compreende uma área de aproximadamente 740.000,00 metros quadrados, altura de voo de 200 metros, com sobreposição frontal de 80% e lateral de 80%.

Os pontos de apoio distribuídos na área são 78, dos quais 58 são pontos de controle e 20 são pontos de verificação e estão espalhados da conforme indicado no mosaico de ortofotos na figura 24. Foram obtidos com receptor GNSS RTK de precisão com a seguinte metodologia, receptor base estacionado por 5 horas e 45 minutos para reconhecimento do ponto base e subsequente pós-processamento para correção utilizando o sistema PPP (Posicionamento por Ponto Preciso do IBGE) que se encontra no Anexo A do trabalho obtendo precisão de 1 milímetro. A partir deste ponto conhecido, os pontos de apoio foram coletados com receptor *rover* em modo de posicionamento relativo cinemático em tempo real – RTK com tempo de coleta de 10 segundos por ponto. Na etapa de voo e tomada de imagens, foram capturadas 714 imagens.

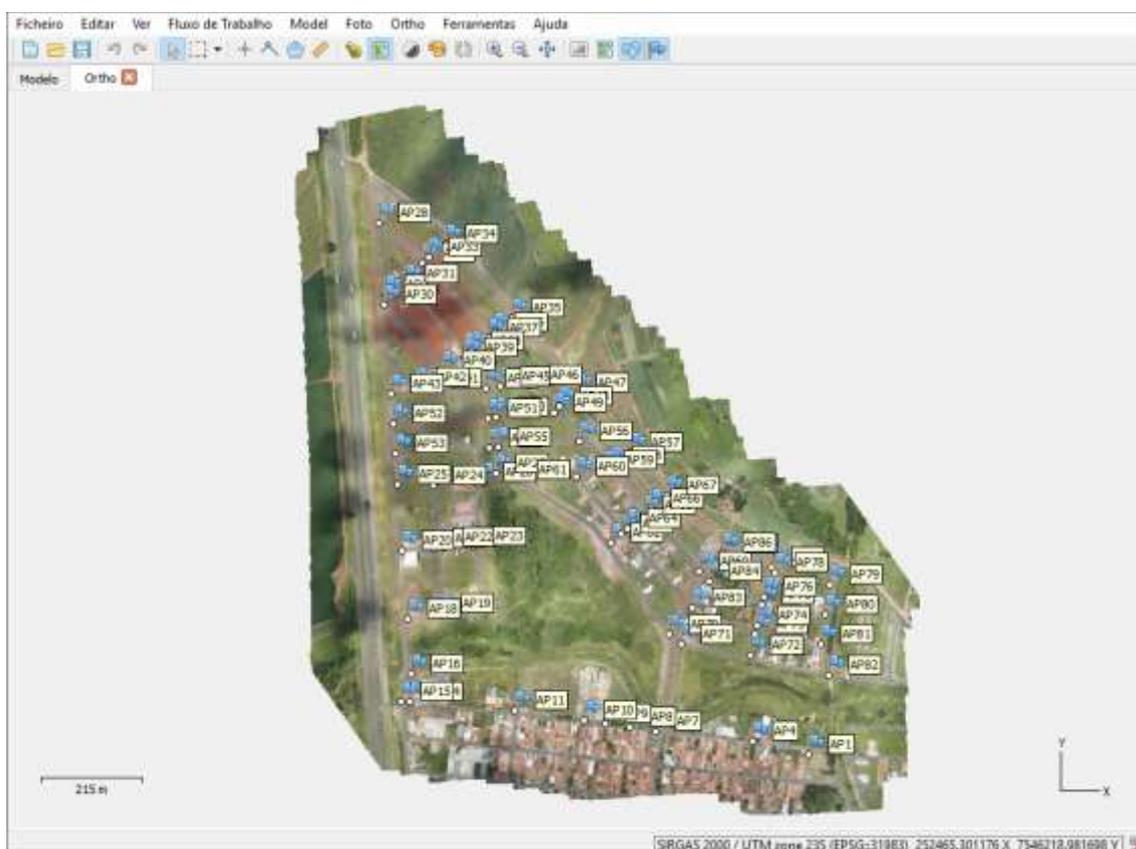


Figura 24: Distribuição dos Pontos de Apoio

No pré-processamento as fotos são inseridas no software e são implementadas máscaras que isolam zonas mal sobrepostas para a verificação da qualidade das imagens. A partir daí, começam as etapas de processamento e a primeira delas é o alinhamento de imagens. Em seguida é necessário executar a etapa de pontaria nos pontos de apoio, a fim de georreferenciar o bloco fotogramétrico. Dando sequência ao processamento, é necessário fazer um novo alinhamento de fotos para melhorar o posicionamento do bloco. O resultado dessa etapa é a produção de uma nuvem de pontos esparsa com 804.084 pontos criados, conforme figura 25.

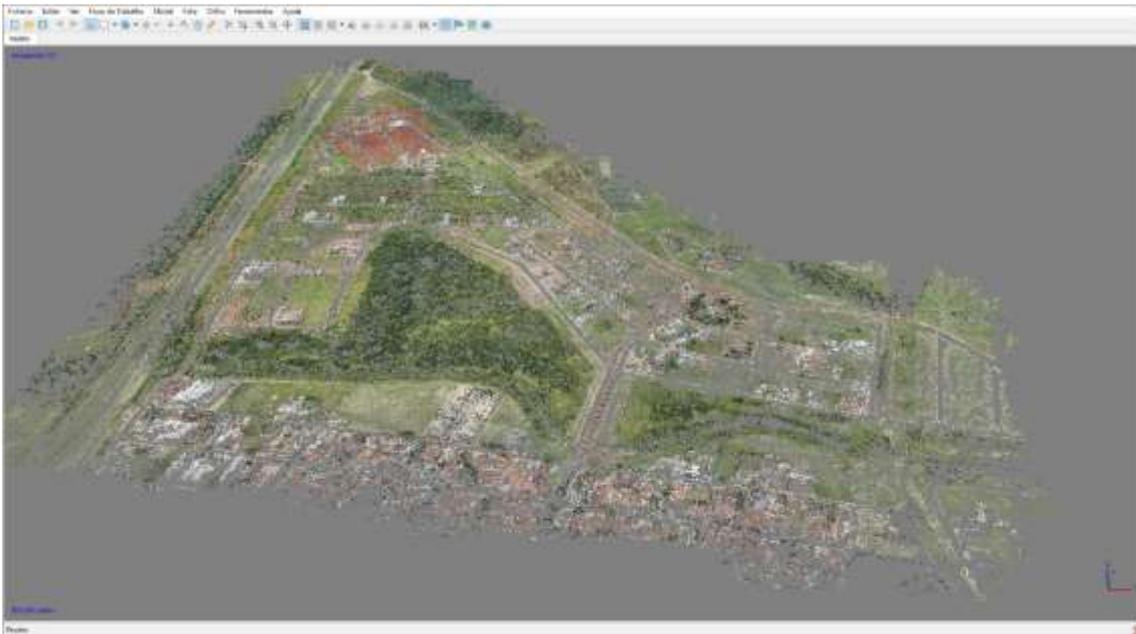


Figura 25: Nuvem de Pontos provinda do Alinhamento de Fotos

Com essa nuvem, aplica-se alguns filtros com intuito de eliminar erros na nuvem de pontos e melhorar a acurácia do bloco. Em seguida é feita a otimização das câmeras, ferramenta interna do *software* que auxilia no realinhamento das imagens com os pontos de apoio, para mais uma vez melhorar o posicionamento dos pontos criados. A partir dessa etapa se extrai a acurácia posicional do bloco fotogramétrico.

A próxima fase de processamento é a execução da nuvem de pontos densa, onde os erros de pontos são corrigidos e a quantidade de pontos é multiplicada. Foram extraídos 30.966.153 pontos, chegando a uma densificação que reproduz toda superfície. Assim como mostra a figura 26.

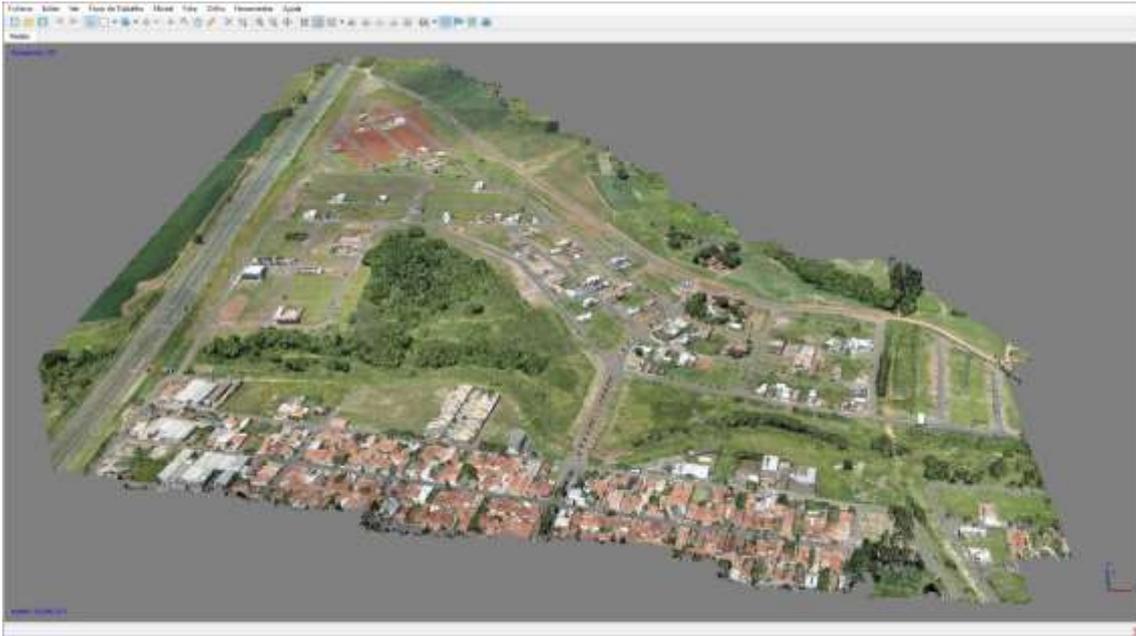


Figura 26: Nuvem Densa de Pontos

Com base nessa nuvem densa de pontos, é possível obter o modelo digital de elevação da área, porém esta etapa foi dividida em duas, uma executada logo em sequência onde se obteve o Modelo Digital de Superfície (MDS) como visto na figura 27 e 28, e outra com uma classificação da nuvem de pontos, conforme mostra a figura 29, que fez com que se eliminasse todo tipo de construção, vegetação, etc. A figura 30 evidencia o Modelo Digital de Terreno (MDT), e é percebida a diferença entre as construções e vegetação no Modelo Digital de Superfície e o Modelo Digital de Terreno.

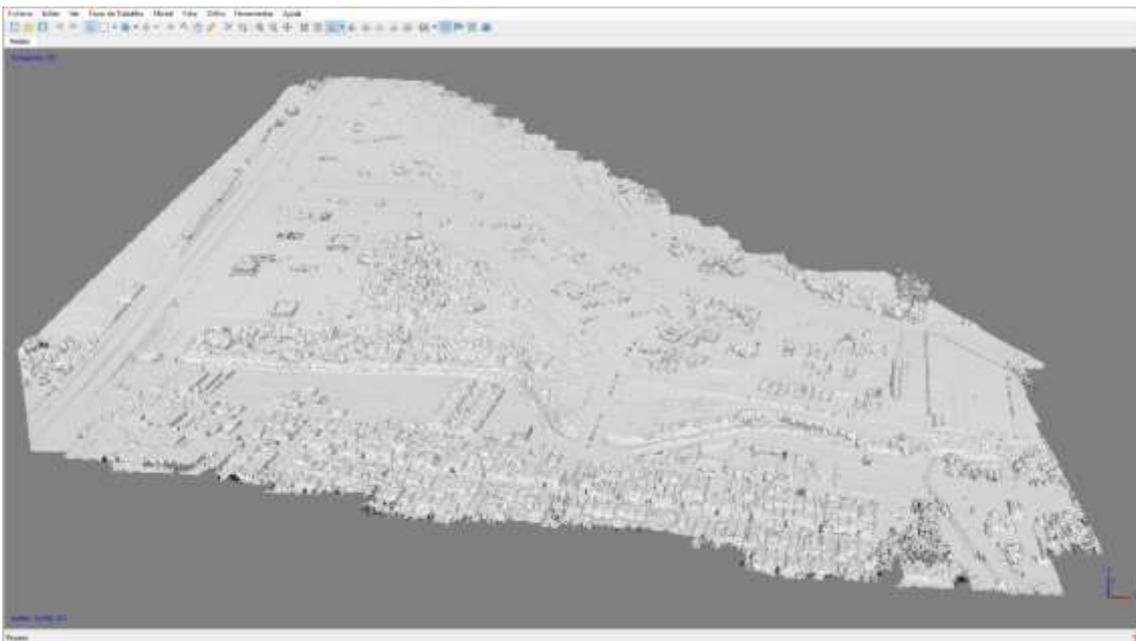


Figura 27: Superfície Formada a partir da Nuvem de Pontos

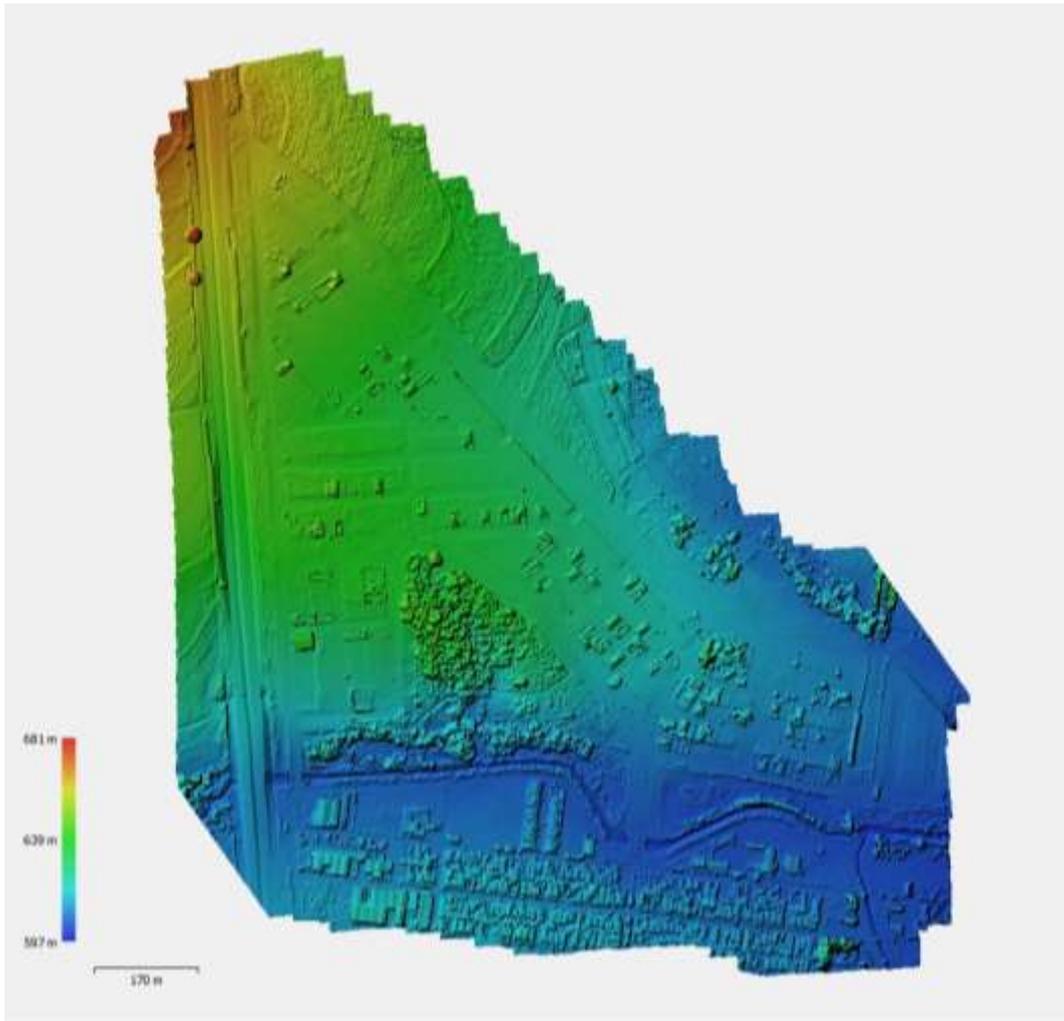


Figura 28: Modelo Digital de Superfície

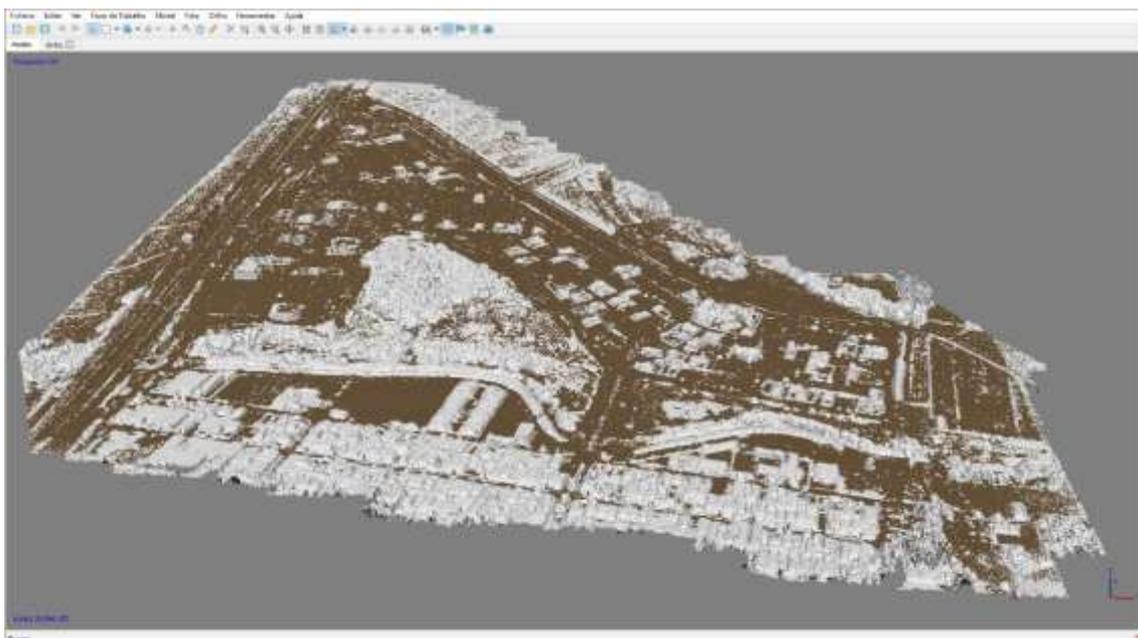


Figura 29: Superfície Classificada para Geração do Modelo Digital do Terreno

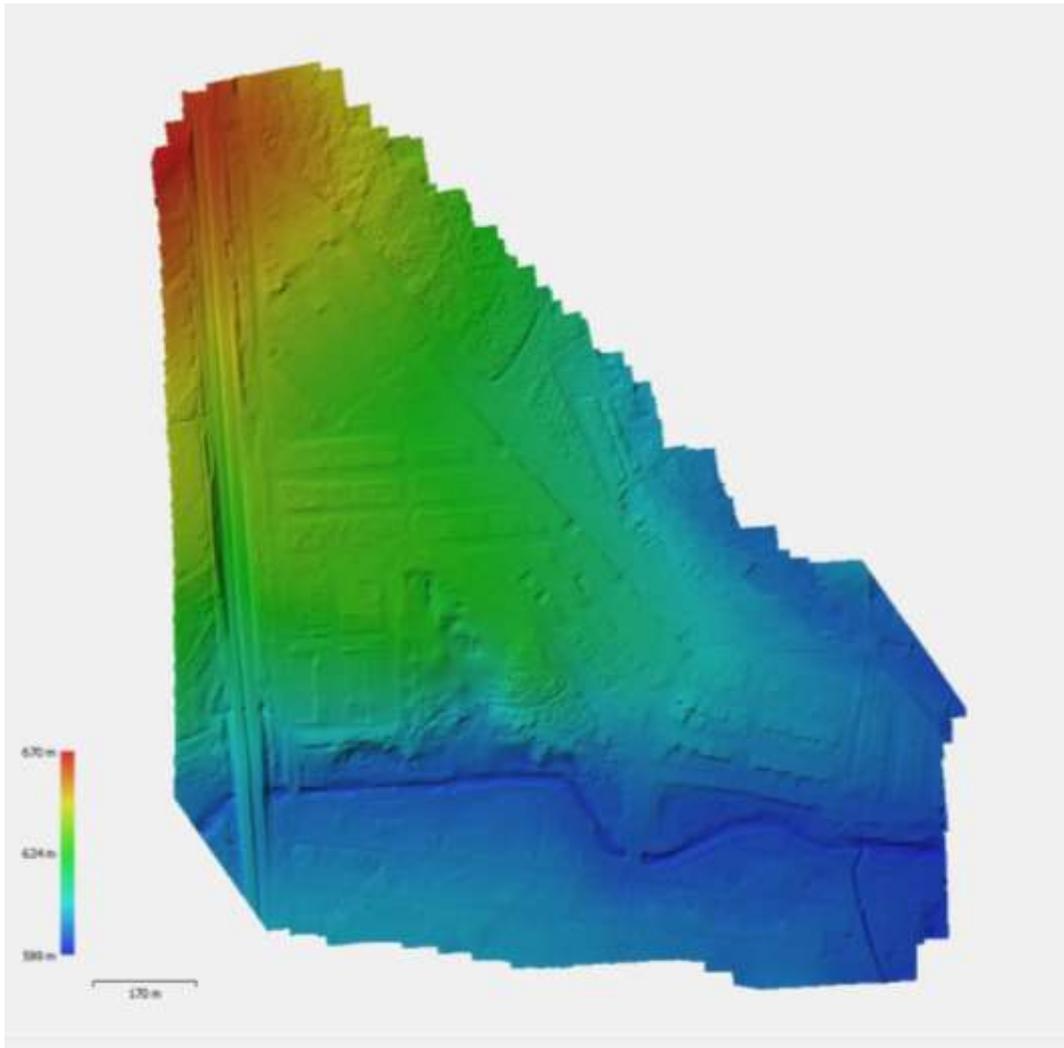


Figura 30: Modelo Digital de Terreno

Dando continuidade, essa é a etapa de se produzir o Ortomosaico, é uma etapa exclusiva de produção cartográfica, onde o *software* utiliza todas as informações da nuvem de pontos e do modelo digital de elevação para instituir um mosaico das ortofotos. Após o processamento é possível notar, na figura 31, a reprodução da área no Ortomosaico.

