

**INSTITUTO ENSINAR BRASIL
FACULDADE DOCTUM DE JUIZ DE FORA
BRAYAN SEDLACEK XAVIER**

TOPOGRAFIA: LEVANTAMENTO CONVENCIONAL X AEROFOTOGRAMETRIA

**JUIZ DE FORA
2020**

BRAYAN SEDLACEK XAVIER
FACULDADE DOCTUM DE JUIZ DE FORA

TOPOGRAFIA: LEVANTAMENTO CONVENCIONAL X AEROFOTOGRAMETRIA

Monografia de Conclusão de Curso, apresentada ao curso de Engenharia Civil, Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. M.Sc. Wellington Coutinho Silva

JUIZ DE FORA
2020

Ficha Catalográfica elaborada pela Biblioteca Faculdade Doctum/JF

XAVIER, Brayan Sedlacek.
Topografia: Levantamento Convencional x
Aerofotogrametria / Brayan Sedlacek Xavier - 2020.
58 folhas.

Monografia (Curso de Engenharia Civil) –
Faculdade Doctum Juiz de Fora.

1. Topografia. 2. Drone
I. Topografia: Levantamento Convencional x
Aerofotogrametria. II Faculdade Doctum Juiz de Fora

BRAYAN SEDLACEK XAVIER

TOPOGRAFIA: LEVANTAMENTO CONVENCIONAL X AEROFOTOGRAMETRIA

Monografia de Conclusão de Curso, submetida à Faculdade Doctum de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovada pela seguinte banca examinadora.

Prof. M.Sc. Wellington Coutinho Silva
Orientador (a) e Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Prof. M.Sc. Liércio Feital Motta Júnior
Docente da Faculdade Doctum - Unidade Juiz de Fora

Examinada em: 15/12/2020.

AGRADECIMENTOS

Para a realização desta monografia necessitei de muita ajuda de pessoas no meu ciclo de amizade, principalmente, da minha família e namorada que me apoiou e sempre acreditou em mim e no meu futuro. Gostaria de agradecer a todos os professores da rede que tive contato nesses cinco anos, mas com um agradecimento especial ao meu orientador Wellington Coutinho, que não mediu esforços a me ajudar.

Além disso, gostaria de fazer um agradecimento especial a todos os funcionários da Uaisoil Projetos & Consultorias, que com boa vontade me forneceram todos os equipamentos e projetos para tornar possível este estudo.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	ÁREA DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE
CMOS	COMPLEMENTARY METAL OXIDE SEMICONDUCTOR
DEM	MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO
IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
INCRA	INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA
GLONASS	SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL VIA SATÉLITE EM RUSSO
GNSS	SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE
GPS	SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL
MDS	MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE
MDT	MODELO DIGITAL DE TERRENO
NBR	NORMA BRASILEIRA
PDOP	DILUIÇÃO DE POSIÇÃO DA PRECISÃO
PPP	POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO
SIRGAS	SISTEMA DE REFERÊNCIA GEOCÊNTRICO PARA AS AMÉRICAS
UTM	UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
VANT	VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Locação de Coordenadas	19
Figura 2 – Medição de Ângulo.....	20
Figura 3 - Comunicação GPS RTK	21
Figura 4 - Superposição Lateral	22
Figura 5 - Superposição Longitudinal.....	22
Figura 6 - Alvos Naturais e Artificiais	24
Figura 7 - Janela de Voo	25
Figura 8 - Variação GSD	26
Figura 9 - Altitude de Voo	27
Figura 10 - Altitude de Voo e GSD	27
Figura 11 - DroneDeploy	28
Figura 12 - Projeção Cônica e Ortogonal	29
Figura 13 - Mosaico de Ortofotos.....	30
Figura 14 - Área de Estudo	32
Figura 15 - Ponto Base	33
Figura 16 - GPS Base e Rádio	33
Figura 17 - Aparelho GPS RTK modelo GTR-i.....	34
Figura 18 - Estudo Pontos de Controle	35
Figura 19 - Plano de Voo.....	36
Figura 20 - Parâmetros de Voo	37
Figura 21 - Janela de Voo Calculada	38
Figura 22 - Phantom 4 Adv.....	38
Figura 23 - Nuvem de Pontos Densificada	39
Figura 24 – Nuvem de Pontos Densificada e Filtrada	40
Figura 25 - Modelo Digital de Elevação.....	41
Figura 26 - Mosaico de Ortofotos	42
Figura 27 - Curvas de Nível.....	43
Figura 28 - Acurácia e Precisão	47
Figura 29 - Vetorização de Terreno	49
Figura 30 - Indicação de Vegetação.....	50
Figura 31 - Curvas de Nível ao Entorno	51

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Descrição dos Custos	44
Quadro 2 - Condições dos Equipamentos.....	46
Quadro 3 - Acurácia GPS	48
Quadro 4 - Erros nos Pontos de Controle	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Precificação dos Métodos.....	45
Tabela 2 - Tempo Médio	45
Tabela 3 - Nível de PDOP	47

RESUMO

XAVIER, BRAYAN SEDLACEK. **Topografia: Levantamento Convencional x Aerofotogrametria**. 58f. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Faculdade Doctum, Juiz de Fora, 2020.

