



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

PEDRO DAVID RODRIGUES LIMA

**AEROFOTOGRAMETRIA POR MEIO DE VANTS: ANÁLISE DA VIABILIDADE NO
LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO**

PAU DOS FERROS/RN

2018

PEDRO DAVID RODRIGUES LIMA

**AEROFOTOGRAMETRIA POR MEIO DE VANTS: ANÁLISE DA VIABILIDADE NO
LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA,
campus Pau dos Ferros, como obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Bel. William Vieira Gomes

PAU DOS FERROS/RN

2018

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

LL732 Lima, Pedro David Rodrigues.
a AEROFOTOGRAMETRIA POR MEIO DE VANTS: ANÁLISE DA
VIABILIDADE NO LEVANTAMENTO PLANIALTIMETRICO /
Pedro David Rodrigues Lima. - 2018.
60 f. : il.

Orientador: William Vieira Gomes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2018.

1. Veículo Aéreo Não Tripulado. 2. Fotogrametria.
3. Curva de Nível . 4. Topográfico.
I. Gomes, William Vieira , orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

PEDRO DAVID RODRIGUES LIMA

**AEROFOTOGRAMETRIA POR MEIO DE VANTS: ANÁLISE DA VIABILIDADE NO
LEVANTAMENTO PLANIALTIMETRICO**

Monografia apresentada à Universidade
Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA,
campus Pau dos Ferros, como obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 17 / 04 / 2018

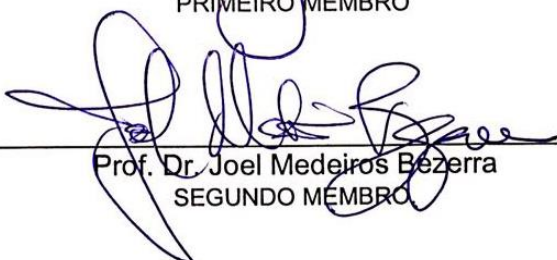
BANCA EXAMINADORA



Prof. Bel. William Vieira Gomes
PRESIDENTE



Prof. Dr. Almir Mariano de Sousa Junior
PRIMEIRO MEMBRO



Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra
SEGUNDO MEMBRO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida que a mim foi dado e por proporcionar sempre maravilhas em minha vida.

A toda minha família, em nome dos meus pais, Francisco Oliveira de Lima e Erik Maria Rodrigues de Oliveira, pela força, sustento e carinho que sempre tens dado e por sempre estarem ao meu lado nas horas que mais preciso, incentivando-me sempre a continuar a batalha, sendo estes os principais responsáveis pelo meu sucesso.

As Minhas Irmãs Daniella Rodrigues Lima e Débora Rodrigues Lima por todo amor e carinho a mim dado.

A essas pessoas especiais: Gessica Rabelo e Daia Rabelo, pelo incentivo, apoio e carinho de sempre.

A meu orientador William Vieira Gomes, que foi o grande idealizador desta pesquisa e peça fundamental para que esta fosse realizada. Agradeço a você por todos os ensinamentos a mim proporcionados, na qual levarei para o resto da vida e principalmente pela confiança depositada. Meu muito obrigado!

Ao amigo Herik Roberto, por ter sido um colaborador importante, disponibilizando seu computador para realização do processamento dos dados. Obrigado!

A todos meus grandes amigos que sempre estão ao meu lado, os agradeço em nome de: Alexsandro Linemberg, Carina Maia, Edvar Junior, Cayo Ravel, Otiniel Silva, Samuel Sena, Lucas Dutra, Brigido Conrado, Gabriel Andrade, Victor Ezequiel, Ítalo Eduardo, Celso Holanda, Waleskha Benevenuto, Simone Gameleira, Gustavo Gomes, Laricia Nogueira, Kelvy Coutinho, Wállison André, Cleto Rodrigues e Álvaro Felipe.

Enfim, agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente depositaram sua contribuição para a realização deste trabalho. A vocês, meu muito obrigado.

RESUMO

A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) empregado ao estudo da fotogrametria digital é uma ferramenta que vem crescendo significativamente nos últimos anos, principalmente na engenharia, onde este é utilizado para a obtenção de informações necessárias para a execução de projetos, proporcionando um menor tempo de execução e custo, além de uma qualidade adequada na obtenção de dados. Uma das aplicações relacionadas ao uso de imagens aéreas realizadas por VANTs na engenharia é a obtenção de dados planialtimétricos, uma técnica muito utilizada pela topografia na aquisição de informações sobre uma determinada região da superfície terrestre. Sendo assim, este estudo tem por objetivo analisar a viabilidade no uso de VANTs no levantamento planialtimétrico e na produção cartográfica de superfície de terrenos. Para isso, utilizou-se um VANT quadricóptero para a aquisição das fotografias aéreas, bem como os *softwares*: *QGIS*, utilizado na produção dos mapas, e o *Agisoft Photoscan*, usado para o processamento dos dados brutos gerados pelo VANT. Como resultado do processamento das imagens, obteve-se um Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Terreno (MDT), Ortomosaico e as Curvas de Nível, sendo estes utilizados para análises quantitativas e qualitativas do terreno. Por fim, comprovou-se que o VANT aliado a fotogrametria possui emprego viável em levantamentos topográficos planialtimétricos, visto que os erros encontrados foram consideravelmente pequenos, dando assim maior confiabilidade nos produtos gerados.

PALAVRAS-CHAVE: Veículo Aéreo Não Tripulado, Fotogrametria, Curva de Nível e Topográfico.

ABSTRACT

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) used in the study of digital photogrammetry is a tool that has been growing significantly in the last years, mainly in engineering, where it is used to obtain the necessary information for the execution of projects, providing a smaller time of execution and cost, as well as an adequate quality in obtaining data. One of the applications related to the use of aerial images performed by VANTs in engineering is the acquisition of planialtimetric data, a technique widely used by topography in the acquisition of information about a certain region of the earth's surface. Therefore, this study aims to analyze the feasibility of the use of UAVs in the planialtimetric survey and in the cartographic production of land surface. For this, a quantum mapper was used for the acquisition of aerial photographs, as well as the software: QGIS, used in the production of maps, and Agisoft Photoscan, used for the processing of the raw data generated by the VANT. As a result of the image processing, a Digital Surface Model (MDS), Digital Terrain Model (MDT), Ortomosaic and Level Curves were obtained, which were used for quantitative and qualitative analyzes of the terrain. Finally, it was verified that the UAV together with the photogrammetry has a viable job in topographic and planialtimetric surveys, since the errors found were considerably small, thus giving greater reliability in the generated products.

KEYWORDS: Unmanned Aerial Vehicle, Photogrammetry, Level Curve and Topographic.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução da Fotogrametria	13
Figura 2- Ataque aéreo realizado por balão	15
Figura 3 - Distintas aplicações de VANTs	16
Figura 4 - VANT de asa fixa	17
Figura 5 - VANT de asa rotativa	18
Figura 6 – Processo de obtenção de curvas de nível	19
Figura 7 – Componentes de funcionamento do sistema GPS	21
Figura 8 – Equipamento VANT utilizado para obtenção das fotos	26
Figura 9 – Fluxograma das etapas do processamento e obtenção das aerofotografias do VANT	27
Figura 10 – Localização da cidade onde o mapeamento foi realizado	28
Figura 11 – Tipos de sobreposição de imagens: (a) Sobreposição longitudinal e (b) lateral	29
Figura 12 – Interface do software <i>Dronedeploy</i> e delimitação da área	30
Figura 13 – Exemplo de ponto de controle natural	31
Figura 14 – Representação de um modelo de alvo artificial	32
Figura 15 – Produção de alvos artificiais	32
Figura 16 – Localização dos pontos de controle artificial utilizados	33
Figura 17– GPS TecGeo ZENIT 2	34
Figura 18 – Estrutura para coleta de coordenadas por GPS	34
Figura 19 – Marco georreferenciado e pontos de controle utilizados para levantamento	35
Figura 20 – Nuvem de pontos espaçadas	37
Figura 21 – Centralização dos pontos de controle	38
Figura 22 – Nuvem de pontos densa	38
Figura 23 – Filtragem do Terreno para gerar o MDT	40
Figura 24 – Modelo Digital de Terreno e Curva de Nível	40
Figura 25 - Tipo de diastímetro utilizado para as medições	41
Figura 26 – Coordenadas de uma das imagens adquiridas no VANT	42
Figura 27 – Estimação de erro planialtimétrico por ponto analisado pelo VANT	43
Figura 28 – (a) medida lateral da edificação, (b) medida frontal da edificação, (c) medida de distância em passagem de canteiro central da avenida que se encontra na área analisada e (d) medida de distância entre meios-fios.	45
Figura 29 - Sobreposição e densidade de imagens obtidas pelo VANT na área de estudo	47
Figura 30 - Distorções devido à pouca sobreposição	47
Figura 31 – Representação esquemática de uma rede de drenagem	49
Figura 32 – Erosão presente no solo devido a ação da água	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do SIRGAS 2000	23
Tabela 2 – Características do computador utilizado no processamento	26
Tabela 3 – Dados do planejamento aéreo.....	30
Tabela 4 – Coordenadas Corrigidas em UTM	36
Tabela 5 – Erro de coordenadas do VANT	43
Tabela 6 – RMSE dos pontos de controle	44
Tabela 7 – Relação de medidas entre as regiões analisadas	45

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

MDE – Modelo Digital de Elevação

GPS – Global Positioning System

ITRS – International Terrestrial Reference System

MDT – Modelo Digital de Terreno

MDS – Modelo Digital de Superfície

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfico

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

RBACE – Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial

RMSE – Root Mean Square Error

SGR – Sistema Geodésico de Referência

UTM – Universal Transversa de Mercator

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1. OBJETIVOS	11
1.1.1. Geral	11
1.1.2. Específicos.....	11
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. FOTOGRAMETRIA.....	12
2.1.1. Histórico	12
2.1.2. Definições	13
2.2. VANT (VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO).....	14
2.2.1. Conceito	14
2.2.2. Principais Modelos de VANTs	17
2.2.3. Levantamento Topográfico.....	18
2.3. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS).....	20
2.3.1. Sistemas Geodésicos de Referência (SGR)	22
2.3.2. SIRGAS 2000	22
2.3.3. Utilização de VANT no Levantamento Topográfico	23
3. METODOLOGIA.....	25
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	25
3.1.1. Quanto aos Objetivos.....	25
3.1.2. Quanto ao Tratamento dos Dados	25
3.1.3. Quanto aos Procedimentos Utilizados na Coleta dos Dados	25
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.2.1. Equipamentos Utilizados	26
3.2.2. Etapas do Processo	27
3.2.3. Delimitação da Área de Estudo	28
3.2.4. Altura, Velocidade de Voo e Sobreposição de Imagens	29
3.2.5. Pontos de Controle.....	31
3.2.6. Materialização dos Pontos de Controle.....	33
3.2.7. Levantamento por GPS	33
3.2.8. Execução de Voo	36
3.2.9. Processamento dos Dados.....	36
3.2.10. Obtenção de Medidas planimétricas.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. ANÁLISE DE COORDENADAS DE GPS.....	42
4.2. ANÁLISE PLANIMÉTRICA.....	44
4.3. ANÁLISE DE QUALIDADE DO ORTOMOSAICO	46
4.4. ANÁLISE ALTIMÉTRICA	48
4.4.1. Análise de Cursos d'água no Terreno	49
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
5.1. PERSPECTIVAS FUTURAS.....	51
REFERÊNCIAS.....	53
Apêndice A – Mosaico de Ortofoto.....	54
Apêndice B – Pontos de Controle do Terreno Analisado	54
Apêndice C – Curvas de Nível Obtidas do Terreno.....	54
Apêndice D – Redes de Drenagem do Terreno Analisado.....	54

1. INTRODUÇÃO

A necessidade do homem em realizar o mapeamento terrestre é documentado desde a antiguidade, de modo que através de representações gráficas, desenhos e diagramas, este pôde coletar informações sobre os lugares, estudando sua forma, relevo e vegetação, a fim de repassá-las para os demais indivíduos.

Com o tempo, o mapeamento terrestre passou a ser executado com técnicas mais aprimoradas e, na atualidade, tornou-se fundamental para o planejamento e gestão dos recursos naturais e para o monitoramento do crescimento das cidades (BASSEGIO et al., 2006).

De acordo com Franco et al. (2010), os avanços tecnológicos impactaram severamente nas técnicas de mapeamento ao passo em que a necessidade de conhecer detalhadamente a superfície terrestre para fins geológicos, geotécnicos ou de uso e ocupação do solo tornou-se uma preocupação para a engenharia. Sendo que, um dos métodos mais empregados para a obtenção deste detalhamento é o levantamento topográfico.

Tal levantamento é uma das ferramentas mais utilizadas no que diz respeito a obtenção de dados planialtimétricos de uma dada área (TESTONI e BACKES, 2009). Esse processo vem passando por grandes transformações, principalmente após a popularização do uso civil de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) quando se tornaram utilizáveis na realização de mapeamentos aéreos.

O VANT é um equipamento de alta tecnologia que permite ao usuário ou controlador obter fotografias aéreas de forma prática, rápida e sem a necessidade de piloto a bordo, com o auxílio de uma câmera com alta resolução espacial. Tais característica possibilitaram ao VANT uma grande diversidade de aplicações, dentre as quais pode-se destacar o mapeamento aéreo e o levantamento topográfico através da fotogrametria.

A fotogrametria é uma ferramenta que vem crescendo nos últimos anos, principalmente no que diz respeito a fotogrametria digital aplicada a aerofotogrametria. Conforme relatado por Tommaselli (2009), este processo gera um banco de dados topográficos de um determinado terreno que é capaz de fornecer informações como: distâncias, áreas, volume, coordenadas geográficas e curvas de nível.

De acordo com Santos (2016), nos últimos anos a utilização de VANT para levantamento topográfico vem crescendo. O autor relaciona esse fato a facilidade de

manuseio do instrumento, bem como ao acesso, compartilhamento entre os diferentes usuários, agilidade e, principalmente, a vantagem econômica e a redução de riscos dos trabalhadores quando comparado com a topografia convencional. Segundo o mesmo, no método convencional os trabalhadores podem ser expostos a alguns agentes de riscos, que segundo Santos (1996), destaca-se os ataques de animais, quedas devido a acidentes topográficos e o risco de insolação.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Avaliar a viabilidade da utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) no levantamento topográfico e na produção cartográfica de terrenos.

1.1.2. Específicos

- ✓ Apresentar um roteiro de aquisição e processamento dos dados obtidos por VANTs;
- ✓ Analisar a precisão altimétrica e planialtimétrica dos produtos gerados;
- ✓ Avaliar os produtos gerados pelo VANT;
- ✓ Processar a rede de drenagem das águas pluviais da área estudada.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. FOTOGRAMETRIA

2.1.1. Histórico

O surgimento dos primeiros estudos que levaram ao surgimento da fotogrametria é datado por volta de 350 a.C, época em que Aristóteles pesquisava o método da projeção de imagens por meio óptico. Inspirado nesses relatos, no ano de 1525, o alemão e matemático Albrecht Drer criou dois dispositivos capazes de realizar desenhos de perspectivas e estereoscópicos¹, na qual o conceito deste último foi empregado pela primeira vez em 1726 por Kepler na elaboração de cartas topográficas (TOMMASELLI, 2009).

Sendo que o francês Aimé Laussedat, precursor dos estudos da fotogrametria moderna, no ano de 1849 utilizou pela primeira vez fotografias aéreas para análise da superfície terrestre. Com uma câmera embarcada em um balão, este utilizou as fotografias obtidas para elaboração de mapas topográficos, bem como para analisar os problemas citadinos (TOMMASELLI, 2009).

