



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PEDRO DAVID RODRIGUES LIMA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AERÉOS
NÃO TRIPULADOS NA ELABORAÇÃO DE TRAÇADO DE RODOVIAS**

PAU DOS FERROS/RN

2020

PEDRO DAVID RODRIGUES LIMA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AERÉOS
NÃO TRIPULADOS NA ELABORAÇÃO DE TRAÇADO DE RODOVIAS**

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

Orientador: Prof. Me. Marília Cavalcanti Santiago

PAU DOS FERROS/RN

2020

©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)

L732 Lima, Pedro David Rodrigues.
ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE
VEICULOS AEREOS NÃO TRIPULADOS NA ELABORAÇÃO DE
TRAÇADO DE RODOVIAS / Pedro David Rodrigues Lima.
- 2020.
59 f. : il.

Orientadora: Marília Cavalcanti Santiago.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2020.

1. Ortomosaico. 2. Veiculos Aereos Não
Tripulados. 3. Curva de Nível. 4. Redes de
Drenagem. 5. Padrão de Exatidão Cartografico. I.
Santiago, Marília Cavalcanti , 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

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AERÉOS
NÃO TRIPULADOS NA ELABORAÇÃO DE TRAÇADO DE RODOVIAS**

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

APROVADA EM: 29 / 01 / 2020

BANCA EXAMINADORA

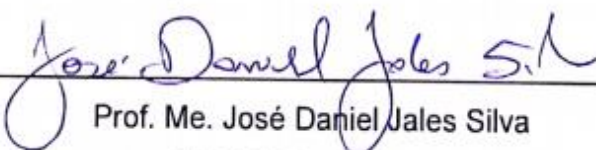


Prof. Me. Marília Cavalcanti Santiago

PRESIDENTE



Prof. Dr. Almir Mariano de Sousa Junior
PRIMEIRO MEMBRO



Prof. Me. José Daniel Jales Silva
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 têm 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 minha orientadora, Prof^a Marília C. Santiago, que foi a grande idealizadora 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 núcleo de extensão e pesquisa acesso à terra urbanizada, na pessoa do nosso coordenador Prof. Dr. Almir Mariano de Sousa Junior, por todo o apoio prestado na pesquisa e aos ensinamentos colhidos nesses quase dois anos de projeto.

A todos meus grandes amigos que sempre estão ao meu lado me apoiando e incentivando, os agradeço em nome de: Edvar Junior, Álvaro Felipe, Thallysmara Moura, Cayo Ravel, Otiniel Silva, Brigido Conrado, Mirelly Anny, Bruna Dantas, Victor Ezequiel, Waleskha Benevenuto, Lorena Livia, Simone Gameleira, Isis Costa.

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

RESUMO

Nos últimos anos é cada vez mais notório a vontade do homem em buscar novas tecnologias que facilitem a obtenção de dados com maior rapidez, precisão e economia, de modo a agrupar um grande volume de informações e ao mesmo tempo tomar decisões de forma rápida. A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), aliado as práticas e estudos aerofotogramétricos é uma destas tecnologias, sendo a mais crescente nos últimos anos, principalmente na Engenharia, onde este é utilizado na aquisição de dados essenciais na elaboração de diversos projetos, proporcionando ao consumidor economia e rapidez. Uma das aplicações relacionados ao uso de VANT na engenharia está na obtenção de dados planialtimétricos, sendo esta informação muito utilizada pela topografia e essencial na elaboração de projetos de rodovia, como é o caso da definição do traçado da mesma. Sendo assim, a presente pesquisa tem como objetivo realizar o traçado de uma rodovia por meio das curvas de níveis e demais produtos obtidos a partir do processamento das imagens aéreas adquiridas por VANT com sistema RTK, sendo este traçado definido com auxílio do *software AutoCad Civil 3D*, sendo realizado um comparativo de tempo de aquisição dos dados entre o método citado anteriormente com o método da topografia tradicional utilizando receptores GNSS com sistema RTK. A partir do processamento das imagens pode-se obter produtos como Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital de Elevação (MDE), Ortomosaico, Curvas de Nível, bem como o traçado da rodovia, sendo todos esses produtos classificados conforme o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) em classe A, significando que o produto possui precisão e pode ser utilizado para se obter dados confiáveis. Por fim, pode-se comprovar que o VANT aliado a aerofotogrametria é uma alternativa viável para a realização de traçado de rodovia.

PALAVRAS-CHAVE: Ortomosaico, Veiculos Aereos Não Tripulados, Curva de Nível, Redes de Drenagem, Padrão de Exatidão Cartografico.

ABSTRACT

In recent years, the desire of man to search for new technologies that facilitate the obtaining of data with greater speed, precision and economy, in order to gather a large volume of information and at the same time make decisions quickly, has become more and more evident. The use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV), combined with aerophotogrammetric practices and studies is one of these technologies, being the most increasing in recent years, mainly in Engineering, where it is used in the acquisition of essential data in the elaboration of several projects, providing economy and speed to the consumer. One of the applications related to the use of UAV in engineering is in obtaining planialtimetric data, this information being widely used by topography and essential in the elaboration of highway projects, as is the case of defining its layout. Therefore, the present research aims to trace a highway through the level curves and other products obtained from the processing of aerial images acquired by UAV with RTK system, this path being defined with the aid of the AutoCad Civil 3D software, comparing the time of data acquisition between the aforementioned method and the traditional topography method using GNSS receivers with RTK system. From image processing, products such as Digital Surface Model (MDS), Digital Elevation Model (MDE), Orthomosaic, Contour Lines, as well as the road layout can be obtained, all of which are classified according to the Cartographic accuracy (PEC) in class A, meaning that the product is accurate and can be used to obtain reliable data. Finally, it can be proved that UAV combined with aerophotogrammetry is a viable alternative for the realization of highway layout.

KEYWORDS: Orthomosaic, Unmanned Aerial Vehicles, Contour Line, Drainage Networks, Cartographic Accuracy Standard.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Resumo das etapas da fotogrametria e seus principais elementos	15
Figura 2 - Distintas aplicações de VANTs	17
Figura 3 - VANT de asa fixa e multirrotor	19
Figura 4 - Divisões e subdivisões da topografia	19
Figura 5 – Processo de obtenção de curvas de nível	20
Figura 6 - (A) Pirâmide que será representada; (B) representação planimétrica; (C) representação altimétrica; (D) representação planialtimétrica.	21
Figura 7 - Equipamentos utilizados no levantamento topográfico	22
Figura 8 – Funcionamento do sistema de levantamento em tempo real (RTK)	23
Figura 9 - Plano Orbital e Constelação de satélites do sistema GPS	24
Figura 10 - Mapa de localização do município de Pau dos Ferros e do local onde se realizará a pesquisa	31
Figura 11 - VANT RTK utilizado na pesquisa	32
Figura 12 - Equipamento de sistema RTK utilizado	32
Figura 13 - Classificação da nuvem de pontos	34
Figura 14 - Pontos coletados no terreno com RTK	35
Figura 15 - Interface do software AutoCad Civil 3D	36
Figura 16 - Fluxograma de utilização da PEC	37
Figura 17 - Distribuição dos pontos de verificação	40
Figura 18 - RMSE dos pontos de verificação	43
Figura 19 - Curvas de Nível da região analisada	43
Figura 20 - Traçado da Rodovia	44
Figura 21 - Detalhe do estaqueamento apresentado no traçado	45
Figura 22 - Curvas de nível obtidas com GNSS RTK	45
Figura 23 - Traçado obtido com as curvas de níveis do GNSS RTK	46
Figura 24 - MDE adquirido com as imagens aéreas de VANT	48
Figura 25 - Mapa de redes de drenagem	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros utilizados para o Voo	33
Tabela 2 - Erro padrão planimétrico e altimétrico	38
Tabela 3 - Discrepância, média, variância, desvio padrão e erro padrão dos pontos de verificação.	41
Tabela 4 - Análise de tendência para as coordenadas indicadas	41
Tabela 5 - DP e EP para planimetria	42
Tabela 6 - DP e EP para altimetria	42
Tabela 7 - Análise do Qui-Quadrado	42
Tabela 8 - Comparativo entre o tempo levantamento e processamento dos métodos	47

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil
CNT – Confederação Nacional de Transportes
DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
GPS – Global Positioning System
GNSS - Global Navigation Satellite System
IRNSS – Indian Regional Navigational Satellite
MDE – Modelo Digital de Elevação
MDT – Modelo Digital de Terreno
MDS – Modelo Digital de Superfície
PEC – Padrão de Exatidão Cartográfico
QZSS – Quase-Zenith Satellite System
RTK – Real Time Kinematic
RMSE – Root Mean Square Error
UTM – Universal Transversa de Mercator
VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Geral	13
1.1.2. Específicos	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1. FOTOGRAMETRIA E AEROFOTOGRAMETRIA	14
2.1.1. Fotogrametria	14
2.1.2. Definições	15
2.2. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO - VANT	16
2.2.1. Conceito	16
2.2.2. Principais Modelos de VANTs	18
2.2.3. Levantamento Topográfico	19
2.3. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE (GNSS)	23
2.4. RODOVIAS E SUA IMPORTANCIA NO CONTEXTO NACIONAL	25
2.4.1. Projeto geométrico de uma rodovia	26
3. METODOLOGIA	30
3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	30
3.2. ÁREA DE ESTUDO	31
3.3. MATERIAIS UTILIZADOS	31
3.4. PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA OBTENÇÃO DOS DADOS	33
3.4.1. Planejamento de Voo e Levantamento aéreo	33
3.4.2. Processamento das imagens	33
3.4.3. Levantamento Topográfico com Sistema RTK	34
3.4.4. Gerando os Resultados	35
4. RESULTADOS	40
4.1. ANÁLISE DE PRECISÃO E ACURÁCIA PLANIALTIMÉTRICA DO ORTOMOSAICO	40
4.2. TRAÇADO DE RODOVIAS UTILIZANDO ORTOMOSAICO	43
4.3. TRAÇADO DE RODOVIA UTILIZANDO SISTEMA RTK	45
4.4. ANÁLISE DE DRENAGEM DA REGIÃO	47
5. CONCLUSÃO	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
APÊNDICE A	56
APÊNDICE B	57
APÊNDICE C	58
APÊNDICE D	59

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da superfície terrestre e seu relevo é um importante ponto para diversos segmentos da sociedade, isto porque, é através desta superfície que todas as atividades humanas acontecem (LILLESAND, KIEFER e CHIPMAN, 2007), sendo de fundamental importância seu estudo.

Para se obter as informações necessárias sobre a superfície terrestre e seus elementos durante as grandes expedições de navegação, o homem por muitos anos se utilizava de desenhos realizados à mão, com o intuito de traçar rotas e descrever o que via, detalhando informações importantes, tais como relevo, vegetação.

Com o passar dos anos e o desenvolvimento de novas tecnologias, as técnicas de mapeamento terrestre passaram por diversas mudanças com a incorporação de técnicas e ferramentas mais avançadas, tornando-se fundamental para os seres humanos de modo a fazer com que estes tenham pleno conhecimento da superfície terrestre sendo destaque dentro deste contexto o levantamento topográfico.

De acordo com Testoni e Backes (2009), o levantamento topográfico é uma das técnicas mais utilizadas para a obtenção de dados planialtimétricos de uma região. Esta ferramenta permite que, a partir de equipamentos como estação total e sistema GNSS (Sistema de Navegação Global por Satélite) RTK, se conheça detalhadamente uma determinada área da superfície terrestre, sendo estas informações transmitidas por meio de uma carta ou planta topográfica que será utilizada na elaboração de projetos de engenharia civil.

Como exemplo, pode-se citar a utilização destes levantamentos topográficos na engenharia na elaboração do traçado de rodovias, cujos dados adquiridos fornecem ao cliente, um menor custo e um traçado que ofereça segurança e agilidade ao transporte de carga e pessoas.

De acordo com Lee (2010), as informações planialtimétricas podem ser adquiridas a partir de técnicas tradicionais de levantamento terrestre ou a partir de aerolevantamentos. O aerolevantamento é um processo que vem se intensificando nos últimos anos principalmente com a popularização e a facilidade do uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), visto sua vasta

aplicabilidade, destacando-se a utilização destes em levantamentos topográficos e mapeamento aéreo (LIMA, 2018).

Segunda Lima (2018), o VANT, a partir de sua tecnologia avançada, permite ao operador obter imagens aéreas a partir de uma câmera de alta resolução espacial de forma prática e rápida sem a necessidade de piloto a bordo.

De acordo com Santos (2016), a utilização de VANT nos últimos anos para o levantamento topográfico vem crescendo significativamente, principalmente devido à facilidade no manuseio do equipamento, ao acesso, agilidade e principalmente às vantagens econômicas que este pode apresentar, visto que necessita de uma quantidade menor de mão de obra para a realização dos levantamentos.