O presente trabalho de conclusão de curso, tem por sua finalidade apresentar os conceitos teóricos e técnicos de levantamento topográfico e de aerolevamento, na visão da Engenharia Civil. Além disso, é possível demarcar como a construção civil vem se aperfeiçoando nas últimas décadas, por intermédio da inserção do GPS RTK, VANT's e drones, em suas medições. Para mais, este trabalho irá demonstrar uma análise comparativa entre os métodos atuais de levantamento e, assim, estabelecendo as características presentes nas utilizações dos sistemas atuais, sendo eles: GPS RTK e drones. Após a exposição teórica, será apresentado um estudo de caso, de um projeto realizado na cidade de Juiz de Fora – Minas Gerais, produzido pela empresa Uaisoil Projetos & Consultorias juntamente a mim, que pude participar do projeto, no ano de 2019, e por meio deste, objetivando as condições técnicas necessárias, será estabelecido uma análise em relação ao custo, tempo, viabilidade e a precisão dos métodos de levantamento topográfico e aerofotogrametria.

Palavras-chave: Levantamento. Aerolevamento. Drones.

ABSTRACT

The purpose of this course conclusion paper is to present the theoretical and technical concepts of Topographic Survey and Aerial photography, in the view of civil engineering. In addition, it is possible to demarcate how civil construction has been improving in recent decades, through the insertion of GPS RTK, UAVs and drones in their measurements. Furthermore, this work will demonstrate a comparative analysis between the current survey methods and, thus, establishing the characteristics present in the uses of the current systems, being: GPS RTK and drones. After the theoretical exposition, a case study will be presented, of a project carried out in the city of Juiz de Fora - Minas Gerais, produced by the company Uaisoil Projetos & Consultorias together with me, who held the position of intern, in 2019, and through this, aiming at the necessary technical conditions, an analysis will be established in relation to the cost, time, feasibility and the accuracy of the methods of Topographic Survey and Aerophotogrammetry.

Keywords: Survey. Aerial photography. Drones.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 JUSTIFICATIVA	15
2 METODOLOGIA	17
3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	18
3.1 CONCEITOS TOPOGRÁFICOS	18
3.1.1 Definições	18
3.1.2 Variedade de Levantamentos	19
3.1.2.1 <i>Estação Total</i>	19
3.1.2.2 <i>GPS RTK</i>	20
3.2 FOTOGRAMETRIA: CONCEITOS E DEFINIÇÕES	22
3.2.1 Aerofotogrametria	23
3.2.2 Pontos de Controle	23
3.2.3 Janela de Voo	24
3.2.4 Ground Sample Distance - GSD	26
3.2.5 Plano de Voo	28
3.2.6 Ortofotos.....	29
4 ESTUDO DE CASO	31
4.1 ÁREA DE ESTUDO	31
4.2 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO CONVENCIONAL	32
4.3 LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO	35
5 RESULTADOS	44
5.1 CUSTO DOS LEVANTAMENTOS	44
5.2 TEMPO DE EXECUÇÃO	45
5.3 CONDIÇÕES DE VIABILIDADE OPERACIONAL	46

5.4 ACURÁCIA DOS MÉTODOS	46
5.5 ANÁLISE DO PRODUTO FINAL	48
6 ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
REFERÊNCIAS.....	54
ANEXO A – Projeto Topográfico Estudo de Caso.....	58

1 INTRODUÇÃO

O escrito tem como propósito trazer o levantamento topográfico, que é um trabalho de campo exercido por um topógrafo, para identificar, limites do terreno, área, e pontos de interesses. No entanto, será apresentado também, a técnica de aerolevamento, quando o operador manipula drones para executar um levantamento.

A construção civil, vem sendo cada dia mais aperfeiçoada de acordo com a tecnologia e aparição de novas técnicas, e algo que está surgindo como técnica alternativa é o aerolevamento, feito por intermédio de drones e de Veículos Aéreo não Tripulados (VANT). Porém, a utilização dos mesmos, quando má confeccionada, pode gerar divergências nos resultados.

Convencionalmente, o GPS RTK é um equipamento que possui mais confiabilidade com os intermediários, sendo uma técnica dos anos 90, que utiliza uma onda de fase portadora, dado que a coleta dos pontos tem uma boa precisão, é rápida, e possui facilidade na utilização.

Os engenheiros ao integrarem o uso de drone e VANT's, promovem mudanças relevantes em seus projetos, visto que otimiza o tempo de trabalho e a geração de novos produtos, assim, permitindo que ocorra a entrega dos projetos em menor tempo e uma entrega de projeto mais refinada como, por exemplo, a ortofoto.