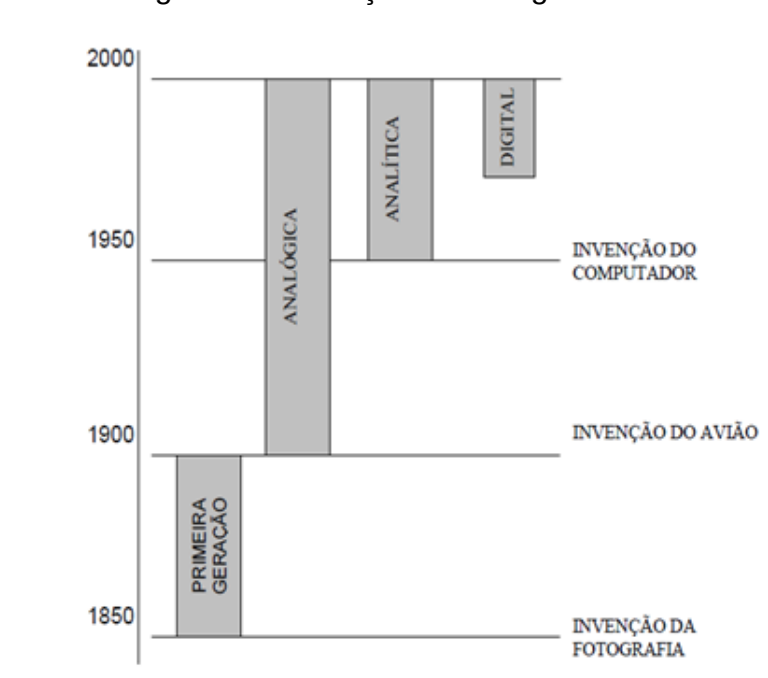
Ainda conforme Tommaselli (2009), somente após o advento do avião e com a difusão dos estudos da fotogrametria que foi possível, pela primeira vez, a utilização de fotografias aéreas para a realização de mapeamentos. Essa técnica tornou-se bastante difundida durante a primeira guerra mundial para fins de reconhecimentos de campo para os ataques aéreos.

De acordo com Silva (1998) apud Souza (2001), a história da fotogrametria pode ser dividida em três etapas básicas de desenvolvimento: a fotogrametria analógica, a fotogrametria analítica e a fotogrametria digital. Foi a partir dessa última etapa que a produção e precisão de produtos cartográficos foram melhorados e que os custos para obtenção de dados foram diminuídos.

A Figura 1 resume os estágios de evolução da fotogrametria ao longo do tempo, desde a invenção da fotografia até a invenção do computador.

1 Pode ser definido de acordo com Santos Filho et al. (2008), como sendo a identificação visual de um objeto por um mesmo foco, só que utilizando dois equipamentos de visualização de imagens. Como exemplo disto temos os olhos humano que captam duas imagens que resulta em apenas uma quando são combinadas pelo cérebro.

Figura 1 – Evolução da Fotogrametria



Fonte: Schenk (1999) apud Souza (2001).

Segundo Coelho e Brito (2007), a fotogrametria digital surgiu como uma inovação na utilização de imagens digitais obtidas por meio de câmeras na realização de processamentos realizados por computadores com capacidade de realizar tal procedimento e que, a partir destes, obtinha dados convenientes.

Atualmente, com a crescente disseminação de novas tecnologias, bem como o seu barateamento, a técnica de aquisição de dados fotogramétricos por meio de imagens digitais já é bastante difundida não somente por militares, mas também por civis com a finalidade de, por exemplo, mapear determinadas áreas da superfície terrestre.

2.1.2. Definições

Segundo a Sociedade americana de fotogrametria (*American Society of Photogrammetry*) apud Tommaselli et. al (2009), o termo fotogrametria pode ser definido como sendo a

[...] arte, ciência e tecnologia para obtenção de dados confiáveis sobre físicos e o meio ambiente por meio de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e de padrões de imagens de energia eletromagnética radiante e outras fontes (*American Society of Photogrammetry apud Tommaselli et al., 2009, Pág. 1*).

A fotogrametria pode ser subdividida em fotogrametria aérea ou aerofotogrametria, fotogrametria terrestre, fotogrametria espacial e a fotogrametria a curta distância. Destacando-se a aerofotogrametria, visto que, de acordo com estudos de Silva e Costa (2010), está se apresenta mais econômica e segura quando comparada com o levantamento topográfico convencional, apresentando, além disso, uma precisão e acurácia similar, por muitas vezes, superior aos métodos tradicionais.

Segundo Pegoraro, Gubiani e Philips (2013), o termo aerofotogrametria pode ser entendido como um conjunto de procedimentos realizados com o intuito de se obter uma representação de uma porção da superfície terrestre a partir de fotografias aéreas (ou aerofotografias) através do auxílio de uma câmera fotográfica posicionada de forma vertical em relação ao solo. É importante ressaltar que, neste caso, as aerofotografias são obtidas por meio de veículos aéreos, dentre os quais pode-se destacar os aviões, helicóptero, balões e os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs).

Segundo os mesmos autores, atualmente os VANTs tornaram-se alternativas muito mais rentáveis para aquisição dos dados aerofotogramétricos, visto que antes do desenvolvimento dessa tecnologia, aviões eram empregados para coleta das imagens. Nessa condição, além do custo do processamento dos dados, havia também o acréscimo devido a pilotagem (combustível, piloto, aluguel do veículo), situação que acabou por deixar a aerofotogrametria onerosa.

2.2. VANT (VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO)

2.2.1. Conceito

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) são definidos, segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), como sendo uma aeronave desenvolvida para ser conduzida sem piloto. Incluídos nesta definição, pode-se citar os aviões e helicópteros (controlados em três eixos), sendo excluídos os balões e os aeromodelos (ANAC, 2012).

Este tipo de equipamento é autoguiado por um sistema GPS que possibilita a orientação do mesmo. As imagens digitais que obtidas advêm de uma câmera, em geral, de alta resolução que se encontra embarcado na aeronave (SILVA, J. F. et al., 2015).

Inicialmente, a utilização de VANTs era restrita ao serviço militar, em que esta técnica era utilizada na realização de operações e ataques de guerra por alguns

países (BOERY, 2016). A Figura 2 ilustra um balão não tripulado utilizado pelas forças militares russas na realização de um ataque aéreo no ano de 1880.

Figura 2- Ataque aéreo realizado por balão



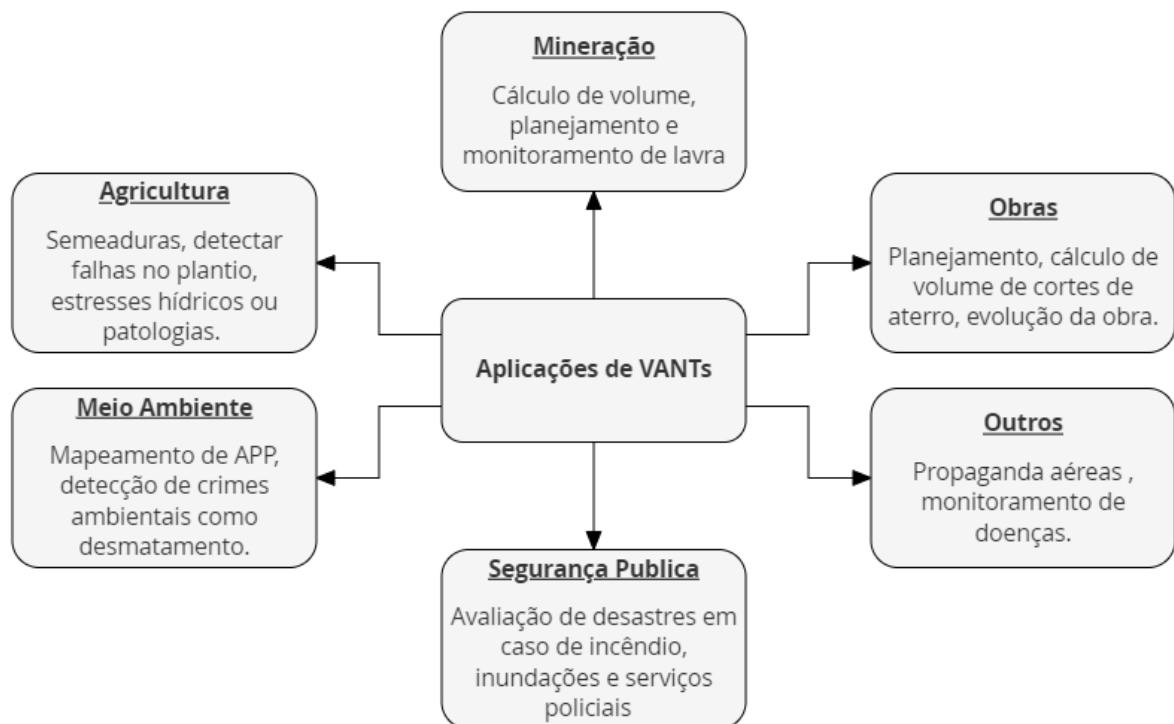
Fonte: FITEC (2005) apud Longhitano (2010).

Com o passar do tempo e o advento dos avanços tecnológicos, os VANTs passaram a ser aplicado em diversas finalidades, dentre as quais pode-se destacar, segundo Longhitano (2010), o sensoriamento remoto. Essas aplicações tornaram-se essenciais para o planejamento urbano, análise de recursos naturais, agricultura de precisão, monitoramento ambiental, estudo de tráfego, além de se configurar como imprescindível para os mapeamentos sistemáticos e temáticos.

Ainda em relação as aplicações atuais dos VANTs nos aspectos cartográficos, os dados digitais coletados podem ser utilizados para determinação das curvas de nível, modelos digitais da superfície, modelos digitais do terreno, cálculos volumétricos, assim como para realização de algumas medições de uma determinada localidade da superfície terrestre (VENTURINI, 2015).

A Figura 3 ilustra de forma esquemática alguns empregos dos VANTs, bem como suas aplicações relacionadas a cada área.

Figura 3 - Distintas aplicações de VANTs



Fonte: Adaptado de Silva, C. A. (2015).

De acordo com Venturini (2015), além de possuir uma variada gama de aplicações, os VANTs apresentam-se como uma poderosa ferramenta no que se refere a obtenção de imagens de qualidade em um menor tempo de aquisição, sendo sempre aliados ao baixo custo. Tais características tornaram os VANTs atrativos ao meio consumidor, gerando, por este motivo, sua popularização e provocando um crescimento ainda maior de suas aplicações no mercado.

Nesse sentido, Vidal (2013) ainda relata mais sobre as vantagens dos VANT para as finalidades cartográficas, citando a adequada qualidade posicional, as grandes resoluções temporais e espaciais, a maior rapidez no planejamento, como também a obtenção dos resultados como os parâmetros de orientação interna e externa das fotografias obtidas.

Mesmo apresentando uma grande rentabilidade frente a utilização de aviões ou helicópteros, a utilização de VANTs ainda pode apresentar algumas desvantagens. Destaca-se neste caso a baixa autonomia de voo apresentada por alguns modelos, dependência das condições climáticas e a cobertura de áreas geográficas pequenas (VIDAL, 2013).

É importante ressaltar a existência do regulamento de nº 94 (RBAC-E nº 94) de 2 de maio de 2017, estabelecido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), que fornece informações e regras gerais que devem ser seguidas para que seja possível a operação de Veículos Aéreos Não Tripulados e aeromodelos no espaço aéreo nacional para fins civis, afim de fornecer segurança a aviação civil.

2.2.2. Principais Modelos de VANTs

Segundo Jorge e Inamaswu (2014), os VANTs podem ser classificados de acordo com sua categoria funcional, ou seja, com a finalidade ao qual este será empregado. Além disso, os VANTs ainda podem ser classificados quanto ao seu alcance e altitude em VANTs de mão (apresenta 600m de altitude e alcance de 2 km) e em VANTs de OTAN (com 3000 metros de altitude e alcance até de 50 km), podendo também ser classificado ainda quanto a presença de asa fixa ou asa rotativa, sendo este último o modelo mais disseminado no mercado.

De acordo com Santos (2016), um VANT de asa fixa pode ou não necessitar da presença de uma pista para decolar ou pra realizar o pouso, sendo que comumente é utilizado um lançador feito de material elástico que possibilita o voo do equipamento. Para que ocorra o pouso em segurança frequentemente emprega-se paraquedas, a fim de evitar problemas, como por exemplo, a danificação do VANT. A Figura 4 apresenta um exemplo de VANT de asa fixa.

Figura 4 - VANT de asa fixa



Fonte: Souza (2015).

Os modelos de asa rotativa são os mais comumente conhecidos devido serem muito utilizado por civis em diversos fins, tendo como principais características a possibilidade de levantar voo de forma vertical e a de até mesmo a habilidade de “flutuar” sob o ar. Podem também apresentar-se com diversas configurações que vão

desde a presença ou não de uma cauda até mesmo ao número de motores utilizados na execução do voo, podendo ser quatro, seis, oito ou até mais (SANTOS, 2016). A Figura 5 ilustra um exemplo desse tipo de equipamento.

Figura 5 - VANT de asa rotativa



Fonte: Souza (2015).

2.2.3. Levantamento Topográfico

Um levantamento topográfico pode ser definido como um conjunto de processos e procedimentos utilizados para a obtenção de medidas lineares e angulares (verticais e/ou horizontais) de uma determinada porção de um terreno por meio de equipamentos adequados com a implantação de pontos de apoio no terreno com o intuito de determinar as coordenadas topográficas do mesmo, e assim, poder representá-lo na forma mais real possível (ABNT, 1994).

De acordo com Casaca, Matos e Dias (2017) a realização de um levantamento topográfico utilizando os métodos da topográfica convencional é efetuado por meio de duas fases. A primeira refere-se a materialização e observação de pontos topográficos, na qual são definidas as coordenadas topográficas para cada vértice através do método da irradiação, nivelamento, GPS, poligonação, dentre outros.

A segunda fase, segundo os mesmos autores, está relacionada ao colhimento dos detalhes da região analisada, em que para isto, é utilizado os vértices da rede de apoio existente, que é usado no levantamento das várias estações que estão distribuídas sobre uma extensa cobertura de todo o terreno analisado (CASACA, MATOS e DIAS, 2017).

Segundo a ABNT NBR 13.333 (1994), para se realizar um levantamento é necessário a utilização de alguns instrumentos, tais como teodolitos, níveis e medidores eletrônicos de distância, que irão fornecer todas as informações de

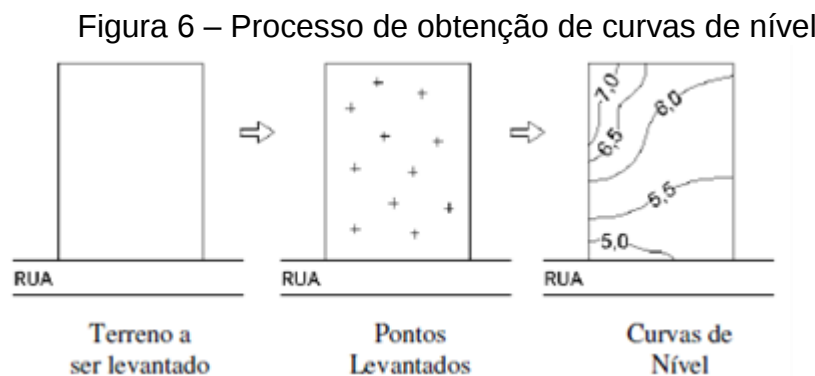
ângulos, distâncias e inclinações; dados que são fundamentais para descrição precisa e detalhada da área escolhida.

Através desse levantamento torna-se possível o conhecimento do terreno a ser analisado. Dessa forma, Dewes, Oliveira e Brisotto (2013) afirmam que o levantamento topográfico pode ser dividido em três tipos principais, que são: o planimétrico, altimétrico e planialtimétrico.

O levantamento planimétrico, trata-se da obtenção de medidas horizontais de um terreno em coordenadas de longitude e latitude (coordenadas planas, X e Y), na qual segundo a ABNT NBR 13.333 (1994), pode se identificar a partir deste levantamento o perímetro do terreno, o alinhamento de via ou logradouro (caso necessário), bem como a orientação das propriedades. Dentre os principais métodos utilizados para a realização deste levantamento está a poligonação, triangulação e interseção.

Já o levantamento altimétrico dedica-se em realizar medidas de distâncias e ângulos verticais no terreno, sendo necessário que as representações deste sejam feitas através de vistas laterais, cortes ou perfil (BORGES, 2013). É por meio dos dados obtidos neste tipo de levantamento topográfico que são traçadas as curvas de nível de uma área analisada.