Outra vantagem apresentada em se tratando de projeto de estradas, é a grande quantidade de informações que podem ser adquiridos através destas imagens a partir da fotointerpretação, sendo estes dados essenciais nas fases preliminares do projeto de estradas e estudo de variantes, podendo-se também obter um levantamento topográfico mais rápido em áreas de grande extensão oferecendo também segurança em regiões perigosas e inacessíveis (SILVA E COSTA, 2010).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

- Avaliar a viabilidade da utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS) no processo de elaboração de um traçado de rodovias por meio de técnicas aerofotogramétricas.

1.1.2. Específicos

- Analisar a precisão altimétrica e planimétrica dos produtos gerados através das imagens aéreas de VANT por meio do padrão de exatidão cartográfico (PEC).
- Gerar a partir das curvas de nível obtidas das imagens aéreas adquiridas de VANT RTK o traçado de uma rodovia.
- Realizar um comparativo entre as técnicas topográficas tradicionais RTK e o uso de VANTS.
- Verificar a viabilidade de aquisição de redes de drenagem por meio do Modelo Digital de Elevação gerado no processamento das imagens aéreas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. FOTOGRAMETRIA E AEROFOTOGRAMETRIA

2.1.1. Fotogrametria

O surgimento dos primeiros estudos sobre a 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 Dürer criou dois dispositivos capazes de realizar desenhos de perspectivas e estereoscópicos, na qual o conceito deste último foi empregado pela primeira vez em 1726 por Kepler na elaboração de cartas topográficas (TOMMASELLI, 2009).

Segundo Coelho e Brito (2007), após a descoberta da fotografia, surgiram através de diversos estudos propostas como a do francês Arago em 1840 propondo o aproveitamento destas para utilizá-las em levantamentos topográficos dispendiosos, sendo infelizmente, não concretizado na época.

No ano de 1851, Aimé Laussedat criou os primeiros estudos e princípios técnicos sobre fotogrametria. Em 1889 o alemão C. Koppe desenvolve o primeiro livro teórico chamado “O Manual de Fotogrametria” (COELHO E BRITO, 2007).

Somente com o advento do avião e com a difusão dos estudos fotogramétricos foi possível a utilização de imagens aéreas para a realização de mapeamentos, sendo uma técnica muito utilizada durante a primeira guerra mundial com o intuito de realizar um reconhecimento de campo para posterior ataques aéreos (TOMASSELLI, 2009).

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, mostra de forma clara o histórico da fotogrametria indicando quais serão os dados de entrada, processamento e saída de cada etapa.

Figura 1 - Resumo das etapas da fotogrametria e seus principais elementos

FOTOGRAMETRIA	ENTRADA	PROCESSAMENTO	SAÍDA
Analógica	Fotogrametria analógica (em filme)	Analógico (óptico-mecânico)	Analógico (scribes ou fotolíticos) no passado ou digital (CAD, por exemplo)
Analítico	Fotografia analógica (em filme)	Analítico (Computacional)	Analógica (scribes ou fotolíticos) no passado ou digital (CAD, por exemplo)
Digital	Imagem digital (obtida de camera digital, por exemplo) ou digitalizada (foto analógica submetida em <i>Scanner</i>)	Analítico (computacional)	Digital

Fonte: Adaptado de Augusto, 1999 *apud* Coelho e Brito, 2007.

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 por computadores com capacidade para obter dados convenientes.

Ainda de acordo com Coelho e Brito (2007), a fotogrametria digital se preocupa em realizar uma automatização da fotogrametria, levando em consideração os equipamentos de informática disponíveis, que possibilitam um rápido processamento dos dados adquiridos, para por fim, obter os produtos desejados.

2.1.2. Definições

De acordo com Coelho e Brito (2007), a palavra fotogrametria vem do grego *photon* (luz), *grafos* (escrita) e *metron* (medição), sendo definida como sendo a ciência e tecnologia, utilizando as imagens adquiridas de sensores para se obter informações confiáveis sobre determinado objeto de estudo.

A fotogrametria pode ser subdividida em fotogrametria aérea ou aerofotogrametria, fotogrametria espacial, fotogrametria a curta distância e a fotogrametria terrestre. Destaca-se dentre estas 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 ou, 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. Essa representação é obtida por meio da produção de um ortomosaico ou mosaico de ortofoto, que é um conjunto de imagens georreferenciadas e ortoretificadas que juntas formam uma única fotografia.

É importante ressaltar que, neste caso, as aerofotografias são obtidas por meio de veículos aéreos podendo ser estes aviões ou Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT).

Os VANTs são alternativos muito mais rentáveis para aquisição dos dados aerofotogramétricos, porque, antes do seu desenvolvimento, empregavam-se aviões 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), o que tornou a aerofotogrametria onerosa.

2.2. VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO - VANT

2.2.1. Conceito

O termo VANT é uma terminologia criada pelos órgãos regulamentadores brasileiros de transporte aéreo, sendo definido de acordo com o circular de informações aéreas AIC N 21/10, como uma aeronave que opera sem a presença de um piloto a bordo. Todavia este equipamento não é utilizado como uso recreativo possuindo carga útil embarcada (BRASIL, 2018).

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

Inicialmente, a utilização de VANTs era restrita ao serviço militar, tendo sido usada pela primeira vez em agosto de 1849 quando o exército austríaco atacou a cidade de Veneza, usando balões com explosivos (BRASIL, 2018).

No Brasil, a utilização de VANT pela primeira vez aconteceu em 1982 em um projeto conjunto entre o centro técnico aeroespacial e a companhia

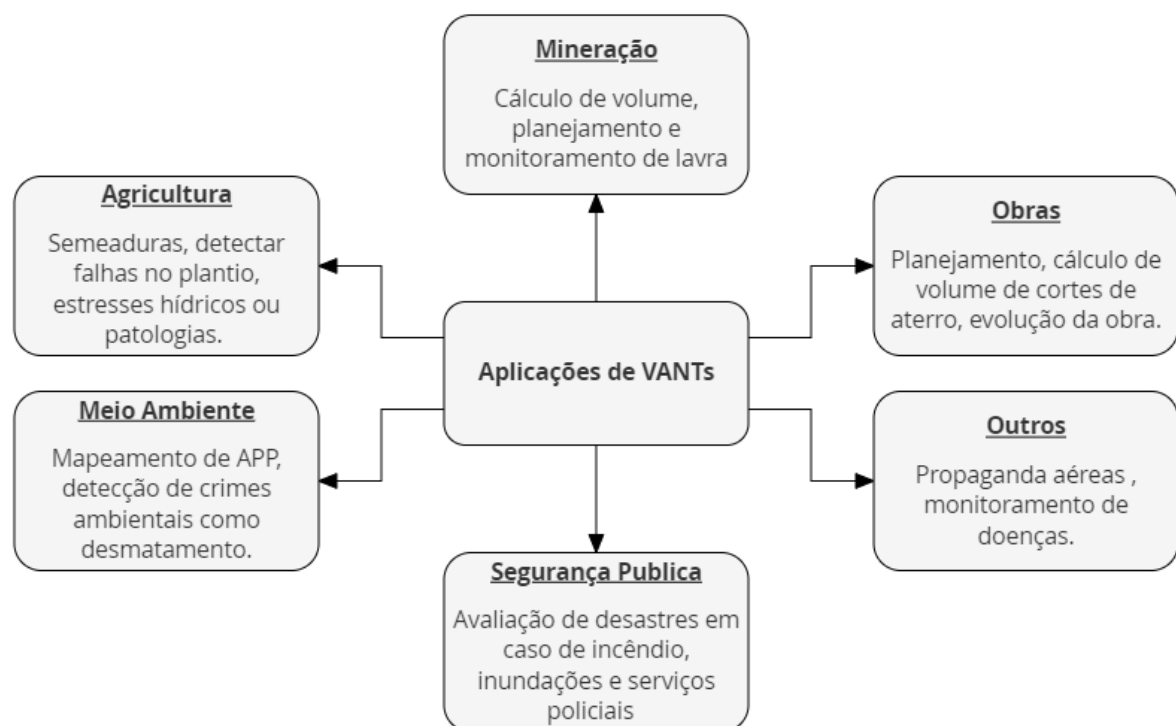
brasileira de tratores, produzindo um veículo aéreo não tripulado a jato. Porém o projeto foi encerrado antes do primeiro voo do equipamento. Depois outros setores como a Marinha, o Exército e a Aeronáutica fizeram investimentos (BRASIL,2018).

Com o passar do tempo e os avanços tecnológicos, os VANTs passaram a ser aplicados para 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.

Com relação as aplicações atuais dos VANTs no campo 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 2 ilustra de forma esquemática alguns empregos dos VANTs, bem como suas aplicações relacionadas a cada área.

Figura 2 - Distintas aplicações de VANTs



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

Vidal (2013), destaca ainda outras vantagens dos VANT para as finalidades cartográficas, citando a adequada qualidade posicional, as grandes resoluções temporais e espaciais, a maior rapidez no planejamento e 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 de normas regulamentadoras criadas pela Agencia Nacional de Aviação Civil (ANAC) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) para a utilização de VANT no espaço aéreo nacional e a utilização dos VANTs para os levantamentos aerofotogramétricos, sendo essencial ler estas normas para realizar os levantamentos de forma segura e de conformidade com a legislação vigente.

2.2.2. Principais Modelos de VANTs

Segundo Sousa (2017), existem dois tipos principais de VANTs: os multirotores e os de asa fixa. Esses últimos são muito utilizados para o levantamento de informações geoespaciais possuindo cada um à sua capacidade conforme sua arquitetura.

De acordo com Moutinho (2015), o melhor a se considerar dentre os VANTs citados são os multirotores. Isto se deve a sua capacidade de planar e levantar voo de forma vertical, sendo muito útil em locais apertados e para aplicações em fotogrametria terrestre. Por outro lado, o VANT de asa fixa possui também suas vantagens, possibilitando a realização de voos mais longos e com maior duração de tempo, ideal para levantamentos maiores.

De acordo com Santos (2016), um VANT de asa fixa pode ou não necessitar da presença de uma pista para decolagem ou para pouso, sendo comumente utilizado um lançador feito de material elástico que possibilita o voo do equipamento. Figura 3 (a) e (b) apresenta, respectivamente, um exemplo de VANT de asa fixa e multirrotor.

Figura 3 - VANT de asa fixa e multirotor



(a) VANT de asa fixa



(b) VANT multirotor

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 para determinar as coordenadas topográficas, e assim, representá-lo na forma mais real possível (ABNT NBR 13133, 1994). Através desse levantamento torna-se possível o conhecimento do terreno a ser analisado.

Conforme Veras Junior (2013), a topografia é dividida em dois principais ramos: a Topologia e a Topometria. A topologia é a parte da topografia que se preocupa com as formas exteriores da superfície terrestre e as leis que regem o seu modelo. A topometria tem como objetivo as medições de elementos de uma dada região, se dividindo em planimetria, altimetria e planialtimetria. A Figura 4 apresenta esta divisão esquematicamente.

Figura 4 - Divisões e subdivisões da topografia



Fonte: Coelho Junior, Rolim Neto e Andrade, 2014.

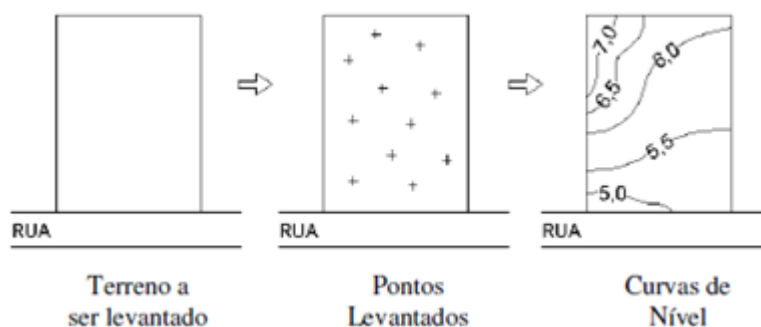
Segundo Coelho Junior, Rolim Neto e Andrade (2014), a planimetria estuda o terreno levando em consideração apenas as dimensões e coordenadas

planimétricas, ou seja, suas distancias e ângulos horizontais, localização geográfica e posição sem se preocupar com o relevo do terreno.

A altimetria estuda o terreno, levando em consideração somente as dimensões e coordenadas altimétricas, ou seja, possibilita a ideia do relevo do terreno estudado através apenas das distancias e ângulos verticais, como diferença de nível, cotas e altitudes, formadoras do relevo de um determinado local (COELHO JUNIOR; ROLIM NETO E ANDRADE, 2014). É neste tipo de levantamento que se obtém as curvas de nível, essenciais para o entendimento do relevo do terreno em análise.