A ortofoto, permite que se obtenha uma melhor visualização do terreno, como: uma imagem ampla do terreno, e a possibilidade de georreferenciar o mosaico de ortofotos com coordenadas UTM, entretanto, o profissional para usufruir desta técnica, deve dominar como utilizá-la e seus parâmetros para que não ocorra erros no levantamento.

Todavia, ao manusear de forma incorreta, os drones podem apresentar resultados pouco acurado, dado que pode ocasionar erros maiores nas coletas dos pontos em campo. Dependendo do projeto um erro maior pode ser determinante, de modo que isso afete na construção civil e não chegue aos resultados almejados.

Contudo, os drones e VANT's em junção com o sistema GPS RTK, é concebido um produto final de melhor qualidade, uma vez que a precisão do drone é aumentada, proporcionando uma menor taxa de erro e melhor aproveitamento do tempo de serviço.

Neste trabalho de conclusão de curso será apresentado um estudo de caso que mostrará uma análise comparativa entre o processo de levantamento topográfico com GPS RTK e aerolevanteamento, salientando as vantagens e desvantagens de cada método. O estudo de caso em questão, foi projetado e feito pelo autor em conjunto com UaiSoil, Projetos & Consultorias em Juiz de Fora, Minas Gerais, no ano de 2019.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O presente trabalho tem por sua finalidade apresentar dois métodos de levantamento topográfico, salientando a metodologia de trabalho e características técnicas de drones e GPS's RTK.

1.1.2 Objetivos Específicos

Elaborar um estudo de caso utilizando dois métodos de levantamento topográfico e realizar uma análise sobre as etapas de execução e teórica.

Produzir e expor um cotejamento em relação aos métodos de levantamento, apresentando os resultados e, evidenciando, os benefícios de cada método para o proveito do usuário na topografia.

1.2 Justificativa

A inevitabilidade do aumento da produtividade e qualidade do serviço na construção civil faz com que a cada momento surjam novas técnicas e tecnologias para aperfeiçoar os processos. Na topografia, o avanço da tecnologia possibilitou a produção de equipamentos mais potentes e cada vez mais automatizados, proporcionando maior coleta de dados e informações a serem retiradas do relevo.

Uma dessas técnicas modernas é o aerolevanteamento, sendo executado através de drones. Essa técnica foi desenvolvida através de um processo de fotogrametria, na qual é possível obter altos índices de qualidade e precisão. Para

Souza (2018), o uso de drones na topografia pode resultar em um processo mais eficiente e pode apresentar custos menores em relação a outros métodos, devido a menor quantidade de operadores e menor tempo de execução dos levantamentos topográficos.

2 METODOLOGIA

Consoante a Gil (1999), as pesquisas exploratórias apresentam embasamento teórico, através de autores e pesquisadores, com o intuito de torná-la mais claras e alicerçado.

Além das pesquisas bibliográficas, será apresentado um estudo de caso para tornar mais prático o estudo em questão. Os estudos de caso é “uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidos” (YIN, 2001, p.32).

Seguindo os conceitos de Gil (1999), neste trabalho foi realizado um estudo bibliográfico abordando os temas ligados à topografia (métodos e conceitos) e drones (técnicas para levantamentos). Toda a pesquisa foi baseada em autores conceituados, através de livros, artigos e sites.

Num segundo momento foi analisado um estudo de caso com o objetivo de tornar mais prático o estudo, colocando em exemplos as técnicas pesquisadas.

Posteriormente foram analisados os dados coletados em campos para executar uma comparação entre as formas de levantamento topográfico, com o intuito de apresentar os pontos positivos e negativos de cada método.

3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Para tornar o estudo mais embasado neste capítulo, será apresentado alguns conceitos e técnicas que são necessários para compreensão do estudo de caso apresentado posteriormente.

Alguns desses conceitos apresentados são os métodos de como realizar um levantamento topográfico, sendo explicado técnicas em diferentes equipamentos para ser elaborado uma comparação entre os dois métodos.

3.1 Conceitos Topográficos

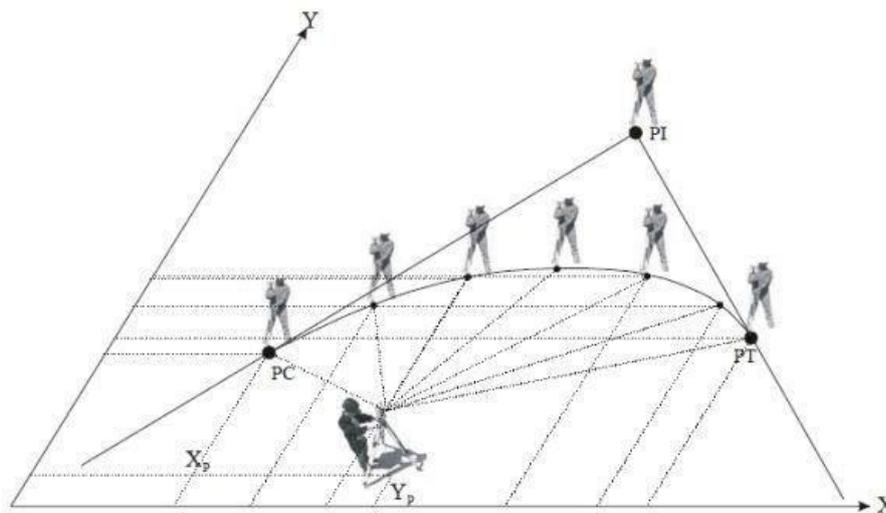
Para Domingues (1979), a agrimensura são técnicas aplicadas para medição, demarcação e representação de terras. Em grande proporção é chamado de geodésia, com mais detalhamentos, de topografia. Segundo Domingues (1979), a palavra topografia deriva da palavra grega *topos* (lugar), que tem por definição, a descrição exata e minuciosa de um lugar.