Com pequenas correções no ortomosaico, é possível o exportar do *software* em formato de imagem georreferenciada, então, dando sequência, com auxílio de *software* de tecnologia de desenho assistido por computador (CAD), podemos manipular e vetorizar a imagem produzida e importar todas essas informações para *software* de sistema de informações geográficas (GIS) para produção de mapas. Como é mostrado na figura 31, fica evidente a capacidade da tecnologia de auxiliar na gestão do território.



Figura 31: Ortomosaico

Após a produção do Ortomosaico, para avaliar mais à frente a acurácia posicional do bloco fotogramétrico aplicou-se o método de pontuar os alvos dos 20 pontos escolhidos como de verificação na própria ortoimagem elaborada, para isso, dentro do próprio *software* PhotoScan é possível na aba de ferramentas no ícone de desenhar pontos, começar a pontuar os alvos, ao fim da pontuação de todos os alvos, é só sair da ferramenta e dar sequência ao trabalho.

Depois de constituir todos os produtos cartográficos dentro do *software* Agisoft PhotoScan, iniciou-se as exportações dos produtos cartográficos a fim de manipulá-los em *softwares* CAD ou/e em *softwares* GIS. Neste trabalho, os produtos exportados foram o Modelo Digital de Superfície, Modelo Digital de Terreno, Ortomosaico, o Relatório gerado pelo *software* e os Pontos de Verificação extraídos da Ortomosaico.

Para extrairmos as curvas de nível do projeto utilizaremos dois métodos. O primeiro, tem como base de dados o levantamento topográfico convencional, como descrito anteriormente, apoiado em 1560 pontos distribuídos pela área de interesse e coletados com

receptor GNSS de precisão, de acordo com a figura 32. O segundo método foi efetuado utilizando um *script* de programação em Python a partir do Modelo Digital de Terreno no próprio *software* PhotoScan, que é capaz de gerar pontos sobre o MDT com equidistância entre os mesmos, após esse comando foi obtido uma quantidade de 1825 pontos com distância entre si de 20 em 20 metros. A figura 33 mostra essa distribuição.

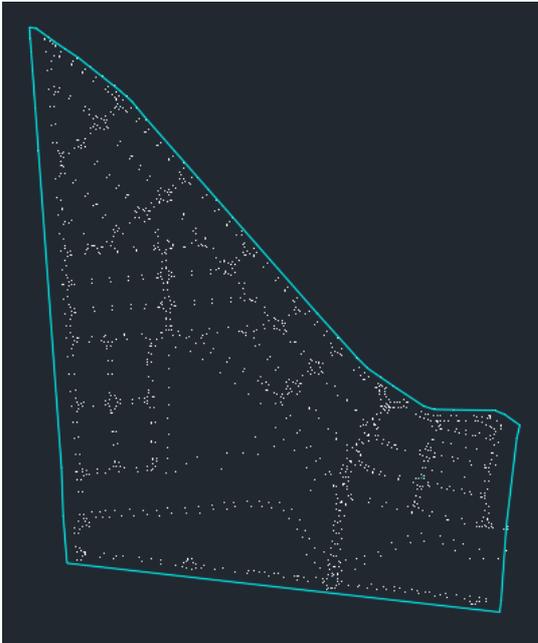


Figura 32: Distribuição de Pontos Topografia Convencional



Figura 33: Distribuição de Pontos Script Python Software PhotoScan

Assim, utilizando o *software* Métrica Topo foram criados a triangulação desses pontos para os dois métodos, gerando uma superfície *TIN* (*Triangulated Irregular Network*, conhecido em português como, rede triangular irregular), a partir daí é possível gerar as curvas de nível da superfície, porém, o *software* da a possibilidade de expandir a triangulação por interpolação, assim, foi executado esse comando e em seguida foram geradas as curvas, conforme figura 34 e 35, para seus respectivos métodos.

Na primeira metodologia utilizada, foi possível obter 74 curvas de nível que apresentam variação de cota de 602 metros a 662 metros.

Já na segunda metodologia, foram obtidas 128 linhas de curvas que tem variação de cota de 601 metros a 664 metros.

Assim, ficam evidenciadas algumas diferenças obtidas entre as duas metodologias aplicadas. Para salientar essas diferenças, foi efetuada uma sobreposição entre os dois produtos de curvas de nível obtidos. A figura 36 apresenta essa sobreposição e já é possível visualizar

diferenças, mas para melhorar essa visualização apresentou-se um detalhe em que fica bem claro as diferenças posicionais.

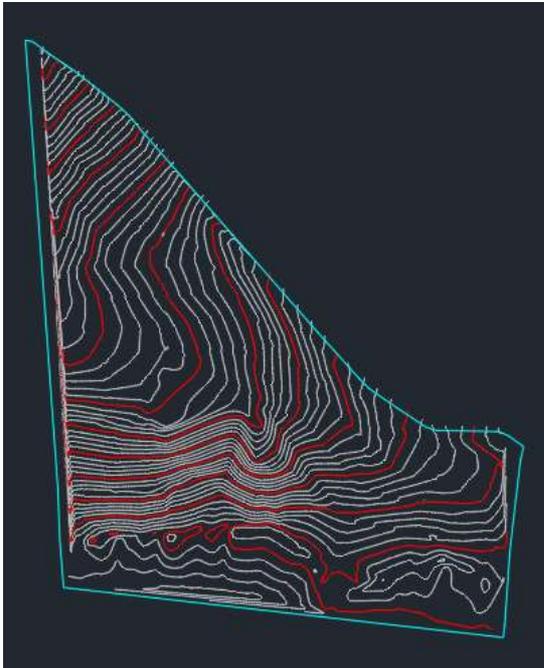


Figura 34: Curvas de Nível a partir de Topografia Convencional

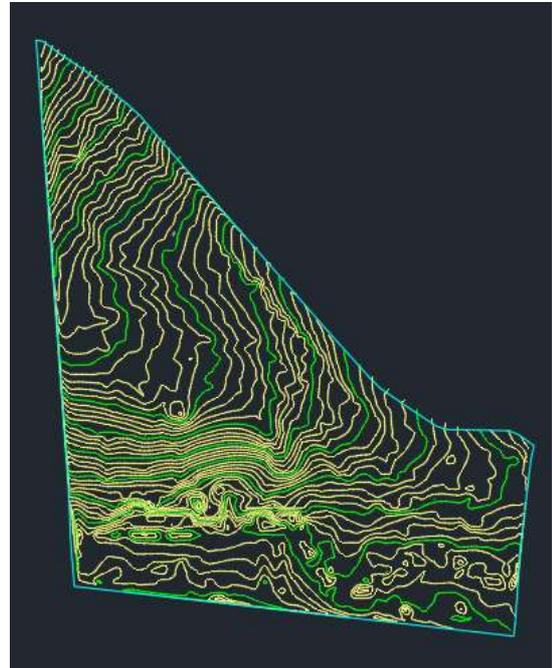


Figura 35: Curvas de Nível a partir de Processamento do MDT PhotoScan

Para avaliar as diferenças entre as duas metodologias é possível apontar duas possíveis causas. Ao analisarmos as duas técnicas, nota-se a diferença de quantidade de 265 pontos e essa diferença afetou essa desigualdade no posicionamento. Outro diferencial que causa essas distâncias entre as curvas de mesmo valor, é a distribuição dos pontos na área de interesse.

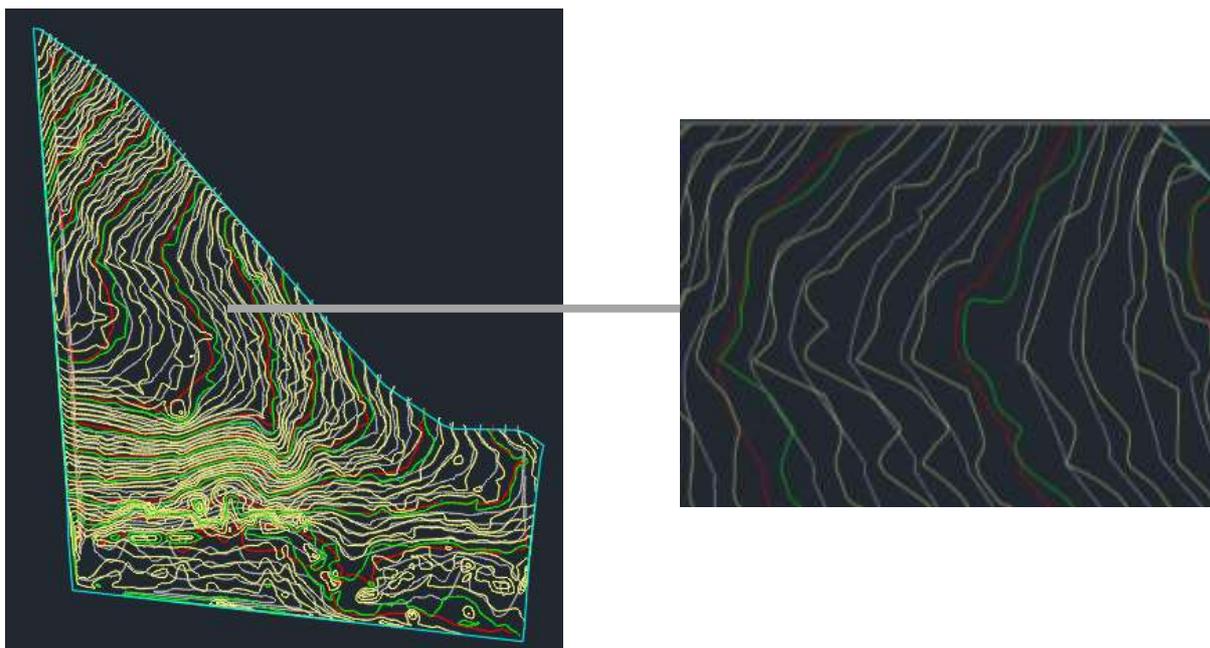


Figura 36: Sobreposição das Duas Técnicas para Avaliação do Posicionamento. Em Detalhe Aproximado a Diferenças das Curvas

Para avaliar essa distribuição, recorre-se novamente as figuras 32 e 33 e é perceptível a diferença entre as posições das duas técnicas. No primeiro método, percebe-se que os pontos levantados em campo por topografia convencional ficaram concentrados em áreas de pavimentos, delimitações de áreas e feições do terreno, enquanto na metodologia aplicada na obtenção de pontos equidistantes sobre o MDT fez com que a distribuição dos pontos fosse mais uniforme em relação ao terreno todo. Porém, mesmo com essas diferenças, as feições do terreno são mantidas, com isso a utilização dos dados para um eventual projeto com escala menor de precisão se faz possível.

Dando sequência a análise da pesquisa, a próxima etapa trata da vetorização das áreas de interesse do loteamento em questão. Assim, foi feita uma vetorização simples com utilização de comandos de poli linhas no *software* Métrica Topo das áreas de limitação do loteamento, das 34 quadras constantes e a delimitação das áreas verdes, visualizado na figura 37. Com o uso desse comando, tentou-se mostrar as possibilidades de auxílio a gestão urbana, pois com essas informações é permitida a análise das áreas de cada loteamento, inclusive se estão respeitando todas suas particularidades de implantação.



Figura 37: Vetorização das Áreas de Interesse

Depois de todas essas análises sobre os produtos cartográficos obtidos, dá-se início a análise de acurácia posicional do bloco fotogramétrico conforme informado anteriormente foram feitas utilizando duas análises diferentes e três normas de avaliação. A primeira análise é relacionada ao relatório produzido pelo *software*, que utiliza os deslocamentos dos pontos de verificação inseridos para avaliar a acurácia. A outra está relacionada a pontaria manual de cada ponto de verificação na ortoimagem gerada e deslocamento entre os captados com receptor GNSS de precisão, e as normas são o Padrão de Exatidão Cartográfico Brasileiro, a norma do INCRA para Georreferenciamento de Imóveis Rurais utilizando RPAs e a terceira é a norma norte-americana que estabelece Padrões da Acurácia para Dados Digitais Geoespaciais.

No primeiro método, analisando o relatório gerado pelo *software* Agisoft PhotoScan, foram gerados dois pareceres, o primeiro referente ao processamento que gerou o Modelo Digital de Superfície e o segundo referente ao processamento que gerou o Modelo Digital de Terreno a partir da filtragem da Nuvem de Pontos Densa. Os relatórios são gerados de maneira automática pelo *software*, eles apresentam todos os passos realizados por quem está comandando o processamento, evidenciando o tempo de cada etapa básica. Além de apresentar

as etapas do processamento, o *software* avalia o posicionamento de cada ponto inserido com o intuito de referenciar o bloco fotogramétrico analisando a acurácia posicional dos produtos gerados utilizando o método RMSE (root-mean-square error, em português “a raiz do erro médio quadrático”) de maneira automática, utilizando as diferenças encontradas em cada pontuação de alvos feita pelo operador da plataforma.

Os dois relatórios estão disponíveis nos Anexos B referente ao Modelo Digital de Superfície e Anexo C referente ao Modelo Digital de Terreno. Os dois relatórios citados contêm informações iguais até a etapa de filtragem da Nuvem Densa de Pontos, pois partem sempre dos mesmos padrões de processamento.

Analisando os relatórios temos como primeira informação o mosaico de ortofotos gerado no processamento. Na sequência, o relatório aponta uma imagem mostrando a área mapeada representado em pontos pretos as informações do log de voo da aeronave e em cores variando de tons frios para tons quentes evidenciando a sobreposição das imagens do voo, caracterizado por tons frios os locais com maiores sobreposições e nas áreas de tons quentes representa sobreposições menores, como esperado, nas bordas do bloco fotogramétrico há a ocorrência de menores sobreposições, por isso a área de planejamento de voo sempre deve conter uma margem de segurança para que a área de interesse sempre tenha sobreposições maiores.

Continuando a análise dos relatórios, os mesmos apresentam as informações relativas as quantidades de imagens capturadas que no caso são 714, a próxima informação é a de altitude de voo corrigida depois do processo de ortorretificação, pois faz uma análise da altura média de voo em relação a área toda com seus desníveis do terreno. O próximo parâmetro evidenciado é o GSD (Ground Sample Distance) corrigido, que ficou em 5,84 centímetros. Na sequência, o dado exposto é o da área coberta pelo voo que foi de 1,29 km². O indicador seguinte são os “*tie points*” que evidenciam a quantidade de pontos básicos de enlace do bloco relativo ao primeiro alinhamento das fotos, depois temos a informação das projeções relativas à busca dos pontos homólogos que neste caso atingiram o número de 3.931.854 projeções. O próximo parâmetro de análise é o erro de projeção medido por pixel que no trabalho resultou de 0,632 pixel.

Dando continuidade, as próximas informações são referentes ao modelo do sensor utilizado no levantamento. Em uma pequena tabela, existe informações relacionadas ao modelo da câmera nesse caso a câmera utilizada FC6310 (8.8mm) com resolução de 4864x3648 em colunas e linhas, a distância focal é de 8.8mm o tamanho do pixel 2,61 microns e que a câmera não foi pré-calibrada.

Prosseguindo a análise do relatório, serão analisados os vetores de calibração da câmera. A imagem evidencia pelos vetores em vermelho onde há mais distorções, e, como resultado, temos esses vetores que mostram mais distorções ao centro e nas partes periféricas da imagem, comumente causadas pela curvatura da lente. Abaixo, encontram-se informações que já foram expostas anteriormente, e também há a tabela dos coeficientes de calibração da câmera e a matriz de correlação encontrados no processamento.

O próximo parâmetro analisado no relatório é o de localização das câmeras e os erros estimados representados por elipses de erro, mostrando o ajustamento durante o processamento, os erros em Z (altimétricos) são representados pela cor da elipse, os erros em X e Y (planimétricos) são representados pela forma de elipse e os locais estimados da câmera são marcados com um ponto preto. Abaixo da imagem das localizações das câmeras, é apresentado uma pequena tabela em que se demonstra os erros médios altimétricos e planimétricos estimados para a localização das câmeras sem a atuação dos pontos de apoio no projeto. Como esperado, os valores dos erros planimétricos regulam na faixa de 7,00 metros e os valores dos erros altimétricos regulam na faixa de 14,00 metros.

A verificação seguinte do parecer menciona os pontos de apoio do projeto e avalia os erros de localização desses mesmos pontos, utilizando uma forma semelhante a avaliação dos erros de localização das câmeras, exposto anteriormente. Assim, são avaliados da seguinte forma: os erros em Z (altimétricos) são representados pela cor da elipse, os erros X e Y (planimétricos) são representados pela forma de elipse e as localizações estimadas de pontos de apoio estão marcadas com um ponto nos pontos de controle ou com símbolo de cruzamento no caso dos pontos de verificação.

Com a utilização dos pontos de apoio já é perceptível a diferença no valor dos erros anteriores para o atual, que caíram de valores métricos para valores centimétricos. Logo abaixo da imagem, podemos ver as duas tabelas que relacionam esses erros referentes aos pontos de controle e os erros referentes aos pontos de verificação, respectivamente e em dimensões altimétricas e planimétricas. Em relação aos pontos de controle, os erros planimétricos apresentaram valor médio aproximado de 5,26 centímetros e erro médio altimétrico de aproximadamente, 2,68 centímetros. Analisando agora os pontos de verificação, os erros planimétricos apresentaram valor médio aproximado de 6,37 centímetros e erro médio altimétrico de aproximadamente, 2,56 centímetros. A análise dos pontos de verificação é a que resulta na acurácia posicional dos produtos resultantes do processamento fotogramétrico das imagens no *software*.

Em sequência à análise do parecer do processamento, para dar mais ênfase a esses resultados, o mesmo apresenta outras duas tabelas, a fim de salientar os resultados obtidos utilizando os valores de erros individuais de cada ponto em todos os eixos, o total de erros por ponto nos três eixos e o valor do erro de pontaria na imagem medido em pixel, juntamente com a quantidade de imagens apoiadas entre parênteses, primeiramente a tabela dos pontos de controle e a tabela seguinte dos pontos de verificação.

A próxima página do relatório evidencia uma nova etapa do processamento, que seria da produção dos Modelos Digitais de Elevação. No relatório do Anexo B, temos a imagem do Modelo Digital de Superfície com a barra de legenda de variação das altitudes variando de 598 metros com cores frias a 681 metros com cores quentes. É possível visualizar nesse modelo a vegetação e as construções com seus limites definidos. Já no relatório do Anexo C, é possível visualizar o Modelo Digital de Terreno, que foi obtido a partir de uma filtragem desses artefatos sobre o solo evidenciando o real desnível da área de interesse, a variação de altitude nesse caso foi de 598 metros para 671 metros conforme legenda de cores hipsométricas. Depois, nessa mesma página em comum aos dois relatórios, há a presença de dois valores: um chamado de resolução, que apresenta a distância média entre os pixels em relação a nuvem de pontos densa (que nesse caso é de 23,40 centímetros por pixel) e o outro valor apresentado é o de densidade de pontos por metro quadrado que foi da ordem de 18,3 pontos por metro quadrado.

Ao final dos relatórios, são expostos todos os parâmetros utilizados no processamento das imagens, dividindo-os por etapas de trabalho e, em alguns casos, exibindo os quantitativos de cada uma dessas fases. Em outros, somente os parâmetros utilizados e tempo de duração da etapa. Esses parâmetros podem ser de suma importância a fim de fazer um controle de qualidade nos produtos do processamento, podendo ser utilizados como suporte para futuros processamentos em que se busca a melhoria na geração de novos produtos.

Utilizando o segundo método para avaliar a acurácia posicional planimétrica e altimétrica do ortomosáico produzido do loteamento, foram pontuados os 20 alvos escolhidos para serem pontos de verificação sobre o ortomosáico final. Com essas informações aliadas as coordenadas obtidas com o levantamento dos pontos de verificação com receptor GNSS é possível fazer a análise de acurácia posicional utilizando o *software* GeoPEC.