As curvas de nível podem ser definidas, de acordo com Borges (2013), como um conjunto de linhas que unem diversos pontos de mesmas altitudes em um terreno, para mostrar e representar vales, inclinações, terrenos íngremes, terrenos acidentados e elevações, existentes na área analisada. A Figura 5 mostra o processo de obtenção das curvas de nível de um terreno.

Figura 5 – Processo de obtenção de curvas de nível

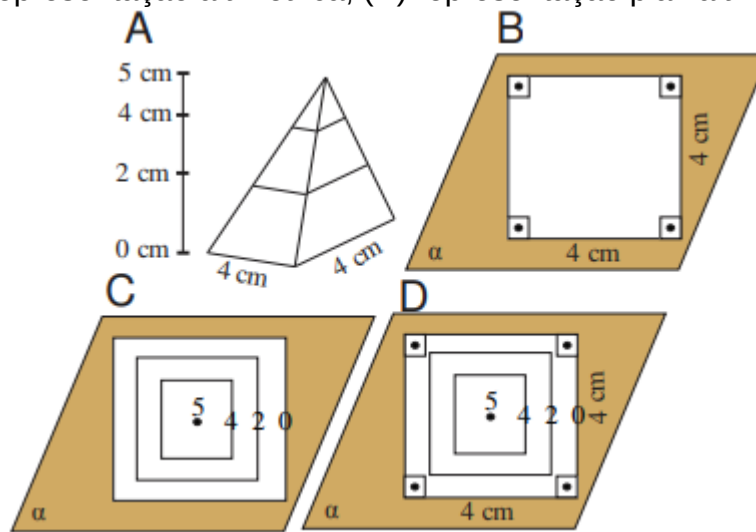


Fonte: Veiga, Zanetti e Faggion (2010).

A Planialtimetria tem como objetivo estudar o terreno levando em consideração as dimensões e coordenadas planimétricas e altimétricas, ou seja, possibilita conhecer o relevo do terreno bem como das distancias horizontais e verticais, ângulos horizontais e verticais, localização geográfica e posição (COELHO JUNIOR; ROLIM NETO E ANDRADE, 2014).

A Figura 6 ilustra esquematicamente uma pirâmide representada através dos conceitos de planimetria, altimetria e planialtimetria.

Figura 6 - (A) Pirâmide que será representada; (B) representação planimétrica; (C) representação altimétrica; (D) representação planialtimétrica.



Fonte: Coelho Junior, Rolim Neto e Andrade, 2014.

Segundo a ABNT NBR 13.333 (1994), para se realizar um levantamento e obter os dados planimétricos, altimétricos ou planialtimétricos é necessário a utilização de alguns instrumentos, como estação total, estacas, balizas, teodolitos, níveis e medidores eletrônicos de distância, que irão fornecer todas as informações de ângulos, distâncias e inclinações, fundamentais para descrição precisa e detalhada da área escolhida.

A Figura 7, apresenta alguns desses equipamentos utilizados em um levantamento topográfico para a obtenção de todos os dados necessários para a representação de um terreno em planta topográfica para realizar análises e a tomada de decisões.

Figura 7 - Equipamentos utilizados no levantamento topográfico



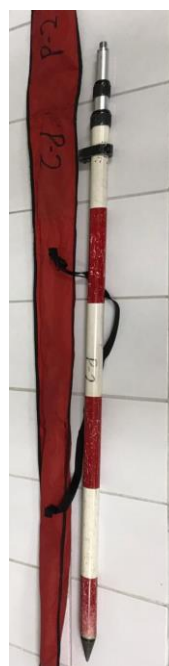
(A) Prisma



(B) Teodolito



(C) Estação Total



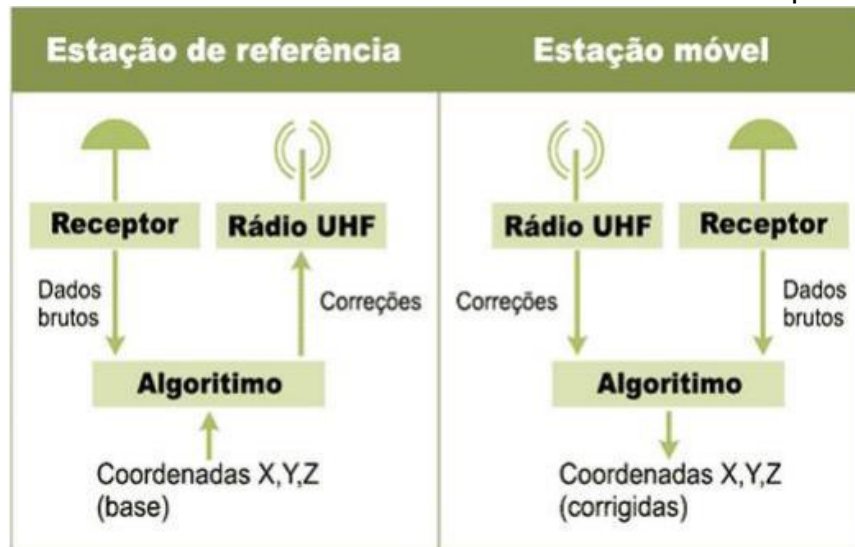
(D) Baliza

Fonte: Autor, 2020.

Outros equipamentos que também podem ser utilizados nos levantamentos topográficos são os sistemas de GNSS através do método RTK (*Real Time Kinematic*). Esta técnica de levantamento se baseia no posicionamento relativo de uma portadora utilizando os sinais de frequência L1 e L2 em tempo real e com elevada precisão (MONICO, 2008).

Para a realização de um levantamento com RTK é necessário a utilização de um receptor GNSS, base que deve ser instalada em um local com coordenadas conhecidas; um rover, que é um receptor móvel; e um rádio de comunicação utilizado para fazer a comunicação e enviar os dados da base para o rover (COSTA *et al.*, 2008). A Figura 8 ilustra de maneira esquemática o funcionamento do sistema de levantamento em tempo real.

Figura 8 – Funcionamento do sistema de levantamento em tempo real (RTK)



Fonte: MundoGeo, 2007.

O principal fator limitante para este tipo de levantamento é a ocorrência do problema, denominado de multicaminhamento, que surge quando se opera o RTK em regiões próximo a grandes construções, devido a condição do relevo ou até mesmo pela cobertura vegetal (CERVI, 2012).

De acordo com Cervi (2012), esta metodologia de levantamento vem sendo muito empregada nos últimos anos devido à facilidade de processamento. Todavia, existe ainda uma grande dificuldade em relação ao alto custo na obtenção dos equipamentos e à falta de recursos computacionais eficientes.

2.3. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITE (GNSS)

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*, do português Sistema global de navegação por satélite) é um sistema que proporciona a localização de um objeto em qualquer ponto da superfície terrestre por meio de aparelhos receptores responsáveis por decodificarem ondas de rádio que são emitidas por

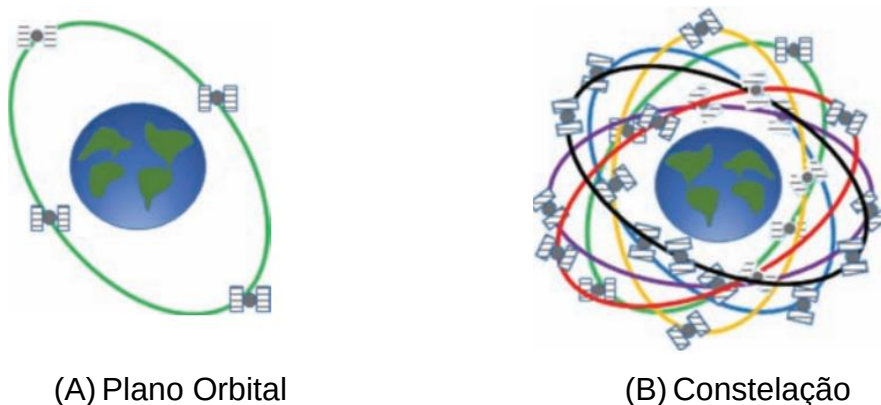
meio de satélites. O GNSS possui diversos sistemas como: GPS, GLONASS, GALILEO e COMPASS (COELHO JUNIOR; ROLIM NETO E ANDRADE, 2014).

Pode-se também destacar outros sistemas regionais que não englobam todo o espaço terrestre como o sistema IRNSS ((Indian Regional Navigational Satellite System), QZSS (Quase-Zenith Satellite System) e o BEIDOU (Beidou Navigation System) (COELHO JUNIOR; ROLIM NETO E ANDRADE, 2014).

O sistema de posicionamento global (GPS, ou em inglês *Global Positioning System*) é um dos sistemas mais conhecidos atualmente. De origem americana e contendo 24 satélites localizados a 20200 km da superfície terrestre, pode ser definido como um equipamento de alta tecnologia e precisão, capaz de possibilitar em tempo real, informações referentes à posição espacial em um determinado ponto de um terreno escolhido por meio de coordenadas geográficas e planimétricas (VERAS JUNIOR, 2003; COELHO JUNIOR; ROLIM NETO E ANDRADE, 2014).

A Figura 9 ilustra o plano orbital e constelação dos 24 satélites ao redor da terra distribuídos no espaço com o intuito de fornecer dados confiáveis sobre a localização de um ponto na superfície terrestre.

Figura 9 - Plano Orbital e Constelação de satélites do sistema GPS



Fonte: Coelho Junior, Rolim Neto e Andrade, 2014.

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, ocorrendo 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). É através desta

interação entre receptor GPS e o satélite que são obtidas as coordenadas, essenciais para a localização de um objeto na superfície terrestre.

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 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, possibilitando 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, que ainda podem ser transformadas em coordenadas UTM (E, N) sempre relacionadas com um sistema geodésico de referência (no caso do Brasil, o SIRGAS 2000).

2.4. RODOVIAS E SUA IMPORTANCIA NO CONTEXTO NACIONAL

Uma rodovia pode ser definida como uma estrada de rodagem pavimentada ou não, rural ou urbana, para interligar dois ou mais pontos, possibilitando o tráfego de veículos, pessoas ou animais. Sua expansão, de acordo com Confederação Nacional de Transportes - CNT (2018), sempre esteve ligado a especialização da produção e a criação de mercados nacionais, visto que permite uma integração territorial e populacional, acesso a vários serviços e até mesmo uma ampliação do mercado de trabalho.

No Brasil na década de 1950, com o plano de metas do governo de Juscelino Kubistcheck, deu-se um grande desenvolvimento do transporte rodoviário motorizado, fundamentado na modernização da economia cujos interesses eram de expansão da indústria automobilística estrangeira (JUNIOR E FERREIRA, 2008). Esse plano favoreceu ainda na modernização de cidades

de médio porte, visto que passaram a receber um incremento populacional (SANTOS, 1996).

Dentro deste contexto é importante destacar que todos os benefícios alcançados pela infraestrutura rodoviária só podem ser obtidos pelos agentes econômicos se estas estiverem adequadas para o tráfego de passageiros e cargas (CNT, 2018). Além de boas condições, tais rodovias devem ser bem projetadas adequadamente para a segurança de seus usuários, reduzindo trajetos de modo a oferecer economia, conforto e segurança.

2.4.1. Projeto geométrico de uma rodovia

Um projeto geométrico de uma rodovia é elaborado, com base em estudos profundos de todas as características pertinentes e essenciais para a sua construção. No Brasil, até 1920, não existiam departamentos, normas ou parâmetros nacionais utilizados na implantação de rodovias. Somente a partir de 1937, com a criação do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) em conjunto com a Lei Joppert, foram criadas técnicas para a elaboração de projetos rodoviários, mesmo ainda sem documentos normativos (DNIT, 1999).

As atividades de projeto rodoviário no país tornaram-se mais ordenadas a partir do ano de 1950 com a criação do Fundo Rodoviário Nacional e com a elaboração do Plano Rodoviário Nacional que exigiu maior rigor técnico na elaboração de projetos geométricos de rodovias sendo adotados parâmetros necessários para acompanhar a evolução dos veículos (DNIT, 1999).

Ainda de acordo com esse documento, o grande impulso dado para a elaboração de projetos rodoviários foi a partir do

“[...] surto de desenvolvimento que agitou o país deu prioridade à implantação de sistemas rodoviários, mesmo para o transporte a grandes distâncias, e isso em detrimento da rede ferroviária, resultando, assim, numa ampla necessidade de normas (DNIT, Pág. 1, 1999).”