Com sua utilização é possível gerar as coordenadas de pontos, relevar distâncias necessárias, auxiliar em projetos e gerar plantas topográficas.

3.1.1 Definições

De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994) de Levantamento Topográfico, a topografia é o conjunto de métodos e processos, através de ângulos e distâncias horizontais, verticais e inclinadas, onde são necessários para realizar um levantamento a colocação de pontos (Figura 1) materializados no terreno, com o objetivo de determinar suas coordenadas topográficas.

Figura 1 - Locação de Coordenadas



Fonte: Pereira (2012)

A Figura 1 ilustra um tipo de levantamento topográfico coletando pontos escolhidos para obtenção de suas coordenadas. Para melhor classificação, a NBR 13133/1994 definiu o conceito de levantamento topográfico em: planimétrico, altimétrico e planialtimétrico.

- Levantamento Topográfico Planimétrico: Levantamento de pontos de em um plano horizontal, medindo distâncias e ângulos.
- Levantamento Altimétrico: Levantamento que tem por objetivo a determinação dos desníveis de um terreno em vigor, sendo aplicada apenas pelo plano vertical.
- Levantamento Planialtimétrico: Levantamento que junta as características do planimétrico e altimétrico, utilizando as coordenadas X, Y e Z para a coleta de informações dos pontos de apoio.

3.1.2 Variedade de Levantamentos

Nesta seção serão apresentados dois tipos de levantamento planialtimétrico e as características de seus equipamentos. Além disso, será retratado o modo de utilização dessa técnica na prática com a estação total e o GPS RTK.

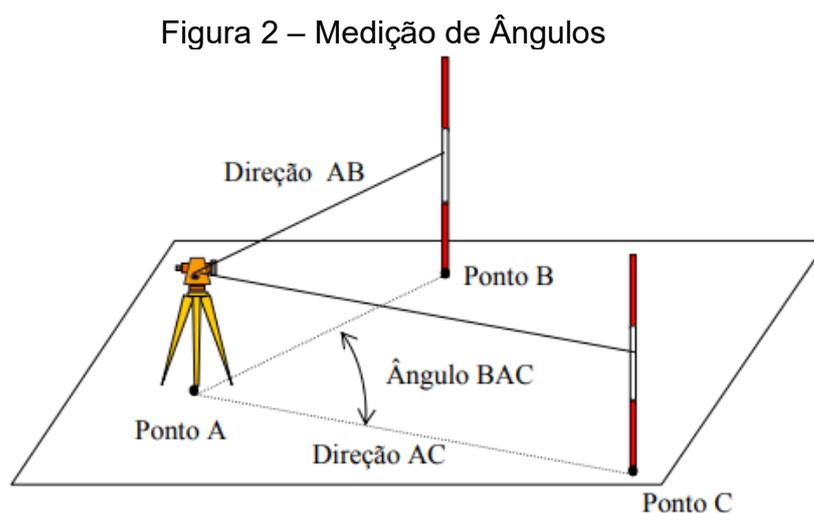
3.1.2.1 Estação Total

Conforme Fortunato (2018), a estação total é um equipamento capaz de coletar

dados em campo, fornecendo coordenadas (X, Y e Z) a partir de pontos topográficos. Em concordância Veiga (2012), descreve que uma estação total permite obter informações como:

- Distância reduzida ao horizonte (distância horizontal);
- Desnível entre os pontos (ponto “a” equipamento, ponto “b” refletor);
- Coordenadas dos pontos ocupados pelo refletor, a partir de uma orientação prévia;

Para a obtenção dessas informações deve-se utilizar técnicas de levantamento que alternam conforme interesse do topógrafo. Uma dessas técnicas é a utilização da ré e vante (Figura 2) para auxílio na obtenção de ângulos e distâncias. Segundo Veiga (2007), a ré é o ponto de referência da estação e vante é o próximo ponto a ser instalado pelo aparelho.