As curvas de nível podem ser definidas, de acordo com Borges (2013), como um conjunto de linhas que unem diversos pontos de altitudes conhecidas de um determinado terreno a fim de mostrar e representar vales, inclinações, terrenos íngremes, terrenos acidentados e elevações, existentes na área analisada. A Figura 6 mostra o processo de obtenção das curvas de nível de um terreno.



Fonte: Veiga, Zanetti e Faggion (2010).

Em relação ao levantamento topográfico planialtimétrico, este pode ser obtido quando se quer verificar os resultados de ambos os levantamentos expostos até o momento (planimétricos e altimétricos), onde neste ocorre a utilização dos dois resultados para a produção de uma carta ou planta topográfica. Para a realização deste método de levantamento topográfico são utilizados os mesmos equipamentos empregados pela planimetria e altimetria, podendo-se destacar a estação total, baliza, diastímetro e o GPS.

2.3. SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL (GPS)

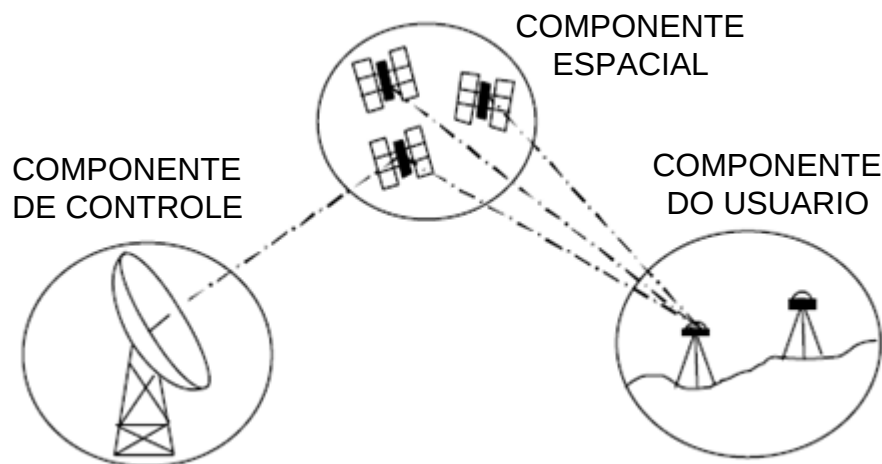
O sistema de posicionamento global (GPS, ou em inglês *Global Positioning System*) pode ser definido como um equipamento de alta tecnologia e precisão, capaz de possibilitar a seu usuário em tempo real, informações referentes a posição espacial em um determinado ponto de um terreno escolhido por meio de coordenadas geográficas e planimétricas (VERAS JUNIOR, 2003).

O primeiro sistema de navegação via satélite foi criado e totalmente projetado pela equipe da força aérea americana durante as décadas de 70 e 80, mas sua implementação e funcionamento só foi possível na década de 80 (SOUZA, 2001). A utilização do GPS foi rapidamente difundida e nos anos posteriores surgiram então outros sistemas parecidos, mas criados por outros países, dentre os quais é possível citar o GLONASS, que é uma tecnologia Russa, e o sistema GALILEO, que foi desenvolvido na Europa (GRANDO, LAND e RHODEN, 2014?).

Tais coordenadas podem ainda ser convertidas por meio de software específicos em coordenadas planas Universal Transversa de Mercator (UTM) que, segundo Carvalho e Araújo (2008), são mais fáceis de serem utilizadas quando comparadas com as coordenadas geográficas, visto que no “lugar de projetar uma grade imaginária de linhas que cruzam sobre o globo, projetam seções do globo sobre uma superfície plana” (CARVALHO e ARAÚJO, 2008, Pág. 01).

De acordo com Antunes (1995), o funcionamento de um GPS se dá basicamente a partir do momento em que há a captação de sinais de satélite através do equipamento, tendo então, a ocorrência de uma “medição de distância através de tempo de percurso e diferença de fase de sinais eletromagnéticos emitidos por uma constelação de satélites artificiais” (ANTUNES, 1995, Pág. 39), assim como representado por meio da Figura 7.

Figura 7 – Componentes de funcionamento do sistema GPS



Fonte: Adaptado de Antunes (1995).

Segundo Souza (2001), existem três componentes principais responsáveis basicamente por todo funcionamento de um sistema GPS. Eles são:

- Componente espacial: este componente é composto por 24 satélites artificiais que circulam no entorno da terra, sendo responsáveis por determinar a localização de qualquer ponto da superfície terrestre (VERAS JUNIOR, 2003).
- Componente de Controle: apresenta como principais funções a verificação de funcionamento de satélites, determinação de correção dos relógios dos satélites, rastreamento de satélites, envio de dados necessários para os satélites, entre outras (VERAS JUNIOR, 2003; ANTUNES, 1995).
- Componente do Usuário: neste componente encontram-se os receptores de GPS, na qual ocorre a interação entre este e o satélite de modo a gerar e mostrar as coordenadas de um ponto da terra desejado pelo usuário (VERAS JUNIOR, 2003).

De acordo com Arana (2004), o surgimento do sistema de posicionamento global possibilitou uma grande revolução nos levantamentos topográficos, geodésicos e em vários outros métodos relacionados a navegação e ao posicionamento, o que fez com que ocorresse uma intensificação no uso deste importante equipamento até então empregado em diversas áreas do conhecimento.

A utilização de GPS geodésico para levantamento topográfico se dá a partir do uso das coordenadas de latitude, longitude e altitude (respectivamente X, Y e Z) obtidas nos pontos desejados do terreno. Estas ainda podem ser transformadas em coordenadas UTM (E, N) sempre relacionados com um sistema geodésico de referência (no caso do Brasil, o SIRGAS 2000). Logo após, tais transformações são vinculadas às medidas de distância e ângulos feitas no levantamento de campo (AZAMBUJA e MATSUOKA, 2007).

2.3.1. Sistemas Geodésicos de Referência (SGR)

O Sistema Geodésico de Referência (SGR) é um sistema utilizado a fim de fornecer informações relativas a uma determinada posição da superfície terrestre por meio do qual são realizados os cálculos de coordenadas (geodésicas ou UTM) a partir da escolha de uma superfície que mais se aproxima com a forma geoidal apresentada pela Terra (GOMES, 2010). Um dos SGR mais utilizados atualmente é o WGS-84 (*World Geodetic System 1984*), que significa Sistema Geodésico Mundial (GOMES, 2010).

O Brasil possui seu próprio Sistema Geodésico criado em 17 de maio de 1944 pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), e desde então utilizou os principais sistemas de referência como: Córrego Alegre e SAD 69 (*South American Datum de 1969*), sendo que atualmente é utilizado o SIRGAS 2000 (RUBIRA, MELO e FONSECA, 2016).

É importante destacar que os SGRs citados anteriormente podem ser classificados de acordo com sua referência. Esta pode-se apresentar como topocêntrica, que diz respeito a orientação de seu ponto que se encontram na superfície terrestre, ou geocêntrica, na qual o referencial adotado é um ponto que é calculado computacionalmente no centro de massa da Terra (TULER e SARAIVA, 2016).

2.3.2 SIRGAS 2000

O SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) é o sistema de referência adotado atualmente pelo Brasil e por países da América do Sul, Central e Norte, sendo este criado no ano de 2000 e implantado pelo IBGE apenas em 2005 (GOMES, 2010).

Segundo Gomes (2010), com a introdução deste sistema de referência o Brasil deu o importante passo no fornecimento de forma fácil nas informações de seu espaço terrestre nacional, tendo em vista os avanços apresentados pelo mesmo.

De acordo com Rubira, Melo e Fonseca (2016), o SGR SIRGAS 2000 passou a ser adotado de forma obrigatória, pois o SAD69, não se enquadrava as modernas técnicas de posicionamento utilizadas, como é o caso do GPS. Ainda de acordo com os autores, o SIRGAS 2000, permitiu um beneficiamento no que se refere a compatibilidade de informações a nível internacional, já que o sistema de origem adotado é o geocêntrico, sendo este adotado por diversos países.

A Tabela 1 relaciona as principais características adotadas pelo SIRGAS 2000 em sua última realização pelo IBGE em 2005, através da resolução 1/2005 de 25 de fevereiro de 2005, de acordo com Menezes e Fernandes (2013).

Tabela 1 – Características do SIRGAS 2000

Características	Classificação
Sistema Geodésico de Referência	Sistema de referência terrestre (ITRS)
Figura geométrica para a terra	Elipsoide, do sistema geodésico de referência de 1980
Origem	Centro de massa da terra
Orientação	Geocêntrico

Fonte: Adaptado de Menezes e Fernandes (2013).

2.3.3. Utilização de VANT no Levantamento Topográfico

A utilização da fotogrametria para o levantamento topográfico é um processo que vem se intensificando nos últimos anos, principalmente após o surgimento da fotografia digital e a intensificação do uso civil de VANTs. Popularmente conhecidos por “drones”, estes equipamentos de alta tecnologia possibilitam a obtenção de fotografias aéreas georreferenciadas de qualquer lugar desejado desde que sigam as normas e regulamentos estabelecidos pela ANAC.

Dessa forma, os VANTs possibilitaram com sua alta tecnologia que equipamentos como teodolito e estação total (utilizados no levantamento topográfico tradicional) fossem aos poucos substituídos, já que estes fornecem ao usuário dados de levantamento com boa precisão e até mesmo com um menor tempo de aquisição quando comparado com a topografia convencional (SANTOS, 2016).

De acordo com análises de Souza (2015) sobre a aplicação deste equipamento no mapeamento topográfico e de uso e cobertura da terra, este apresentou-se como uma boa alternativa na utilização de suas fotografias para a elaboração de mapas topográficos planialtimétricos, na qual foi comprovado por meio da qualificação dos produtos finais.

Além disso, os estudos realizados por Vidal (2013) mostram que a utilização das imagens obtidas por meio de VANTs permitiram através de um processamento, a obtenção e, conseqüente, a análise de um Modelo Digital de Elevação (MDE) e de um ortomosaico, destacando assim, a potencialidade no uso das imagens obtidas por este importante equipamento.

De acordo com Silva, C. A. (2015), pode-se constatar que o VANT permitiu o fornecimento de informações topográficas tridimensionais de uma superfície de pilha de rejeitos e até mesmo de áreas de difícil acesso, fornecendo assim produtos com precisão e elevado nível de detalhamento.

Por fim, Pegoraro, Gubiani e Philips (2013) afirmam que os VANTs são uma poderosa ferramenta no que diz respeito ao sensoriamento remoto, tendo em vista o baixo custo quando comprado com outros métodos utilizados e a rapidez no processamento dos dados obtidos.

3. METODOLOGIA

3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

O procedimento metodológico adotado ao longo do presente trabalho pode ser classificado quanto aos objetivos esperados, ao tratamento dos dados coletados em campo e em relação aos procedimentos utilizados na coleta dos dados.

3.1.1. Quanto aos Objetivos

Quanto aos objetivos determinados pela pesquisa, este trabalho pode ser caracterizado como exploratório, pois segundo Gil (2008), tem a finalidade de “desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores” (GIL, 2008, Pág. 27). Esse tipo de pesquisa geralmente envolve um levantamento bibliográfico e documental, estudos de caso ou levantamentos de campo.

3.1.2. Quanto ao Tratamento dos Dados

Em relação ao tratamento de dados abordado neste trabalho, o mesmo apresenta-se como quantitativo e qualitativo. Segundo Creswell (2007), nesta classificação a pesquisa pode ser definida como mista, já que está apresenta-se com a necessidade de obtenção de dados múltiplos e formas múltiplas na análise de ambos os métodos. Creswell (2007) ainda complementa relatando que o método misto surgiu com a necessidade de criar projetos de forma compreensível a partir de análises de dados complexos.

Os dados quantitativos abordados por este trabalho foram, por exemplo, os processamentos estatísticos, isto é, desvio padrão, erro médio quadrático, etc. Quanto aos dados quantitativos, destaca-se a interpretação desses e dos mapas confeccionados.

3.1.3. Quanto aos Procedimentos Utilizados na Coleta dos Dados

Em relação aos procedimentos utilizados na coleta de dados, esta pesquisa caracteriza-se como um levantamento, pois de acordo com Gil (2008), este procede-se por meio da obtenção de um número significativo de dados entorno do problema gerado, de forma a obter uma análise e, a partir desta, alcançar conclusões acerca do tema em estudo.

3.2. MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1. Equipamentos Utilizados

Para a realização do mapeamento aéreo foi utilizado um VANT quadricóptero da marca DJI do tipo *Phantom 3 Advanced*, equipado com câmera de 12,4 megapixels e com um sistema de posicionamento global (GPS) do tipo *Glonass*. Possui uma autonomia de voo médio de 26 minutos por bateria, sendo estas do tipo LiPo (composta de polímeros e Lítio).

A escolha de tal equipamento se deu devido à restrição de disponibilidade do equipamento para a realização da pesquisa. O VANT utilizado, juntamente com seu rádio controle encontra-se ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – Equipamento VANT utilizado para obtenção das fotos



Fonte: Autor, 2018.

Para a realização do processamento das imagens foi utilizado um computador as características mencionadas na Tabela 2. A configuração deste foi essencial para que o processamento fosse realizado de forma rápida e com a qualidade estabelecida.

Tabela 2 – Características do computador utilizado no processamento

Tipo	Características
Processador	<i>Ryzen 1700</i>
Water Cooler	<i>Cosair hydro h115i</i>
Placa de Vídeo	<i>Msi 1050 ti gaming x</i>
Placa Mãe	<i>Mse x370 gaming pro</i>

Memória	<i>Crucial ballistic 8 GB</i>
Fonte	<i>Thermaltake Smart pro 750w full modular</i>
Gabinete	<i>Corsair 400c</i>

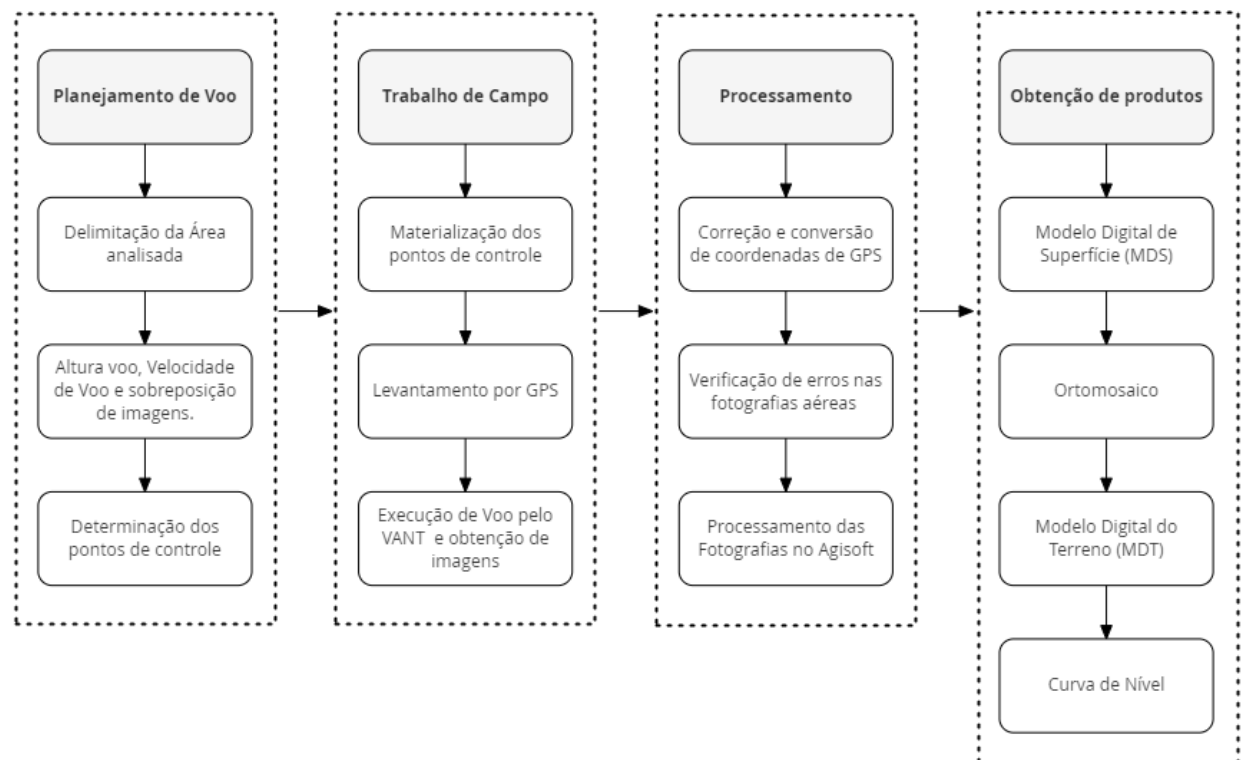
Fonte: Autor, 2018.