Para iniciar essa observação, é preciso fazer a inserção dos pontos pelas duas formas exemplificadas acima no *software*. Depois disso, o GeoPEC calcula os dados principais da amostra como média, desvio padrão, variância, entre outros.

Em sequência, os cálculos estatísticos e as análises segundo proposta de Santos et al. (2016) são efetuados pelo *software* da seguinte forma:

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

$$R(k) = \frac{R_{obs}(k)}{R_{esp}(k)} \quad (5)$$

$$R_{obs}(k) = \frac{\sum_{i=1}^n dv_i(k)}{n} \quad (6)$$

$$R_{esp}(k) = \gamma_{1(k)} \sqrt{\frac{A}{n}} \quad (7)$$

Onde,

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

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

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

A corresponde ao tamanho área da região em estudo;

n é o número de pontos da amostra;

γ_1 e γ_2 são índices tabelados que apresentam um valor para cada ordem analisada, no caso da pesquisa, 1ª, 2ª e 3ª ordem.

Depois, calcula-se o Teste Z para inferência da distribuição aleatória da amostra para comparação do Z tabelado, se Z for maior que Z tabelado, rejeita-se a hipótese nula.

$$Z_R(k) = \frac{R_{obs}(k) - R_{esp}(k)}{SE_r(k)} \quad (8)$$

$$SE_r(k) = \gamma_{2(k)} \sqrt{\frac{A}{n^2}} \quad (9)$$

Onde,

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

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

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})^2} \quad (10)$$

$$b = \sum_{i=1}^{n/2} a_{n-i+1} \times (x_{(n-i+1)} - x_{(i)}) \quad (11)$$

$$b = \sum_{i=1}^{(n+1)/2} a_{n-i+1} \times (x_{(n-i+1)} - x_{(i)}) \quad (12)$$

Onde,

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

As hipóteses para esse teste são:

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

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

3. Teste de Tendência *t-Student*:

$$t = \frac{\overline{\Delta X} \cdot \sqrt{n}}{s} \quad (13)$$

Em que,

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

s é o desvio padrão amostral;

n é o número de pontos da amostra.

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

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

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

4. Análise de acordo com o Decreto 89.817/ET-CQDG: a análise é feita a partir dos requisitos constantes no Decreto e dispostos anteriormente;
5. Análise de acordo com a Norma INCRA: os parâmetros do INCRA também foram expostos anteriormente e a análise é feita sobre esses parâmetros.

Dando prosseguimento a análise, com as coordenadas inseridas no *software*, executou-se o método do Vizinho Mais Próximo de alta ordem para avaliar a distribuição no espaço dos pontos de verificação. A figura 38 apresenta os resultados obtidos para o Vizinho Mais Próximo utilizando a 1ª, 2ª e 3ª ordem. Para visualizar os resultados obtidos pelo *software* GeoPEC, o relatório está apresentado no anexo D.

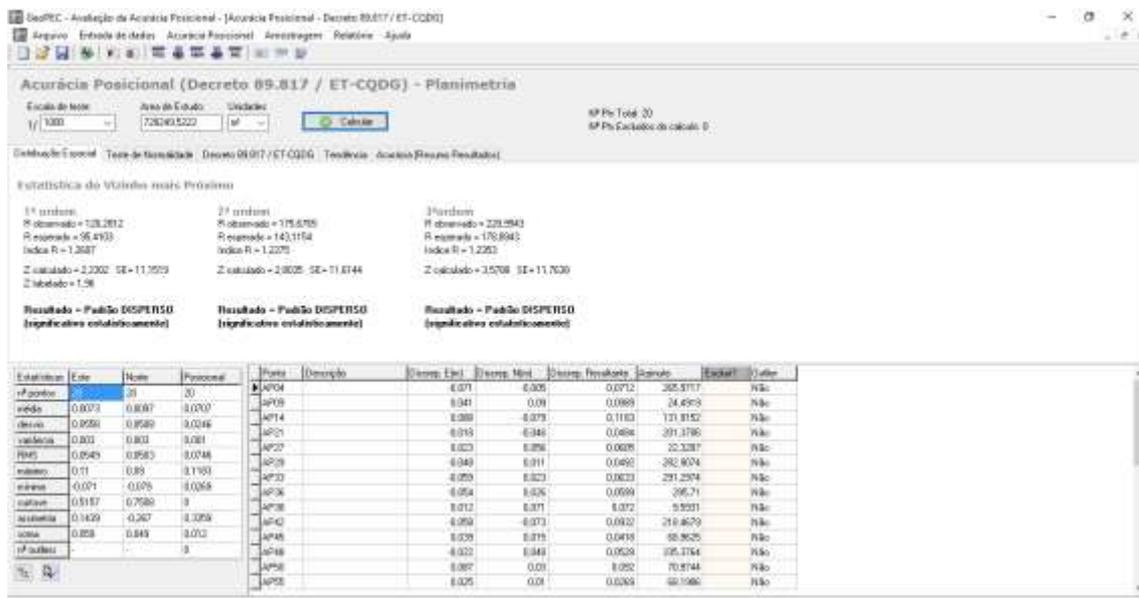


Figura 38: Testes Método Vizinho Mais Próximo

Depois dos cálculos efetuados, seguindo os mesmos padrões das análises de Santos et al (2016) como todas as ordens avaliadas resultaram em índice R maior que 1, o padrão é classificado como disperso. Além disso, é necessário fazer a verificação se o padrão é estatisticamente significativo, para isso, se aplicou o teste Z com intervalo de confiança de 95%. Como $Z_{calc} > Z_{tab}$, para todas as ordens recomenda-se rejeitar a hipótese H_0 e considerar que a distribuição dos pontos de verificação tem um padrão aleatório, visto isso, pode-se concluir que o padrão de distribuição espacial dos pontos de verificação é disperso.

O levantamento dos pontos em campo foi executado com o receptor GNSS. Todos os pontos de verificação foram levantados a partir de um ponto processado com posicionamento cinemático em tempo real e tiveram precisão posicional na ordem de milímetros. Após a coleta de todos os pontos de verificação em campo e seus alvos no ortomosaico, calculou-se os

resíduos posicionais planimétricos para cada um dos pontos. A Figura 39 apresenta o gráfico dos resíduos posicionais planimétricos observados na ortomosaico resultante.

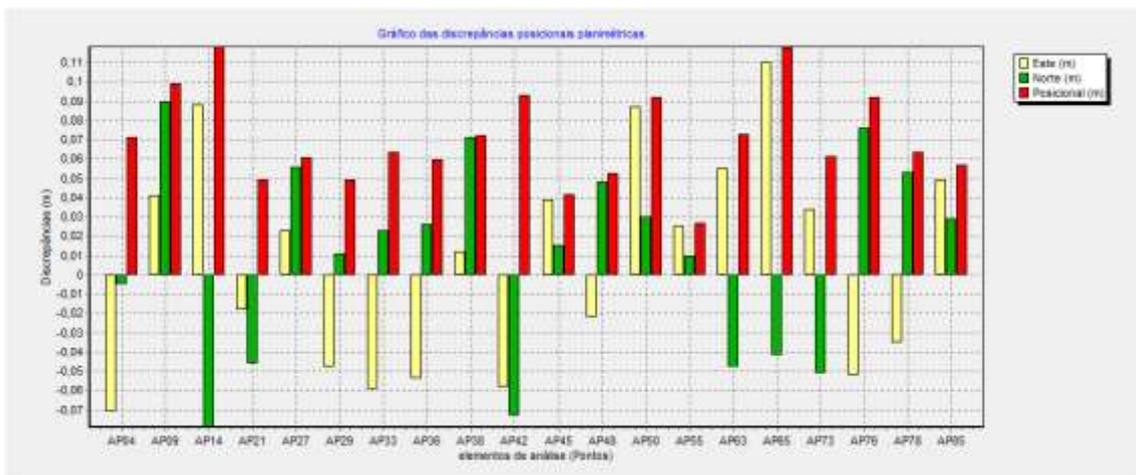


Figura 39: Gráfico das Discrepâncias Posicionais Planimétricas

Prosseguindo na metodologia do *software* proposta por Santos et. al (2016), é possível aplicar as avaliações de tendência e precisão nos dados de verificação. Para avaliar a tendência da amostra de resíduos posicionais, executa-se um teste de normalidade Shapiro-Wilk ao nível de confiança de 95%, como mostra os resultados na figura 40. Os resultados propõem a não rejeição da hipótese nula H_0 , evidenciando que os resíduos seguem uma distribuição normal. Com isso, para a análise de tendência utilizou-se tanto o teste t de Student quanto as estatísticas espaciais da Média Direcional / Variância Circular, conforme resultados evidenciados na figura 41.

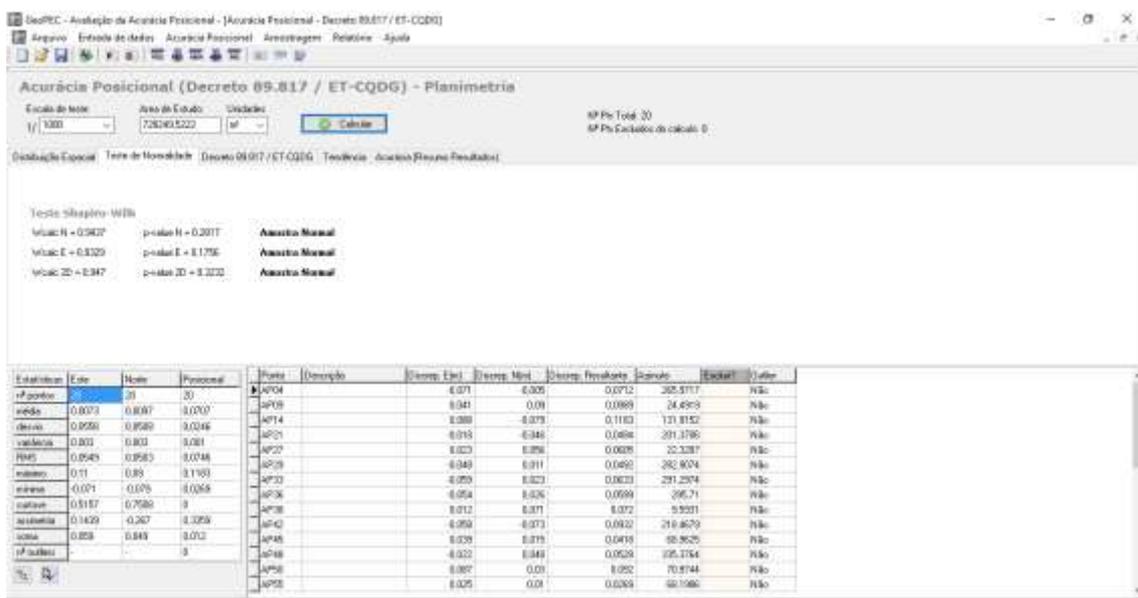


Figura 40: Teste de Normalidade

Como o valor absoluto de t calculado foi menor que o valor de t tabelado nas coordenadas planimétricos, conclui-se que o ortomosaico não é influenciado por efeitos sistemáticos. A seguinte etapa da propositura de Santos et. al (2016) contempla a avaliação da média direcional, a variância circular se aproximou de 1, exemplificando que as discrepâncias apresentam orientações opostas. Conclui-se, então, que não há a presença de efeitos sistemáticos no ortomosaico produzido. Assim, analisando ambos os resultados gerados tanto pelo teste t de Student quanto pela Média Direcional/Variância Circular apresentam-se análogos, não observando a existência de tendência no ortomosaico.

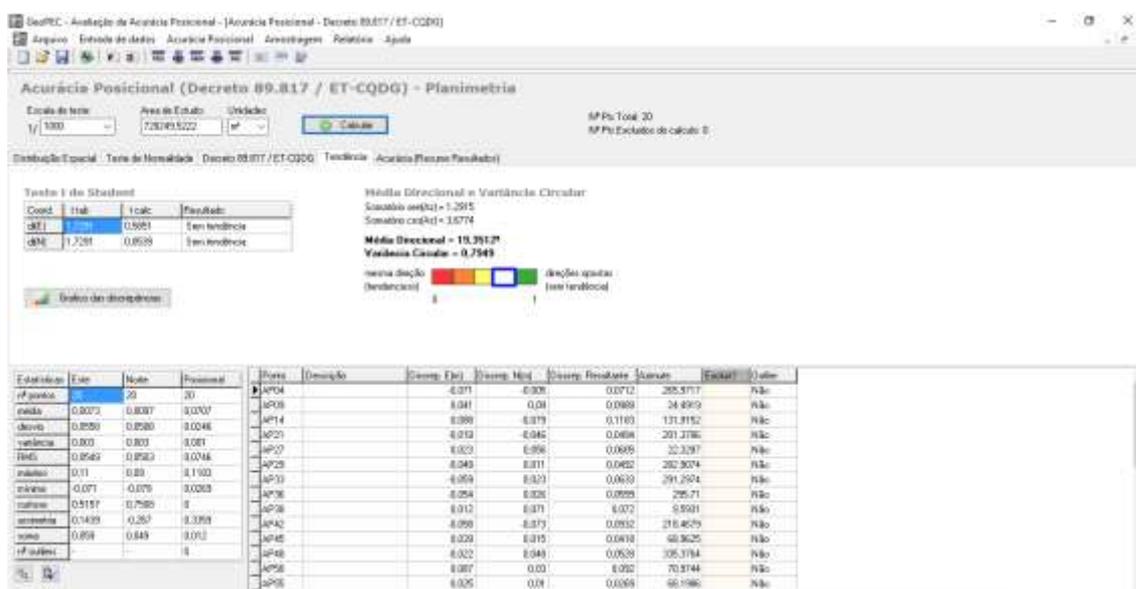


Figura 41: Teste t de Student, Média Direcional e Variância Circular

Para o teste de precisão executou-se o padrão de acurácia posicional contemplado no PEC-PCD, empregando como a escala base de 1:1.000. Os produtos dos métodos empregues no padrão da norma brasileira são apresentados na figura 42, indicando que o ortomosaico correspondeu as condições do Decreto, para a escala de 1:1.000 na Classe A.

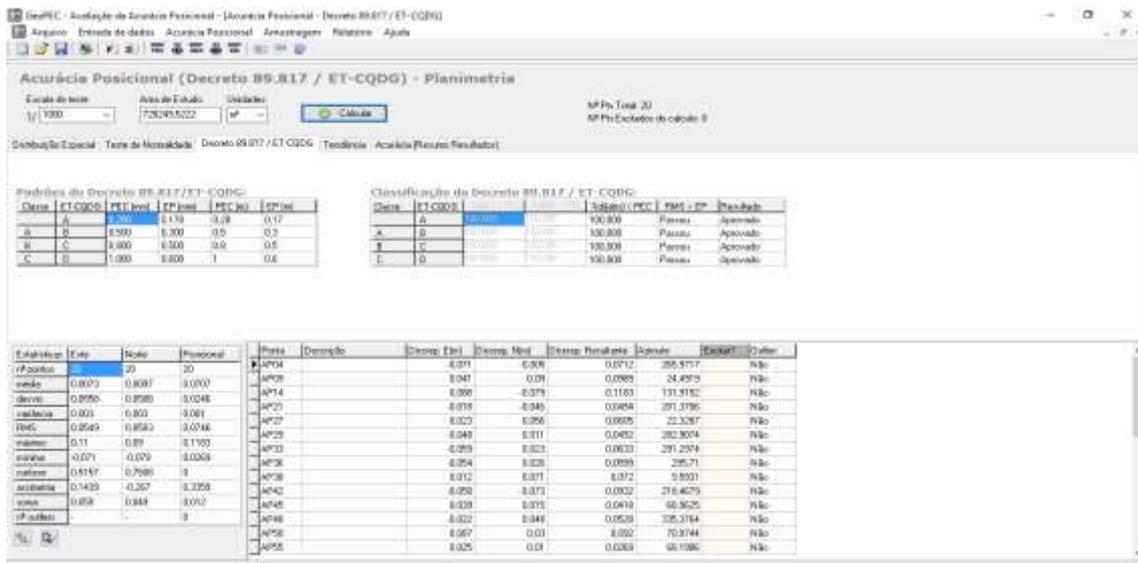


Figura 42: Parâmetros Decreto-lei 89.817

Levando em conta que o ortomosaico correspondeu aos padrões de precisão e tendência, conclui-se que a ortomosaico possui acurácia posicional para a escala 1:1.000. Conforme evidencia a figura 43. Os resultados estão dispostos no anexo D.

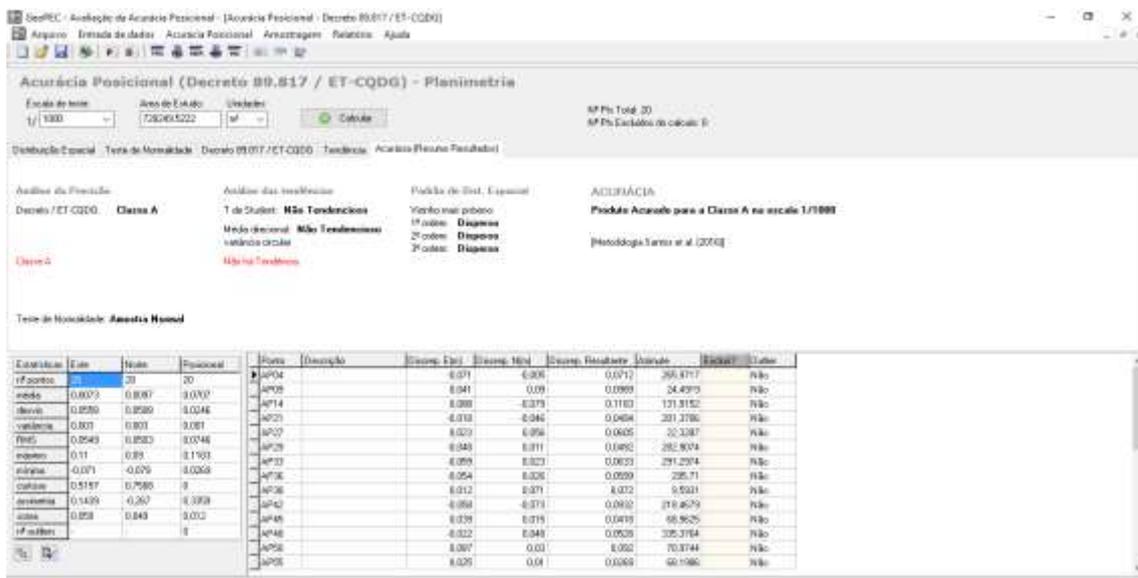


Figura 43: Resultado Acurácia Posicional Planimétrica

A fim de testar as outras classificações do Decreto-lei 89.817 aplicou-se outros testes com relação a outras escalas para recomendações de outras utilizações dos dados obtidos, para isso foram testadas as escalas: 1:400 (figura 44), 1:200 (figura 45), 1:100 (figura 46) para mesma área e para os mesmos pontos. A conclusão mostra que a partir da escala de 1:400 a classificação de acurácia posicional tem um padrão Classe B (PEC-PCD).

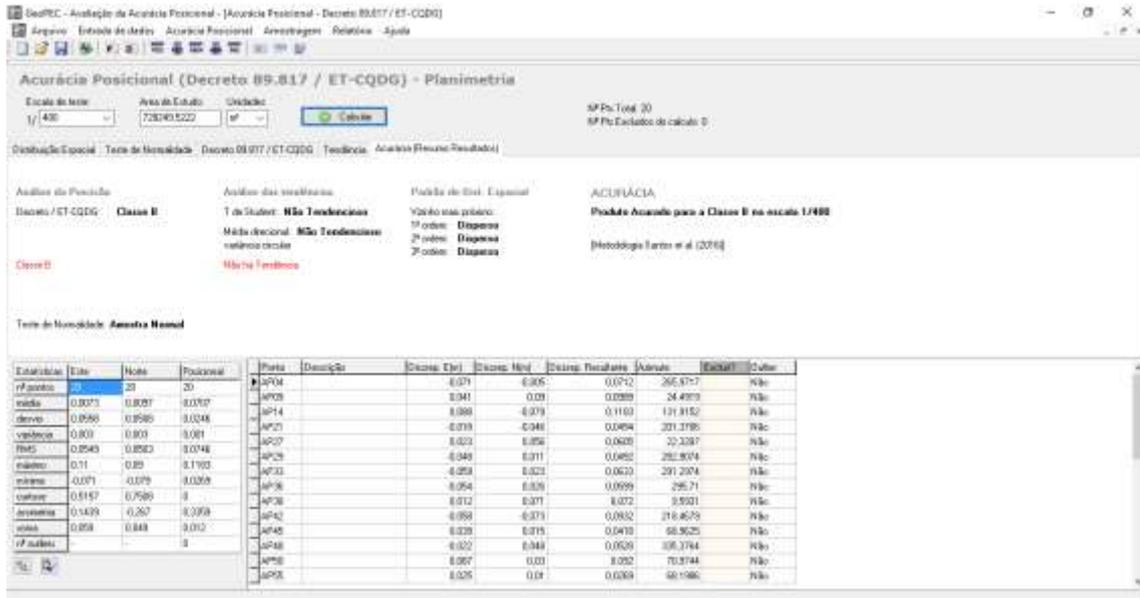


Figura 44: Testes Acurácia Posicional Planimétrica - Classe B

Continuando as análises, concluiu-se que a partir da escala 1:200 tem um acurácia posicional de Classe C (PEC-PCD) e um produto não acurado na escala 1:100.