Fonte: Veiga *et al.* (2012)

Na Figura 2 pode-se notar um levantamento, onde é realizado a leitura da ré e vante, através de uma medição de ângulos e distâncias, para encontrar a distância entre os pontos A e B do terreno.

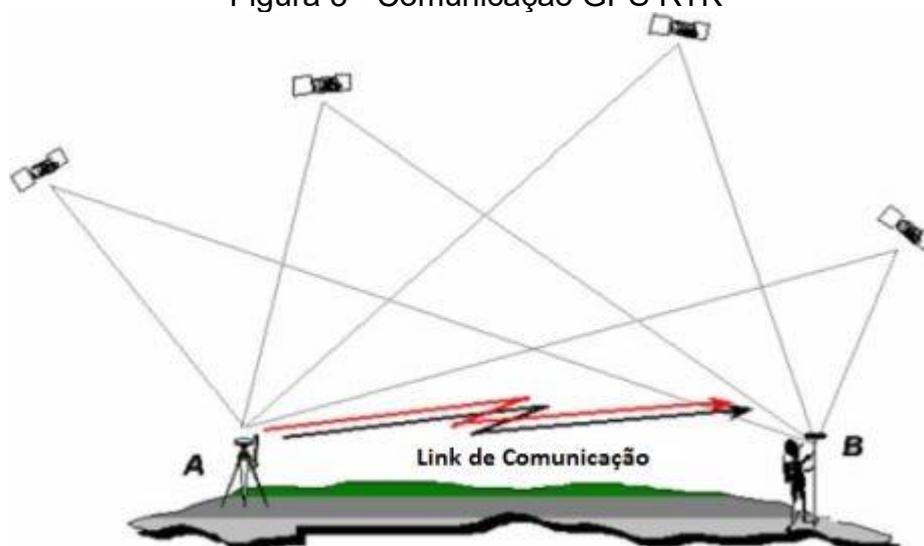
3.1.2.2 GPS RTK

Com o auxílio de satélites o Sistema de Posicionamento Global (GPS) é uma ferramenta de extrema importância para a sociedade, utilizadas em celulares e em navegadores, esta ferramenta tem como propósito indicar a localização em tempo real através de informações trocadas entre satélites e o aparelho.

A utilização do GPS na topografia não seria de interesse devido a sua variante de erro de localização, podendo oscilar até 10 metros do ponto pretendido. Porém, com o uso do Real Time Kinematic (RTK), este erro pode ser diminuído. Segundo Langley (1998), esta técnica dos anos 90, utiliza a fase da onda portadora, viabilizando resultados processados em tempo real, mesmo para os receptores em movimento.

O funcionamento do RTK consiste na utilização de um receptor base (Ponto A), onde ocorre uma constante troca de informações com os satélites e GPS rover (Ponto B), conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Comunicação GPS RTK



Fonte: Lee (2006)

Através dessa conexão de dados é possível obter as coordenadas (X, Y e Z) em tempo real de um ponto fixo escolhido. Para garantir a qualidade das coordenadas e sua confiabilidade, deve-se tomar cuidado ao realizar o levantamento topográfico em condições adversas, como por exemplo, em mata densa, ao entorno de prédios, entre outros.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponibilizou um serviço gratuito para a conversão de coordenadas para o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) através de um processamento preciso. Este recurso é chamado de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), que utiliza dados pós-processados Global Navigation Satellite System (GNSS).

Segundo o IBGE, os resultados são obtidos através de relatórios, aceitos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) em processos para a certificação de imóveis rurais, seguindo a lei 102267 de 28 de agosto de 2001 para o

georreferenciamento de imóveis.

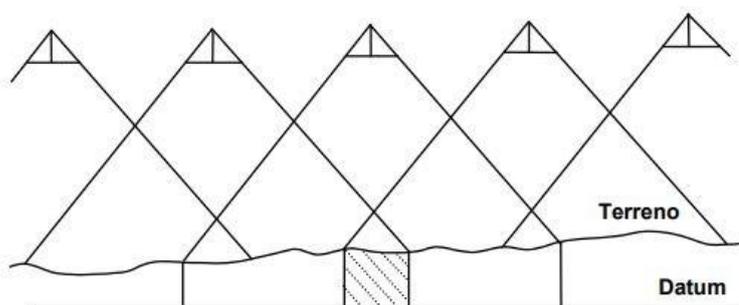
3.2 Fotogrametria: Conceitos e Definições

A fotogrametria, é derivada da palavra em grego *photos* e *gramma*, e tendo como definição medição de luz. Pelo *American Society of Photogrammetry – ASP* - (1966), é a ciência tecnológica de adquirir informações sobre terrenos e objetos, através de apontamentos, medições e análise das imagens coletadas.

Consoante a Tommaseli (2009), esta técnica auxilia na confecção de mapas, estudos geodésicos, topografia e gestão de população em cidades. No início, a fotogrametria, era realizada através de aviões de grande porte e de balões onde era colocado uma câmera com qualidade avançada, na época, e realizava a captura das fotos dos locais determinados.