Tais configurações foram de essencial importância para a obtenção dos dados, visto que um processamento de imagens exige muito do computador e, principalmente, dos elementos nele incluso, como a placa de vídeo (GPU), processador e a memória RAM; já que quanto melhor forem estes componentes, melhor será o desempenho do processamento, podendo torná-lo mais rápido.

3.2.2. Etapas do Processo

O fluxograma mostrado na Figura 9 diz respeito as etapas de processamento utilizadas na realização do presente projeto, compreendendo desde o planejamento de voo até a parte do processamento das imagens e obtenção dos dados que serão utilizados e avaliados.

Figura 9 – Fluxograma das etapas do processamento e obtenção das aerofotografias do VANT

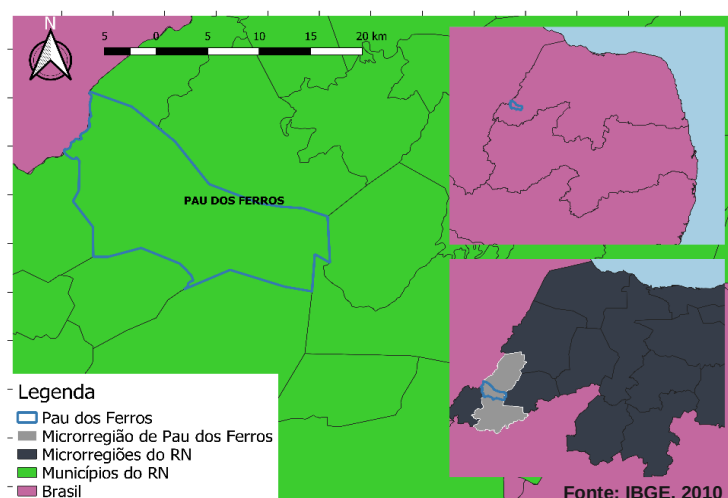


Fonte: Autor, 2018.

3.2.3. Delimitação da Área de Estudo

A área experimental para o desenvolvimento do estudo, encontra-se no município de Pau dos Ferros/RN, cidade situada na Microrregião de Pau dos Ferros, distante cerca de 393 km de Natal, capital do estado, e que possui uma altitude média de 193 metros acima do nível do mar. O terreno estudado possui relevo pouco íngreme com algumas pequenas variações na altitude. A localização do município encontra-se ilustrada por meio da Figura 10.

Figura 10 – Localização da cidade onde o mapeamento foi realizado



Fonte: Autor, 2018.

O critério para a escolha da região de estudo baseou-se em duas características específicas que dizem respeito ao:

- ✓ Baixo número de obstáculos de altura acima de 30 metros, já que este parâmetro possibilita a segurança no voo sem a possibilidade de impacto do VANT;
- ✓ Baixa interferência, já que este pode influenciar na captação de sinal de satélite.

As características afirmadas anteriormente são de fundamental importância a obtenção de um plano de voo autônomo com segurança com uma baixa probabilidade de desconexão do rádio com o VANT.

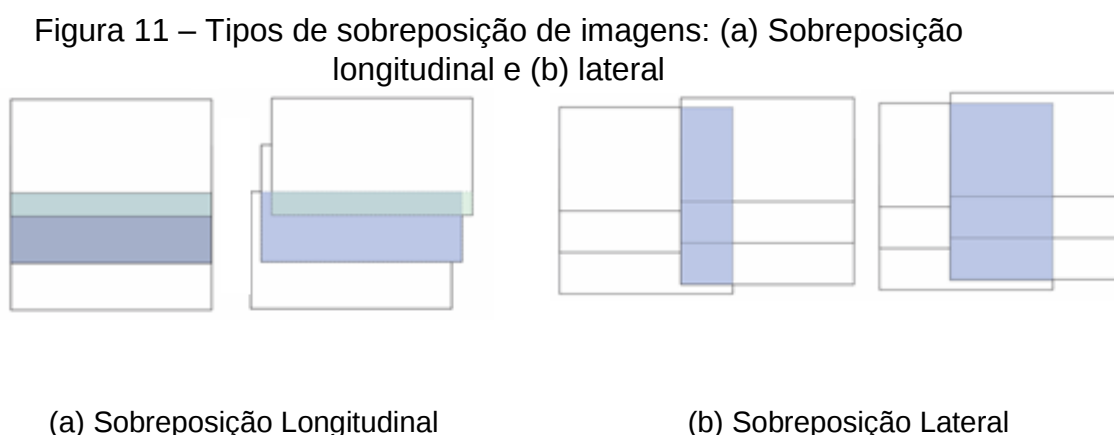
3.2.4. Altura, Velocidade de Voo e Sobreposição de Imagens

No planejamento de voo, isto é, a delimitação da área a ser percorrida pelo VANT e registrada por meio de aerofotografias, foi utilizado o *software Dronedeploy*, que possibilitou a automatização do processo de obtenção das fotografias aéreas, permitindo também que haja uma sobreposição das fotos tiradas de todo o terreno.

O processo de sobreposição das imagens é um dos mais importantes procedimentos visto nesta etapa, pois esta possibilita aos produtos gerados maior confiabilidade nos dados. De acordo com Redweik (2007), a sobreposição de imagens aéreas pode ser entendida como um conjunto de fotografias terrestres que são tiradas e registradas a partir de duas ou mais imagens diferentes de um mesmo ponto ou zona da região analisada.

Tal sobreposição é realizada a fim de imitar o processo de estereoscopia que acontece nos seres humanos a partir de uma combinação de imagens ligeiramente distintas que são recebidas pelo cérebro através dos olhos (MASCHIO, 2008), sendo este processo responsável, segundo Tomoyse, Sanches e Tori (2009), pela obtenção de informações aos indivíduos como a noção de profundidade, determinação de distâncias, identificação de brilhos em metais e pedras preciosas. Sendo assim, é a partir da estereoscopia realizada pela sobreposição de imagens aéreas que será possível a determinação de distâncias, profundidades e alturas de objetos existentes no terreno.

A sobreposição pode ser dividida em longitudinais e laterais, sendo representadas e distinguidas a partir na Figura 11.



Fonte: Silva Neto, 2017.

Realizou-se uma sobreposição de imagens que fornecesse uma boa qualidade aos produtos gerados, mas que não gerasse uma quantidade demasiada de fotografias, o que implicaria em uma lentidão no processamento. Portanto, adotou-se o valor padrão recomendado pelo *DroneDeploy* sendo de 65% para a sobreposição longitudinal e de 75% para a sobreposição lateral.

Além disso, através desse mesmo *software* pôde-se determinar outros parâmetros de voo, dentre as quais pode-se destacar: a altura do VANT em relação ao solo e a velocidade na trajetória de obtenção das fotos, o que influencia no número de fotografias, bem como na qualidade e na quantidade dos pixels, o que interfere, por sua vez, na resolução espacial e pode gerar deformações no produto final. A Tabela 3 indica os parâmetros utilizados no planejamento de voo.

Tabela 3 – Dados do planejamento aéreo

Dados	Valores
Área	6 hectares
Velocidade de voo	9 m/s
Altura de voo	75 m
Tempo de Voo	6,57 min
Resolução das fotos	3,2 cm/pix

Fonte: Autor, 2018.

A Figura 12 ilustra a interface do *software DroneDeploy* mostrando a delimitação da área em estudo.

Figura 12 – Interface do *software DroneDeploy* e delimitação da área



Fonte: Autor, 2018.

3.2.5. Pontos de Controle

Os pontos de controle são regiões localizadas no terreno cujas coordenadas (X, Y, Z) são conhecidas, sendo estes utilizados posteriormente no processamento das imagens obtidas pelo VANT. Essas coordenadas foram utilizadas para combinar as coordenadas obtidas nas fotografias aéreas com as coordenadas adquiridas pelo GPS geodésico, para obter, de acordo com Silva e Costa (2010), um aumento na precisão por meio da fototriangulação.

Para a demarcação desses pontos de apoio na área em estudo foram utilizados alvos que podem ser divididos em artificiais ou naturais. Os alvos naturais são pontos fixos no terreno, ou seja, algo que faz parte dele e que está no ambiente, como por exemplo cantos de meio fio e de faixas de pedestre. A Figura 13 apresenta um exemplo de alvo natural utilizado em levantamento aerofotogramétrico.

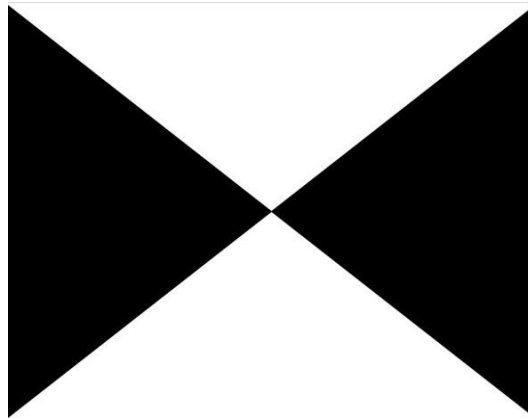
Figura 13 – Exemplo de ponto de controle natural



Fonte: Silva Neto, 2015.

Os alvos artificiais, por outro lado, são pontos produzidos pelo homem com a finalidade de serem fotoidentificáveis, isto é, utilizados e visualizados nas fotografias aéreas da região analisada. Esses alvos podem conter formas e tamanhos diversos, desde que seja possível a identificação e visualização de seu centro nas imagens para que possam ser utilizados como parâmetro de posicionamento dos pontos de apoio no processamento e na obtenção das coordenadas precisas de campo. A Figura 14 representa o modelo de um alvo artificial adotado neste trabalho.

Figura 14 – Representação de um modelo de alvo artificial

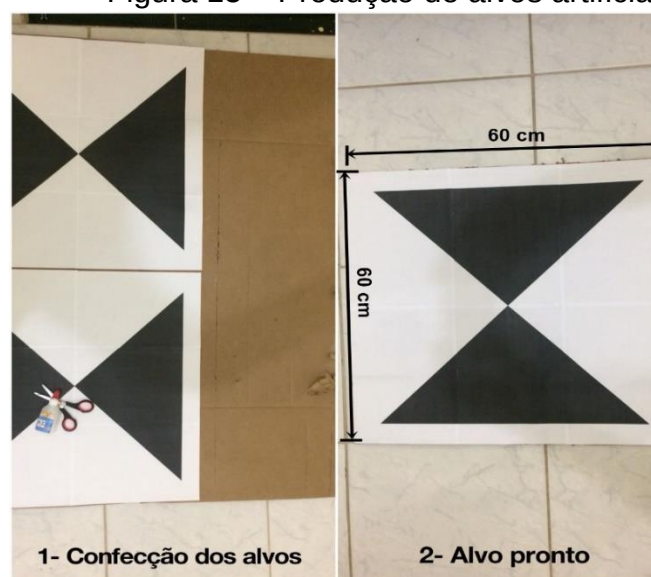


Fonte: Autor, 2018.

O modelo de alvo adotado na presente pesquisa possui 60x60 cm (largura/comprimento) de dimensões, permitindo uma maior visibilidade do mesmo nas imagens aéreas. Ao longo do terreno estudado foram disponibilizados ao todo 8 alvos, todos confeccionado com folhas de tamanho A4.

Como as folhas apresentaram leveza e poderiam ser facilmente arrastadas pela ação dos ventos, foram colados papelões abaixo de cada alvo, de modo a fornecer um maior peso ao mesmo e um maior suporte ao solo nos momentos de instalação do tripé do GPS de precisão, já que o mesmo deveria se manter fixo até o fim da atividade de campo. Nesse sentido, a Figura 15 apresenta o processo de confecção dos alvos e sua posterior conclusão.

Figura 15 – Produção de alvos artificiais

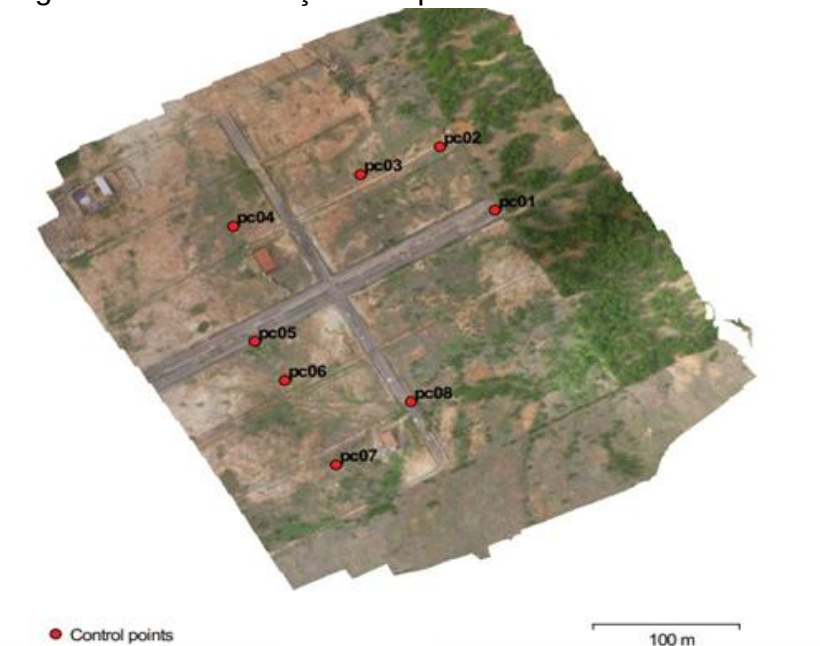


Fonte: Autor, 2018.

3.2.6. Materialização dos Pontos de Controle

Nesta etapa do processo foram escolhidos de forma aleatória alguns pontos dentro da área em estudo para o posicionamento dos alvos artificiais. Estes pontos foram adotados de forma a permitir ao VANT a fotoidentificação do alvo, bem como possibilitar a utilização do equipamento GPS empregado para o levantamento de coordenadas precisas. A Figura 16 e o APÊNDICE B identificam os locais onde os alvos artificiais foram posicionados no terreno de estudo.

Figura 16 – Localização dos pontos de controle artificial utilizados



Fonte: Autor, 2018.

3.2.7. Levantamento por GPS

O levantamento dos pontos de controle para obtenção de coordenadas foi realizado a partir da utilização de um GPS geodésico da marca TecGeo do tipo ZENIT 2 com operação em modo estático. A Figura 17 mostra o modelo especificado anteriormente. É um equipamento que permite a utilização somente da frequência L1 para a coleta dos dados.

Figura 17– GPS TecGeo ZENIT 2

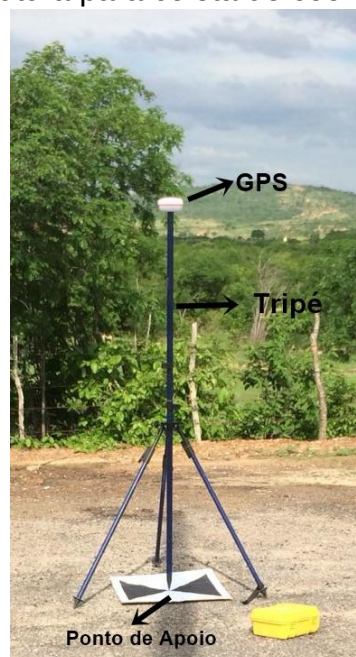


Fonte: <http://site.techgeo.com.br/produtos/zenite2/>.

O processo de aquisição das coordenadas de campo se deu inicialmente com o posicionamento do equipamento de GPS sobre o ponto de controle por meio de um tripé e a centralização do mesmo sobre o centro do alvo. Após a realização desses procedimentos, o equipamento foi nivelado e, posteriormente, o GPS foi ligado de forma a coletar as coordenadas desejadas. O tempo de coleta médio foi de cerca de 18 minutos em modo estático.