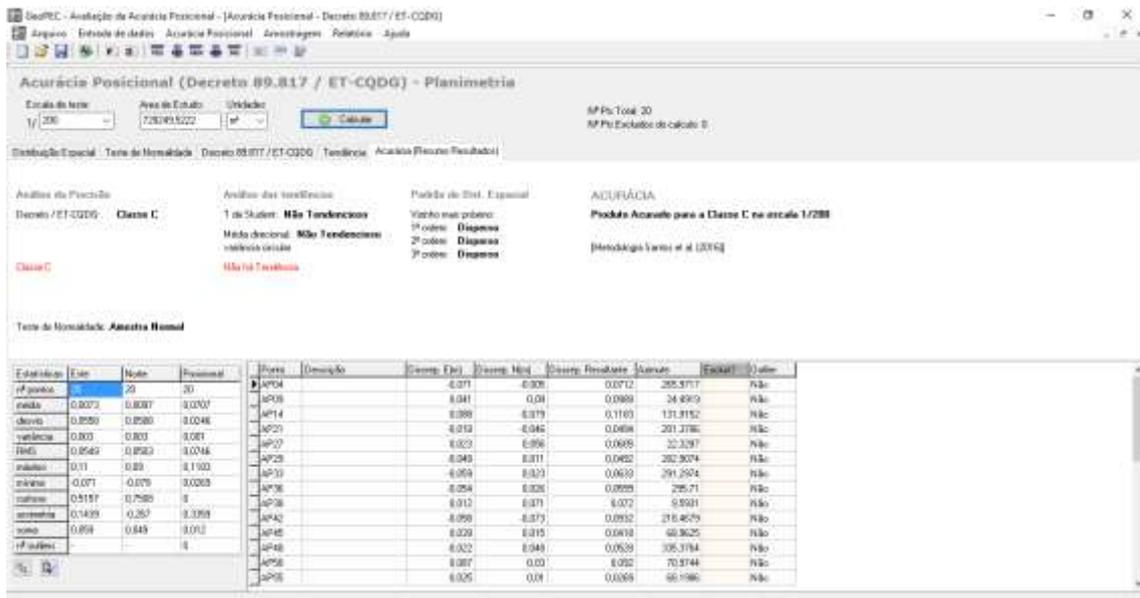


Figura 45: Testes Acurácia Posicional Planimétrica - Classe C

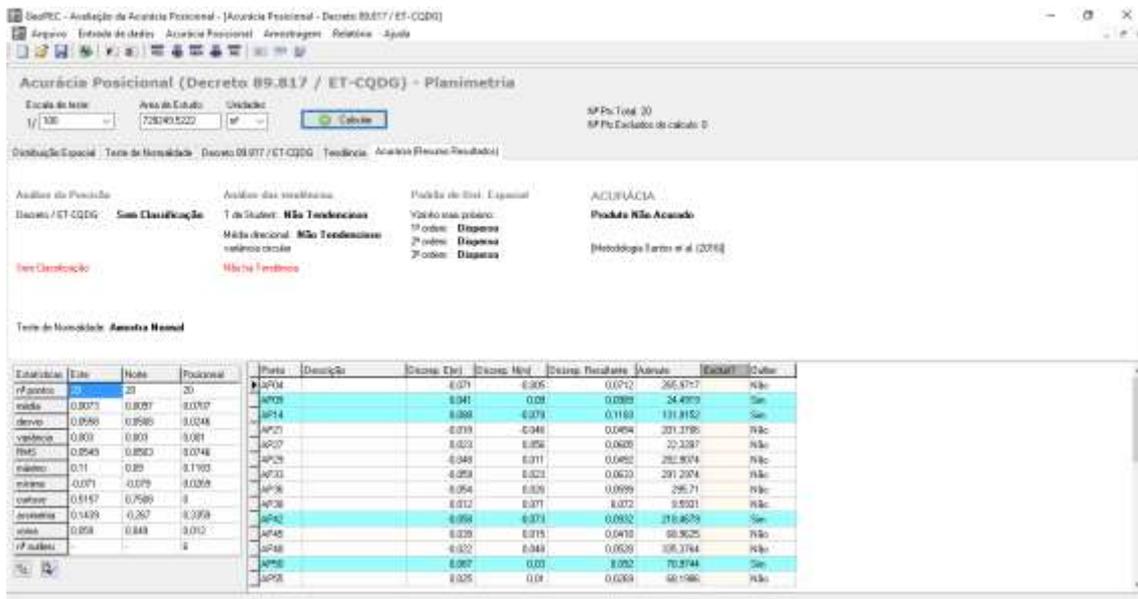


Figura 46: Testes Acurácia Posicional Planimétrica – Sem Classificação

Avaliou-se também que utilizando o mesmo *software*, a acurácia posicional altimétrica de uma imagem ortoretificada do loteamento, utiliza os mesmos pontos de análise e as mesmas condições do Decreto-lei 89.817. Para essa análise, avaliou-se a equidistância vertical da amostra. O teste inicial foi feito para equidistância vertical de 1,0 metro. A Figura 47 apresenta o gráfico das discrepâncias posicionais altimétricas verificadas no ortomosaico avaliado. Para visualizar os resultados obtidos pelo *software* GeoPEC, o relatório está apresentado no anexo D.

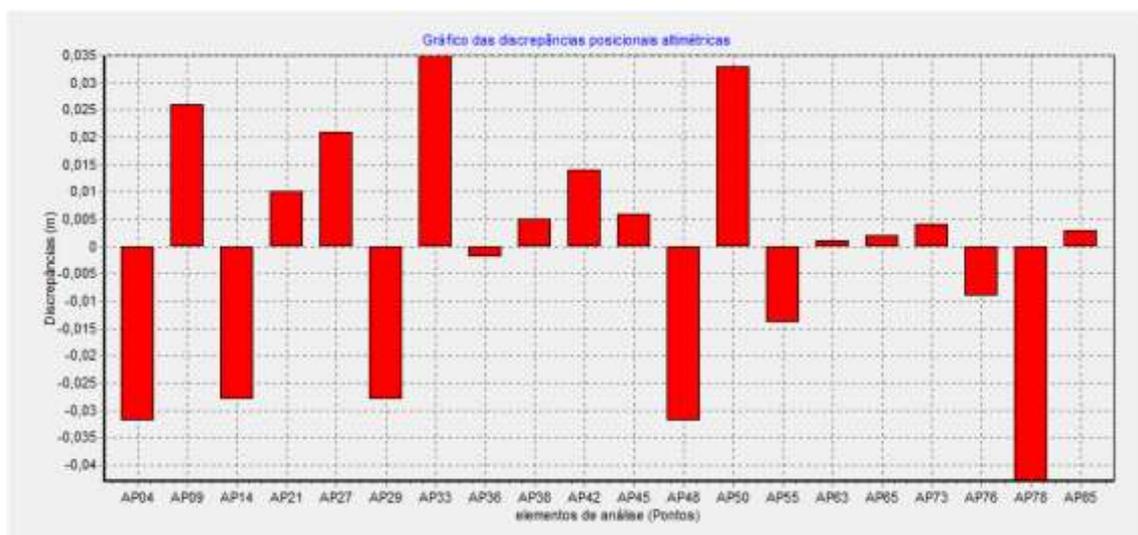


Figura 47: Gráfico das Discrepâncias Posicionais Altimétricas

Mais uma vez seguindo a metodologia do *software* proposta por Santos et. al (2016), são feitas as avaliações de tendência e precisão nos dados de verificação. Para avaliar a tendência da amostra de resíduos posicionais, executa-se um teste de normalidade Shapiro-

Wilk ao nível de confiança de 95%, como mostra os resultados na figura 48. Os produtos denotam a não rejeição da hipótese nula H_0 , que demonstram os resíduos seguem distribuição normal. Com isso, para a avaliação de tendência, aplicou-se o teste t de Student conforme resultados apresentados na figura 49.

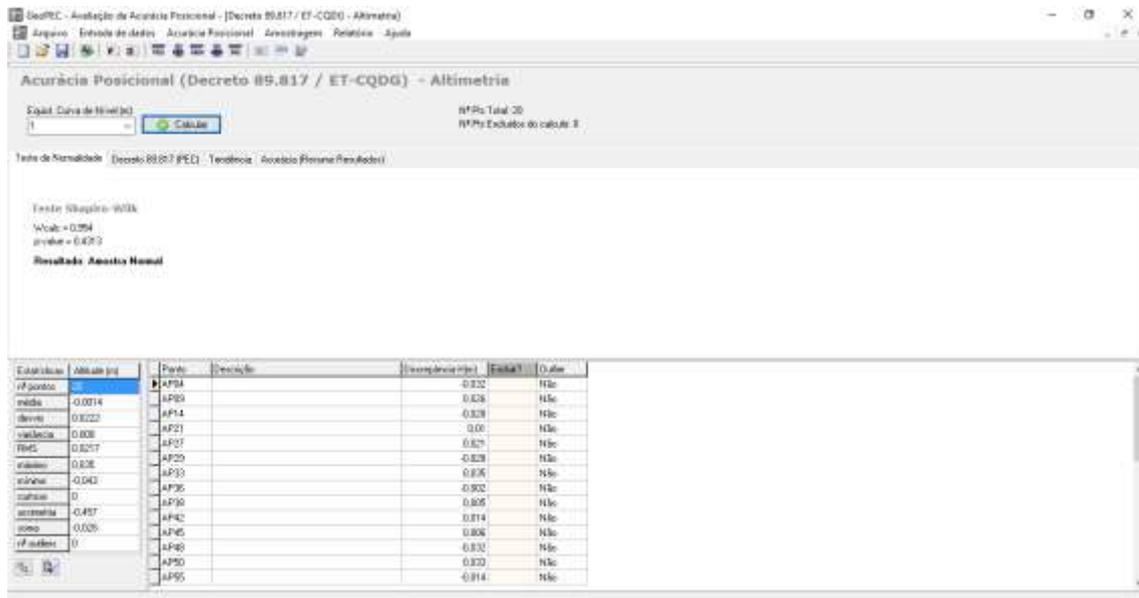


Figura 48: Teste de Normalidade Equidistância Vertical

Como o valor absoluto de t calculado foi menor que o valor de t tabelado nas coordenadas planimétricas, conclui-se que, o ortomosaico não é influenciado por efeitos sistemáticos. Por isso, com os produtos adquiridos pelo teste t de Student, não foi identificada tendência no ortomosaico.

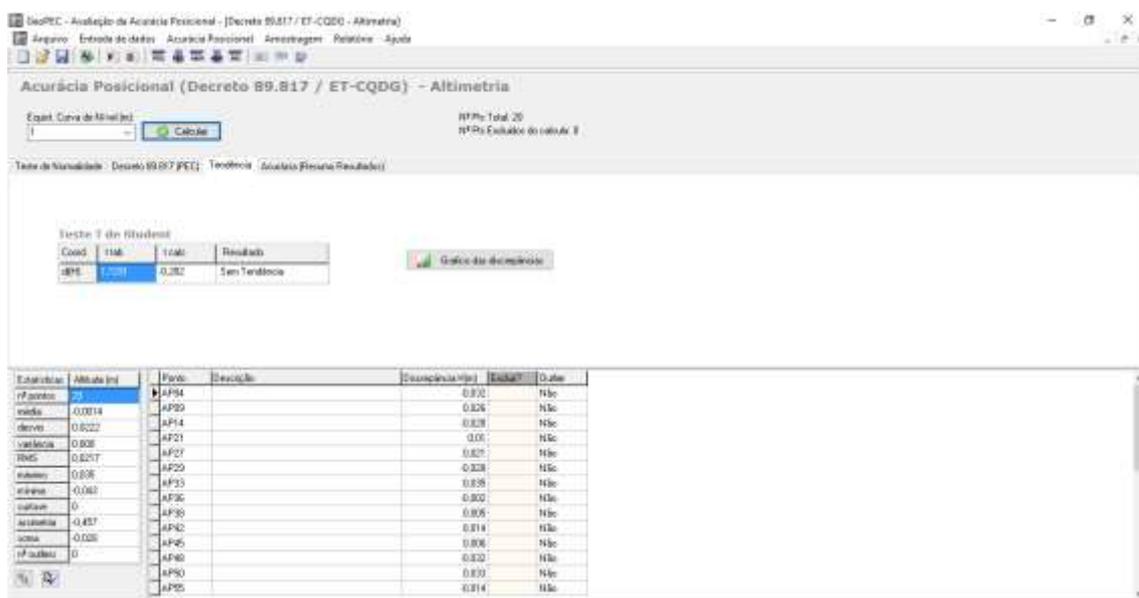


Figura 49: Teste t de Student

Continuando com a proposição de Santos et. al (2016) empregou-se o padrão de acurácia posicional apresentado no Decreto-lei nº 89.817, empregando como referência de equidistância de 1,0 metro. Os resultados dos métodos propostos pelo padrão brasileiro são apresentados na figura 50, mostrando que o ortomosaico satisfaz aos requisitos do PEC-PCD, para a equidistância vertical de 1,0 metro na Classe A.

Classe	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	1/2	1/6	0,22	0,167
B	1/2	1/3	0,0	0,333
C	1/5	2/5	0,0	0,4
D	1/4	1/2	0,75	0,0

Classe	ET-CQDG	PEC	EP	Resultado
A	100,000	Passou	Aprovado	
B	100,000	Passou	Aprovado	
C	100,000	Passou	Aprovado	
D	100,000	Passou	Aprovado	

Estadística	Altitude (m)	Ponto	Descrição	Imprecisão (m)	Exatidão	Outro
RF ponto	0	AP01		0,022	Não	
média	-0,0014	AP09		0,028	Não	
desvio	0,0222	AP14		0,028	Não	
variância	0,008	AP21		0,0	Não	
RMQ	0,0217	AP27		0,027	Não	
maximo	0,026	AP29		0,028	Não	
minimo	-0,043	AP33		0,028	Não	
coeficiente	0	AP36		0,002	Não	
assimetria	-0,487	AP39		0,028	Não	
skew	-0,026	AP42		0,014	Não	
RF altitude	0	AP45		0,006	Não	
		AP48		0,032	Não	
		AP50		0,031	Não	
		AP55		0,014	Não	

Figura 50: Parâmetros Acurácia Posicional Decreto-lei 89.817

Análise da Precisão: Decreto 89.817 - Classe A
Análise dos Resultados: Teste de Normalidade: **Análise Normal**
 1 de Student: **Não Tendencioso**
ACURÁCIA: **Resultado Acurado para a Classe A na equidistância de 1,0.**
 [Metodologia Santos et al (2016)]

Estadística	Altitude (m)	Ponto	Descrição	Imprecisão (m)	Exatidão	Outro
RF ponto	0	AP01		0,022	Não	
média	-0,0014	AP09		0,028	Não	
desvio	0,0222	AP14		0,028	Não	
variância	0,008	AP21		0,0	Não	
RMQ	0,0217	AP27		0,027	Não	
maximo	0,026	AP29		0,028	Não	
minimo	-0,043	AP33		0,028	Não	
coeficiente	0	AP36		0,002	Não	
assimetria	-0,487	AP39		0,005	Não	
skew	0,026	AP42		0,014	Não	
RF altitude	0	AP45		0,006	Não	
		AP48		0,032	Não	
		AP50		0,032	Não	
		AP55		0,014	Não	

Figura 51: Resultado Acurácia Posicional Altimétrica

Tendo em vista que o ortomosaico produzido corresponde aos parâmetros de precisão e tendência, constata-se a acurácia posicional do ortomosaico para a equidistância vertical de 1,0 metro, conforme evidencia a figura 51.

Com o intuito de avaliar outras equidistâncias verticais em relação as outras classificações do Decreto-lei 89.817 aplicou-se outros testes para buscar qual valor de equidistância vertical se classificaria com a Classe B (PEC-PCD), assim sendo, chegou-se a equidistância de 0,1 metros na equidistância vertical, mostrada na figura 52. Para as outras classificações, não houve a necessidade de avaliação, visto que seriam valores muito pequenos em comparação a área de interesse.

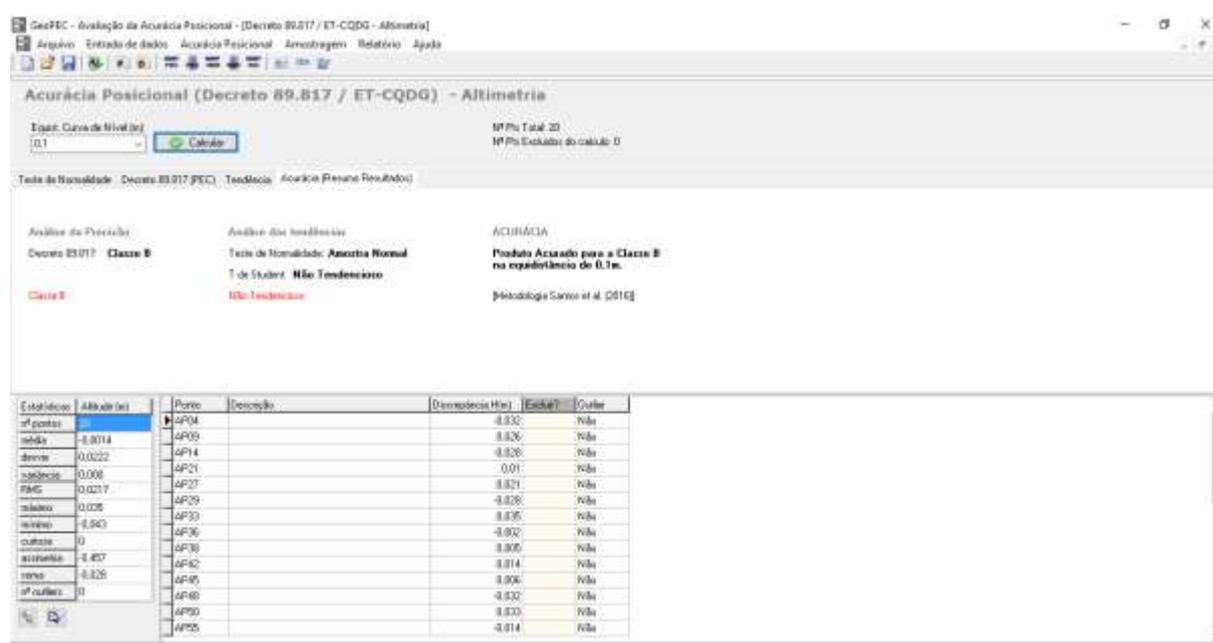


Figura 52: Testes Acurácia Posicional Altimétrica - Classe B

Dando sequência a análise de acurácia posicional, o software também avalia essa acurácia levando em consideração a versão 2 do Manual de Posicionamento do INCRA.

Como observado nas verificações anteriores, são avaliados os mesmos padrões: teste de normalidade, análise de tendência, além dos padrões impostos pelo INCRA. Bem como a acurácia conforme os resultados obtidos, demonstrar essa verificação tem o intuito de trazer mais uma forma de avaliação dos resultados, a fim de confirmar a qualidade e constância dos resultados. Para visualizar os resultados obtidos pelo *software* GeoPEC, o relatório está apresentado no anexo D.

Assim como as análises anteriores e seguindo o mesmo padrão de avaliação proposto por Santos et. al (2016), para avaliar a tendência da amostra de resíduos posicionais, executa-se um teste de normalidade Shapiro-Wilk ao nível de confiança de 95%, segundo os resultados

na figura 53, que propõem a não rejeição da hipótese nula H_0 , evidenciando que os resíduos seguem uma distribuição normal.

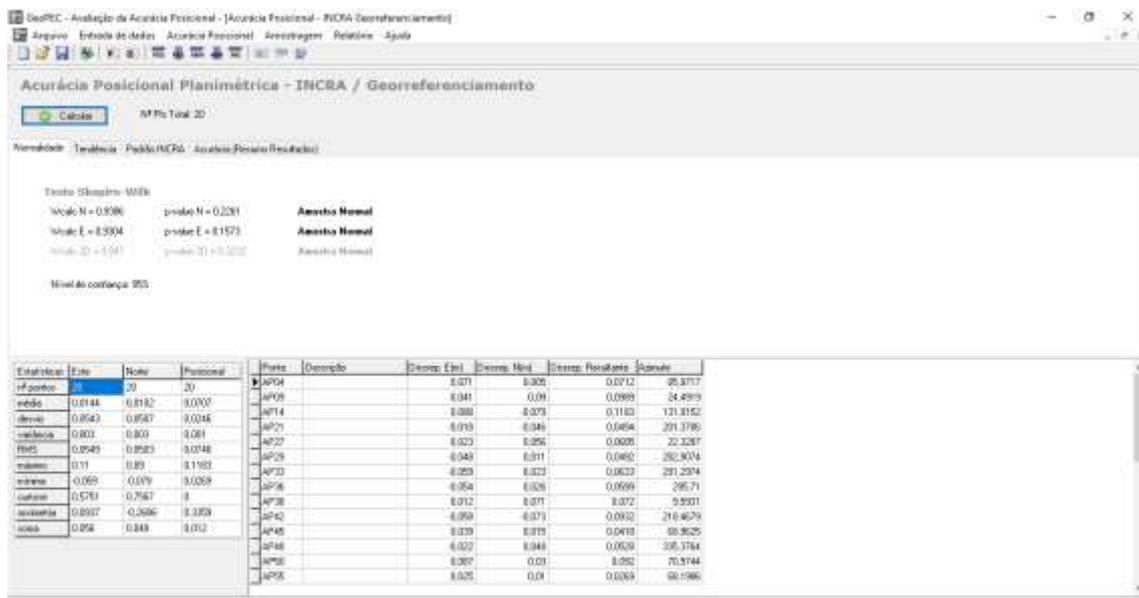


Figura 53: Teste de Normalidade da Amostra

Para a avaliação de tendência aplicou-se o teste t de *Student*, conforme resultados apresentados na figura 54.