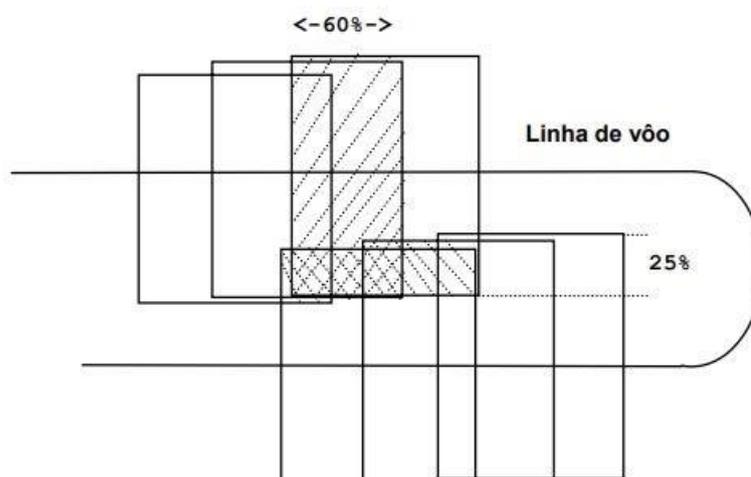
A partir dos dados coletados em campo é realizado um estudo para fazer a sobreposição das imagens geradas com o plano de voo (Figura 4).

Figura 4 - Superposição Lateral



Fonte: Tommaseli (2009)

Figura 5 - Superposição Longitudinal



Fonte: Tommaseli (2009)

A Figura 5 representa um plano de voo (linha de voo) para determinar o segmento das capturas das imagens (área capturada). Já a Figura 4 mostra a captura dessas imagens e a sobreposição das fotos usando o terreno como referência. Tommaselli (2009), reforça as características dos tipos de superposição.

Cada fotografia na linha de voo cobre uma área que se superpõe com as fotos anteriores em, aproximadamente, 60%. Esta superposição é chamada superposição longitudinal [...] e possui três finalidades básicas: a primeira é permitir a cobertura do terreno de dois pontos de vista distintos, o que permite a produção de estereo pares para a observação e medição estereoscópica; a segunda finalidade é a construção de mosaicos, aproveitando-se somente a porção central de cada fotografia, onde o deslocamento devido ao relevo e as distorções são menores; a terceira finalidade é a geração de pontos de apoio por métodos fotogramétricos, a fototriangulação (TOMMASELLI, 2009, p. 7).

3.2.1 Aerofotogrametria

Tommaselli (2004) afirma que surgida a partir da fotogrametria, a aerofotogrametria, é a técnica acompanhada com câmeras tecnológicas da atualidade operadas por um VANT. Sua técnica é voltada para mapeamentos cartográficos, levantamentos topográficos, estudos de viabilidade e acompanhamento ambiental e agrônomo, tendo como finalidade a obtenção de informações de pontos em interesses.

Para tornar possível o levantamento aerofotogramétrico, é necessário a harmonização de mais equipamentos com o intuito de obter dados mais precisos nos resultados. Segundo Neto (2015), o GPS RTK é o equipamento que auxilia o drone para realizar os levantamentos, obtendo as coordenadas (X, Y e Z) dos pontos de interesses.

3.2.2 Pontos de Controle

Neto (2015), relata que os pontos de controle são alvos que irão aparecer nas imagens aéreas. Esses pontos são utilizados para usar como referência de coordenadas no terreno, sendo usado para aumentar a precisão dos pontos gerados pelo aerolevanteamento.

Os drones possuem um sistema de GPS de navegação integrado ao aparelho, porém não apresentam boa acurácia para aerolevanteamentos, obtendo um erro num

raio de 5 a 10 metros do ponto de interesse. Conforme Neto (2015), para melhorar a acurácia com o levantamento com drone é necessário a distribuição e coleta de coordenadas geodésicas para obter a precisão de um aparelho mais potente nos pontos de controle.

Esses pontos de controle devem ser fixados e de tamanhos grandes para que possam ser vistos do céu a uma altura de até 200 metros de altitude. Para os aerolevantamentos há dois tipos de pontos de controle (Figura 6):

- Alvos Naturais: Utilização de materiais ou pontos de referência encontrados no trabalho de campo, podendo ser pedras, madeiras, faixas pintadas, entre outros. Para os alvos devem-se garantir a fixação dos tais ao terreno.
- Alvos Artificiais: Implantação de materiais preparados especificamente para aerolevantamentos. Os alvos, fixados no terreno, são placas pintadas de preto e branco para garantir a diferença de pixels no apontamento dos pontos de controle no software.