Para a elaboração de um projeto de rodovias é necessário a realização de alguns estudos importantes como: estudos de tráfego, estudo de viabilidade técnica-econômica, estudos hidrológicos, geológicos e geotécnicos e o estudo topográfico.

Através do estudo topográfico é possível o conhecimento da área onde a rodovia será implantada, fornecendo as informações planialtimétricas da região. Tais levantamentos podem ser realizados por meio da topografia convencional ou por processos aerofotogramétricos (PEREIRA et al., 2010).

De acordo com Lee (2000), é a partir do levantamento planialtimétrico que se desenvolve o projeto geométrico de uma rodovia. Dentro deste encontra-se o traçado da rodovia que se constitui como um dos projetos mais importantes nesta etapa, visto que, este é definido conforme as curvas níveis, na qual o projetista deve definir a passagem do corpo estradal observando as áreas na qual se tenha menor números de corte e aterro, fornecendo segurança e conforto aos usuários, bem como economia na execução da mesma.

Para o levantamento são utilizados equipamentos como trenas, estações totais, miras que auxiliam na construção da poligonal ao longo de toda a extensão da área na qual pretende-se instalar a rodovia, tendo como vértices os piquetes que são cravados sobre a região (LEE, 2000).

Ainda segundo esse mesmo autor, as plantas planialtimétricas obtidas pelo levantamento são representadas por meio de curvas de níveis que mostram o relevo do terreno. Enfatiza ainda que se pode utilizar de outros recursos para obtenção destas plantas como recursos aerofotogramétricos por meio do qual é obtido o modelo digital de elevação do terreno, representando o relevo da região mapeada.

A partir das curvas de nível, pode-se ainda definir as redes de drenagem da região analisada de modo a identificar os principais pontos de alagamento da região e até mesmo a presença de um rio ou lago, sendo estas informações muito importantes na hora de definir o traçado rodoviário.

2.4.2. Drenagem superficial de uma rodovia

De acordo com o manual de drenagem de rodovias do DNIT (1990), a drenagem de uma rodovia tem como função primordial eliminar quaisquer concentrações elevadas de água de modo que estas não venham atingir o corpo estradal, sendo que esta deve ser captada e conduzida até locais apropriados para sua armazenagem.

Conforme Lima (2012), a qualidade operacional de uma rodovia está associada a diversos fatores, dentro os quais pode-se citar as obras de

drenagem, visto que este tende a evitar a ocorrência de problemas futuros devido a ação da água sobre o pavimento.

Ainda segundo Lima (2012), um projeto de drenagem, se bem executado, ajuda na vida útil do pavimento, como também fornece ao usuário conforto e segurança contra acidentes, sendo de fundamental importância que sejam realizadas manutenções dos elementos de drenagem para que estes possam cumprir seu papel corretamente de modo a evitar danos.

Para a realização de um projeto de drenagem é necessário o conhecimento de diversos fatores relacionados a incidência de água na área em estudo, dentre elas pode-se citar o ciclo hidrológico e da bacia hidrográfica, de forma a identificar o movimento da água na superfície terrestre em análise (LIMA, 2012).

2.5. A UTILIZAÇÃO DE AEROFOTOGRAMETRIA EM PROJETO DE RODOVIAS

As fotografias aéreas para projetos de rodovias vêm sendo utilizadas há muitos anos pelos engenheiros rodoviários, sendo usado inicialmente para os estudos e a definição dos traçados e depois nas fases de construção, transposição de rios e gargantas, etc (SILVA E COSTA, 2010).

Os Departamentos de Estradas de Rodagem (DERs) passaram a usar os métodos fotogramétricos no Brasil, por volta da década de 70, disseminando seu conhecimento entre engenheiros rodoviários de empresas de consultoria e projetos (SILVA E COSTA, 2010).

As principais vantagens apresentadas pela fotogrametria estão relacionadas a grande quantidade de informações que podem ser obtidas por meio da fotointerpretação, essenciais para as fases preliminares dos projetos e demais estudos, principalmente quando se deseja um levantamento mais rápido e de grande extensão ou áreas inacessíveis e perigosas (SILVA E COSTA, 2010).

Segundo Silva e Costa (2010), a fotointerpretação é um dos métodos da fotogrametria mais utilizados para projetos de estradas, fornecendo dados necessários para cada etapa, como: localização e interrelação entre as áreas industrializadas, povoadas e cultivadas; estimativa de tráfego; planejamento de desapropriação; verificação das condições topográficas para definição do

traçado e identificação das feições topográficas e geológicas da região;
Identificação de rede de drenagem; avaliação do escoamento, dentre outros.

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.

A metodologia utilizada pode ser caracterizada como exploratória, 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 estudo geralmente envolve revisão bibliográfica e documental, estudos de caso e levantamentos de campo.

Em relação ao tratamento de dados abordado neste trabalho, a pesquisa se apresenta como quantitativa e qualitativa. Segundo Creswell (2007), nesta classificação a pesquisa pode ser definida como mista, pois se baseia na 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 resultantes deste trabalho foram abordados através de processamentos estatísticos, isto é, desvio padrão, erro médio quadrático, etc. Quanto aos dados qualitativos, destaca-se a interpretação desses e dos mapas confeccionados.

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.

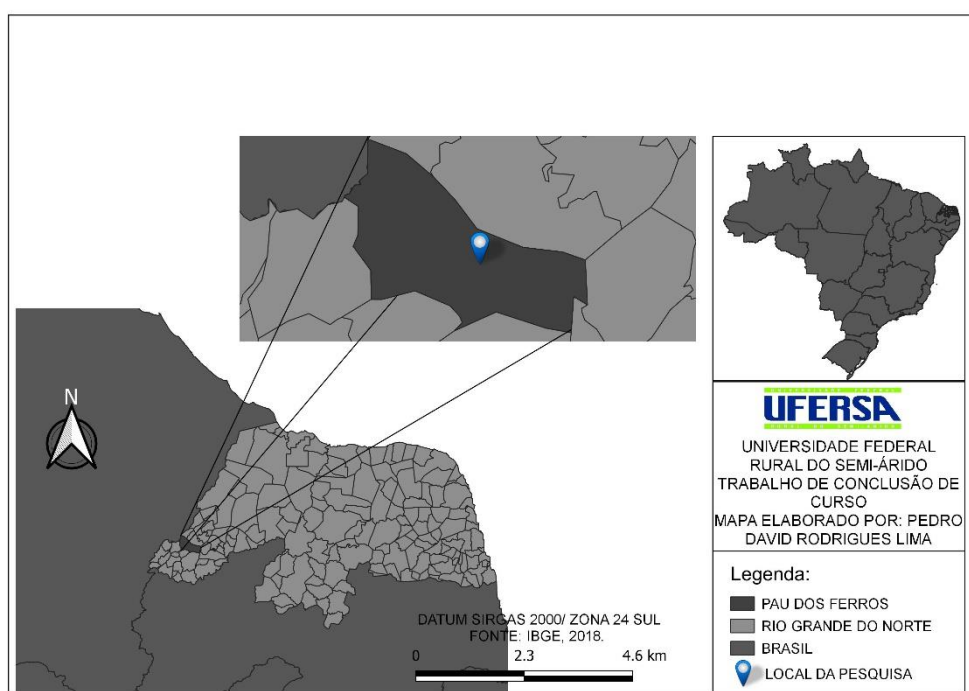
3.2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no município de Pau dos Ferros no Estado Rio Grande do Norte nas coordenadas de Latitude 6° 6' 9" Sul e Longitude 38° 12' 33" Oeste.

A área pesquisada refere-se à um terreno próximo a Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN). A escolha deste local se deu devido à facilidade de acesso ao terreno bem como as características do local, como cobertura vegetal seca e sem a presença de edificações, facilitando a geração do Modelo Digital de Terreno (MDT) e das curvas de nível, dando assim maior agilidade na obtenção dos resultados.

A Figura 10 apresenta um mapa de localização do município e da área de estudo.

Figura 10 - Mapa de localização do município de Pau dos Ferros e do local onde se realizará a pesquisa



Fonte: Autor, 2019.

3.3. MATERIAIS UTILIZADOS

Para a realização da presente pesquisa foi utilizado um VANT da marca DJI do tipo Phantom 4 pro RTK, sendo este um quadricóptero equipado com uma câmera de 20 megapixels e com sistema de posicionamento global (GPS) do

tipo RTK, que confere ao produto maior precisão das coordenadas obtidas e maior confiabilidade aos dados.

A autonomia de voo do mesmo é de 30 minutos por bateria do tipo LiPo (composição Lítio). A escolha do equipamento em questão se deu devido à sua capacidade de melhoramento de precisão dos produtos gerados e a redução dos pontos de controle nos levantamentos. A Figura 11 mostra o equipamento utilizado bem como seus componentes.

Figura 11 - VANT RTK utilizado na pesquisa



Fonte: Autor, 2019.

Foi ainda utilizado um equipamento GNSS RTK como mostrado na Figura 12, de modo a realizar o levantamento na mesma área analisada para fazer um comparativo entre os dados obtidos por meio da topografia tradicional e o método de levantamento aerofotogramétrico realizado por meio de VANT.

Figura 12 - Equipamento de sistema RTK utilizado



Fonte: Autor, 2019.

3.4. PROCEDIMENTOS UTILIZADOS PARA OBTENÇÃO DOS DADOS

3.4.1. Planejamento de Voo e Levantamento aéreo

Para a obtenção dos dados utilizados nesta pesquisa foi inicialmente realizado um levantamento aéreo para obtenção das imagens aéreas na região analisada. Para isto foi necessário a realização de um planejamento de voo por meio do aplicativo “DJI TERRA”, definindo a área de estudo, a altura e velocidade de voo e as sobreposições laterais e longitudinais para verificar o número de baterias que serão utilizadas e o tempo total para realizar todo o levantamento desejado.

A Tabela 1 apresenta todas os parâmetros que foram utilizados para o voo em questão.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados para o Voo

Altura de Voo	90 metros
Velocidade de Voo	9 m/s
Sobreposição Lateral	50%
Sobreposição Longitudinal	80%
Tamanho do pixel	3,5 cm

Fonte: Autor, 2019.

Definidos os parâmetros a serem utilizados e a região a ser sobrevoada, foi realizado o voo com o VANT, sendo obtido um total de 230 fotografias aéreas, que foram utilizadas para a obtenção dos resultados. É importante destacar que, junto com o voo realizado, foram também obtidos 13 pontos de GPS, sendo 8 pontos de controle e 5 pontos de verificação. Estes pontos são utilizados respectivamente para melhorar a precisão dos produtos gerados e realizar uma verificação da qualidade dos mesmos através de normas específicas, de modo a conferir a confiabilidade dos dados que serão adquiridos.

3.4.2. Processamento das imagens

Após a obtenção as imagens passaram por um processamento através da versão demonstrativa do *software Agisoft Photoscan*. Tal processo é essencial para a aquisição dos produtos utilizados nesta pesquisa. É importante lembrar que antes da realização do processamento é necessário a verificação

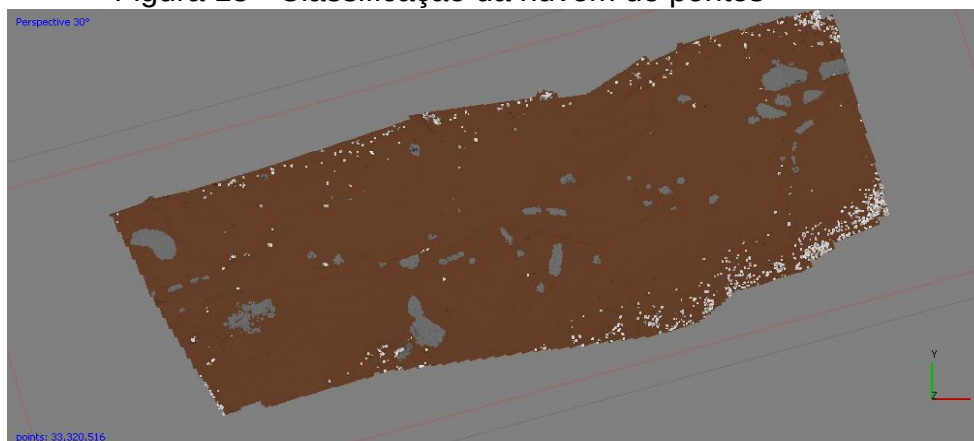
das imagens aéreas, de modo a analisar possíveis erros ou distorções presentes nas mesmas.

Por fim, foi realizado o processamento das imagens aéreas adquirindo uma nuvem densa de pontos, um modelo digital de superfície (MDS), modelo digital de elevação (MDE), modelo digital de terreno (MDT) e as curvas de nível da área analisada. Os apêndices A, B e C, apresentam os mapas do ortomosaico, curvas de nível e do MDE.