A Figura 18 mostra a estrutura utilizada para aquisição de coordenadas, na qual é apresentado o GPS, o tripé e abaixo deste, o ponto de apoio.

Figura 18 – Estrutura para coleta de coordenadas por GPS

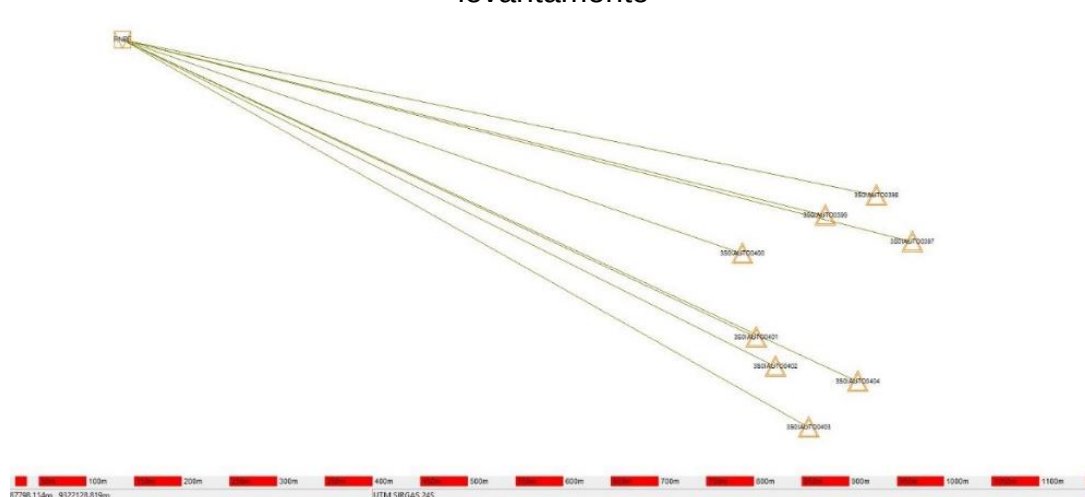


Fonte: Autor, 2018.

É importante destacar que as coordenadas obtidas neste processo são do tipo Latitudinal e Longitudinal, sendo necessário então uma transformação destas em coordenadas UTM, bem como uma correção das coordenadas obtidas com os dados gerados pelo marco georreferenciado localizado na Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN) campus Pau dos Ferros, e fornecidos pelo site do IBGE através da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo de GNSS (RBMC). Essas correções são necessárias para conferir uma maior precisão aos dados adquiridos. Todos esses processos de correção e conversão foram realizados por meio do *software GTR processor 2.89*.

Na Figura 19, obtida por meio do *GTR processor 2.89*, é possível visualizar o marco georreferenciado (representado por um quadrado) utilizado nas correções das coordenadas, bem como os oito pontos de GPS coletados no terreno em questão (representados em triângulos). É importante ressaltar que a distância entre o marco e os pontos obtidos não supera 20 km, conferindo assim uma fixação e confiabilidade nos dados, conforme as orientações do IBGE.

Figura 19 – Marco georreferenciado e pontos de controle utilizados para levantamento



Fonte: Autor, 2018.

A Tabela 4 apresenta as coordenadas corrigidas e transformadas em UTM pelo *software* anteriormente citado e a altitude absoluta dos pontos que foram utilizadas na etapa posterior de processamento das fotografias aéreas obtidas pelo VANT.

Tabela 4 – Coordenadas Corrigidas em UTM

Pontos de Controle	X (m)	Y (m)	Z (m)
P01	588590,249	9321953,206	207,938
P02	588552,805	9322001,682	206,321
P03	588498,696	9321980,375	209,442
P04	588411,691	9321940,828	212,129
P05	588426,451	9321852,796	214,936
P06	588446,945	9321822,772	212,687
P07	588481,854	9321758,254	211,856
P08	588533,084	9321806,443	208,807

Fonte: Autor, 2018.

3.2.8. Execução de Voo

Esta etapa do levantamento aerofotogramétrico constitui-se na execução de todo o planejamento de voo realizado anteriormente, tendo em vista que as imagens obtidas em campo foram utilizadas no processamento e, consequente, na obtenção dos dados planialtimétricos desejados.

De início, foi feita a montagem das hélices, checagem e calibragem do VANT para em seguida ser realizado a decolagem e varredura da região escolhida que acontece de forma autônoma devido a utilização do *software DroneDeploy*. Posteriormente, delimitou-se a área percorrida pelo VANT, bem como a altura e a velocidade de voo.

Após a realização do voo autônomo, ocorrido em 28 de janeiro de 2018, e aquisição das imagens aéreas, o VANT foi retirado de seu piloto automático e colocado em solo de forma manual a fim de evitar problemas no pouso, como possíveis desestabilizações, por fim, foram coletadas 122 fotografias.

3.2.9. Processamento dos Dados

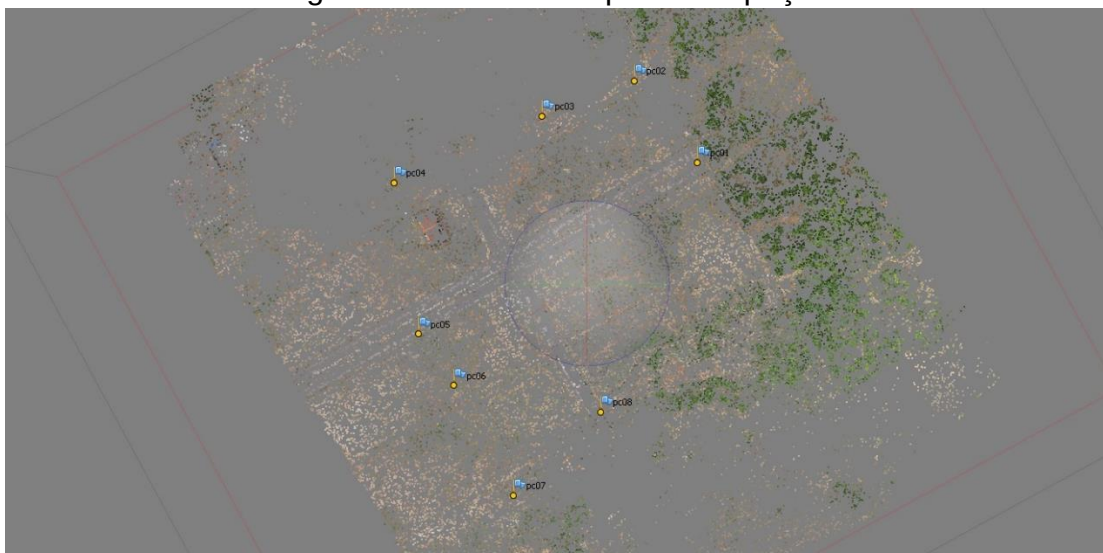
Logo após obtidas as aerofotografias da região determinada através de todos os procedimentos anteriormente citados, as fotografias foram processadas por meio do *software Agisoft Photoscan Professional*, utilizado na obtenção e análise de grande parte dos produtos cartográficos obtidos nesta pesquisa, dentre os quais pode-se destacar: o Modelo Digital de Terreno (MDT), o Modelo Digital de Superfície (MDS), curvas de nível, ortomosaico, assim como a nuvem de pontos espaçada e densa.

Antes do início do processamento, foi realizado uma verificação das imagens obtidas a fim de identificar possíveis falhas e verificar a qualidade das mesmas. Como conclusão desta etapa, não foi identificado a presença de distorções ou de demais falhas nas fotografias.

Passados esta primeira fase de análise, foi iniciado o processamento das fotografias, importando-as primeiramente para o *software Agisoft Photoscan*. Todo processo segue conforme as seguintes etapas:

- 1ª Etapa: Calibração automática da câmera e inserção das coordenadas dos pontos de controle corrigidos e transformação das coordenadas Longitudinais e latitudinais das fotografias para UTM, realizadas pelo próprio *Agisoft Photoscan*.
- 2ª Etapa: Realização do alinhamento das fotografias. Neste processo foi gerada uma nuvem de pontos espaçada (*Tie Points*). Esta etapa serve apenas como pré-processamento da nuvem de pontos densa, indicando os pontos mais em comuns das aerofotografias (Figura 20).

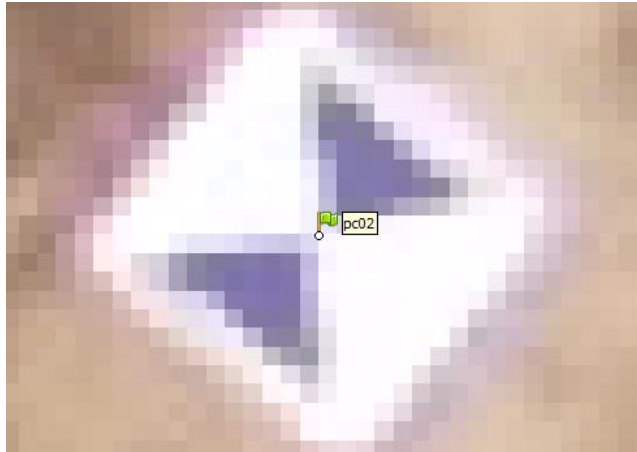
Figura 20 – Nuvem de pontos espaçadas



Fonte: Autor, 2018.

- 3ª Etapa: As coordenadas dos pontos de controle (representadas pela bandeira verde) são ajustadas para que estas fiquem no centro do alvo artificial como mostra a Figura 21.

Figura 21 – Centralização dos pontos de controle



Fonte: Autor, 2018.

- 4ª Etapa: É gerado uma nuvem densa de pontos (*Dense Cloud*), onde é possível visualizar uma melhor representação do terreno, como ilustrado na Figura 22. Nesta etapa do processo é também realizado os ajustes de superfície das coordenadas dos pontos de controle.

Figura 22 – Nuvem de pontos densa



Fonte: Autor, 2018.

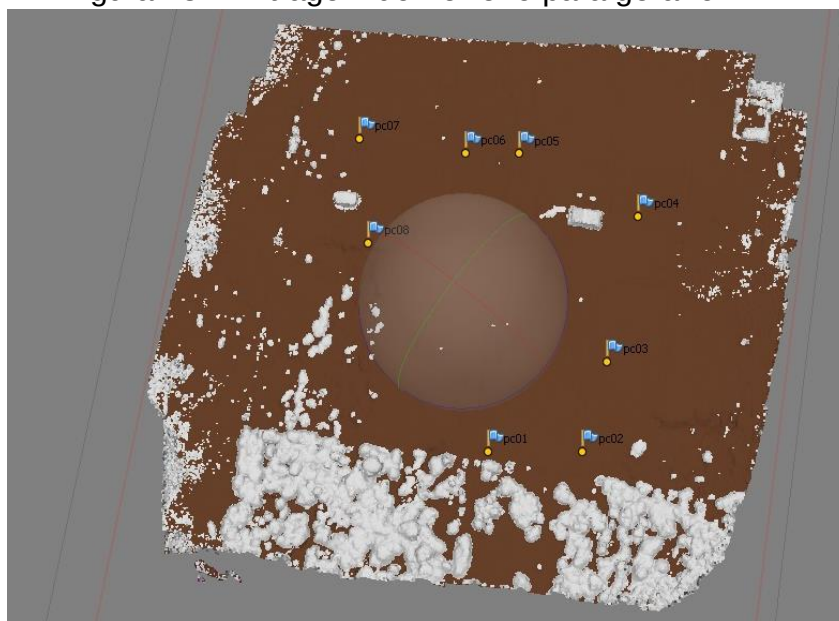
- 5ª Etapa: Construção de modelo ou malha do terreno, definida como sendo uma rede de triângulos irregulares (TIN). Esta etapa é essencial para a geração do modelo digital do terreno, já que os vértices dos triângulos representam os pontos da superfície da área analisada.
- 6ª Etapa: Criação da texturização do terreno, melhorando a qualidade visual da imagem.

- 7ª Etapa: Construção do Modelo Digital de Superfície (MDS), que, segundo Camargos et al. (2015), pode ser definido como sendo uma representação da superfície terrestre em que são visíveis qualquer tipo de elevação no terreno, dentre as quais pode-se destacar edifícios e vegetações (como árvores e arbustos).
- 8ª Etapa: É criado o ortomosaico, apresentado no APÊNDICE A, conhecido também como mosaico de ortofotos, que consiste, de acordo com Sato (1996), em uma projeção ortogonal da superfície analisada na qual está o resultado de um processo de correções das distorções que são resultantes da projeção cônica apresentada pela fotografia. É a partir destas correções que os objetos presentes na superfície terrestre são mostrados em suas posições verdadeiras.
- 9ª Etapa: Processo na qual foi gerado o Modelo Digital do Terreno (MDT), que pode ser definido, conforme Santos (2016), como sendo uma representação matemática da superfície do terreno. Este difere do MDS por representar a superfície terrestre sem qualquer objeto acima do terreno.

Tal modelo não foi gerado de forma automática pelo *Agisoft Photoscan*, sendo necessária a realização de uma filtragem do terreno na qual todo e qualquer objeto, tal como vegetação, automóveis ou edifícios, foram excluídos, restando apenas o terreno da região analisada. O MDT foi importante, pois a partir deste que gerou-se as curvas de nível da região analisada. Essa seleção de objetos do terreno para serem filtrados, se dá por parâmetros escolhidos pelo próprio software, mas que podem ser modificados pelo usuário caso a filtragem não esteja eficiente.

A Figura 23 mostra a filtragem realizada para a criação do MDT onde o que está representado em branco foi filtrado, enquanto a porção de coloração marrom representa realmente o terreno.

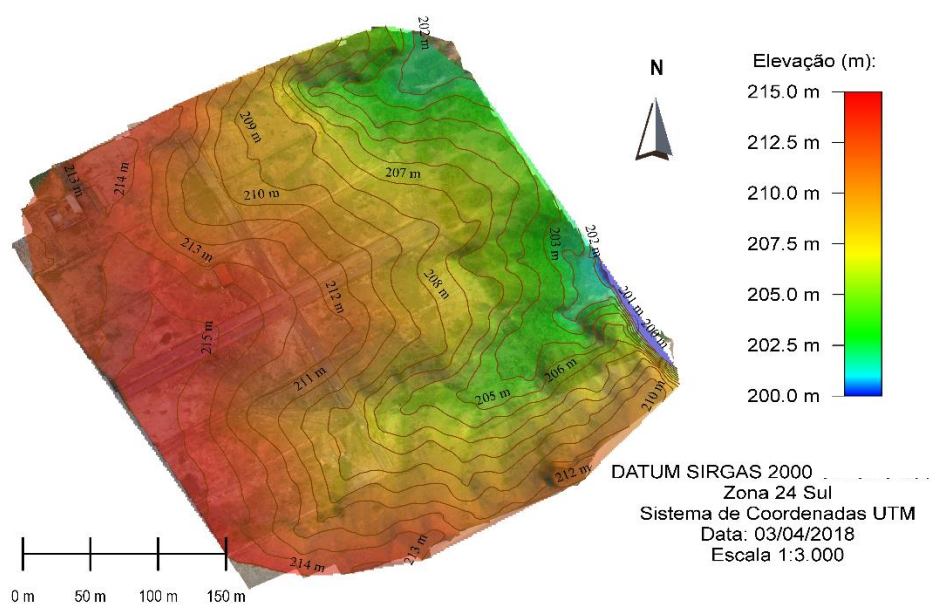
Figura 23 – Filtragem do Terreno para gerar o MDT



Fonte: Autor, 2018.

- 10ª Etapa: Por fim, a partir da filtragem realizada na etapa anteriormente citada, foi possível gerar as curvas de nível como mostrados na Figura 24, que podem ser fornecidas pelo próprio *software*.

Figura 24 – Modelo Digital de Terreno e Curva de Nível



Fonte: Autor, 2018.

Ressalta-se que, para a realização dos processos citados anteriormente, foi utilizado como parâmetro o *Datum* SIRGAS 2000 com coordenadas UTM na zona 24 do hemisfério Sul. Além disso, todos os produtos gerados foram criados em alta qualidade, o que permitiu uma melhor visualização dos produtos gerados. Na obtenção dos mapas presentes nos APÊNDICES A, B, C e D desta pesquisa foi utilizado o *software* QGIS 2.18 LTR, que é um programa gratuito e de linguagem aberta.