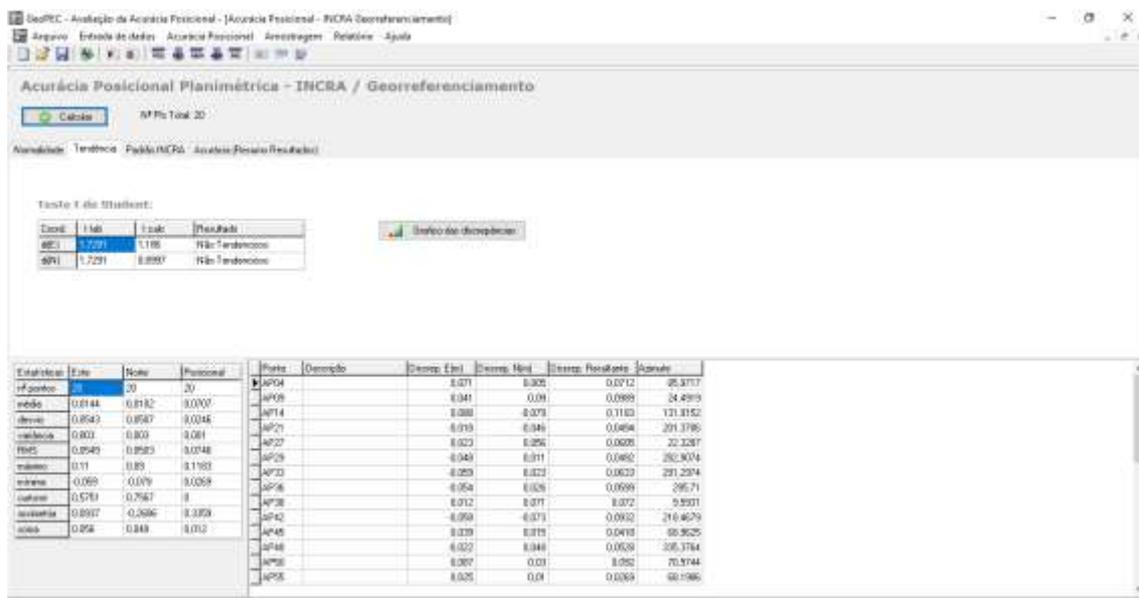


Figura 54: Teste de Tendência

Como o valor absoluto de t calculado foi menor que o valor de t tabelado nas coordenadas planimétricos, conclui-se que, o ortomosaico não é influenciado por efeitos sistemáticos. Portanto, com os produtos adquiridos pelo teste t de *Student*, não foi identificada tendência no ortomosaico.

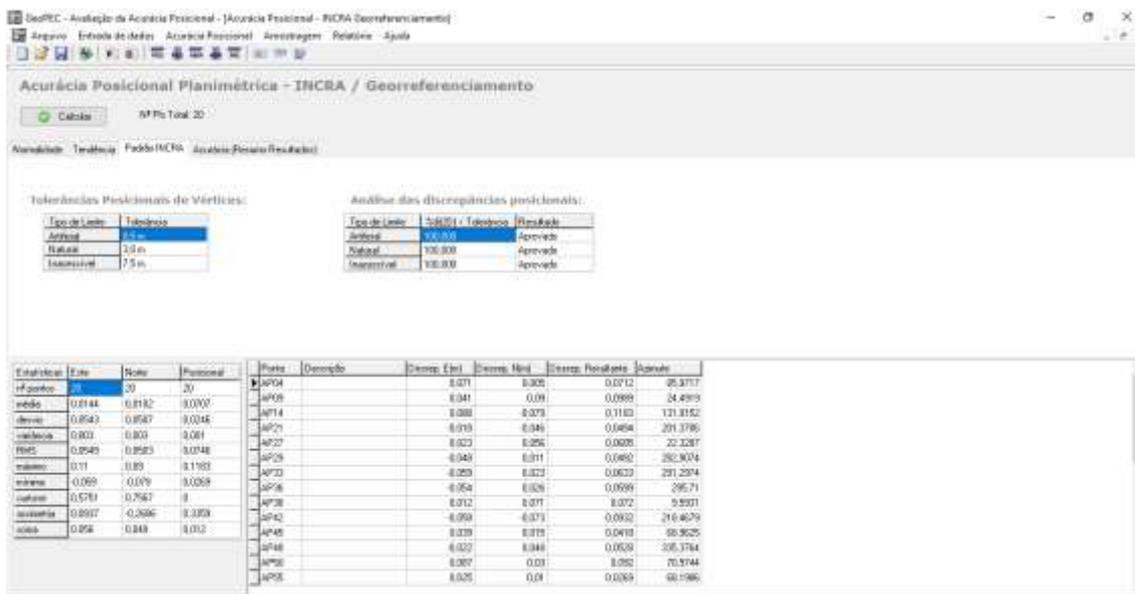


Figura 55: Padrão INCRA versão 2

Seguindo a avaliação, para o teste de precisão empregou-se os requisitos de acurácia posicional descrito no Manual do INCRA na sua versão 2. Os produtos das metodologias aplicadas estão apresentados na figura 55, indicando que o ortomosaico atendeu às exigências normativas.

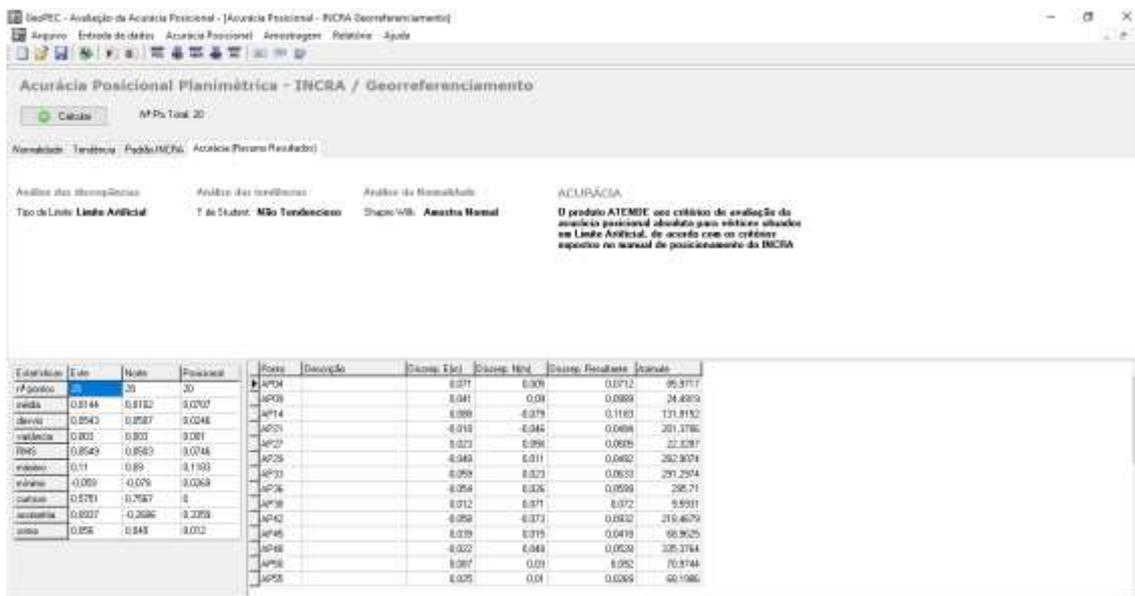


Figura 56: Acurácia conforme Padrão INCRA versão 2

Tendo em vista que o ortomosaico produzido corresponde aos parâmetros de precisão e tendência, constata-se na Figura 56 a acurácia posicional do ortomosaico para vértices situados em limites artificiais em conformidade com os requisitos propostos no manual de posicionamento do INCRA.

Em prosseguimento, para analisar os padrões ASPRS de 2014, avalia-se principalmente os resíduos amostrais a partir dos dados obtido a partir da raiz do erro médio quadrático (RMSE), assim foi efetuado um cálculo a parte para essa avaliação nos três eixos de dados. A tabela 5 traz as coordenadas dos pontos utilizados e a tabela 6 exemplifica os resíduos e estatística dos cálculos.

Tabela 5: Coordenadas dos Pontos de Verificação nos Dois Cenários

Ponto	Coordenadas UTM da Imagem			Coordenadas UTM do GNSS		
	E(X) (metros)	N(Y) (metros)	h (Z) (metros)	E(X) (metros)	N(Y) (metros)	h (Z) (metros)
AP4	253385,773	7546391,352	605,185	253385,844	7546391,357	605,217
AP9	253073,714	7546430,799	608,664	253073,755	7546430,889	608,690
AP14	252661,785	7546477,429	607,983	252661,873	7546477,350	607,955
AP21	252712,509	7546804,798	631,491	252712,491	7546804,752	631,501
AP27	252843,528	7546966,496	637,009	252843,551	7546966,552	637,030
AP29	252609,249	7547348,215	649,434	252609,201	7547348,226	649,406
AP33	252701,640	7547427,104	648,460	252701,581	7547427,127	648,495
AP36	252840,722	7547268,269	636,284	252840,668	7547268,295	636,282
AP38	252791,869	7547225,960	636,971	252791,881	7547226,031	636,976
AP42	252675,226	7547150,342	639,906	252675,168	7547150,269	639,920
AP45	252852,176	7547151,277	633,785	252852,215	7547151,292	633,791
AP48	252978,285	7547109,435	630,041	252978,263	7547109,483	630,009
AP50	252844,521	7547086,411	634,964	252844,608	7547086,441	634,997
AP55	252848,729	7547022,421	636,369	252848,754	7547022,431	636,355
AP63	253108,134	7546835,128	625,775	253108,189	7546835,080	625,776
AP65	253155,702	7546876,502	623,392	253155,812	7546876,460	623,394
AP73	253391,675	7546622,180	609,484	253391,709	7546622,129	609,488
AP76	253408,855	7546701,714	612,523	253408,803	7546701,790	612,514
AP78	253432,406	7546754,133	612,896	253432,371	7546754,186	612,853
AP85	253327,393	7546794,338	616,020	253327,442	7546794,367	616,023

Tabela 6: Valores RMSE

Resíduos (metros)						
$\Delta E(m)$	$\Delta E^2(m^2)$	$\Delta N(m)$	$\Delta N^2(m^2)$	$\Delta abs(m)$	$\Delta h(m)$	$\Delta h^2(m^2)$
-0,071	0,00504	-0,005	0,00002	0,071	0,032	0,00102
-0,041	0,00168	-0,090	0,00810	0,099	0,026	0,00068
-0,088	0,00774	0,079	0,00624	0,118	-0,028	0,00078
0,018	0,00032	0,046	0,00212	0,049	0,010	0,00010
-0,023	0,00053	-0,056	0,00314	0,061	0,021	0,00044
0,048	0,00230	-0,011	0,00012	0,049	-0,028	0,00078
0,059	0,00348	-0,023	0,00053	0,063	0,035	0,00122
0,054	0,00292	-0,026	0,00068	0,060	-0,002	0,00000

Tabela 7: Valores RMSE

Resíduos (metros)						
$\Delta E(m)$	$\Delta E^2(m^2)$	$\Delta N(m)$	$\Delta N^2(m^2)$	$\Delta abs(m)$	$\Delta h(m)$	$\Delta h^2(m^2)$
-0,012	0,00014	-0,071	0,00504	0,072	0,005	0,00002
0,058	0,00336	0,073	0,00533	0,093	0,014	0,00020
-0,039	0,00152	-0,015	0,00023	0,042	0,006	0,00004
0,022	0,00048	-0,048	0,00230	0,053	-0,032	0,00102
-0,087	0,00757	-0,030	0,00090	0,092	0,033	0,00109
-0,025	0,00062	-0,010	0,00010	0,027	-0,014	0,00020
-0,055	0,00303	0,048	0,00230	0,073	0,001	0,00000
-0,110	0,01210	0,042	0,00176	0,118	0,002	0,00000
-0,034	0,00116	0,051	0,00260	0,061	0,004	0,00002
0,052	0,00270	-0,076	0,00578	0,092	-0,009	0,00008
0,035	0,00122	-0,053	0,00281	0,064	-0,043	0,00185
-0,049	0,00240	-0,029	0,00084	0,057	0,003	0,00001
$(\sum \Delta)^2$	0,060		0,051			0,010
N amostral	20,000		20,000			20,000
RMSE	0,055		0,050	0,075		0,022

A tabela 7, mostra os cálculos obtidos para a classificação do valor de acurácia posicional planimétrica da amostra pesquisada, assim foram estabelecidos os limites de erro de acordo com o GSD final do processamento de imagens.

Tabela 8: Valores das Classes de Acurácia Planimétrica ASPRS

Classes	Classe Acurácia horizontal	Acurácia Absoluta		
		RMSE _x e RMSE _y	RMSE _r	Nível de Confiança 95%
	GSD	≤ GSD	≤ 1,414*GSD	≤ 2,448*GSD
Classe I	5,84	5,84	8,26	14,30
Classe II		11,68	16,52	28,59
Classe III		17,52	24,77	42,89

Já na tabela 8, foi feita a verificação para enquadramento nas classes das amostras analisadas. A primeira análise foi feita utilizando os valores de RMSE do relatório obtido pelo *software* PhotoScan, as classes de acurácia planimétrica obtidas foram Classe I. A segunda análise leva em conta a amostra feita e analisada pelo *software* GeoPEC, assim, a classe encontrada também foi Classe I.

Tabela 9: Análise das Classes de Acurácia Planimétrica ASPRS

Verificação de Acurácia	RMSE		RMSEr	Nível de Confiança 95%		Classificação
	RMSEx	RMSEy		RMSEx	RMSEy	
1ª Análise	4,89	4,09	6,37	11,96	10,02	Classe I
2ª Análise	5,50	5,00	7,50	13,46	12,24	Classe I

Na tabela 9, foi feita a verificação para enquadramento nas classes na amostra analisada segundo a acurácia altimétrica. A primeira análise foi feita utilizando os valores de RMSE do relatório obtido pelo *software* PhotoScan. A segunda análise leva em conta a amostra feita e analisada pelo *software* GeoPEC. Ambas análises foram qualificadas na Classe II.

Tabela 10: Análise das Classes de Acurácia Altimétrica ASPRS

Verificação de Acurácia	RMSEz	Classe de Precisão de Dados Vertical	RMSEz em terreno não-vegetado (cm)	Acurácia Vertical Não-Vegetada (NVA) a 95% de Confiança (cm)	Acurácia Vertical Vegetal (VVA) no 95º Percentil (cm)
1ª Análise	2.5	II	2.5	4.9	7.4
2ª Análise	2.2	II	2.5	4.9	7.4

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, em primeiro lugar, pode-se perceber que a tecnologia de Aeronaves Remotamente Pilotadas aplicada na pesquisa, em franca disseminação comercial, veio para ser uma aliada importante das tecnologias já aplicadas na cartografia, fotogrametria, topografia, entre outras. Também agrega agilidade e qualidade aos levantamentos e produz cada vez mais informações geográficas. Com isso, relacionando ao custo da tecnologia e ao tempo menor aplicado nos levantamentos de campo, conclui-se que seu uso é totalmente viável e inovador.

Com relação aos produtos cartográficos obtidos por essa tecnologia, é possível entender seu amplo potencial. A partir das imagens e do processamento das mesmas, consegue-se produtos em quantidades que, se comparados a outras tecnologias com o custo similar teriam muitas dificuldades em obtenção.

A nuvem básica de pontos já evidencia uma feição da superfície mapeada, com o georreferenciamento do bloco fotogramétrico e otimização das câmeras, obtêm-se uma quantidade muito maior de pontos formando a nuvem densa de pontos com posicionamento

correto e a partir daí, os principais produtos cartográficos, modelos digitais de elevação e ortomosaico são obtidos na sequência de etapas no *software*.

Analisando a quantidade de pontos gerados na etapa de processamento da “nuvem densa de pontos” foram produzidos mais de trinta milhões de pontos planialtimétricos na área de mapeamento proposta, comparando-se com outros tipos de tecnologias de obtenção de pontos é muito maior que de um receptor GNSS, é equivalente a aerofotogrametria tradicional com aeronaves tripuladas e inferior se comparado ao escaneamento a laser feito com tecnologia LIDAR, tanto na quantidade quanto na qualidade dos pontos gerados. Nota-se desta forma que é possível realizar projetos utilizando as informações dos pontos.

Na sequência, os próximos produtos cartográficos são os modelos digitais de elevação, que são divididos em duas formas de produção, a primeira se obteve utilizando a nuvem densa de pontos, a segunda foi realizada a partir da filtragem automática segundo parâmetros pré-estabelecidos, resultando somente o terreno sem nenhum objeto sobre ele. A partir desses produtos é possível gerar as curvas de nível da área de interesse. Assim, percebe-se que é possível fazer uma análise completa sobre o terreno em questão, o que pode auxiliar em gestão da infraestrutura urbana.

Já no produto Ortomosaico, verifica-se a possibilidade de uma reprodução fiel da área em que se pretende mapear, com as informações necessárias para delimitar objetos de interesse. É possível avaliar áreas de proteção ambiental, cursos d’água, áreas de pavimentação, quantitativos de elementos de rede de drenagem urbana e redes de esgoto, quantidades de lotes já ocupados, quantidades de vazios urbanos, quantidade de distribuição arbórea nos passeios, entre outras informações. Seu potencial no auxílio a gestão urbana fica evidente nos diversos produtos obtidos a partir do processamento das imagens. Entretanto, essas informações somente serão úteis se estiverem com seu posicionamento geográfico correto. Por isso, é necessário, georreferenciar os produtos fotogramétricos obtidos, implantando pontos de apoio no levantamento. Assim sendo, realizou-se análise de acurácia da posição desses pontos que foram utilizadas como bases desse georreferenciamento.

Para a avaliação da acurácia, utilizou-se técnicas estatísticas de análise como as do Vizinho Mais Próximo, teste de Normalidade Shapiro-Wilk, teste de Tendência *t-Student*, Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático, em normas para avaliar essa acurácia, que foram as de Padrão de Exatidão Cartográfica, Norma do INCRA versão 2 e norma de Padrões da Acurácia para Dados Digitais Geoespaciais da ASPRS.

As avaliações se mostraram satisfatórias com relação as técnicas estatísticas utilizadas, ou seja, a distribuição espacial dos pontos tem padrão disperso, segundo o método do vizinho

mais próximo, tem padrão normal segundo teste de Shapiro-Wilk e não foi identificada tendência na amostra por *t-Student*. Já em relação as normas foram obtidas as classificações mais elevadas para os padrões propostos conforme a sequência de análises seguintes.

Os resultados dos testes de acurácia foram satisfatórios, na análise planimétrica do *software* do GeoPEC, no enquadramento em classes foi verificado para as escalas 1:1000 – Classe A, 1:400 – Classe B, 1:200 – Classe C e 1:100 não obteve classificação. Para altimetria a análise é feita em função da equidistância: para a equidistância de 1,0 metros obteve classificação Classe A e para a equidistância de 0,1 metros Classe B.

A análise segundo a norma do INCRA, utilizando o mesmo *software*, resultou na classificação “**acurado**” para o tipo de limite "Artificial", o que, segundo a norma do INCRA, remete a limites em ambientes rurais caracterizados por cercas, muros, estradas, vala, etc. Todos os pontos de checagem apresentaram discrepâncias posicionais planimétricas inferiores ou iguais à tolerância posicional para o tipo de limite.

Já para a avaliação da ASPRS, analisou-se a planimetria e altimetria por diferentes métodos, porém com as mesmas bases de dados da amostra. Na altimetria, avalia-se RMSEz e para planimetria, utiliza-se a RMSEr associada ao GSD, que seria o tamanho do *pixel* da imagem representado no terreno, para avaliação. Tendo esta situação como base foram obtidas, para as duas avaliações realizadas, Classe I em ambos os casos. Na avaliação altimétrica, utiliza-se os dados de Raiz do Erro Médio Quadrático e uma tabela com valores pré-definidos listados anteriormente, sendo assim, foi obtido para as duas análises classificação Classe II.

Segundo os padrões da ASPRS, a Classe I é a classe de precisão vertical mais alta, é mais apropriada para determinações de precisão local e testada em relação a um sistema de coordenadas local, em vez de precisão de rede em relação a uma rede geodésica nacional. A Classe II é a segunda classe de precisão vertical mais alta, pode estar relacionada à precisão local ou à precisão da rede.

Com esses resultados sobre acurácia posicional tanto planimétrica como altimétrica, percebe-se que os produtos são acurados, pois segundo as normas aplicadas, tem classificações que se atestam nas mais altas classes. Então fica evidenciado a qualidade e constância dos produtos gerados.