É válido salientar, que o processamento em questão foi realizado em um notebook com processador I7 da sétima geração, com 8 gigas de memória RAM e placa de vídeo integrada *intel*.

Deve-se destacar também, que para a obtenção do MDT e das curvas de nível, foi necessário retirar todos os objetos ou obstáculos, como automóveis, edificações, vegetação sob a superfície do terreno, porque podem interferir na qualidade e precisão das curvas de nível. A Figura 13 ilustra a classificação da nuvem de pontos para retirada desses elementos, sendo a cor marrom a que representa o terreno e os pontos brancos e cinza os que foram retirados.

Figura 13 - Classificação da nuvem de pontos



Fonte: Autor, 2020.

A classificação da nuvem de pontos ocorre por meio de parâmetros estabelecidos pelo software de processamento que identifica forma automática todos os obstáculos presentes no terreno, sendo aqueles que não foram identificados retirados manualmente pelo usuário.

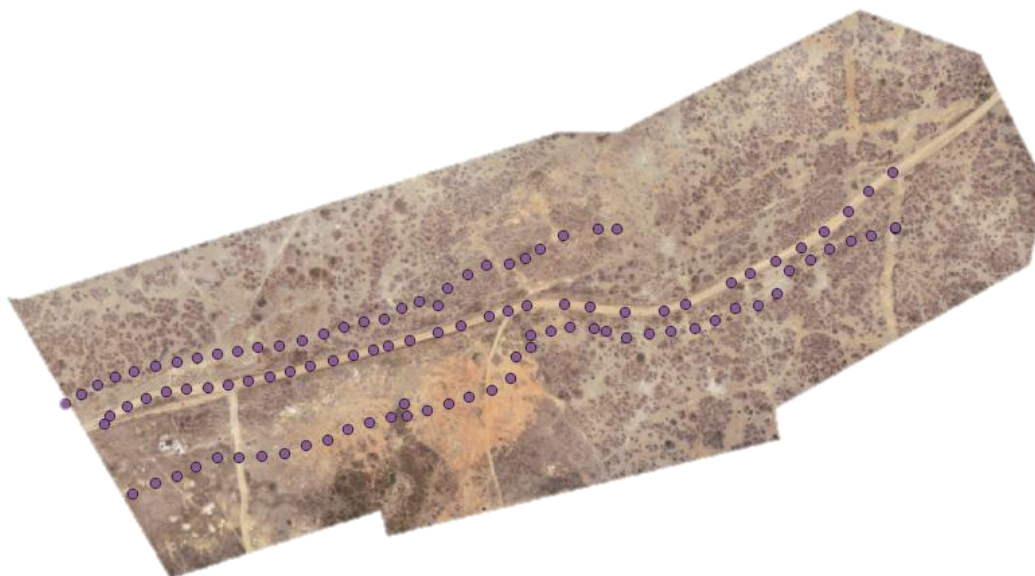
3.4.3. Levantamento Topográfico com Sistema RTK

Para a realização do comparativo, um dos objetivos da pesquisa, foi realizado um levantamento topográfico a partir da coleta de pontos de GPS por

meio de sistema RTK que permite maior agilidade e qualidade nos dados adquiridos.

Foram coletados um total de 147 pontos em toda a extensão da área analisada sendo cada ponto espaçado de vinte em vinte metros de modo a representar o mesmo espaçamento entre estacas utilizados em projetos de rodovias. A Figura 14 ilustra de modo esquemático a distribuição dos pontos na área onde se realizou-se a pesquisa em cor roxa.

Figura 14 - Pontos coletados no terreno com RTK

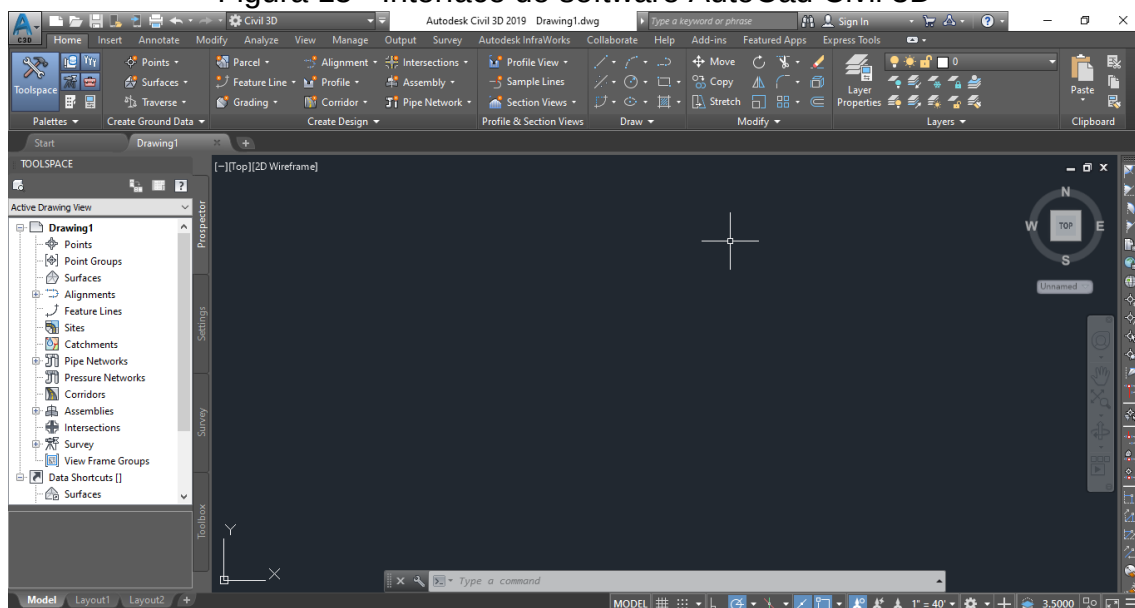


Fonte: Autor, 2020.

3.4.4. Gerando os Resultados

Para a obtenção do traçado da rodovia, proposto nesta pesquisa, foi utilizado o *software Autocad Civil 3D*, com interface ilustrada pela Figura 15. Com este software associado as curvas de nível torna-se possível definir um traçado de uma rodovia de maneira simples.

Figura 15 - Interface do software AutoCad Civil 3D



Fonte: Autor, 2020.

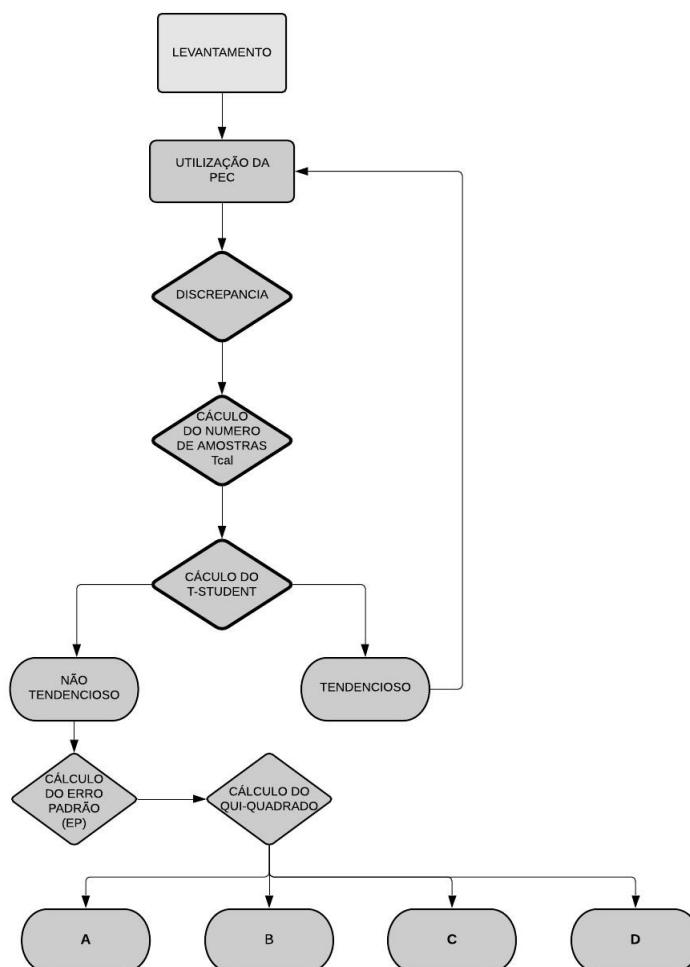
Para isto é necessário saber interpretar as curvas de nível e verificar qual seria o melhor caminho, pensando sempre no conforto, segurança e principalmente na economia ao projeto, principalmente garantir a compensação de áreas de corte e aterro, movimentos de terra que tecnicamente representam o maior custo na construção de estradas.

Para a verificação de qualidade do levantamento topográfico realizado por VANT, realizou-se uma análise visual do produto e uma análise da precisão altimétrica e planimétrica por meio do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), considerando o Decreto lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984 que trata sobre as normas que devem ser seguidas para avaliar os produtos cartográficos brasileiros. A PEC classifica os produtos em classes A, B, C e D, sendo as melhores classes a serem utilizadas A e B que também são exigidas. Essas classes são obtidas por meio de testes estatísticos que permitem um estudo dos resultados dos pontos de verificação obtidos.

Para obtenção dessas classes e para facilitar os cálculos foi utilizado o software Excel que permite obter facilmente os resultados estatísticos propostos pela PEC para classificar os produtos cartográficos gerados, tanto na planimetria como na altimetria e assim indicar se estes podem ou não ser utilizados na pesquisa proposta.

A Figura 16 apresenta de forma esquemática um fluxograma de utilização da PEC, conforme estudos de Ataíde (2019). Este fluxograma indica todos os passos necessários e que foram abordados nesta pesquisa para a classificação do produto gerado conforme especificado pela PEC, sendo todos os cálculos são baseados em dados estatísticos.

Figura 16 - Fluxograma de utilização da PEC



Fonte: Autor, 2020.

Para verificar do erro padrão utilizam-se as expressões contidas na Tabela 2 que indicam os dados obtidos tanto para planimetria como para altimetria.

Tabela 2 - Erro padrão planimétrico e altimétrico

Classe	PEC Planimétrico	Erro Padrão	PEC Altimétrico	Erro Padrão
A	0,5 mm x Escala	0,3 mm x Escala	1/2 Equidistância	1/3 Equidistância
B	0,8 mm x Escala	0,5 mm x Escala	3/5 Equidistância	2/5 Equidistância
C	1,0 mm x Escala	0,6 mm x Escala	3/4 Equidistância	1/2 Equidistância

Fonte: Adaptado do exército brasileiro, 2011.

De acordo com Ataíde (2019), já que a análise se trata de um procedimento estatístico, deve-se realizar um cálculo estatístico amostral, que é a tendência de cálculo, expresso pela equação 01.

$$t_{cal} = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta x}} \sqrt{n} \quad (01)$$

Onde:

$\overline{\Delta X}$ = corresponde à diferença média dos pontos da amostra;

$S_{\Delta x}$ = é o desvio padrão; e

$\sqrt{n}$ = número de amostras utilizadas.

Em seguida deve-se verificar se o valor encontrado pela equação 01 para o t_{cal} satisfaz o valor tabelado, a partir da equação 02 (Ataíde, 2019).

$$|t_{cal}| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \quad (02)$$

Onde:

$t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}$ = corresponde a um valor tabelado, sendo $(n - 1)$ o grau de liberdade; e

α = nível de significância.

Em seguida faz-se necessário a aplicação do erro padrão exposto pela equação 03 e o teste do Qui-Quadrado amostral, sendo importante comparar o valor calculado de " X^2_X " com o tabelado " $X^2_{(n-1; \alpha)}$ ". A equação 4 mostrada, apresenta a expressão para " X^2_X ", assim:

$$\sigma_x = \frac{EP}{\sqrt{2}} \quad (03)$$

$$X_X = (n - 1) \frac{s^2 \Delta x}{\sigma_x} \quad (04)$$

Ao verificar a precisão, faz-se em seguida um comparativo entre os métodos a partir do tempo de processamento e de levantamento necessários para obter todos os produtos necessários para a presente pesquisa.