Figura 6 - Alvos Naturais e Artificiais

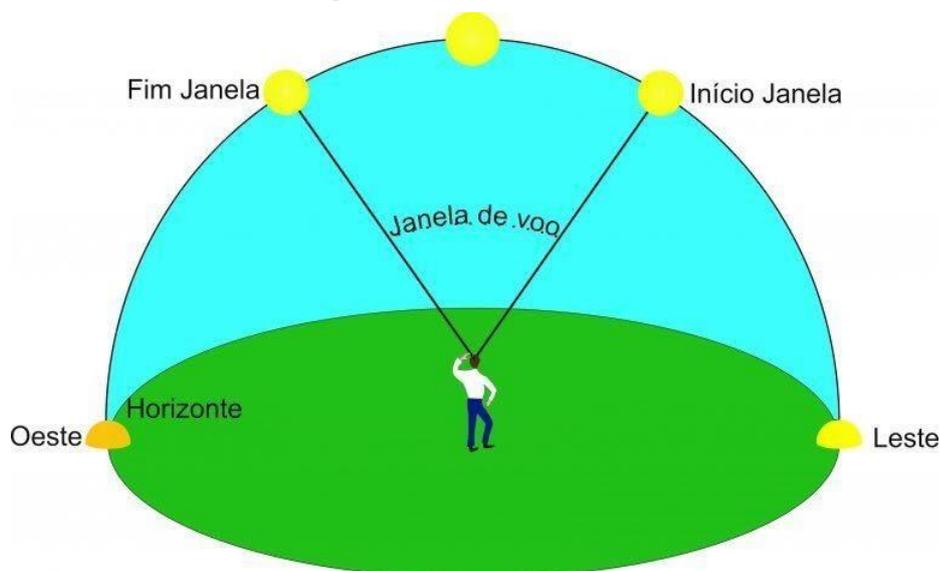


Fonte: Neto (2015)

3.2.3 Janela de Voo

A trajetória solar é de extremo interesse para garantir um levantamento de qualidade, onde em certos horários há um aumento ou diminuição da área de sombra. Essa sombra quando é exorbitante, segundo Arias (2017), pode dificultar e gerar erros no processamento das imagens. A janela de voo (Figura 7) é um mecanismo para melhorar a qualidade do produto gerado, determinando horários para realizar o aerolevantamento em regiões variadas.

Figura 7 - Janela de Voo



Fonte: Arias (2017)

De acordo com Arias (2017), a janela de voo é o período ideal para realizar o trabalho de campo. Essa janela tem duração de 4 horas e se encaixa no horário mais próximo do pico do sol, sendo calculada esse horário a partir do horário do nascer do sol e pôr do sol, conforme mostrado nas equações 2.1, 2.2 e 2.3:

$$\text{Horário de Pico} = \frac{(\text{Nascer do Sol} + \text{Por do Sol})}{2} \quad (2.1)$$

$$\text{Início da Janela} = \text{Horário de Pico} - 2:00:00 \quad (2.2)$$

$$\text{Fim da Janela} = \text{Horário de Pico} + 2:00:00 \quad (2.3)$$

A Equação (2.1) é o método para descobrir o horário de pico do sol, fazendo uma média entre o nascer e pôr do sol, para obter o horário com menor taxa de sombra. Já a Equação (2.2) e Equação (2.3) é a fórmula para obter uma janela de, no total, 4 horas de duração, sendo diminuído 2 horas do horário de pico para achar o início da janela e somar 2 horas para obter o fim da janela.

3.2.4 Ground Sample Distance - GSD

A sigla GSD, significa *Ground Sample Distance*, sendo sua tradução “Distância de Amostra do Solo”, onde é a representação de pixels de imagens em frações do terreno. Os pixels, para Neto (2016), são a menor parcela de uma imagem digital, sendo armazenados valores capturados e absorvidos. A composição desses pixels é o que origina imagens e vídeos de um determinado documento. Conforme, Gogoni (2019), a qualidade de uma imagem é medida através da quantidade de pixels contidas nela, essa medição é ocorrida através da resolução da imagem. A Figura 8 representa a variação desta resolução no decorrer de um levantamento no mesmo terreno.

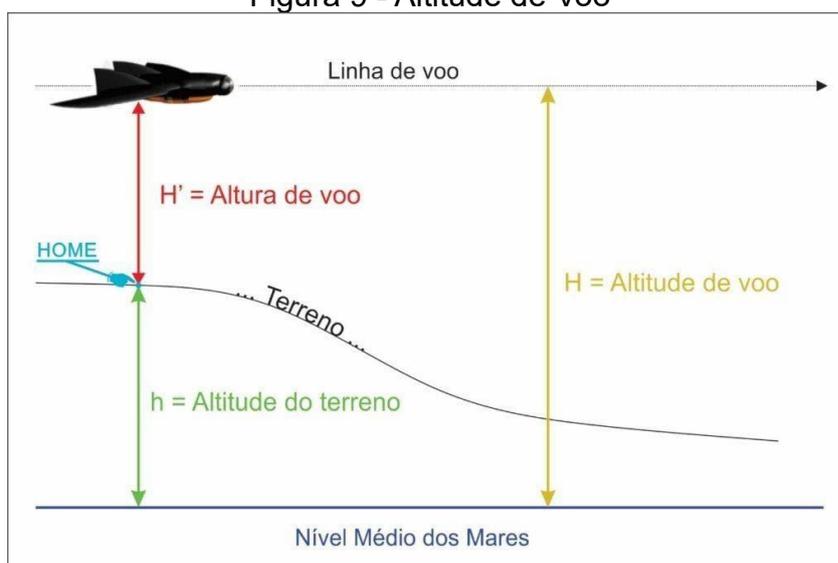
Figura 8 - Variação GSD



Fonte: Horus (2019)