É um fator negativo a quantidade de normas de avaliação de qualidade de dados, já que, apresentam parâmetros diferentes de análise. Estabelecer um padrão único de análise desses padrões e atualizá-las frequentemente, conforme com a incorporação de novas tecnologias auxiliaria na padronização dos dados e estabeleceria um nível de qualidade nos produtos gerados, passível de comparação. Nota-se, então, que a acurácia posicional deve ser

enquadrada como componente primordial na avaliação da qualidade de um produto cartográfico.

Outro ponto negativo seria a ineficiência da tecnologia com relação ao mapeamento de áreas com vegetações densas, pois nesses ambientes, não é possível obter pontos de terreno em levantamentos por imagens aéreas, por isso nessas regiões o processamento trabalha com interpolações de pontos mais próximos e isso pode tornar os produtos inconsistentes.

Conclui-se que, levando em consideração toda a metodologia correta da fotogrametria em levantamentos com estes novos equipamentos, os produtos gerados podem ser utilizados em cartografia e gestão territorial. Nota-se que, a incorporação da tecnologia de Aeronaves Remotamente Pilotadas é fundamental para obtenção de geoinformação de uma maneira mais rápida e mais acessível, sem deixar de lado a qualidade e constância de resultados, pois ficou exemplificada a necessidade de apoiar os dados em pontos georreferenciados.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 13133/1994 – Execução de Levantamento Topográfico**. Rio de Janeiro, ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14.166/98 de Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento**. Rio de Janeiro, ABNT, 1994.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Orientações para usuários de drones**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial nº 94/2017**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Instrução Suplementar E94.503-001A**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Instrução Suplementar E94-001A**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Instrução Suplementar E94-002A**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. **Instrução Suplementar E94-003**. Brasília, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES – ANATEL. **Resolução nº 242, de 30 de novembro de 2000 – Regulamento para Certificação e Homologação de Produtos para Telecomunicações**. Brasília, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES – ANATEL. **Resolução nº 506, de 1º de julho de 2008 – Regulamento sobre Equipamentos de Radiocomunicação de Radiação Restrita**. Brasília, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES – ANATEL. **Resolução nº 635, de 9 de maio de 2014 – Regulamento sobre Autorização de Uso Temporário de Radiofrequências**. Brasília, 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES – ANATEL. **Portaria nº 465, de 22 de agosto de 2007 – Aprovar a Norma nº 01/2007, anexa a esta Portaria, que estabelece os procedimentos operacionais necessários ao requerimento para a execução do Serviço Especial para fins Científicos ou Experimentais**. Brasília, 2007.

ALMEIDA, J. F. **Ortofoto digital**. Dissertação de Mestrado. Departamento de Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1989.

AMORIM, A. **Utilização de Modelos Estereoscópico Híbridos na Atualização Cartográfica**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba. Paraná. Brasil. SBEE, 1998.

ARANA, J. M. **Integração do GPS com a Fotogrametria**. Departamento de Cartografia. Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, 1994.

ASPRS. **ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Edition 1, Version 1.0 – November, 2014, 26p.

BAGLIONE, Z. **A survey from UAV in critical areas: the advantages of technology in areas with complex terrain**. Special Supplement to GEOmedia Journal Issue, n. 3, 2016.

BRASIL. **Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as instruções reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Diário Oficial, Brasília, DF, 1984.

CÂMARA, G.; SOUZA R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J.; LI, F.M. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. Image Processing Division (DPI), National Institute for Space Research (INPE), Brazil, May-Jun 1996.

COELHO FILHO, L.C.T.; BRITO, J. L. N. S. **Fotogrametria Digital**. Editora da Universidade do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Brasil: 2007.

CRUZ, I.; CAMPOS, V. B. G. **SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ANÁLISE ESPACIAL EM TRANSPORTES, MEIO AMBIENTE E OCUPAÇÃO DO SOLO**. Anais Rio de Transporte III. Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO – DECEA. **ICA 100-40 – Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**. Brasília, 2017.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO – DECEA. **ICA 100-12 – Regras do Ar**. Brasília, 2016.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO – DECEA. **ICA 100-37 – Serviços de Tráfego Aéreo**. Brasília, 2017.

DOS SANTOS, A. de P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JUNIOR, J. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais Utilizando Técnicas de Estatística Espacial: Proposta de Método e Exemplo Utilizando a Norma Brasileira**. Bol. Ciênc. Geod. 2016, vol.22, n.4

EISENBEISS, H. **UAV Photogrammetry. Doctor of sciences**. University of Technology Dresden, Germany, 2009.

FERREIRA, T. R. **Volume útil de pilha de granel com retomada inferior**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mineral. Departamento de Engenharia de Minas da Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.

GONÇALVES, J. A.; HENRIQUES, R. **UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Elsevier, 2015.

GONZALEZ, R. C.; WOODS. R. E. **Digital image processing**. 3rd ed. Pearson Education, New Jersey, United States of America, 2008.

GASPAR, J. A. **Dicionário de ciências cartográficas**. Lisboa, Lidel, 2004, 327 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Glossário Cartográfico**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/glossario/glossario_cartografico.shtm>. Acesso em: 16 de maio de 2017.

KONECNY, G. 2003. **Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems**. London, Taylor and Francis, 2003.

LONGHITANO, G. A. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. Dissertação de Mestrado. Engenharia de Transportes – Geoprocessamento. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Imprensa Univeritária da UFPR. Curitiba, 1987.

MACHADO, A. W.; SOUKI, B. Q. **Simplificando a obtenção e a utilização de imagens digitais – scanners e câmeras digitais**. R Dental Press Ortodon Ortop Facial, Maringá, v.9, n.4, p. 133-156. 2004.

MELO, S. A.; MINÁ, S.J.S.; AQUINO, I.S.; OLIVEIRA, A. G. **O USO DO GPS DE NAVEGAÇÃO EM PEQUENAS ÁREAS AGRÍCOLAS**; Revista Verde (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.4, p.137 – 141 - outubro/dezembro de 2011.

MENESES, P. R.; de ALMEIDA T. **INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

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

MITISHITA, E. A.; GONCALVES, J. E. ; GRACA, N. L. S. S. ; CENTENO, J. A. S. ; MACHADO, A. M. L. **O USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTS) EM APLICAÇÕES DE MAPEAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO**. Anais XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia, 2014.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. **Earth Observations and the Role of UAVs: A Capabilities Assessment**. Civil UAV Assessment Team, United States of America, 2006.

NETO, M. S. **Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com drone?** 2015. Drones & Engenharia. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/pontos-decontrole-quando-utilizar-no-mapeamento-aereo-com-drone-2/>> acessado em 16 de maio de 2017.

Pix4Dmapper Pro. Products. Disponível em: <<https://pix4d.com/product/pix4dmapper-pro/>> acessado em 16 de maio de 2017.

Pix4Dcapture. Products. Disponível em: <<https://pix4d.com/product/pix4dcapture/>> acessado em 16 de maio de 2017.

QUEIROZ, C. J. **Análise de Transformações Geométricas para o Georreferenciamento de Imagens do Satélite CBERS-I**. Dissertação de Mestrado. Centro de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003.

ROCHA, C. H. B. **Uso eficiente do GPS de Navegação no Cadastro de Feições Lineares**. COBRAC 2004 - Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - UFSC Florianópolis, 10 a 14 de Outubro de 2004.

RODZEWICZ, M.; GLOWACKI, D.; HAJDUK, J. **Some dynamic aspects of photogrammetry missions performed by “PW-ZOOM” – the UAV of Warsaw University of Technology**. Warsaw University of Technology. Warsaw, Poland, 2017.

RUZGIENE, B.; BERTESKA, T.; GECYTE, S.; JAKUBAUSKIENE, E. AKSAMITAUSKAS, V. C. 2015. **The surface modelling based on UAV Photogrammetry and qualitative estimation**. Measurement, Elsevier, 2015.

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

SECRETARIA DA RECEITA FEDERAL DO BRASIL. **Bens do Viajante**. Brasília, 2016.

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

TAYLOR, D. R. F. **A conceptual Basis for cartography/new directions for the information era**. Cartographica vol.28, n.4, University of Toronto Press, Canada, 1991, p.1-8.

TAYLOR, D. R. F. **Geographical Information Systems: The microcomputer cartography**. Oxford, England, Pergamon Press, 1991, 251p.

TOMMASELLI, A. M. G. 2004. **Fotogrametria Básica**. 181 p. Digitado.

VALENÇA, J. M. de A. **Monitorização do Estado de Conservação de Estruturas de Betão por Processamento de Imagem e Análise Multiespectral**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil na especialidade de Mecânica das Estruturas e dos Materiais. Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade de Coimbra, 2011.

VEIGA, L.A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P.L. **Fundamentos de Topografia**. Universidade Federal do Paraná, 2012. Disponível em: http://www.cartografica.ufpr.br/docs/topo2/apos_topo.pdf. Acesso em: 20 mai. 2018.

WATTS, A. C.; AMBROSIA V. G.; HINKLEY, E. A. **Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use.** Remote Sensing, v.4, n.12, p.1671–1692, 2012.

WOLF, P. R. **Elements of Photogrammetry.** The University of Wisconsin. Madison. 2^a e. Mc Graw-Hill Book Company. 628p. 1983.

Anexo A – Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso



Sumário do Processamento do marco: SLT01

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS	2019/01/25 11:14:47,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS	2019/01/25 16:59:10,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TPSGR3 NONE
Órbitas dos satélites: ¹	ULTRA-RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ² (m):	1,454
Ângulo de Elevação(grades):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,71 GPS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,72 GPS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usada) ⁴	-22° 10' 00,0009"	-47° 23' 33,6802"	612,61	7546752.685	253263.046	-45
Na data do levantamento ⁵	-22° 10' 00,8090"	-47° 23' 33,6820"	612,61	7546752.890	253262.901	-45
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,001	0,003	0,005			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	-5,86					
Altitude Ortométrica (m)	618,47					

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,500	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

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

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

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

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

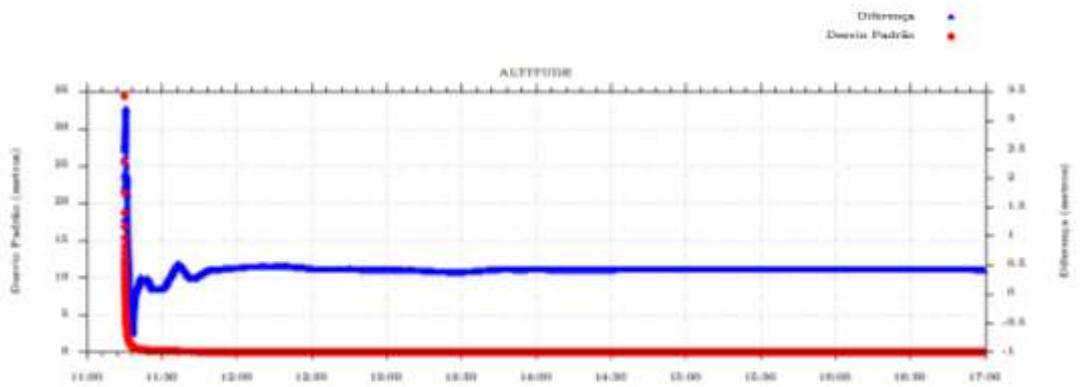
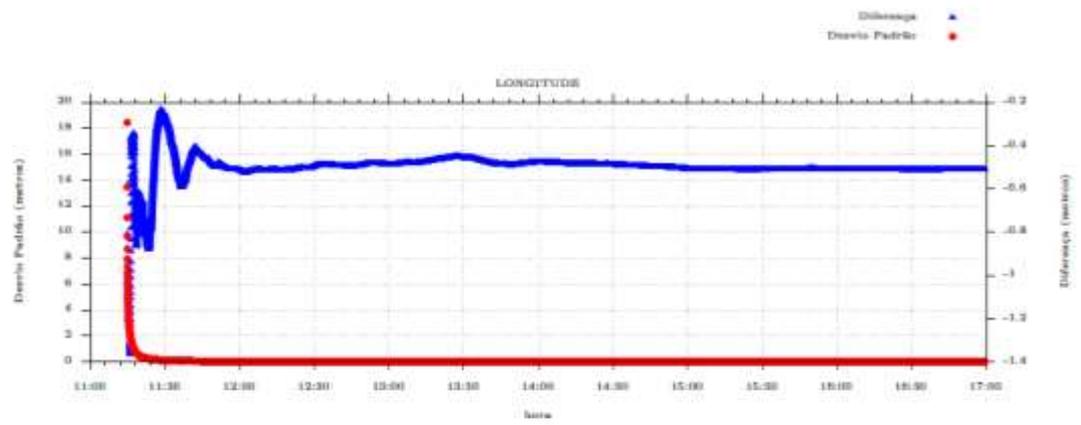
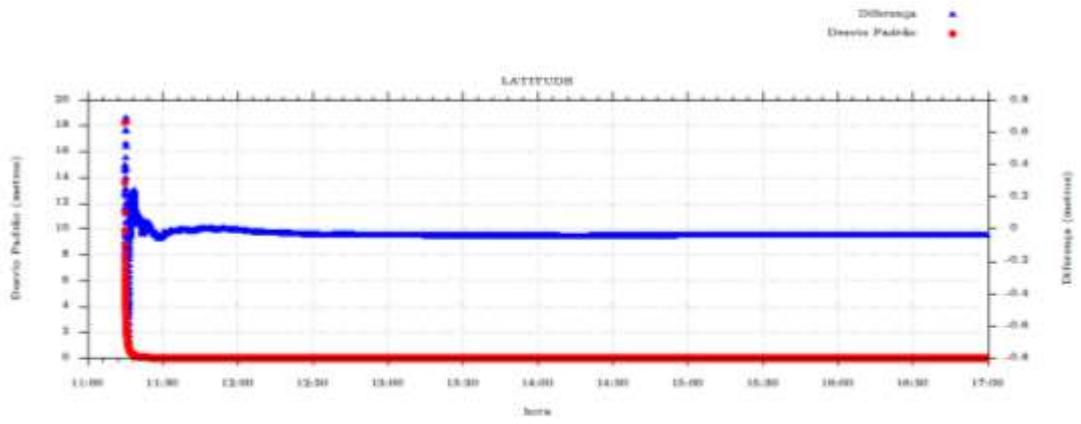
⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

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

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados coletados e do correto processamento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: ibge@ibge.gov.br ou pelo telefone 0800.7210111. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CORS-PPP desenvolvido pelo Geomatic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCan).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada e Ponto
ALTITUDE 190



Agisoft PhotoScan

Processing Report

05 April 2019



Survey Data

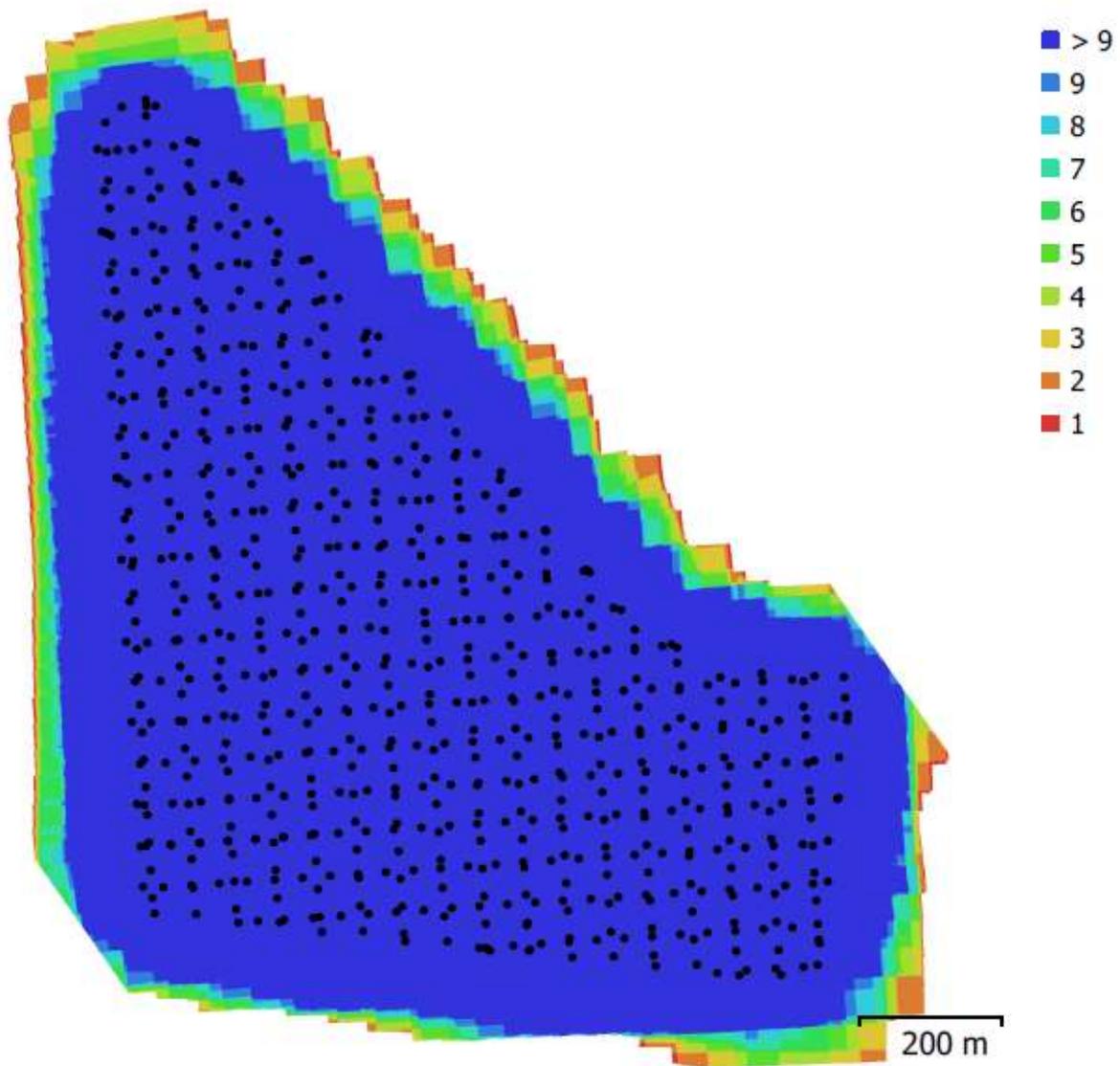


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	714	Camera stations:	714
Flying altitude:	234 m	Tie points:	804,084
Ground resolution:	5.84 cm/pix	Projections:	3,931,854
Coverage area:	1.29 km ²	Reprojection error:	0.632 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8 mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

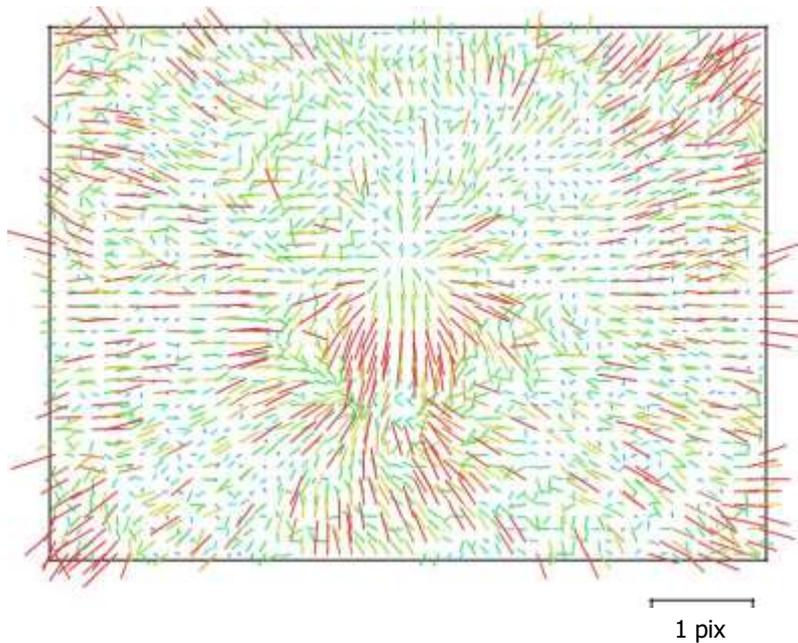


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

714 images

Type
Frame

Resolution
4864 x 3648

Focal Length
8.8 mm

Pixel Size
2.61 x 2.61 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	3666.63	0.25	1.00	-0.18	-0.08	-0.06	-0.03	0.06	-0.11	0.16	-0.20	0.04	0.03	0.01	-0.01
Cx	-6.79724	0.023		1.00	0.01	0.21	0.10	-0.01	0.02	-0.03	0.04	0.22	0.12	-0.12	0.09
Cy	25.3694	0.022			1.00	-0.07	0.19	-0.01	0.02	-0.02	0.02	0.04	0.18	-0.05	0.04
B1	-0.305947	0.0014				1.00	0.01	0.03	-0.03	0.02	-0.01	0.04	0.01	-0.02	0.01
B2	-0.231579	0.0014					1.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.02	0.03	-0.01	0.01
K1	0.0173176	2.6e-05						1.00	-0.97	0.93	-0.88	0.00	-0.00	0.01	-0.01
K2	-0.0779599	0.00015							1.00	-0.99	0.96	0.00	0.01	-0.02	0.02
K3	0.158932	0.00034								1.00	-0.99	-0.00	-0.01	0.02	-0.03
K4	-0.108149	0.00026									1.00	0.01	0.02	-0.03	0.04
P1	0.000823928	1.7e-06										1.00	0.75	-0.91	0.81
P2	0.000269612	6.6e-07											1.00	-0.75	0.68
P3	0.771233	0.0084												1.00	-0.97
P4	-0.324419	0.0089													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations



Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
4.75	5.74	14.00	7.45	15.86

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points

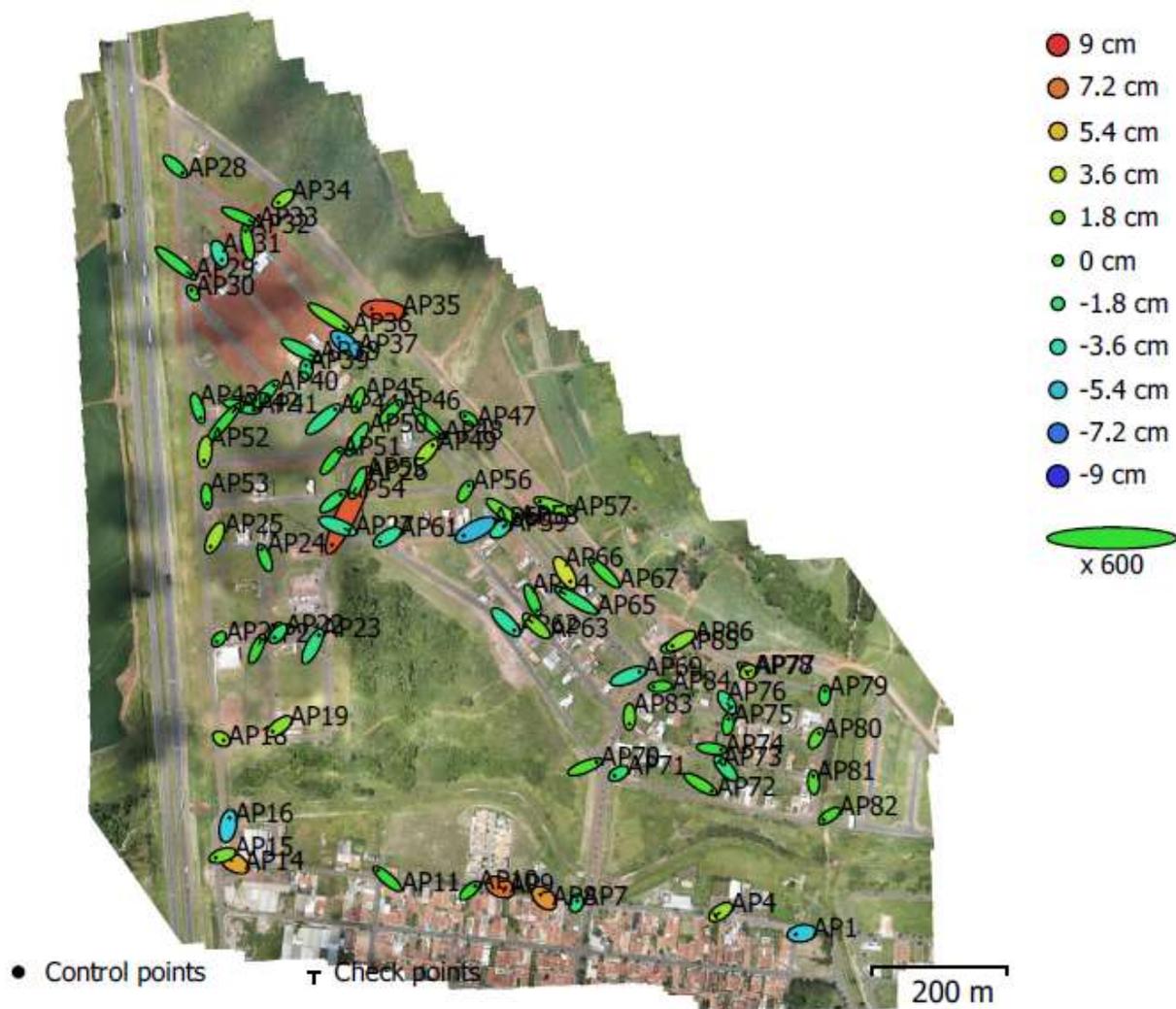


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

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

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
58	3.56	3.88	2.68	5.26	5.90

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

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
20	4.89	4.09	2.56	6.37	6.87

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

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
AP1	-3.03	-0.49	-5.13	5.98	0.317 (23)
AP7	0.47	1.25	-2.02	2.42	0.349 (38)
AP8	-1.86	1.74	6.31	6.81	0.296 (21)
AP10	2.72	2.44	0.08	3.66	0.463 (39)
AP11	-4.77	4.14	-0.05	6.32	0.431 (45)
AP15	-3.46	-1.12	1.86	4.09	0.373 (36)
AP16	0.75	3.98	-4.86	6.33	0.739 (34)
AP18	1.14	-0.75	2.07	2.48	0.283 (46)
AP19	-3.28	-2.51	2.20	4.68	0.341 (58)
AP20	-1.01	-1.24	-0.40	1.65	0.336 (44)
AP22	-1.75	-2.04	-1.33	3.00	0.476 (43)
AP23	2.93	5.63	-2.21	6.73	0.479 (49)
AP24	-1.61	4.17	-0.46	4.49	0.445 (37)
AP25	-2.13	-4.37	2.72	5.57	0.438 (37)
AP26	-8.13	-17.28	7.82	20.59	0.584 (44)
AP28	3.51	-3.19	-0.84	4.82	0.268 (33)
AP30	-0.86	1.28	0.31	1.57	0.301 (36)
AP31	1.21	-3.03	-3.33	4.66	0.362 (39)
AP32	-1.09	5.84	0.86	6.00	0.343 (45)
AP34	-2.43	-1.75	2.09	3.65	0.492 (34)
AP35	-6.00	0.65	8.07	10.08	0.450 (43)
AP37	-3.65	2.97	-5.43	7.19	0.472 (49)
AP39	-0.07	2.03	-1.66	2.63	0.362 (49)
AP40	4.43	4.89	-1.34	6.74	0.336 (58)
AP41	6.32	-1.75	-0.48	6.57	0.568 (52)
AP43	1.44	-4.73	-0.79	5.01	0.499 (43)
AP44	5.73	4.95	-2.31	7.92	0.620 (57)
AP46	3.57	3.63	-0.39	5.10	0.428 (51)
AP47	-1.99	1.38	0.05	2.42	0.460 (43)
AP49	3.05	3.57	2.61	5.37	0.502 (53)
AP51	3.33	4.43	-0.26	5.55	0.497 (53)
AP52	-0.49	-4.45	2.55	5.15	0.375 (42)

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
AP53	0.27	-3.63	0.15	3.64	0.434 (40)
AP54	3.88	3.27	-1.23	5.23	0.489 (51)
AP56	1.64	2.75	0.51	3.24	0.521 (48)
AP57	-6.96	2.60	1.41	7.56	0.625 (47)
AP58	6.08	-4.48	1.22	7.65	0.639 (46)
AP59	1.88	1.37	-3.01	3.81	0.514 (53)
AP60	-5.92	-3.02	-5.58	8.68	0.467 (49)
AP61	-3.72	-2.16	-2.79	5.13	0.475 (49)
AP62	4.10	-4.05	-2.94	6.47	0.548 (50)
AP64	2.25	-5.15	-0.57	5.65	0.472 (49)
AP66	2.66	-4.38	3.95	6.48	0.562 (48)
AP67	-5.34	5.16	0.36	7.43	0.542 (43)
AP69	5.57	2.18	-2.91	6.65	0.529 (46)
AP70	5.74	2.29	0.70	6.22	0.461 (49)
AP71	-2.05	-1.19	-1.44	2.77	0.422 (57)
AP72	5.55	-3.37	0.61	6.53	0.344 (50)
AP74	4.61	-0.56	-0.46	4.67	0.417 (41)
AP75	0.34	2.71	-0.38	2.76	0.371 (46)
AP77	-2.21	1.35	-0.06	2.59	0.421 (41)
AP79	0.19	2.13	-0.58	2.21	0.270 (20)
AP80	1.36	2.36	1.08	2.93	0.287 (40)
AP81	-0.15	3.18	0.72	3.27	0.405 (40)
AP82	-2.90	-1.98	0.25	3.52	0.327 (33)
AP83	-0.06	-3.57	1.19	3.76	0.359 (45)
AP84	-3.26	-0.19	0.08	3.27	0.349 (54)
AP86	-4.20	-2.53	2.22	5.38	0.429 (39)
Total	3.56	3.88	2.68	5.91	0.454

Table 6. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
AP4	-2.67	-1.80	2.62	4.15	0.276 (31)
AP9	2.37	-1.04	7.29	7.73	0.500 (33)

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
AP14	-3.19	1.99	5.91	7.01	0.427 (28)
AP21	2.21	4.86	0.08	5.34	0.383 (51)
AP27	6.01	-2.31	-2.73	6.99	0.478 (42)
AP29	7.78	-6.05	-0.73	9.88	0.334 (36)
AP33	6.74	-2.95	-0.12	7.36	0.318 (48)
AP36	8.45	-5.28	1.39	10.06	0.551 (55)
AP38	6.78	-3.49	-1.58	7.79	0.345 (53)
AP42	6.28	7.42	0.07	9.72	0.488 (51)
AP45	-1.20	-3.60	0.24	3.81	0.594 (60)
AP48	5.89	-5.72	-0.19	8.23	0.558 (47)
AP50	-3.45	-5.54	-1.07	6.62	0.537 (53)
AP55	-2.20	-5.09	-0.92	5.62	0.568 (56)
AP63	-4.07	3.63	1.84	5.76	0.501 (51)
AP65	-7.85	4.69	-1.37	9.25	0.478 (49)
AP73	-3.10	3.47	-1.89	5.03	0.342 (51)
AP76	1.84	-2.69	-2.47	4.09	0.366 (49)
AP78	-0.75	-0.43	2.66	2.79	0.444 (41)
AP85	2.46	0.59	0.07	2.52	0.345 (40)
Total	4.89	4.09	2.56	6.87	0.460

Table 7. Check points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

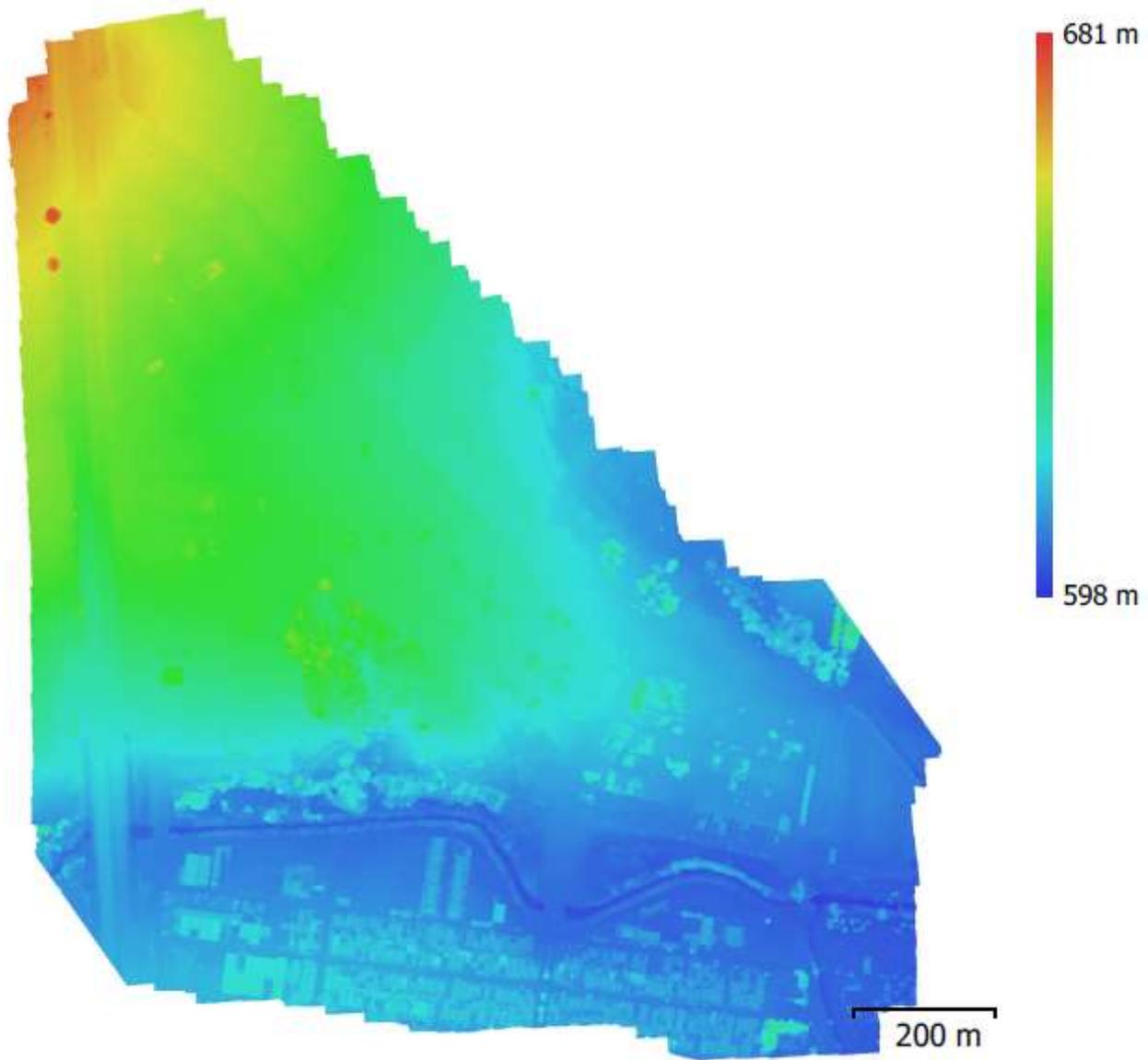


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 23.4 cm/pix
Point density: 18.3 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	714
Aligned cameras	714
Marcadores	78
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	804,084 of 1,093,818
RMS reprojection error	0.187694 (0.632314 pix)
Max reprojection error	0.690256 (12.2797 pix)
Mean key point size	3.32275 pix
Sobreposição efetiva	6.63406

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Restringir características considerando as máscaras	Sim
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	20 minutes 2 seconds
Alignment time	12 minutes 52 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1- p4
Fit rolling shutter	Não
Optimization time	28 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	30,966,153
--------	------------

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Média
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	2 hours 12 minutes
Dense cloud generation time	1 hours 20 minutes

DEM

Tamanho	8,978 x 9,942
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	1 minutes 7 seconds

Orthomosaic

Tamanho	22,559 x 25,919
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)
Channels	3, uint8

Parâmetros de reconstrução

Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim
Tempo de processamento	7 minutes 45 seconds

Software

Version	1.4.0 build 5076
Platform	1.4.0 build 5076 Windows 64

Agisoft PhotoScan

Processing Report

05 April 2019



Survey Data

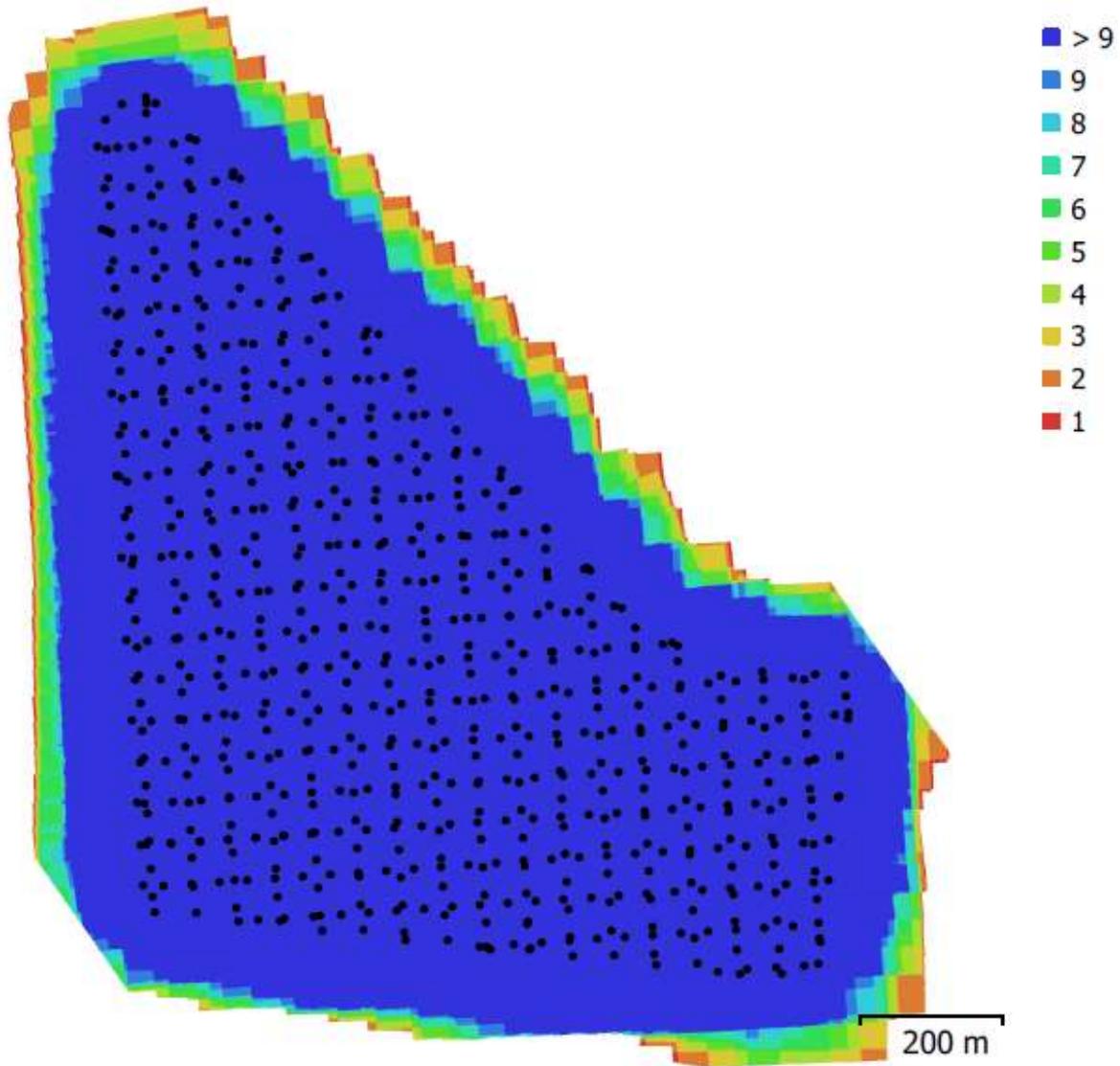


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	714	Camera stations:	714
Flying altitude:	234 m	Tie points:	804,084
Ground resolution:	5.84 cm/pix	Projections:	3,931,854
Coverage area:	1.29 km ²	Reprojection error:	0.632 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8 mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

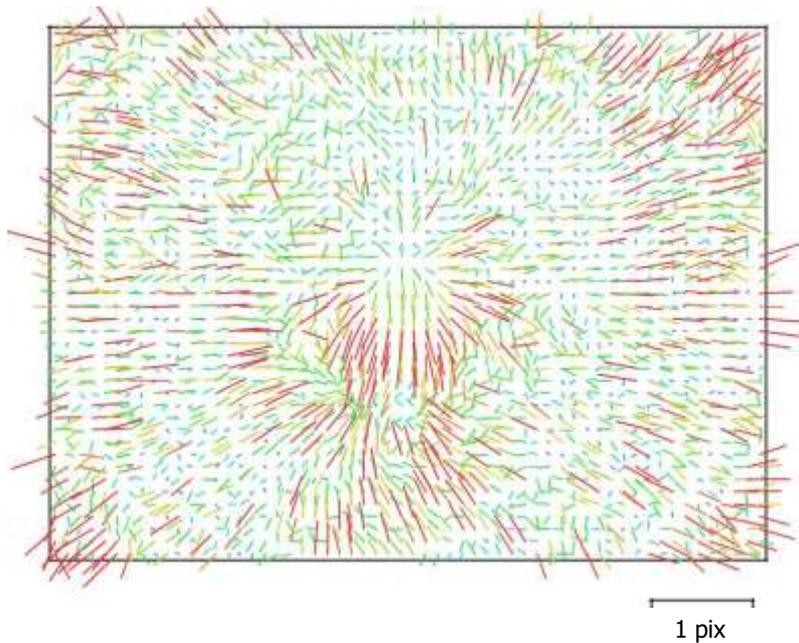


Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8 mm).