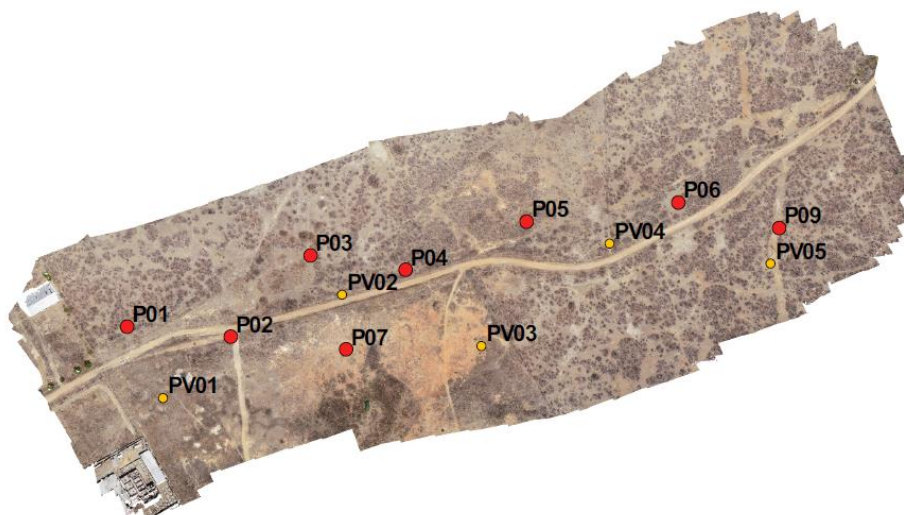
4. RESULTADOS

4.1. ANÁLISE DE PRECISÃO E ACURÁCIA PLANIALTIMETRICA DO ORTOMOSAICO

A análise de precisão para os produtos gerados nesta pesquisa, foi realizado com base no que estabelece o Decreto Lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984, denominado como PEC - Padrão de Exatidão cartográfico brasileiro, que classifica os produtos em classe A, B, C e D, sendo as classes A e B as mais indicadas para o uso.

Para tal, foram utilizados cinco pontos de verificação, sendo estes distribuídos em toda extensão da região analisada. A Figura 17, apresenta a localização dos pontos de verificação dados pelos pontos em cor amarelo.

Figura 17 - Distribuição dos pontos de verificação



Fonte: Autor, 2020.

A partir do relatório de processamento apresentado pelo próprio software Agisoft Photoscan, pode-se verificar as discrepâncias obtidas em centímetros, entre as coordenadas reais da região obtidas pelos pontos de verificação, com as coordenadas apresentadas pelo ortomosaico. A Tabela 3 indica as discrepâncias obtidas, bem como dados referentes a média, variância, desvio padrão e erro padrão dos pontos apresentados, calculados por meio de planilha eletrônica.

Tabela 3 - Discrepância, média, variância, desvio padrão e erro padrão dos pontos de verificação.

Discrepâncias			
Ponto	E (cm)	N (cm)	H (cm)
PV01	-2,32351000	-0,91053000	-7,62536000
PV02	1,21766000	-1,06762000	2,33672000
PV03	-4,73533000	3,71123000	5,30359000
PV04	0,01365150	-0,21494900	5,97972000
PV05	1,86135000	3,16216000	14,64060000
Somatório	-3,966179	4,680291	20,635270
Média	-0,793236	0,936058	4,127054
Variância	7,405860	5,351635	64,168947
Desvio Padrão	2,721371	2,313360	8,010552
Erro Padrão (X Y)	3,571763578		
Erro Padrão (Z)	8,0106		

Fonte: Autor, 2020.

Fazendo-se a análise para o teste de T-Student, verifica-se que para as cotas X, Y e Z analisada o resultado foi “não tendencioso”, tornando o uso da PEC válida para tais coordenadas. A Tabela 4, indica os resultados obtidos conforme análise deste parâmetro estatístico.

Tabela 4 - Análise de tendência para as coordenadas indicadas

T-Student			
	Tabela	Calculado	Resultado
X	2,1318	-0,2804	Não Tendencioso
Y	2,1318	0,3753	Não Tendencioso
Z	2,1318	0,4576	Não Tendencioso

Fonte: Autor, 2020.

Utilizando uma escala de 1:1000 com equidistância entre as curvas de nível de 0,3 cm e os desvios padrões apresentados pela PEC para a escala indicada, pode-se verificar o desvio padrão (DP) e o erro padrão (EP) esperados para as classes A, B, C e D tanto na planimetria como também na altimetria. As Tabelas 5 e 6 apresentam respectivamente esses dados.

Tabela 5 - DP e EP para planimetria

PLANIMÉTRICO (Metros)			
Classe	PEC (m)	EP (m)	D.P. Esperado (m)
Classe A	0,2800	0,1700	0,1202
Classe B	0,5000	0,3000	0,2121
Classe C	0,8000	0,5000	0,3536
Classe D	1,0000	0,6000	0,4243

Fonte: Autor, 2020.

Tabela 6 - DP e EP para altimetria

ALTIMÉTRICO (Metros)			
Classe	PEC (m)	EP (m)	D.P. Esperado (m)
Classe A	0,5000	0,3330	0,2355
Classe B	0,6000	0,4000	0,2828
Classe C	0,7500	0,5000	0,3536
Classe D	1,0000	1,0000	0,7071

Fonte: Autor, 2020.

Verifica-se por fim através da análise do Qui-Quadrado com índice de confiabilidade de 90% como expresso pela PEC com a escala adotada, em qual classe se enquadra o levantamento em questão, sendo importante ressaltar que as classes A e B são as de melhor qualidade para um produto cartográfico de confiança. A Tabela 7 apresenta os valores obtidos para a planimetria e altimetria para a análise realizada, sendo os produtos obtidos classificados em classe A.

Tabela 7 - Analise do Qui-Quadrado

Qui-Quadrado (90%)					
Tabela	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	
X	7,7794	0,0308	0,0099	0,0036	0,0025
Y	7,7794	0,0239	0,1753	0,1052	0,0019
Z	7,7794	0,0815	0,0565	0,0362	0,0090

Fonte: Autor, 2020.

O erro médio quadrático (RMSE), indicador da acurácia entre os cinco pontos de verificação analisados, podem ser verificados através do relatório de processamento obtido no *Agisoft Photoscan*, apresentado pela Figura 18, onde se vêem os resultados para as cotas e por pixel das imagens aéreas.

Figura 18 - RMSE dos pontos de verificação

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
5	2.56006	2.27102	8.2685	3.4222	8.94871	0.252

Fonte: Autor, 2020.

Verifica-se que os erros apresentados para as cotas indicadas se apresentam em ordem centimétrica com erro mais expressivo na cota Z com aproximadamente 8,27 cm, sendo estas satisfatória para o estudo em questão e enquadradas dentro da PEC que apresenta erro máximo de 50 cm para as cotas indicadas.

4.2. TRAÇADO DE RODOVIAS UTILIZANDO ORTOMOSAICO

Para a visualização do traçado da rodovia por meio da área escolhida para esta pesquisa, foram utilizadas as curvas de níveis obtidas por meio das imagens aéreas adquiridas do VANT. Após o processamento das imagens, a partir do software Autocad Civil 3D obteve-se o melhor traçado encontrado conforme as elevações apresentadas no terreno.

A Figura 19 ilustra as curvas de níveis obtidas na área de estudo com espaçamento entre as isolinhas de 0,3 m. É possível observar visualmente a qualidade das curvas de níveis bem como o grau de detalhamento que estas podem proporcionar, considerando o espaçamento entre cada curva e a possibilidade de visualizar, ao mesmo tempo, a área em estudo por meio do ortomosaico.

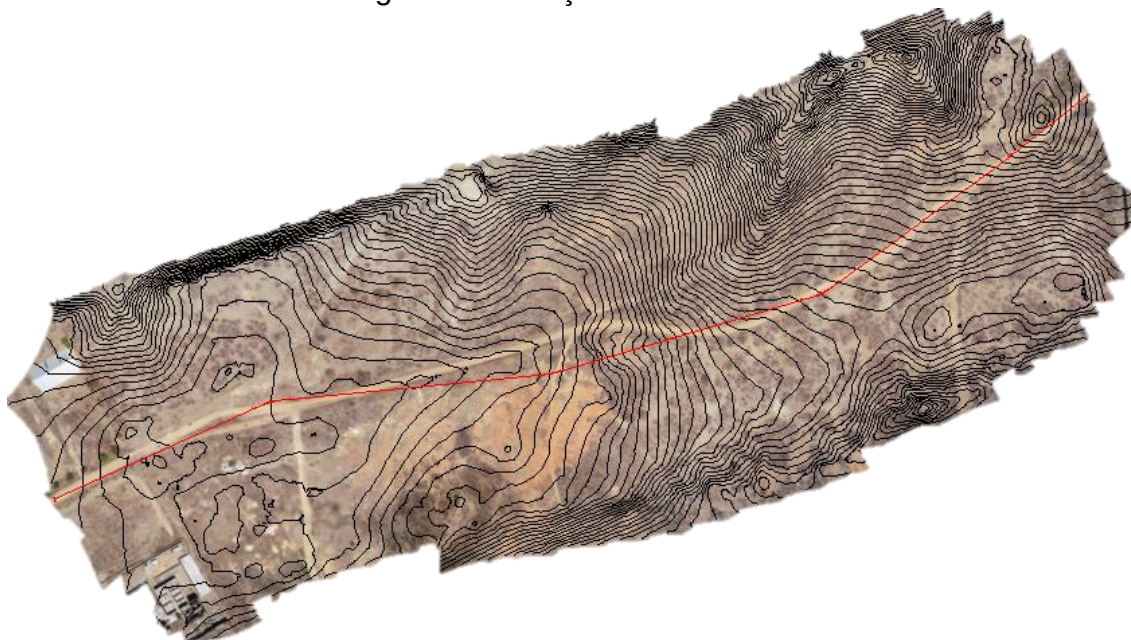
Figura 19 - Curvas de Nível da região analisada



Fonte: Autor, 2020.

Através das curvas de nível, ilustradas pela Figura 19, pode-se então realizar um traçado para a rodovia, conforme apresentado pela Figura 20. Nesta é possível identificar o traçado representado em vermelho e as curvas de nível em preto.

Figura 20 - Traçado da Rodovia



Fonte: Autor, 2020.

É válido ressaltar que o próprio software AutoCad Civil 3D, realiza automaticamente todo o estaqueamento do traçado sendo este indicado conforme exemplificado pela Figura 21. O traçado escolhido enquadra-se como bom, pois segue o que está estabelecido por sua definição, visto que, um traçado de rodovia deve fornecer além segurança e conforto a seus usuários deve também ser economicamente viável na execução, isto porque se feito um bom traçado pode-se diminuir o numero de corte e aterro que é um dos principais gastos em uma obra de rodovias.

Figura 21 - Detalhe do estaqueamento apresentado no traçado

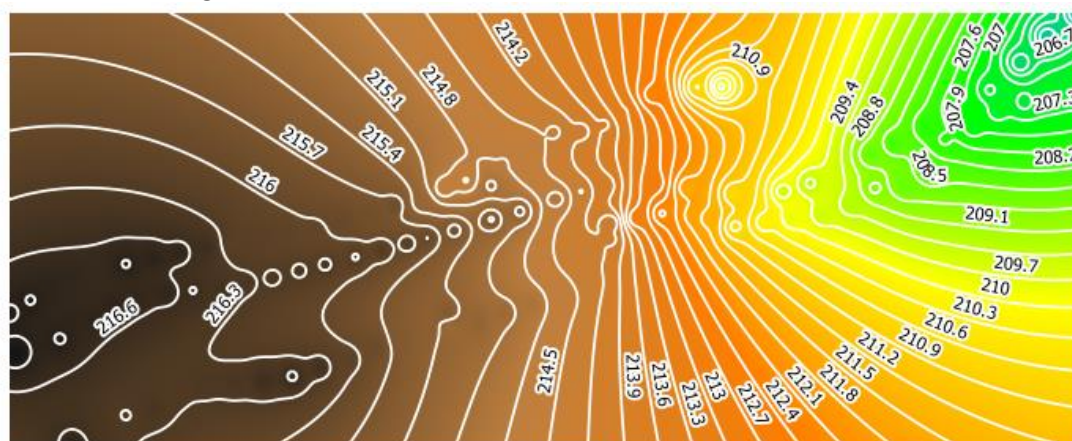


Fonte: Autor, 2020.

4.3. TRAÇADO DE RODOVIA UTILIZANDO SISTEMA RTK

Para realizar um comparativo entre os dados obtidos pelo VANT com relação aos tempos de processamento e de execução do levantamento em campo, utilizou-se o sistema RTK para obtenção das curvas de nível da área analisada de modo que, a partir desta, pode-se também gerar um traçado para a rodovia em questão. A Figura 22 ilustra as curvas de nível obtidas utilizando o método apresentado, que pode ser mais detalhadamente visualizado no mapa presente no Apêndice D.