3.2.10. Obtenção de Medidas planimétricas

Para a obtenção de medidas planimétricas na área analisada foi utilizado um diastímetro de 5 m, como demonstrado na Figura 25, na qual os valores obtidos por estes em regiões escolhidas de forma aleatório no próprio terreno, foram utilizados para a realização da análise planimétrica que se encontra nos resultados deste estudo. A escolha deste diastímetro se deu devido a disponibilidade do mesmo para a pesquisa.

Figura 25 - Tipo de diastímetro utilizado para as medições



Fonte: Autor, 2018.

As medições foram realizadas em regiões que possuíam valores de distâncias acima de 5 m, desta forma, foi necessário fazer uma medição de cinco metros da região analisada e em seguida marcar o ponto onde a medida foi máxima (5m) para que o diastímetro possa ser mais uma vez utilizado para fazer a medição do outro espaço que faltou ser medido. Fazendo-se em seguida uma soma entre os dois valores adquiridos da mesma região obtendo a distância em metros.

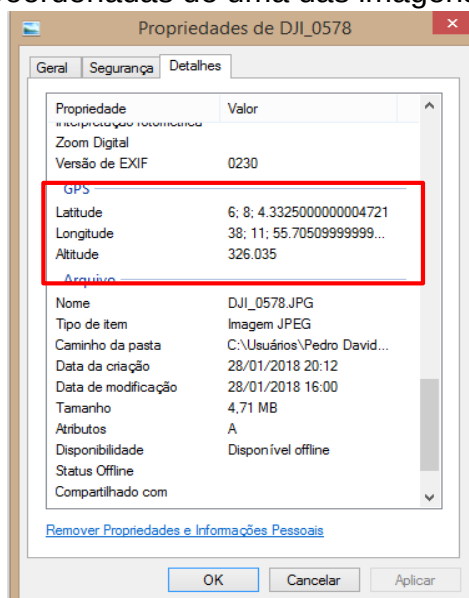
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. ANÁLISE DE COORDENADAS DE GPS

Após realizado todo o processamento das fotografias 122 obtidas no levantamento realizado, o *software Agisoft Photoscan* gerou um relatório de processamento em que disponibiliza algumas informações importantes e que são determinantes para verificação da qualidade e da precisão dos produtos, como: MDS, Ortomosaico, MDT e Curvas de nível.

Um dos dados do relatório foi a estimativa total de erro referente ao GPS que é embarcado no VANT, na qual é verificado e identificado pelo *software* a partir das coordenadas de cada imagem que é coletada pelo equipamento sem as correções que são realizadas pelos pontos de controle. A Figura 26 mostra a propriedade de uma das imagens obtidas pelo VANT, comprovando a existência das coordenadas nas imagens aéreas, assegurando assim a existência do georreferenciamento.

Figura 26 – Coordenadas de uma das imagens adquiridas no VANT

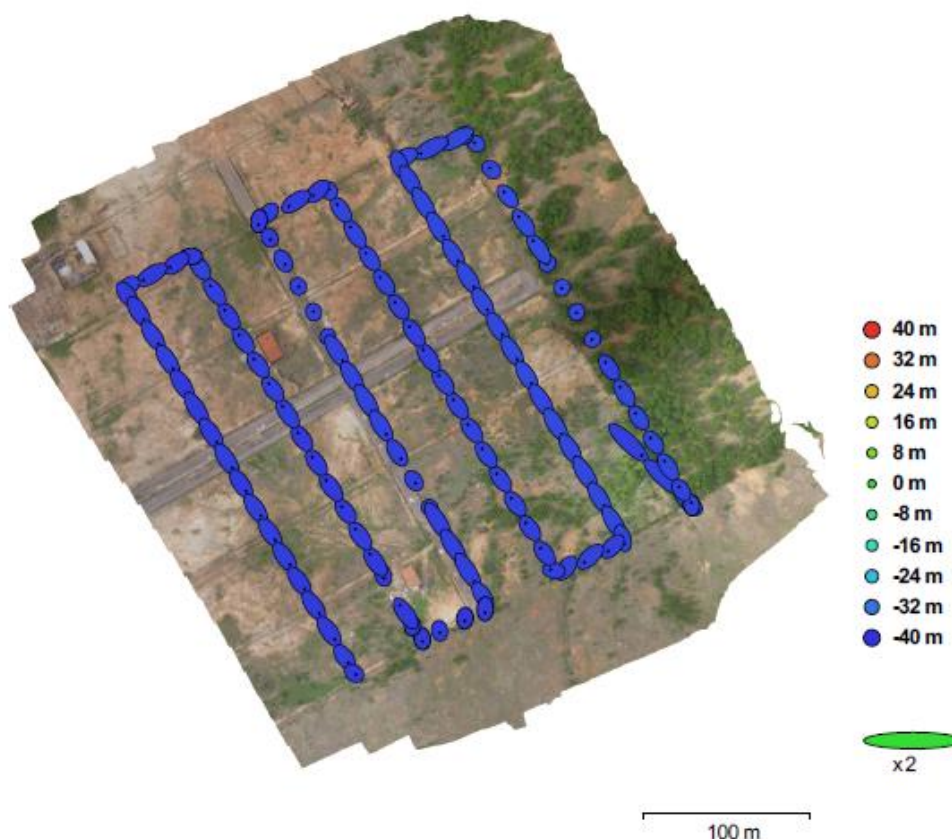


Fonte: Autor, 2018.

A Figura 27, mostra de forma esquemática os erros relativos aos deslocamentos de cada ponto ou imagem analisado pelo VANT sobre o terreno, onde a cor da região indica o erro de altitude e o seu perímetro representa a deslocabilidade do ponto real no plano XY.

Para a região analisada, verificou-se um erro de pelo menos - 40 metros abaixo da altitude real, apresentado pela região na Figura 27. É válido destacar que os pontos pretos representados são referentes aos locais estimados das câmeras.

Figura 27 – Estimação de erro planialtimétrico por ponto analisado pelo VANT



Fonte: Autor, 2018.

A estimativa total de erros médios de posição em metros das imagens, que são mostrados de forma mais detalhada na Tabela 5 e disponibilizados pelo *software* por meio do relatório, são referentes aos eixos X, Y e Z, onde pode-se verificar a baixa precisão do GPS do VANT já que os erros mostrados são muito elevados, tendo maior expressividade na cota Z.

Tabela 5 – Erro de coordenadas do VANT

Erro em X (m)	Erro em Y (m)	Erro em Z (m)	Erro em XY (m)	Total de erros (m)
2,80178	3,71884	38,4457	4,65615	38,7266

Fonte: Autor, 2018.

Tais erros apresentados não são recomendáveis para um levantamento topográfico e podem estar associados a incorreta calibração do barômetro do VANT para a realização do levantamento em questão. Desta forma, para obter maior acurácia nos produtos gerados foi necessário a utilização de pontos de controle.

Assim, após inserir os pontos de apoio no processamento, verificou-se que estes reduzem significativamente a média total de erros apresentados pelos eixos X, Y e Z, já que os erros dos pontos se apresentam na ordem de centímetros. Nesse sentido, a Tabela 6 mostra o erro médio quadrático total apresentado pelos eixos em relação aos 8 pontos de controle verificados no terreno.

Tabela 6 – RMSE dos pontos de controle

Erro em X (cm)	Erro em Y (cm)	Erro em Z (cm)	Erro em XY (cm)	Total de erros (cm)	Imagem (pix)
3,40014	4,08731	3,08511	5,31668	5,14695	0,305

Fonte: Autor, 2018.

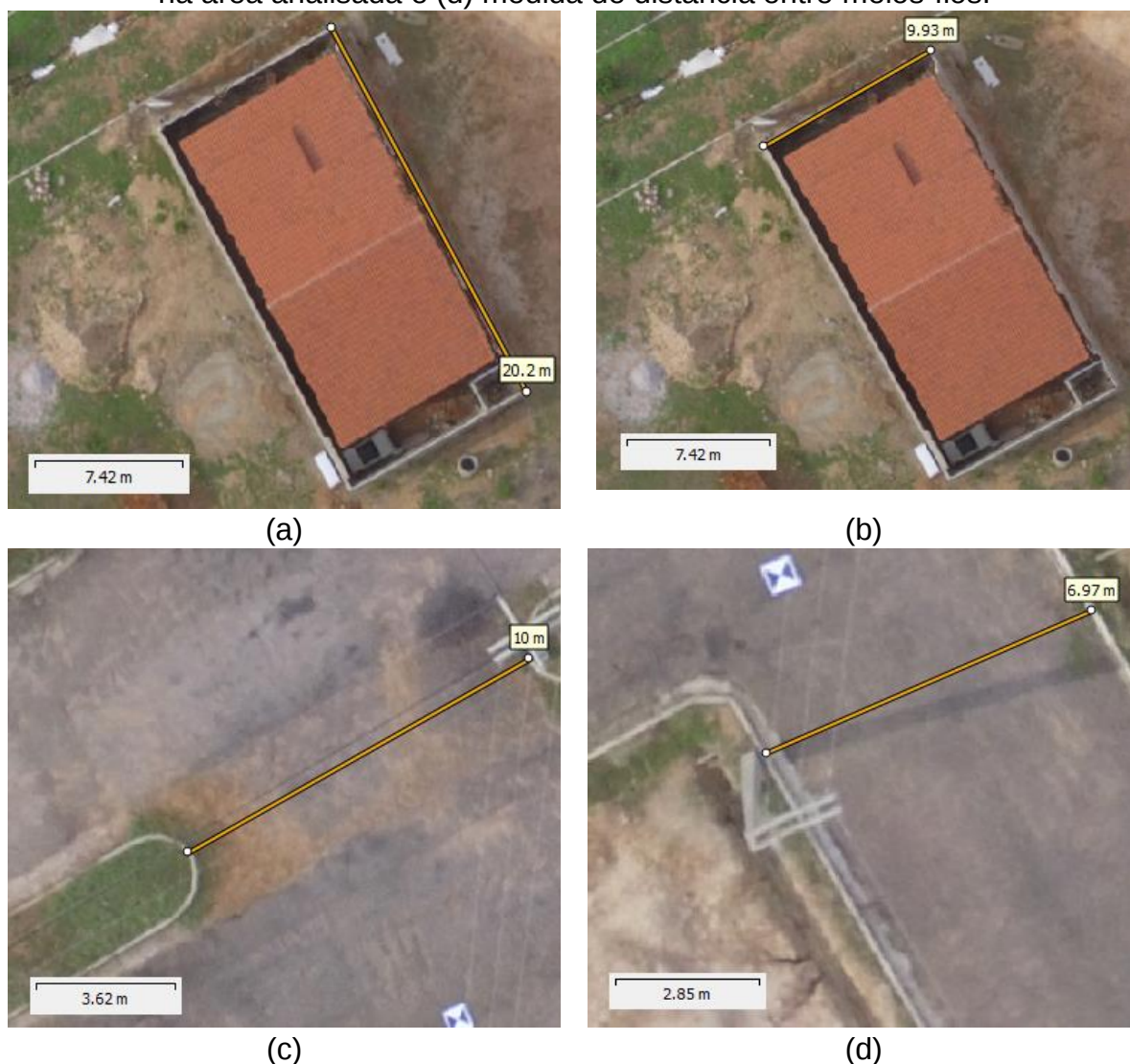
Destaca-se, portanto, que a utilização de pontos de controle para o levantamento é imprescindível, já que este diminui de forma drástica os erros médios em cada eixo, o que confere ao produto final uma maior confiabilidade, visto que o GPS do VANT é de baixa precisão.

Em estudos realizados por Alexandre et al. (2017), ao comparar os erros encontrados com e sem pontos de controle, obtiveram um erro médio total de deslocamento de 5,87 e 1,87 metros sem e com a utilização dos referidos pontos, respectivamente; evidenciando assim a necessidade de corrigir as coordenadas obtidas pelo VANT.

4.2. ANÁLISE PLANIMÉTRICA

Para a verificação da precisão em relação a planimetria, foram tomadas regiões no terreno que se encontram representadas na Figura 28, na qual coletou-se medidas de distâncias para verificar a precisão do produto gerado por meio de um comparativo entre as medições obtidas *in loco* com as realizadas diretamente do ortomosaico do APÊNDICE A.

Figura 28 – (a) medida lateral da edificação, (b) medida frontal da edificação, (c) medida de distância em passagem de canteiro central da avenida que se encontra na área analisada e (d) medida de distância entre meios-fios.



Fonte: Autor, 2018.

Com base nos dados obtidos nas medições apresentadas na Figura 28 e nas medições *in loco*, calculou-se o erro total a partir da diferença linear entre elas, bem como o desvio padrão desse valor em torno da média geral do erro. A Tabela 7 mostra esta relação de medidas, bem como o erro verificado quando comparadas.

Tabela 7 – Relação de medidas entre as regiões analisadas

Região analisada	Caracterização da região	Medição feita na região (m)	Medição feita no produto gerado (m)	Erro (diferença) (m)	Desvio Padrão (m)
(a)	Comprimento Lateral da edificação	20,25	20,20	0,05	0,036

(b)	Comprimento frontal da edificação	10,07	9,93	0,14	0,098
(c)	Comprimento de passagem em canteiro central	9,98	10,00	- 0,02	0,014
(d)	Comprimento entre meio-fio	7,00	6,97	0,03	0,022
GERAL	-	47,30	47,10	0,20	0,17

Fonte: Autor, 2018.

É notória a qualidade e precisão encontrada no produto gerado, visto que os erros obtidos nas medidas do ortomosaico foram muito baixos que os encontrados no GPS do VANT, evidenciando mais uma vez a importância da utilização dos pontos de controle na diminuição dos erros para viabilizar o uso da fotogrametria digital.

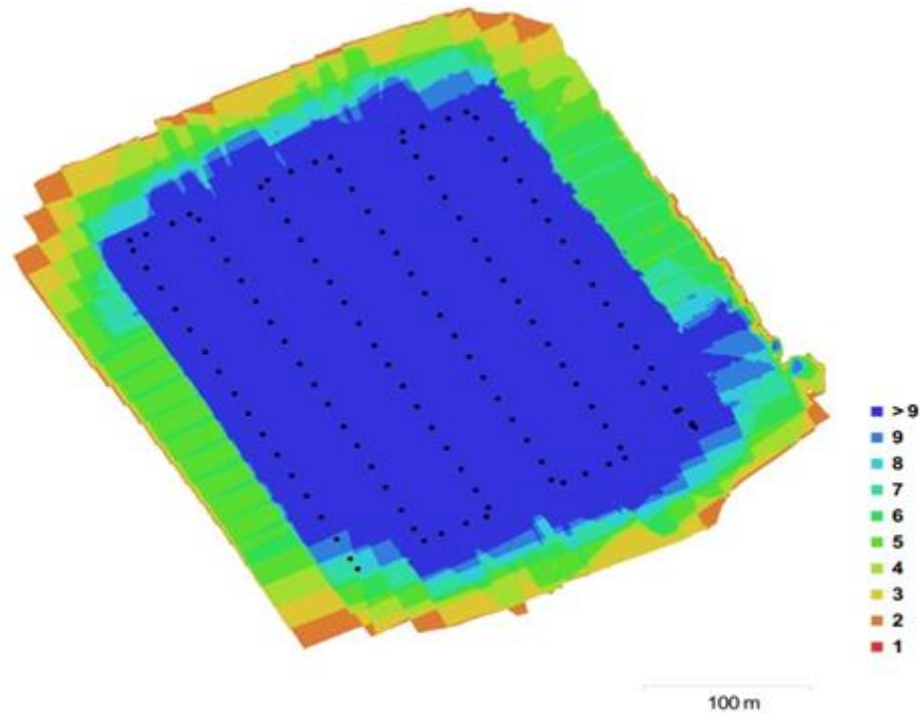
Pode-se ainda explicar a diferença entre os dados obtidos a partir da fotogrametria com as medidas *in loco* atribuindo os erros encontrados às imprecisões nas medições de campo com o diastímetro, tal como o seu mau ajustamento; erros de catenária, que está relacionado ao próprio peso da régua; e erros de posicionamento exato das réguas virtuais utilizadas nas medidas do ortomosaico.