FC6310 (8.8 mm)

714 images

Type
Frame

Resolution
4864 x 3648

Focal Length
8.8 mm

Pixel Size
2.61 x 2.61 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	3666.63	0.25	1.00	-0.18	-0.08	-0.06	-0.03	0.06	-0.11	0.16	-0.20	0.04	0.03	0.01	-0.01
Cx	-6.79724	0.023		1.00	0.01	0.21	0.10	-0.01	0.02	-0.03	0.04	0.22	0.12	-0.12	0.09
Cy	25.3694	0.022			1.00	-0.07	0.19	-0.01	0.02	-0.02	0.02	0.04	0.18	-0.05	0.04
B1	-0.305947	0.0014				1.00	0.01	0.03	-0.03	0.02	-0.01	0.04	0.01	-0.02	0.01
B2	-0.231579	0.0014					1.00	0.00	-0.00	0.00	-0.00	0.02	0.03	-0.01	0.01
K1	0.0173176	2.6e-05						1.00	-0.97	0.93	-0.88	0.00	-0.00	0.01	-0.01
K2	-0.0779599	0.00015							1.00	-0.99	0.96	0.00	0.01	-0.02	0.02
K3	0.158932	0.00034								1.00	-0.99	-0.00	-0.01	0.02	-0.03
K4	-0.108149	0.00026									1.00	0.01	0.02	-0.03	0.04
P1	0.000823928	1.7e-06										1.00	0.75	-0.91	0.81
P2	0.000269612	6.6e-07											1.00	-0.75	0.68
P3	0.771233	0.0084												1.00	-0.97
P4	-0.324419	0.0089													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations



Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X, Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
4.75	5.74	14.00	7.45	15.86

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points

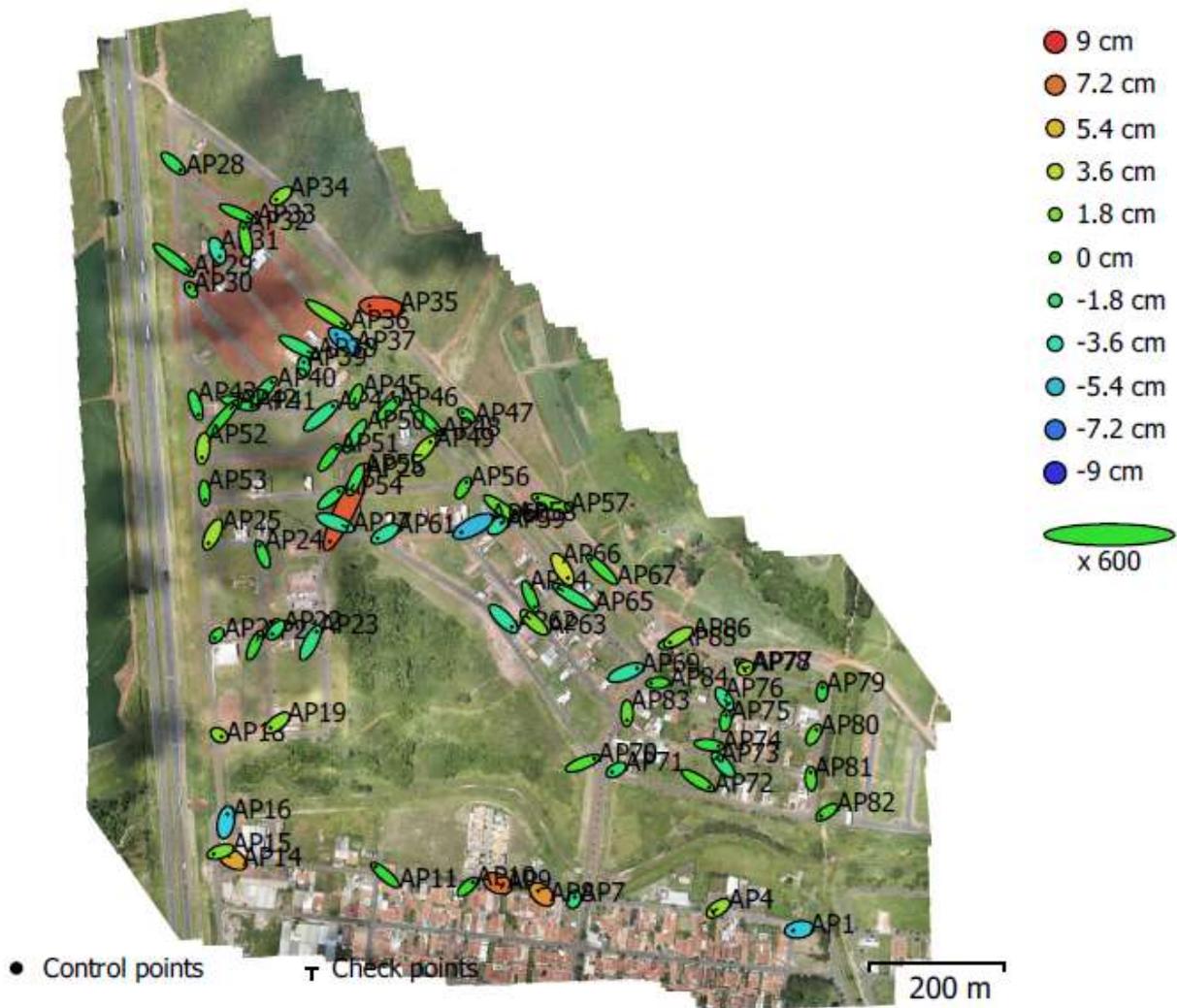


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

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

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
58	3.56	3.88	2.68	5.26	5.91

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
20	4.89	4.09	2.56	6.37	6.87

Table 5. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
AP1	-3.03	-0.49	-5.13	5.98	0.317 (23)
AP7	0.47	1.25	-2.02	2.42	0.349 (38)
AP8	-1.86	1.74	6.31	6.81	0.296 (21)
AP10	2.72	2.44	0.08	3.66	0.463 (39)
AP11	-4.77	4.14	-0.05	6.32	0.431 (45)
AP15	-3.46	-1.12	1.86	4.09	0.373 (36)
AP16	0.75	3.98	-4.86	6.33	0.739 (34)
AP18	1.14	-0.75	2.07	2.48	0.283 (46)
AP19	-3.28	-2.51	2.20	4.68	0.341 (58)
AP20	-1.01	-1.24	-0.40	1.65	0.336 (44)
AP22	-1.75	-2.04	-1.33	3.00	0.476 (43)
AP23	2.93	5.63	-2.21	6.73	0.479 (49)
AP24	-1.61	4.17	-0.46	4.49	0.445 (37)
AP25	-2.13	-4.37	2.72	5.57	0.438 (37)
AP26	-8.13	-17.28	7.82	20.59	0.584 (44)
AP28	3.51	-3.19	-0.84	4.82	0.268 (33)
AP30	-0.86	1.28	0.31	1.57	0.301 (36)
AP31	1.21	-3.03	-3.33	4.66	0.362 (39)
AP32	-1.09	5.84	0.86	6.00	0.343 (45)
AP34	-2.43	-1.75	2.09	3.65	0.492 (34)
AP35	-6.00	0.65	8.07	10.08	0.450 (43)
AP37	-3.65	2.97	-5.43	7.19	0.472 (49)
AP39	-0.07	2.03	-1.66	2.63	0.362 (49)
AP40	4.43	4.89	-1.34	6.74	0.336 (58)
AP41	6.32	-1.75	-0.48	6.57	0.568 (52)
AP43	1.44	-4.73	-0.79	5.01	0.499 (43)
AP44	5.73	4.95	-2.31	7.92	0.620 (57)
AP46	3.57	3.63	-0.39	5.10	0.428 (51)
AP47	-1.99	1.38	0.05	2.42	0.460 (43)
AP49	3.05	3.57	2.61	5.37	0.502 (53)
AP51	3.33	4.43	-0.26	5.55	0.497 (53)
AP52	-0.49	-4.45	2.55	5.15	0.375 (42)

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
AP53	0.27	-3.63	0.15	3.64	0.434 (40)
AP54	3.88	3.27	-1.23	5.23	0.489 (51)
AP56	1.64	2.75	0.51	3.24	0.521 (48)
AP57	-6.96	2.60	1.41	7.56	0.625 (47)
AP58	6.08	-4.48	1.22	7.65	0.639 (46)
AP59	1.88	1.37	-3.01	3.81	0.514 (53)
AP60	-5.92	-3.02	-5.58	8.68	0.467 (49)
AP61	-3.72	-2.16	-2.79	5.13	0.475 (49)
AP62	4.10	-4.05	-2.94	6.47	0.548 (50)
AP64	2.25	-5.15	-0.57	5.65	0.472 (49)
AP66	2.66	-4.38	3.95	6.48	0.562 (48)
AP67	-5.34	5.16	0.36	7.43	0.542 (43)
AP69	5.57	2.18	-2.91	6.65	0.529 (46)
AP70	5.74	2.29	0.70	6.22	0.461 (49)
AP71	-2.05	-1.19	-1.44	2.77	0.422 (57)
AP72	5.55	-3.37	0.61	6.53	0.344 (50)
AP74	4.61	-0.56	-0.46	4.67	0.417 (41)
AP75	0.34	2.71	-0.38	2.76	0.371 (46)
AP77	-2.21	1.35	-0.06	2.59	0.421 (41)
AP79	0.19	2.13	-0.58	2.21	0.270 (20)
AP80	1.36	2.36	1.08	2.93	0.287 (40)
AP81	-0.15	3.18	0.72	3.27	0.405 (40)
AP82	-2.90	-1.98	0.25	3.52	0.327 (33)
AP83	-0.06	-3.57	1.19	3.76	0.359 (45)
AP84	-3.26	-0.19	0.08	3.27	0.349 (54)
AP86	-4.20	-2.53	2.22	5.38	0.429 (39)
Total	3.56	3.88	2.68	5.91	0.454

Table 6. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
AP4	-2.67	-1.80	2.62	4.15	0.276 (31)
AP9	2.37	-1.04	7.29	7.73	0.500 (33)

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
AP14	-3.19	1.99	5.91	7.01	0.427 (28)
AP21	2.21	4.86	0.08	5.34	0.383 (51)
AP27	6.01	-2.31	-2.73	6.99	0.478 (42)
AP29	7.78	-6.05	-0.73	9.88	0.334 (36)
AP33	6.74	-2.95	-0.12	7.36	0.318 (48)
AP36	8.45	-5.28	1.39	10.06	0.551 (55)
AP38	6.78	-3.49	-1.58	7.79	0.345 (53)
AP42	6.28	7.42	0.07	9.72	0.488 (51)
AP45	-1.20	-3.60	0.24	3.81	0.594 (60)
AP48	5.89	-5.72	-0.19	8.23	0.558 (47)
AP50	-3.45	-5.54	-1.07	6.62	0.537 (53)
AP55	-2.20	-5.09	-0.92	5.62	0.568 (56)
AP63	-4.07	3.63	1.84	5.76	0.501 (51)
AP65	-7.85	4.69	-1.37	9.25	0.478 (49)
AP73	-3.10	3.47	-1.89	5.03	0.342 (51)
AP76	1.84	-2.69	-2.47	4.09	0.366 (49)
AP78	-0.75	-0.43	2.66	2.79	0.444 (41)
AP85	2.46	0.59	0.07	2.52	0.345 (40)
Total	4.89	4.09	2.56	6.87	0.460

Table 7. Check points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

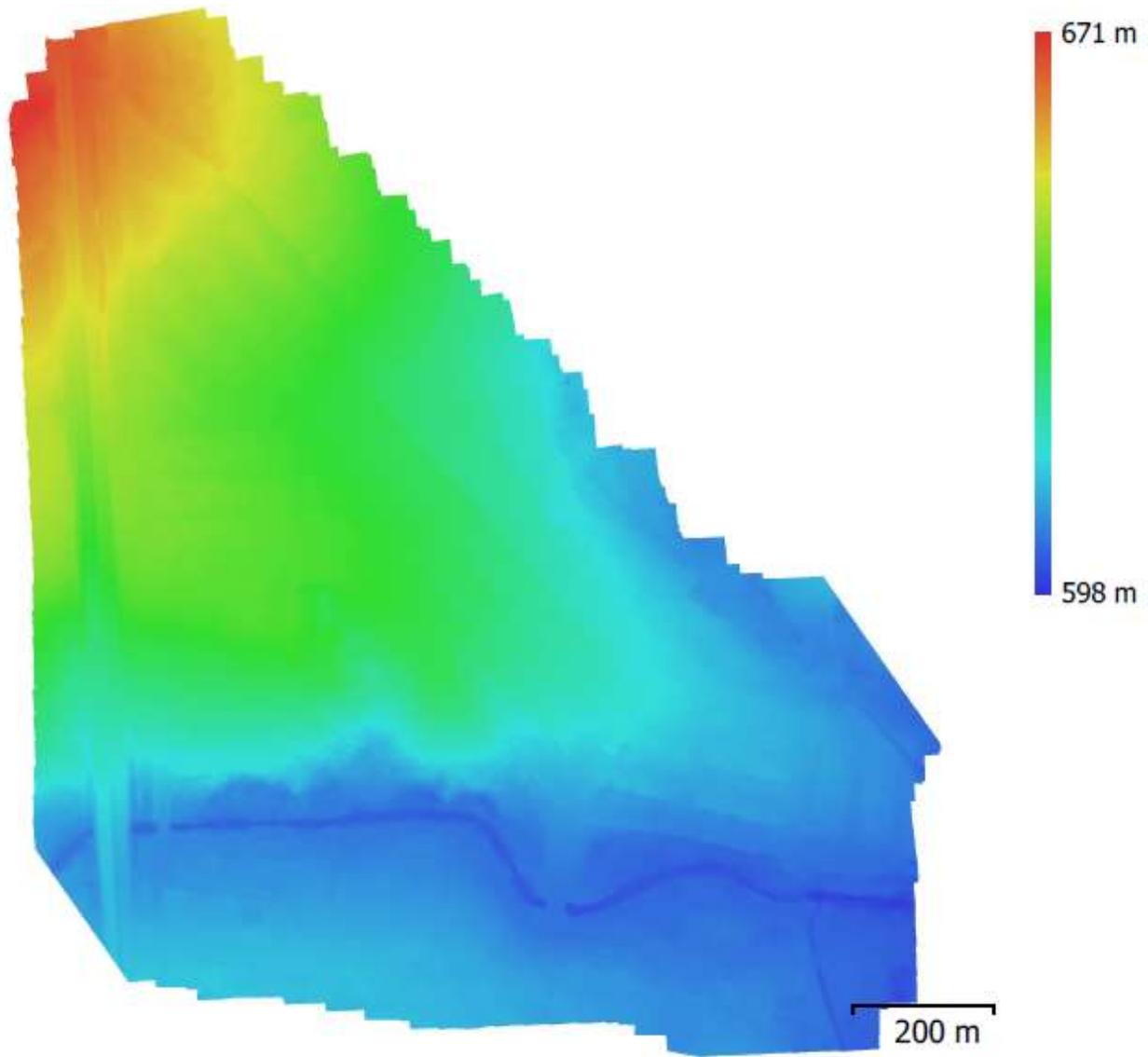


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 23.4 cm/pix
Point density: 18.3 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	714
Aligned cameras	714
Marcadores	78
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	804,084 of 1,093,818
RMS reprojection error	0.187694 (0.632314 pix)
Max reprojection error	0.690256 (12.2797 pix)
Mean key point size	3.32275 pix
Sobreposição efetiva	6.63406

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Restringir características considerando as máscaras	Sim
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	20 minutes 2 seconds
Alignment time	12 minutes 52 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1- p4
Fit rolling shutter	Não
Optimization time	28 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	30,966,153
--------	------------

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Média
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	2 hours 12 minutes
Dense cloud generation time	1 hours 20 minutes

DEM

Tamanho	8,978 x 9,942
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	55 seconds

Orthomosaic

Tamanho	22,599 x 25,915
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 23S (EPSG::31983)
Channels	3, uint8

Parâmetros de reconstrução

Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim
Tempo de processamento	7 minutes 46 seconds

Software

Version	1.4.0 build 5076
Platform	1.4.0 build 5076 Windows

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Acurácia Posicional – Planimetria e Altimetria

Local: Jardim Alto das Palmeiras - Leme/SP

Data: 28/02/2019

Responsável Técnico: Thiago Lopes

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

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

Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

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

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

Pontos de checagem utilizados: 20

RMS das discrepâncias (m): 0,0746

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

Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Acurácia Posicional", **É ACURADO** para a equidistancia vertical de **1 m**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

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

Pontos de checagem utilizados: 20

RMS das discrepâncias (m): 0,0217

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000

Pontos de checagem inseridos: 20

Pontos de checagem utilizados: 20

.....
OUTLIERS

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

.....
ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0144	Média(N)= 0,0102	Média(ABS)= 0,0707
>> Desv-pad(E)= 0,0543	Desv-pad(N)= 0,0507	Desv-pad(ABS)= 0,0246
>> RMS(E)= 0,0549	RMS(N)= 0,0503	RMS(ABS)= 0,0746

.....
PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
:: Área (m²) = 728249,5222
:: 1ª ordem - R= 1,2606 Zcalc= 2,2299 Ztab= 1,96
Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
:: 2ª ordem - R= 1,2275 Zcalc= 2,8036 Ztab= 1,96
Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
:: 3ª ordem - R= 1,2353 Zcalc= 3,5785 Ztab= 1,96
Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

.....
TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
Wcalc(E)= 0,9304 Wcalc(N)= 0,9386
p-value(E)= 0,1573 p-value(N)= 0,2261
Nível de Confiança = 95%
Amostra Normal

.....
TESTE DE PRECISÃO

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

.....
TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
tcalc(E)= 1,186 tcalc(N)= 0,8997 ttab= 1,7291
Resultado: Não Tendencioso
>> Estatística Espacial
Média Direcional (Azimute)= 40,7231 Variância Circular= 0,7481
Resultado: Não Tendencioso

.....
INFORMAÇÕES GERAIS

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

Análise Altimétrica

.....
PROCESSAMENTO

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

.....
OUTLIERS

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

.....
ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(h)= 0,0018
>> Desv-pad(h)= 0,0222
>> RMS(h)= 0,0217

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk:

Wcalc(h)= 0,9524 p-value(h)= 0,4043

Nível de Confiança = 95%

Amostra Normal

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:

PEC= 0,27 EP= 0,1667

Resultado: Classe A

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student

tcalc(h)= 0,3626 ttab= 1,7291

Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)	di(H)
AP04	0,071	0,005	0,0712	0,032
AP09	0,041	0,09	0,0989	0,026
AP14	0,088	-0,079	0,1183	-0,028
AP21	-0,018	-0,046	0,0494	0,01
AP27	0,023	0,056	0,0605	0,021
AP29	-0,048	0,011	0,0492	-0,028
AP33	-0,059	0,023	0,0633	0,035
AP36	-0,054	0,026	0,0599	-0,002
AP38	0,012	0,071	0,072	0,005
AP42	-0,058	-0,073	0,0932	0,014
AP45	0,039	0,015	0,0418	0,006
AP48	-0,022	0,048	0,0528	-0,032
AP50	0,087	0,03	0,092	0,033
AP55	0,025	0,01	0,0269	-0,014
AP63	0,055	-0,048	0,073	0,001
AP65	0,11	-0,042	0,1177	0,002
AP73	0,034	-0,051	0,0613	0,004
AP76	-0,052	0,076	0,0921	-0,009
AP78	-0,035	0,053	0,0635	-0,043
AP85	0,049	0,029	0,0569	0,003

GeoPEC

Software Científico para Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais - v.3.5

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

DADOS DO PRODUTO

Produto: Acurácia Posicional – Análise Manual de Posicionamento INCRA v.2

Local: Jardim Alto das Palmeiras - Leme/SP

Data: 28/02/2019

Responsável Técnico: Thiago Lopes

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Manual de Posicionamento INCRA v.2 - Análise Acurácia Posicional Planimétrica Absoluta

O produto "Acurácia Posicional" é **ACURADO** para o tipo de limite "Artificial". Todos os pontos de checagem apresentaram discrepâncias posicionais planimétricas inferiores ou iguais à tolerância posicional para o tipo de limite.

O produto foi submetido a análise de normalidade e tendência em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **Amostra Normal** e **Não Tendencioso**.

Pontos de checagem utilizados: 20

RMS das discrepâncias (m): 0,0746

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Manual de Posicionamento do INCRA

Análise da Acurácia Posicional Planimétrica Absoluta

PROCESSAMENTO

Tipo de Limite: Limite Artificial

Pontos de checagem inseridos: 20

Pontos de checagem utilizados: 20

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0144	Média(N)= 0,0102	Média(2D)= 0,0707
>> DesvP(E)= 0,0543	DesvP(N)= 0,0507	DesvP(2D)= 0,0246
>> RMS(E)= 0,0549	RMS(N)= 0,0503	RMS(2D)= 0,0746
>> Max.(E)= 0,11	Máx.(N)= 0,09	Máx.(2D)= 0,1183
>> Min.(E)= -0,059	Min.(N)= -0,079	Min.(2D)= 0,0269

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
W(E)= 0,9304 p-value(E)= 0,1573
W(N)= 0,9386 p-value(N)= 0,2261
Resultado: Amostra Normal

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
tcalc(E)= 1,186 tcalc(N)= 0,8997
ttab= 1,7291
Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(2D)
AP04	0,071	0,005	0,0712
AP09	0,041	0,09	0,0989
AP14	0,088	-0,079	0,1183
AP21	-0,018	-0,046	0,0494
AP27	0,023	0,056	0,0605
AP29	-0,048	0,011	0,0492
AP33	-0,059	0,023	0,0633
AP36	-0,054	0,026	0,0599
AP38	0,012	0,071	0,072
AP42	-0,058	-0,073	0,0932
AP45	0,039	0,015	0,0418
AP48	-0,022	0,048	0,0528
AP50	0,087	0,03	0,092
AP55	0,025	0,01	0,0269
AP63	0,055	-0,048	0,073
AP65	0,11	-0,042	0,1177
AP73	0,034	-0,051	0,0613
AP76	-0,052	0,076	0,0921
AP78	-0,035	0,053	0,0635
AP85	0,049	0,029	0,0569