Figura 22 - Curvas de nível obtidas com GNSS RTK



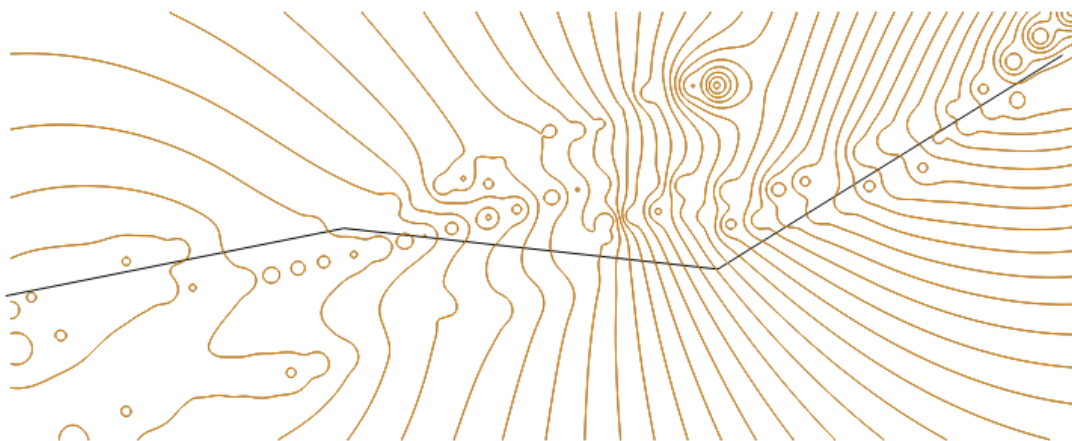
Fonte: Autor, 2020.

Pode-se perceber que as curvas de níveis obtidas foram aproximadamente semelhantes às adquiridas por meio das imagens áreas geradas por VANT, com diferença em relação aos detalhes e quantidade das

curvas de níveis, bem como alguns pontos cujas elevações apenas se aproximaram dos valores mostrados nas imagens nas isolinhas, sendo tal fato explicado devido a problemas com a classificação da nuvem de pontos para obtenção do modelo digital de superfície no ortomosaico ou até mesmo problemas relacionados a interferências no sistema GNSS utilizado.

A partir das isolinhas verificadas na Figura 22 com o mesmo espaçamento na qual foram obtidas por meio das imagens aéreas, pode-se realizar o traçado da rodovia pelo método analisado. A Figura 23, ilustra este traçado. É possível perceber, comparando os traçados obtidos pelos dois métodos, que são basicamente semelhantes, com algumas diferenças devido a insuficiente no detalhamento apresentado com os pontos coletados pelo sistema RTK, sendo este fato está relacionado com o número de pontos coletados que não foram suficientes para representar de forma mais detalhada as elevações como mostrado pelo método aerofotogramétrico.

Figura 23 - Traçado obtido com as curvas de níveis do GNSS RTK



Fonte: Autor, 2020.

Com os resultados de ambos os levantamentos, pode-se comparar os métodos utilizados com relação ao tempo para processamento dos dados e levantamento das informações em campo. A Tabela 8 apresenta estas informações.

Tabela 8 - Comparativo entre o tempo levantamento e processamento dos métodos

	SISTEMA RTK	VANT
LEVANTAMENTO (h)	2:25	1:15
PROCESSAMENTO (h)	2:05	2:30
TOTAL	4h30min	3h45min

Fonte: Autor, 2020.

É válido salientar que o processamento compreende a correção dos dados até a obtenção dos principais produtos utilizados nesta pesquisa. Além disso, o número de pontos coletados pelo RTK no levantamento convencional foi aproximadamente 12 vezes maior do que aqueles coletados como pontos de verificação e controle para o processamento das imagens aéreas.

É importante também lembrar que o tempo de processamento depende da qualidade do computador utilizado, ou seja, quanto melhor for a capacidade de processamento da máquina mais rápido será para se obter os produtos desejados.

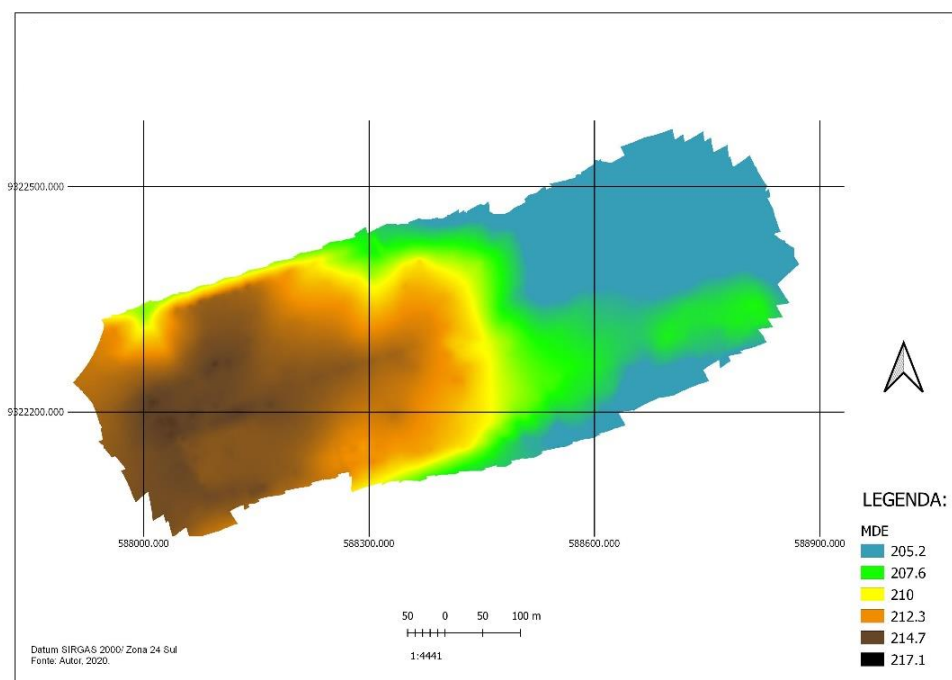
4.4. ANÁLISE DE DRENAGEM DA REGIÃO

A análise do escoamento superficial da água na região analisada, é de extrema importância para estes projetos de estradas, pois permite verificar o caminho que a água irá percorrer e em quais regiões estas podem se concentrar e gerar possíveis alagamentos ou inundações que dificultem o tráfego ou passagem de pedestres pelas vias.

Nesse estudo foi utilizado o modelo digital de elevação desenvolvido a partir do processamento das imagens aéreas obtidas por meio de VANT e o software Qgis.

Esse estudo de drenagem na região permite com que os departamentos responsáveis pelos projetos possam realizar ações com o intuito de acabar ou minimizar a ação da água sob o pavimento, causa da perda de vida útil do pavimento e outros. A Figura 24 ilustra de maneira esquemática o modelo digital de elevação que por meio das diversas cores apresentam as elevações do terreno analisado.

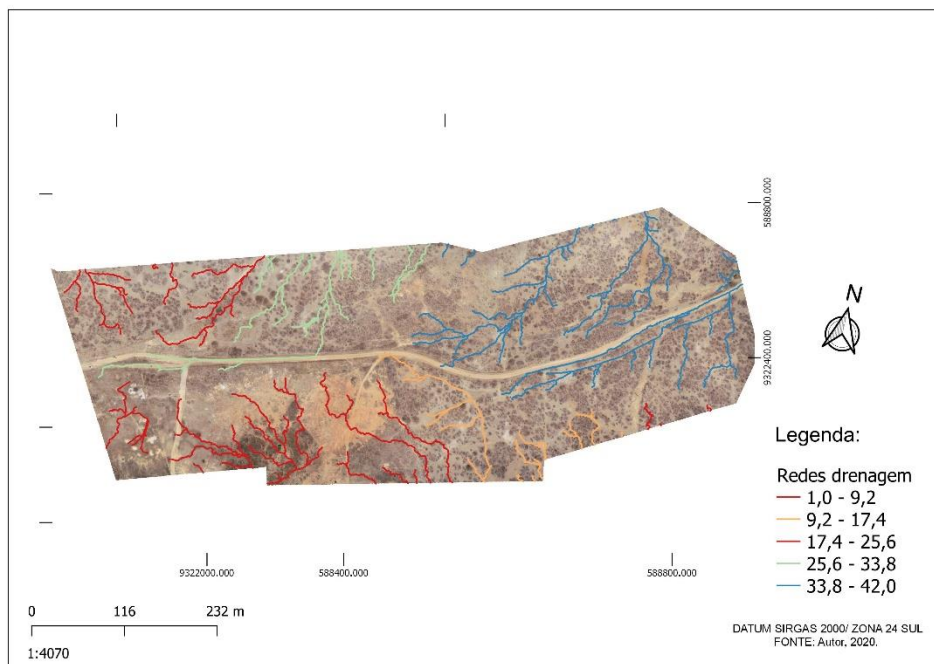
Figura 24 - MDE adquirido com as imagens aéreas de VANT



Fonte: Autor, 2020.

A Figura 25 mostra as redes de drenagem geradas por meio do MDE visualizado na Figura 24. Estas indicam o escoamento superficial da água na região. A partir da interpretação das redes de drenagem será possível instalar e dimensionar acessórios, como calhas e bocas de lobo, bueiros, sarjetas e valetas por exemplo, evitando o aparecimento do escoamento superficial em regiões não planejadas que poderia provocar erosão acentuada no solo do terreno, bem como problemas ao pavimento de modo a prejudicar a boa trafegabilidade do mesmo.

Figura 25 - Mapa de redes de drenagem



Fonte: Autor, 2020.

Tal estudo é de essencial importancia antes mesmo da realização do traçado da rodovia, pois a partir da análise desta rede, pode-se identificar os principais pontos de alagamento ou inundação e a presença de corpos hidricos que possam dificultar a execução e o planejamento da rodovia.

5. CONCLUSÃO

A partir dos dados adquiridos por meio do processamento realizado com a versão demonstrativa do *software Agisoft Photoscan* através das imagens aéreas adquiridas por VANT com sistema RTK, foi possível obter produtos como o modelo digital de elevação, modelo digital de terreno, curvas de nível e ortomosaico, essenciais para análise e obtenção de informações e dados utilizados no processo de elaboração do traçado de uma rodovia.

Esses produtos indicaram, conforme o especificado pela PEC, a classe A, que qualifica o produto na mais alta precisão. Desta forma, os dados planialtimétricos obtidos utilizando VANT apresentaram qualidade e confiabilidade, confirmando sua eficiência em trabalhos ou pesquisa, fornecendo dados relevantes para a tomada de decisão ou elaboração de projetos.

Verifica-se também, através do RMSE que os erros apresentados nas cotas X, Y e Z obtidos por meio dos pontos de verificação foram respectivamente de 2,56 cm, 2,27 cm e 8,27 cm, conferindo aos produtos gerados acurácia, considerando esses erros baixos, tendo maior expressividade na cota Z que representa a altitude da área de estudo e um dos principais utilizados nesta pesquisa. É importante ressaltar a relevância dos pontos de controle e verificação neste processo, visto que estes dão respectivamente maior precisão e acurácia ao produto e indica qual seria essa qualidade numericamente.

Com relação ao comparativo entre os métodos utilizados, pode-se perceber que com o VANT o processo de obtenção dos resultados e do traçado da rodovia torna-se mais rápido e dinâmico principalmente sendo obtido em 1h10min a menos do que o método utilizando o sistema RTK. Tal fato se dar por conta da rapidez na obtenção das imagens aéreas e dos pontos de controle, dando ao trabalho maior agilidade, gerando economia e rapidez no alcance das informações necessárias para realizar o traçado da rodovia.

É válido salientar, a importância da utilização da versão para estudantes do *software AutoCad Civil 3D* neste processo, que ajudou de forma significativa na obtenção do traçado da rodovia, indicando até a quantidade de estacas em sua extensão.

Verificou-se ainda que foi possível através do modelo digital de elevação adquiridos das imagens aéreas, criar o mapa de redes de drenagem, que é muito

utilizado no estudo hidrológico e na elaboração do projeto de drenagem de uma rodovia de modo a evitar problemas com inundações ou alagamentos nas rodovias.

Assim, pode-se concluir que a utilização de VANT com sistema RTK aliado as práticas e aos estudos da aerofotogrametria é uma ferramenta viável e até mesmo fundamental na definição do traçado de uma rodovia e na elaboração de mapas de redes de drenagem, sendo possível realizar vários estudos essenciais para o projeto de estradas, com rapidez e precisão.

5.1. PESPECTIVAS FUTURAS

Como perspectivas futuras desta pesquisa, destaca-se a utilização das imagens aéreas de VANT aliado ao estudo aerofotogramétrico e a utilização do *software AutoCad Civil 3D* para a realização dos projetos para construção de uma rodovia, desde a obtenção do traçado, mas também dos perfis de elevação do terreno, perfil projetado, seção típica, corredor e diagrama de Brukhner. Para isto, deve-se manipular a nuvem de pontos obtida por meio do processamento das imagens aéreas no *software Agisoft Photoscan*.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. RBAC-E N° 94: **REQUISITOS GERAIS PARA AERONAVES NÃO TRIPULADAS DE USO CIVIL**. Brasília: Diário Oficial da União, 2017.