Um estudo semelhante a este foi realizado por Ataíde (2016), em que o mesmo utilizou uma abordagem de verificação de distâncias no terreno e no ortomosaico, obtendo diferenças (entre os dois tipos de medições realizadas) que variaram entre 0,03 m até -0,27 m; resultados semelhantes a este trabalho e que conferem um bom nível de confiança ao produto gerado.

4.3. ANÁLISE DE QUALIDADE DO ORTOMOSAICO

O ortomosaico apresentado no APÊNDICE A, com resolução espacial de 3,2 cm/pix, mostrou-se com um ótimo nível de qualidade, sobretudo nas regiões centrais da imagem no terreno onde a sobreposição que foi estabelecida desde o plano de voo foi maior, chegando a mais de 9 imagens por ponto analisado pelo VANT, assim como mostra a Figura 29 pela cor azul escuro.

Figura 29 - Sobreposição e densidade de imagens obtidas pelo VANT na área de estudo



Fonte: Autor, 2018.

Já nas regiões mais afastadas do centro, ou seja, próximo as bordas do ortomosaico, percebe-se o aparecimento de distorções, como mostrado na Figura 30. Estas são referentes a pouca sobreposição de imagens nessas localidades, sendo 3, 2, ou de apenas 1 fotografia por ponto.

Figura 30 - Distorções devido à pouca sobreposição



Fonte: Autor, 2018.

Conforme Cassemiro e Pinto (2014), que realizaram a mesma metodologia de avaliação dos mosaicos de ortofoto, verificou-se também a presença de distorções, que eram provocadas por problemas de emendas nas fotografias, sendo estas causadas pela baixa sobreposição de imagens no ponto analisado pelo VANT utilizado na pesquisa.

Ainda de acordo com os mesmos, para melhorar esse nível de sobreposição e a consequente distorção das imagens, é necessário a elevação da altitude de voo do VANT para que seja possível aumentar a sobreposição e captação de imagens aéreas na área analisada.

Desta forma, para garantir uma boa qualidade do mosaico e nos demais produtos gerados pelo processamento das imagens aéreas obtidas é necessário que o nível de sobreposição seja alto, de forma a permitir um número satisfatório de imagens por área analisada pelo VANT na região do levantamento em que se quer analisar. Outra solução que também pode ser utilizada para evitar tais problemas seria considerar uma área maior da qual se quer analisar, de modo que, após o processamento com o auxílio do relatório seja recortado as regiões que tiveram menor sobreposição, restando assim pontos com maiores números de imagens sobrepostas.

4.4. ANÁLISE ALTIMÉTRICA

A importância em se obter curvas de níveis que representem o relevo do terreno na forma mais real possível diz respeito a sua utilização no planejamento em projetos de engenharia, irrigação, terraceamento (técnica agrícola), etc, a fim de garantir sucesso na execução em campo do projeto com o menor erro possível. Desta forma, destaca-se que a análise de tais curvas de nível é crucial para garantir a qualidade de projetos.

Com base no mapa presente no APÊNDICE C é possível realizar uma análise do produto gerado, constatando-se as perfeitas condições em que se encontram as curvas de nível do terreno, isto é, mostrando-se bem graduadas ao passo em que ocorre variação de altitude na região analisa. O fato de se obter curvas de nível com essas características apontadas diz respeito à qualidade na filtragem do terreno realizado no processamento das imagens aéreas a partir do modelo digital de superfície em que foi possível retirar basicamente todos os objetos sólidos na superfície, como casas e vegetações que estavam acima da cota do terreno e que poderiam comprometer as informações de altitude para produção das curvas de nível.

Santos (2016) ao fazer uma avaliação das curvas de nível geradas a partir da filtragem realizada no Modelo Digital de Superfície no terreno por ele avaliado, obteve constatações diferentes das visualizadas por esta pesquisa, na qual este pôde perceber uma imprecisão na classificação dos objetos sob o terreno, sendo que ocorreu uma confusão do *software* na diferenciação da copa das árvores com o nível do solo, o que ocasionou uma superestimação da altitude do local (elevação das curvas de nível).

4.4.1. Análise de Cursos d'água no Terreno

A partir das curvas de nível obtidas e apresentadas no APÊNDICE C, foi possível a realização e visualização de algumas constatações sobre o terreno em questão que são essenciais para a realização de todo e qualquer projeto de engenharia, dentre os quais pode-se destacar a análise de cursos d'água no terreno e a identificação de possíveis regiões de drenagem de água pluviais que podem causar erosões pela ação da força da água sobre o solo exposto.

No APÊNDICE D apresenta-se o mapa de redes de drenagem do terreno de estudo, sendo esta produzida a partir das curvas de níveis que foram geradas no *Agisoft Photoscan* no processamento dos dados do VANT. Essas redes são reproduzidas no mapa como linhas azuis, como ilustrada na Figura 31, que indicam o possível percurso da água devido à gravidade quando esta escoar no terreno.

A partir das interpretações das redes de drenagem será possível instalar e dimensionar acessórios, como calhas e bocas de lobo, por exemplo, evitando o aparecimento do escoamento superficial em regiões não planejadas que poderia provocar erosão acentuada no solo do terreno.

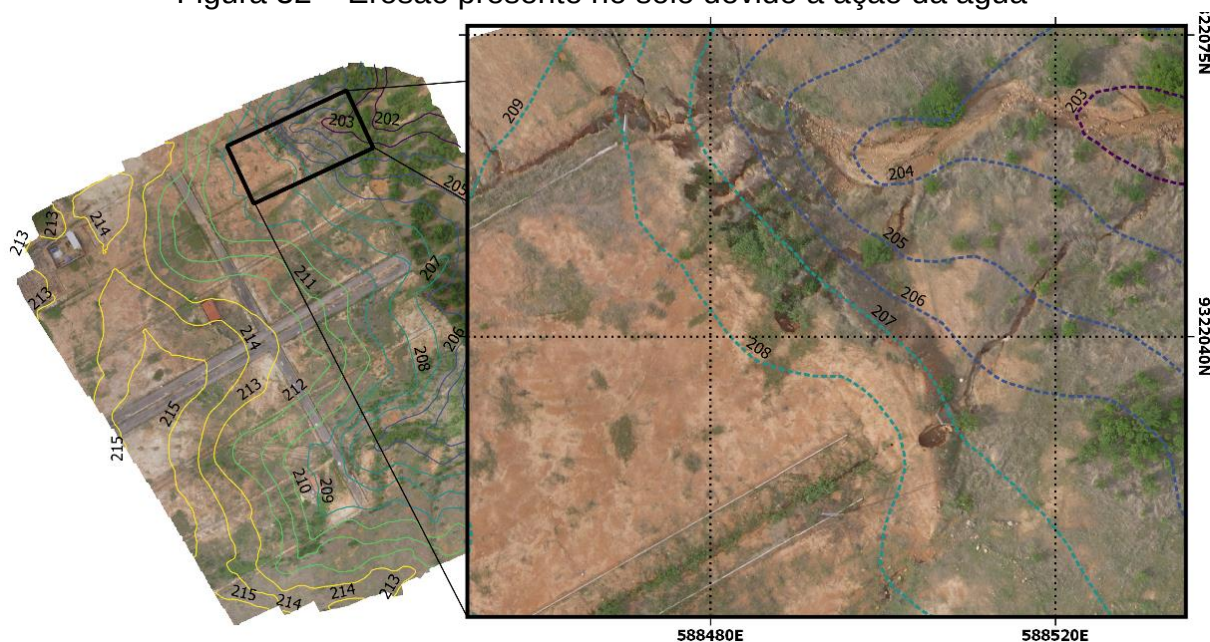
Figura 31 – Representação esquemática de uma rede de drenagem



Fonte: Autor, 2018.

Realizando um comparativo entre o caminho da rede de drenagem da Figura 31 (demonstrado em azul no mapa do APÊNDICE D) com os problemas do solo visualizados *in loco* e também verificados na Figura 32, comprova-se a abordagem relatada anteriormente, isto é, o escoamento superficial devido à chuva no terreno de análise provocou erosões tal qual a representada na ampliação da Figura 32.

Figura 32 – Erosão presente no solo devido a ação da água



Fonte: Autor, 2018.

Dessa forma, a partir da Figura 31 é evidente a ocorrência de uma intensificação das linhas das redes de drenagem com o decrescer da altitude, ou seja, nas localidades onde as curvas de nível estão mais próximas. Este fenômeno acontece exatamente na região ampliada da Figura 32, onde verifica-se um intenso processo erosivo; comprovando novamente assim a precisão no levantamento e na geração das curvas de nível produzidos a partir dos dados do VANT.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do processamento realizado pelo *software Agisoft Photoscan*, foi obtido produtos como MDS, MDT, Ortomosaico e Curvas de níveis com qualidade na precisão e resolução das imagens, bem como os mapas cartográficos que foram criados com auxílio do *software QGIS*. Dessa forma, esses produtos são essenciais para a avaliação e verificação altimétrica e planimétrica do terreno nos projetos de engenharia.

É necessário destacar ainda a importância dos pontos de controle para obtenção da precisão dos produtos gerados, pois comprova-se a partir das informações adquiridas que estes reduzem significativamente os erros dos produtos com os dados das fotografias aéreas, já que as coordenadas de GPS do VANT apresenta-se com baixa precisão visto que o erro médio total foi de 38,7266 m, enquanto dos pontos de controle foi de 5,14695 cm.

Essa perspectiva é observável a partir da análise planimétrica, onde os erros das medidas referentes as mesmas regiões analisadas tanto de forma virtual no ortomosaico, como em campo, medida feita no próprio terreno com auxílio do diastímetro, foram consideravelmente pequenos, na faixa de centímetros.

Já para a análise altimétrica, foi notória ótimas condições na qual se encontram as curvas de níveis, visto que a partir da criação de um mapa de redes de drenagem e de uma análise feita no próprio terreno pôde-se comprovar que as linhas da rede de drenagem na área analisada coincidiram com as regiões que apresentavam erosões *in loco*.

Pelos motivos supracitados, conclui-se que a utilização de imagens aéreas realizadas por VANT do tipo *Phantom 3 Advanced*, aliado ao estudo fotogramétrico digital é como uma ferramenta viável para a obtenção de dados planialtimétricos de uma determinada área em estudo.

5.1. PERSPECTIVAS FUTURAS

Para avaliar a acurácia de um produto cartográfico obtido pela fotogrametria deve-se coletar além dos pontos de controle, pontos de verificação. Este procedimento é o orientado pelo decreto Padrão de Exatidão Cartográfica Digital (PEC – Digital) de nº 89.817 de 1984 que determina a escala dos mapas a partir de uma relação que existe dos erros entre o produto final e os pontos de verificação.

Por esse motivo, estima-se em trabalhos futuros comprovar o nível de acurácia do produto gerado e classificá-lo com base nas definições da PEC – Digital como classe A, B ou C.

Por fim, todas as considerações mencionadas ao longo do presente trabalho são de fundamental importância na continuidade de pesquisas futuras, pois além de expor os resultados do autor, ainda apresenta um roteiro de processamento que pode auxiliar novos pesquisadores na temática.

REFERÊNCIAS

- AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC-E Nº 94: REQUISITOS GERAIS PARA AERONAVES NÃO TRIPULADAS DE USO CIVIL**. Brasília: Diário Oficial da União, 2017.
- AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **IS Nº 21-002: Instrução Suplementar - IS**. Brasília: Diário Oficial da União, 2012. 21 p.
- ALEXANDRE, F. S.; RAMOS, R. P. S.; DEUS, R. A. S. G.; GOMES, D. D. G. Aerofotogrametria de pequeno formato aplicada a realização da cartografia básica da cidade de Palmeirina- PE. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, [S.l.], p.5565-5572, 2017. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS - UNICAMP. <http://dx.doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2220>.
- ANTUNES, C. **Levantamentos topográficos**: Apontamentos de topografia. Engenharia Geográfica, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. Lisboa, 1995, 130p.
- ARANA, J. M.. 2004. **O uso do GPS na determinação de altitudes ortométricas**. In: VI COBRAC, Florianópolis – SC. p. 1-11.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.
- ATAÍDE, D. H. S. **Aplicação de VANT no Mapeamento do Uso e Cobertura do Solo e na Geração de Modelagem 3D da Paisagem**. 2016. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- AZAMBUJA, J. L. F. de; MATSUOKA, M. T.. Topografia e GPS: Conquistas e Desafios. In: II SEMINÁRIO ANUAL DE PESQUISAS EM GEODESIA, 2007, Rio Grande do Sul. **Anais....** p. 1 - 6.
- BASSEGIO, J.; CARAMORI, T. B. A.; SORIANE, R. R. SIG para mapeamento do uso do solo, com ênfase nas áreas de cobertura vegetal nativa e recursos hídricos, Alto Coxim, MS. In: **SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL**, 1., 2006, Campo Grande. Anais, 8 p.
- BORGES, A. C.. **Topografia**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2013.
- BORGES, A. C.. **Topografia aplicada à engenharia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2013.
- BOERY, M. N. O.. **Veículo Aéreos não Tripulados e a Segurança de Voo: Uma Análise no Contexto Internacional**. In: SEMINÁRIO DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS, 3, 2016, Florianópolis (SC). p. 1-16.
- CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B.. **COMPOSIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS AÉREAS EM ALTA RESOLUÇÃO OBTIDAS COM DRONE**. 2014. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- CAMARGOS, L. A.; SILVA, C. C.; MORAES, M. F.; PRUDENTE, C. N.. **Aplicação do Modelo Digital de Terreno (MDT) em Parte do Município de Formosa, GO**. In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2015, João Pessoa. **Anais...** p. 4559 - 4566.
- CARVALHO, E. A. de; ARAÚJO, Paulo César de. **Localização**: Coordenadas planas - UTM. Natal: Edufrn, 2008. 248 p.

CASACA, J. M.; MATOS, J. L. de; DIAS, J. M. B.. **Topografia Geral**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

CRESWELL, J. W. **Projeto de Pesquisa**. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2007.

COELHO, Luiz; BRITO, J. N. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: Eduerj, 2007. 196 p.

DEWES, E.; OLIVEIRA, F. A. de; BRISOTTO, G. S. **Levantamento Planialtimétrico Cadastro e Elaboração de Planta de Valores Genéricos do Município de Presidente Lucena / RS**. 2013. 194 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartográfica, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

FRANCO, G. B.; MARQUES, E. A. G.; CALIJURI, M. L.; GOMES, R. L.. CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA: ESTÁGIO ATUAL DO CONHECIMENTO. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p.158-172, 2010.

GOMES, T. S. Fundamentos de GPS: Conceitos, Operação e Configuração. Apostila do curso de Sig@Livre Sistêmico, Ministério da Agricultura, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.mda.gov.br/sitemda/sites/sitemda/files/user_arquivos_383/Apostila%20de%20GPS%20-%20Curso%20Sig@livre%20Sist%C3%AAmico.pdf> Acesso em: 18 de fevereiro de 2018.

GRANDO, D. L.; LAND, V.; RHODEN, A. C. Levantamento Topográfico: Estação Total X GPS RTK. In: SIMPÓSIO DE AGRONOMIA E TECNOLOGIA EM ALIMENTOS, 1, 2014?, Itapiranga. p. 1 – 5

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

JORGE, L. A. de C.; INAMASWU, R. Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, A. V. de; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 109-134.

JUNIOR, L. V.. **Topografia: Notas de Aula**. Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

LONGHITANO, G. A. **VANTS PARA SENSORIAMENTO REMOTO: APLICABILIDADE NA AVALIAÇÃO E MONITORAMENTO DE IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR ACIDENTES COM CARGAS PERIGOSAS**. 2010. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MASCHIO, A. V. **A ESTEREOSCOPIA: INVESTIGAÇÃO DE PROCESSOS DE AQUISIÇÃO, EDIÇÃO E EXIBIÇÃO DE IMAGENS ESTEREOSCÓPICAS EM MOVIMENTO**. 2008. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenho Industrial, Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru, 2008.

MENEZES, P. M. L. de; FERNANDES, M. C.. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

PEGORARO, A. J.; GUBIANI, J. S.; PHILIPS, J. W. Veículo Aéreo não Tripulado: Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública. In: Simpósio Argentino de Informática y Derecho, SID, Argentina. 2013. p. 176-187.

REDWEIK, P. - **Fotogrametria Aérea**, Departamento de Engenharia Geográfica e Energia da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2007. Disponível em < https://www.researchgate.net/publication/268329721_FOTOGRAMETRIA_AEREA> . Acesso em: 20 de março de 2018.

RUBIRA, F. G.; MELO, G. V. de; FONSECA, G. A importância dos sistemas geodésicos de referência no cadastramento rural. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Maringá, v. 20, n. 2, p.147-162, 14 set. 2016. Universidade Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2236499419895>.

SANTOS, L. F. B. dos. **Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de VANT em planícies pantaneiras**. 2016. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

SANTOS, A. C. **Análise de Riscos em Levantamentos Topográficos e Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 1996. Disponível em: < <http://gbcengenharia.com.br/blog/analise-de-riscos-em-levantamentos-topograficos-e-georreferenciamento-de-imoveis-rurais/>>. Acesso em: 11 dez. 2017.

SATO, S. S. **Aplicação e Análise da Ortofoto Digital na Definição de Limites de Propriedade Imobiliárias**. 1996. 240 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

SANTOS FILHO, J. C.; BALTAZAR, A. P.; PERONTI, R.; COSTA, M. B.; COSME, V.. **Princípios Teóricos da Estereoscopia**. Escola de Arquitetura da UFMG. Minas Gerais, 2008.

SILVA, C. A. da. **Avaliação da Acurácia dos Ortomosaicos e Modelos Digitais do Terreno Gerados por VANT e sua Aplicação no Cálculo de Volume de Pilhas de Rejeito da Pedra Cariri**. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Departamento de Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SILVA, J. F. da; ASSIS, H. Y. E. G.; BRITO, A. V.; ALMEIDA, N. V.. VANT como ferramenta auxiliar na análise da cobertura e uso da terra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10., 2015, Ponta Grossa. p. 1 - 10.

SILVA, D. C. da; COSTA, G. C. Aerofotogrametria em Projetos de Estradas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIA GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. p. 1-12.

SILVA NETO, Manoel. **Modelos 3D: Como são gerados através dos drones?** 2017. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/modelos-3d-como-sao-gerados/>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

SILVA NETO, Manoel. **Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com Drone?** 2015. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quando-utilizar-no-mapeamento-aereo-com-drone-2/>>. Acesso em: 3 mar. 2018.

SOUZA, G. C. de. **Análise de metodologia no levantamento de dados espaciais para cadastro urbano**. 2001. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SOUZA, G.. **Análise da Viabilidade do Uso de VANT para Mapeamento Topográfico e de Cobertura e Uso da Terra**. 2015. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartográfica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Porto Alegre, 2015.

TESTONI, A. J.; BACKES, F. A. A. L. A importância da topografia na recuperação de áreas degradadas. **Revista Ágora** (UNC), v. 16, p. 1-11, 2009.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica - Introdução**. p.1-14. 2009.

TOMOYOSE, A. N.; SANCHES, Silvio R. R.; TORI, Romero. **Integração da Estereoscópica à Mecânica dos Jogos**. In: VIII BRAZILLIAN SYMPOSIUM AND DIGITAL ENTERTAINMENT, 2009, Rio de Janeiro. p.1 – 8.

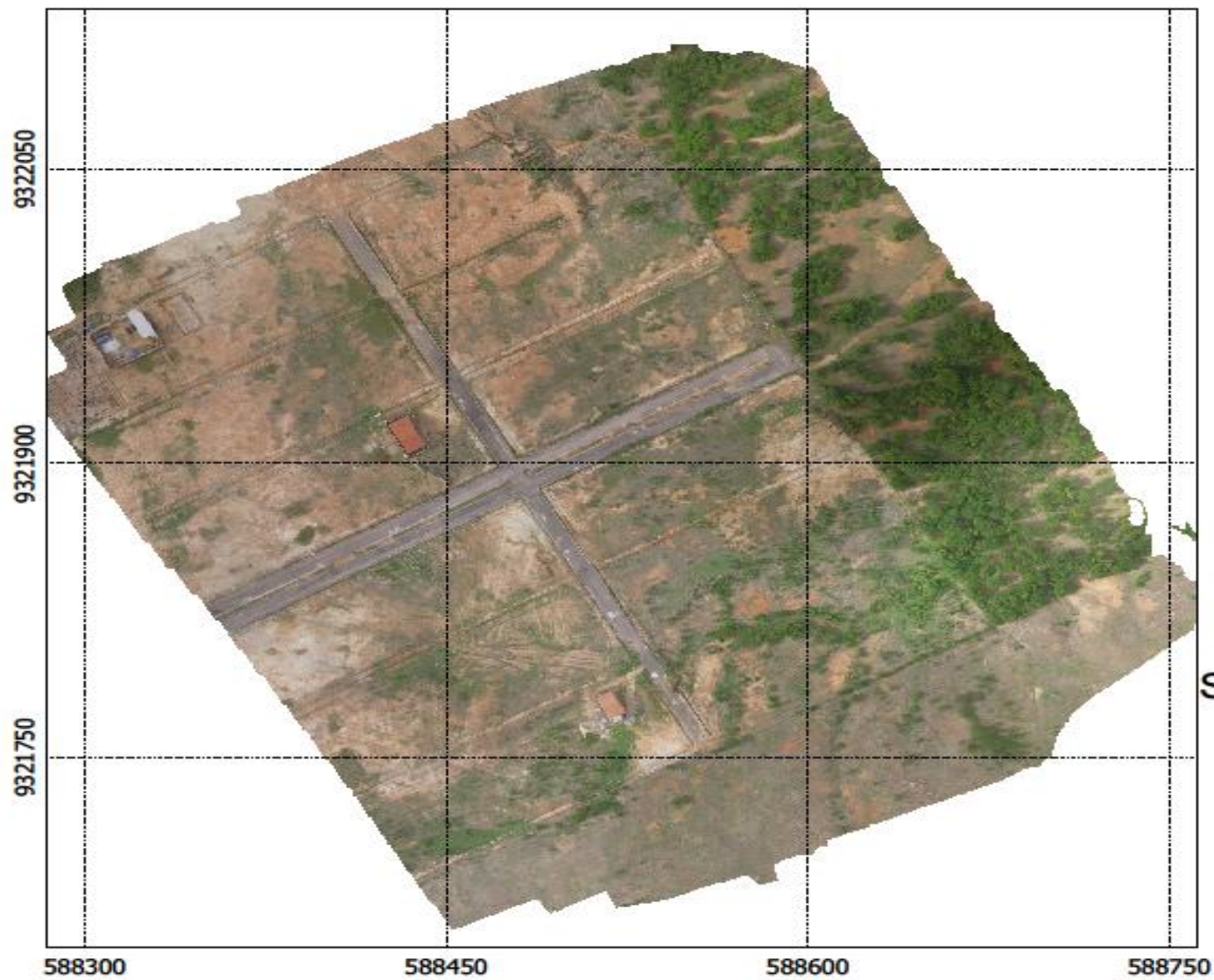
TULER, M.; SARAIVA, S. **Fundamentos de Geodesia e Cartografia**. Porto Alegre: Bookman, 2016. 242 p. Disponível em: <
<https://books.google.com.br/books?id=x6bHCgAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Fundamentos+da+Geod%C3%A9sia+e+Cartografia&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjiw6sGltJbaAhWEF5AKHfrC4EQ6AEIKDAA#v=onepage&q=Fundamentos%20da%20Geod%C3%A9sia%20e%20Cartografia&f=false>>. Acesso em: 01 mar. 2018.

VENTURINI, A. B. **Imagens de veículos aéreos não tripulados aplicados para dimensionamento de redes de macrodrenagem pluvial**. 2015. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VIDAL, A. M. F. **Extração e avaliação de geo-informações pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados**. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Geográfica, Departamento de Geociência, Faculdade de Ciências Universidade do Porto, Portugal, 2013.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L.. **FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFIA**. Paraná, 2012. 288 p. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura Universidade Federal do Paraná.

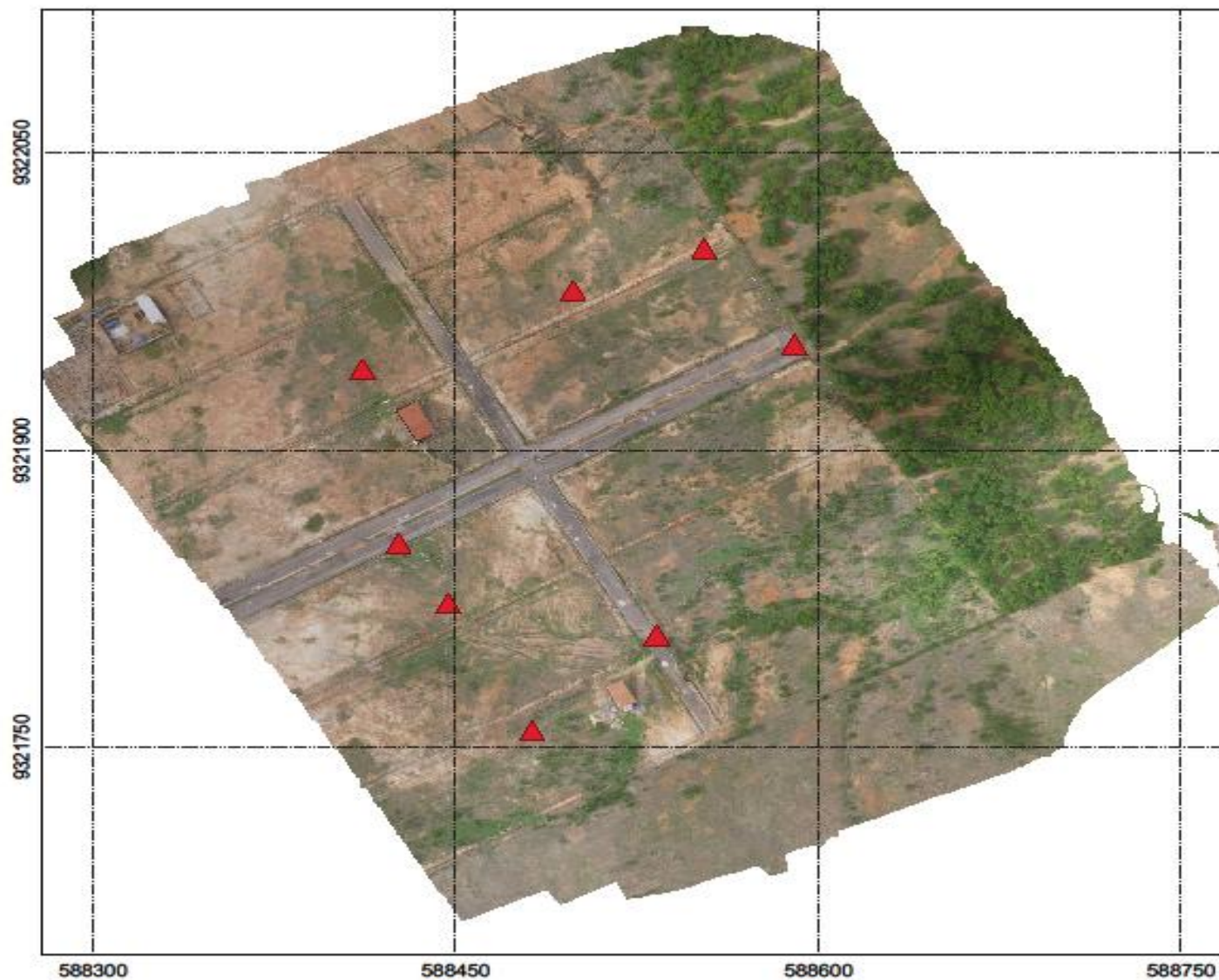
APÊNDICE A – Mosaico de Ortofoto



DATUM SIRGAS 2000
Zona 24 Sul
Sistema de Coordenadas UTM
Data: 08/04/2018
Escala 1:2500



APÊNDICE B – Pontos de Controle do Terreno Analisado



Legenda:

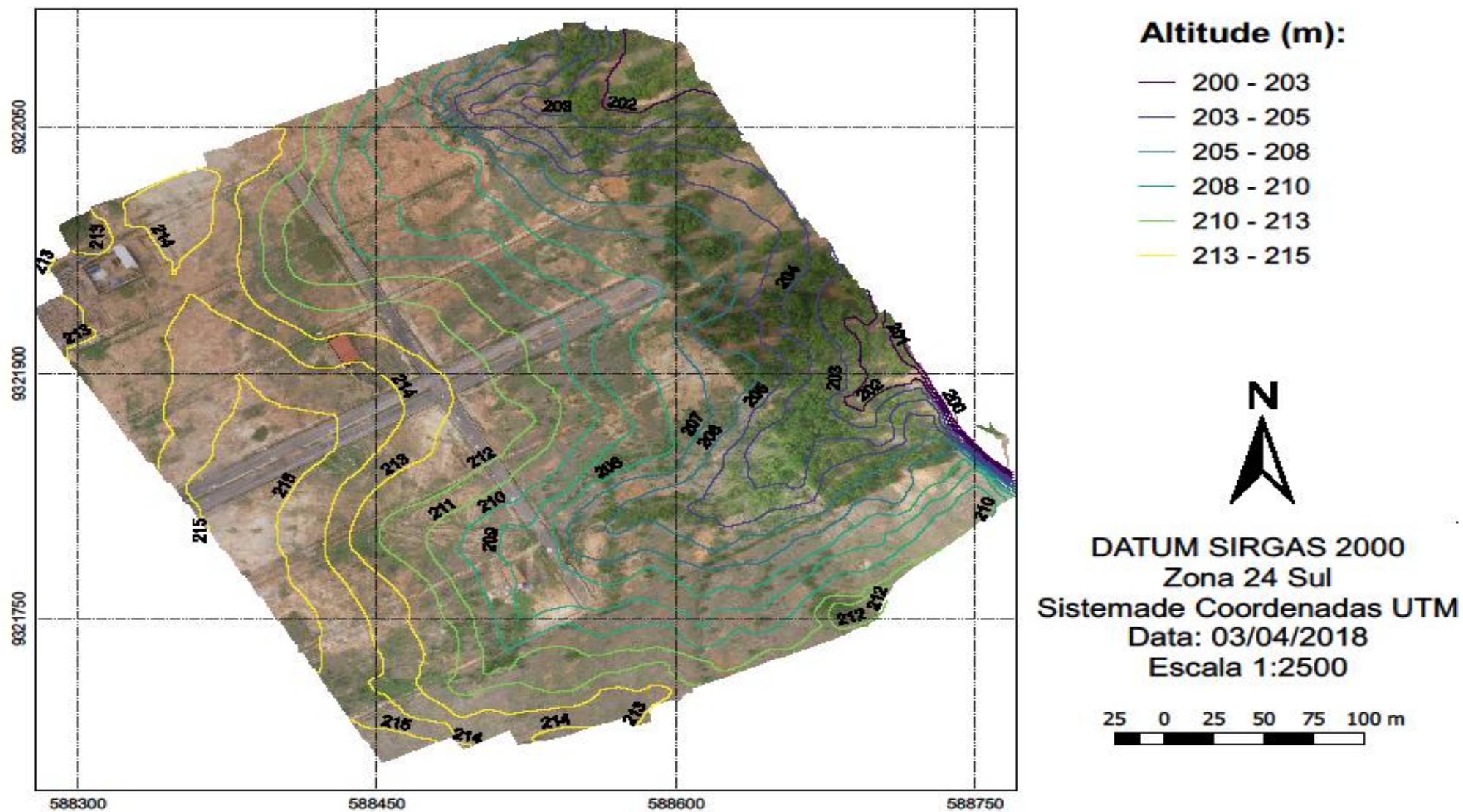
▲ Pontos de Apoio



DATUM SIRGAS 2000
Zona 24 Sul
Sistemade Coordenadas UTM
Data: 03/04/2018
Escala 1:2500



APÊNDICE C – Curvas de Nível Obtidas do Terreno



APÊNDICE D – Redes de Drenagem do Terreno Analisado