ATAÍDE, J. V. (2019). **AVALIAÇÃO DA PRECISÃO PLANIALTIMÉTRICA DE MÉTODOS PÓS-PROCESSADOS E PRÉ-PROCESSADOS**. UFERSA. Pau dos Ferros, RN: Trabalho de Conclusão de Curso.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.

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.

BRASIL. **Estudo sobre a industria brasileira e europeia de veículos aéreos não tripulados**. Brasília: Diálogos Setoriais, 2018. 92 p.

BORGES, A. C.. **Topografia**. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

CERVI, W. R. **AVALIAÇÃO DA ALTIMETRIA DE DADOS SRTM UTILIZANDO GNSS RTK COMO REFERÊNCIA**. 2012. 37 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES. **Rodovias Esquecidas no Brasil**. Brasília, 2018. 55p.

COSTA, S. M. A.; Et al. RBMC em Tempo Real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. In: II SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, **Anais...** Recife, 2008.

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

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

COELHO JÚNIOR, J. M.; ROLIM NETO, F. C.; ANDRADE, J. da S. C. O.. **Topografia Geral**. Recife: Edufrpe, 2014. 162 p.

CARVALHO, E. A. de; ARAÚJO, P. C. de. **Localização**: Coordenadas planas - UTM. Natal: Edufrn, 2008. 248 p.

DEWES, E.; OLIVEIRA, F. A. de; BRISOTTO, G. S. **Levantamento Planialtimétrico**

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. Rio de Janeiro: Dnit, 1999.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES (Rio de Janeiro. **Manual de Drenagem de Rodovias**, Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisa Rodoviárias, ano 1990.

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

LIMA, P. D. R. **AEROFOTOGRAMETRIA POR MEIO DE VANTS: ANÁLISE DA VIABILIDADE NO LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO**. 2018. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros - RN, 2018.

LIMA, L. P. P. **DRENAGEM DE RODOVIAS E SUA IMPORTÂNCIA PARA A MANUTENÇÃO DA QUALIDADE DO CORPO ESTRADAL**. 2012. 73 f. Monografia (Especialização) - Curso de Tecnólogo em Construção Civil, Universidade Regional do Cariri, Juazeiro do Norte, 2012.

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.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Nova Iorque/EUA. John Wiley & Sons, 2007. 756p.

LEE, S. H. **Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias**. Curso de Engenharia Civil. 2000. Notas de aula. Universidade Federal de Santa Catarina.

MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS: **Descrição, Fundamentos e aplicações**. 2ª Ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. v.1. 476 p.

MOUTINHO, O. Evaluation of Photogrammetric Solutions for RPAS: Commercial vs Open Source. 2015. 120f. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Geográfica, Universidade Do Porto, Porto, 2015.

MUNDOGEO. **Posicionamento em tempo real com GPS RTK**. Disponível em <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/posicionamento-em-tempo-real-com-gps-rtk/>. Acesso em 18/12/2019.

PEREIRA, D. M. et. al. **Projeto Geométrico de Rodovias**. Curso de Engenharia Civil. 2010. Notas de aula. Universidade Federal do Paraná.

PEGORARO, A. J.; GUBIANI, J. S.; PHILIPS, J. W. **Veículo Aéreo não Tripulado: Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública**. In. 42 Simpósio Argentino de Informatica y Derecho, SID, 2013. 176-187 p.

ROSALEN, D. L. **Estudo do processo de captação de imagens aplicado a fotogrametria digital**. 1997. 159 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

SOUSA, H. L. de. Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, p.326-342, set. 2017.

SANTOS, R. A. (2007). **Metodologia científica: a construção do conhecimento** (7 ed.). Rio de Janeiro: DP&A.

SANTOS, J. L. (2017). **INTEGRAÇÃO ENTRE DADOS QUANTITATIVOS E QUALITATIVOS EM UMA PESQUISA DE MÉTODOS MISTOS**. Texto & Contexto - Enfermagem. FapUNIFESP (SciELO), 26, 01-09. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/0104-07072017001590016>.

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.

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.

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 JÚNIOR, S. B. da; FERREIRA, M. A. G. **RODOVIAS EM ÁREAS URBANIZADAS E SEUS IMPACTOS**. Uberlândia, 2008. p. 221 - 237.

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, 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.

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

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.

VENTURINI, A. B. **Imagens de veículos aéreos não tripulados aplicados para dimensionamento de redes de microdrenagem 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.

VÉRAS JÚNIOR, L. **Topografia - Notas de aula**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife – PE. 2003.

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.

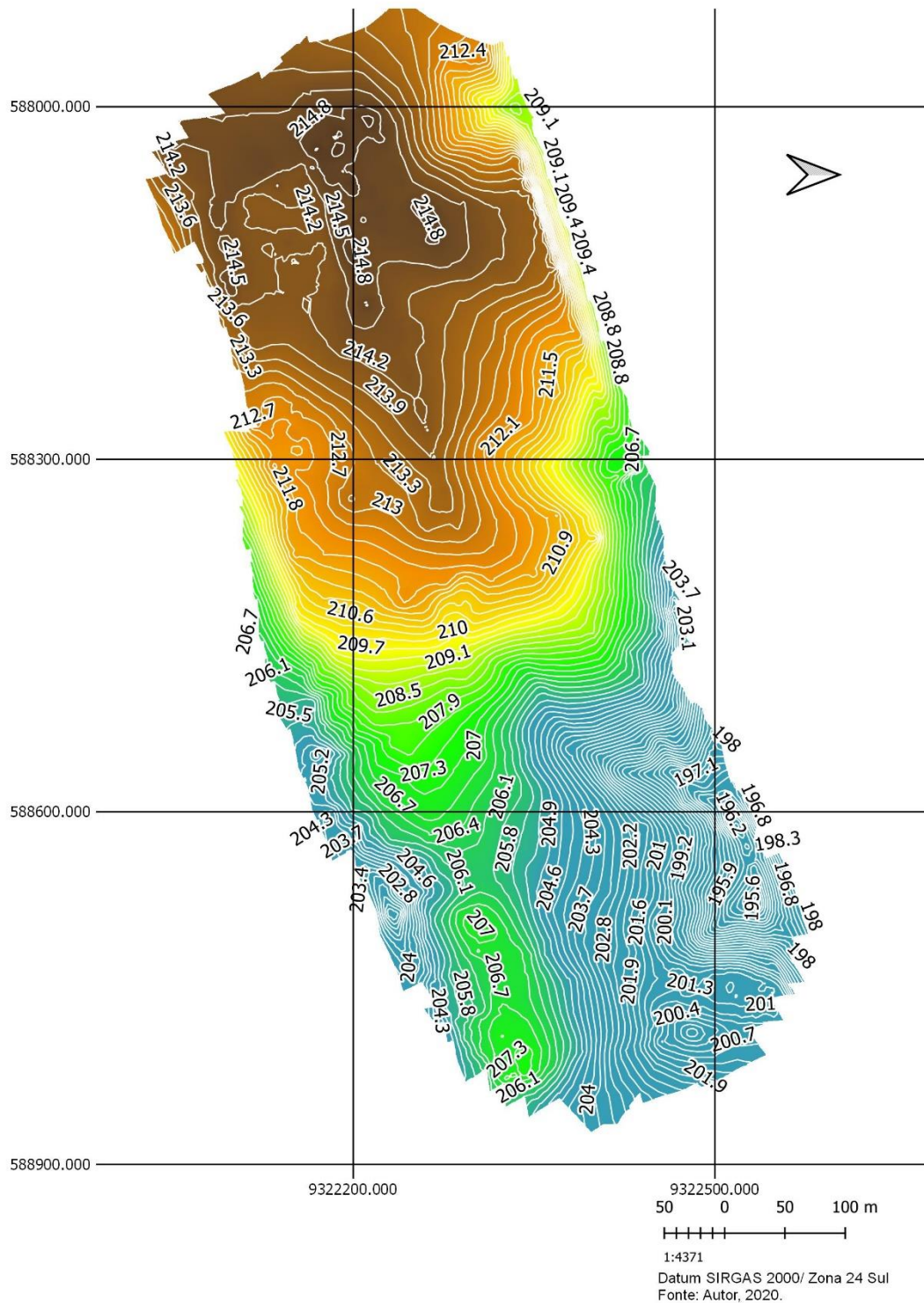
APÊNDICE A

ORTOMOSAICO DA ÁREA ANALISADA



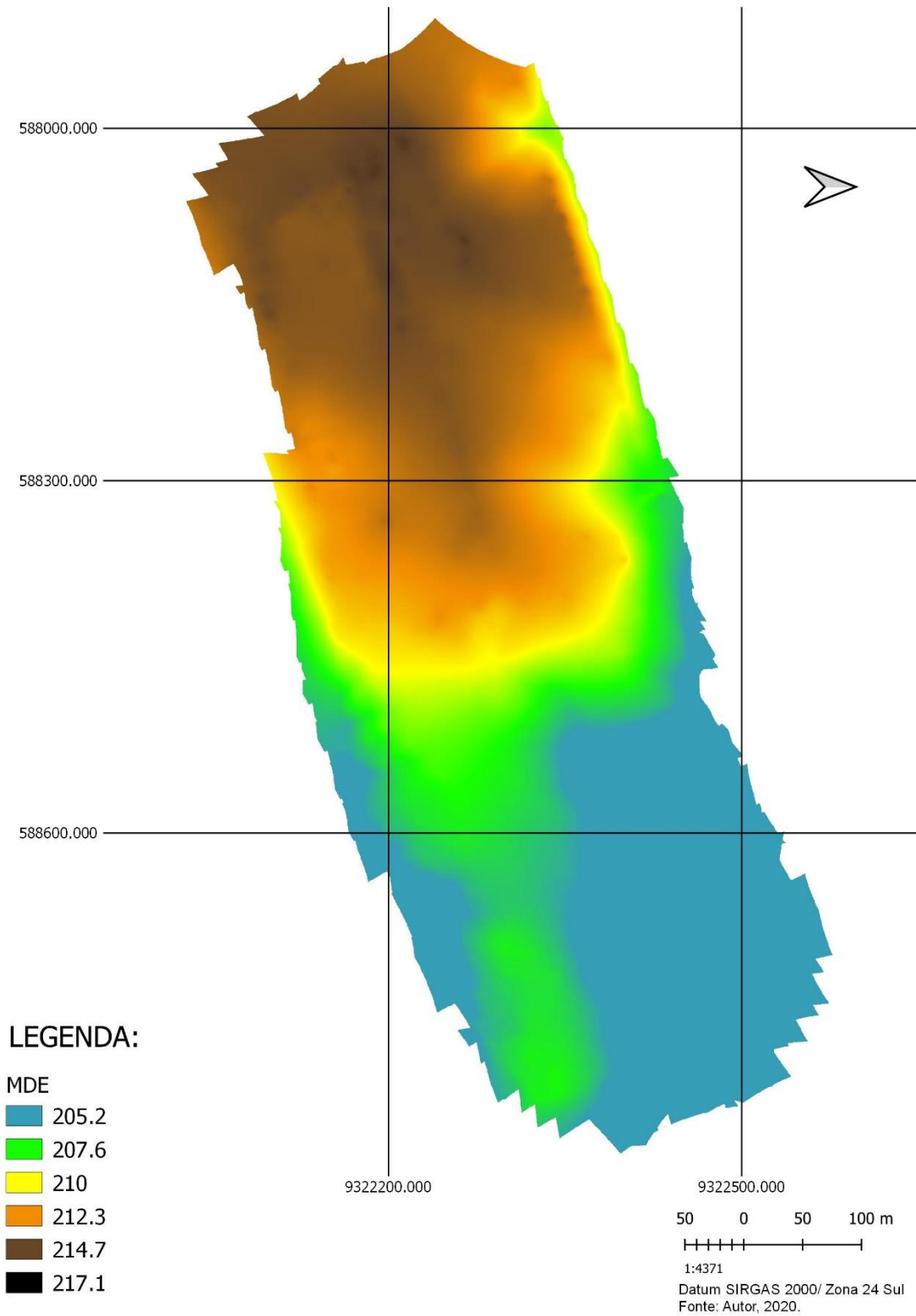
APÊNDICE B

CURVAS DE NÍVEL E MDE GERADAS COM IMAGENS AEREAS DE VANT



APÊNDICE C

MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO OBTIDO COM VANT



APÊNDICE D

CURVAS DE NÍVEL E MDE GERADOS COM GNSS RTK