O GSD está diretamente relacionado com a capacidade de captação da câmera e da altura de voo durante o aerolevanteamento. Em concordância com Arias (2017), os voos devem ocorrer na mesma altitude, em referências ao nível do mar, como mostrado na Figura 9.

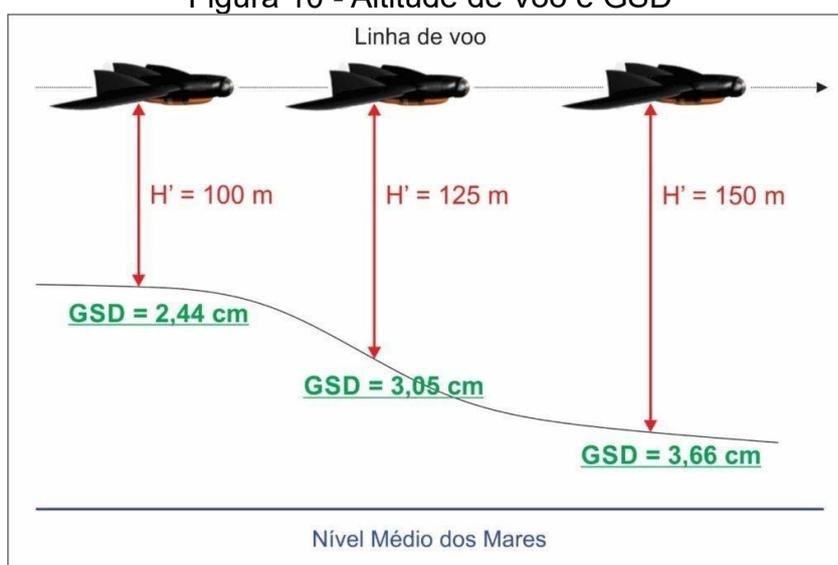
Figura 9 - Altitude de Voo



Fonte: Arias (2017)

A Figura 9 representa os desníveis do terreno e a altitude de voo, sendo usada como referência para a linha de voo. Conforme Arias (2017), pode-se encontrar vários valores de GSD's diferentes em um mesmo levantamento devido a variação do terreno. Essa diferença decorre da continuação da linha de voo, não acompanhando acíves e declives do terreno situado. A Figura 10 representa a variação do GSD em alturas diferentes em uma altitude na linha de voo.

Figura 10 - Altitude de Voo e GSD



Fonte: Arias (2017)

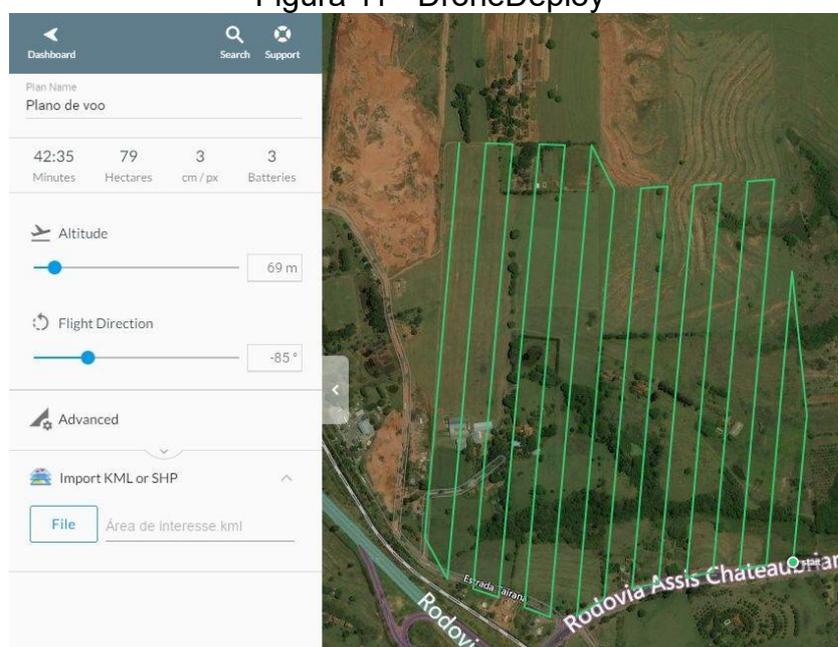
Com alturas de voo diferentes, a Figura 10 exibe a variação de tamanho dos pixels em partes do terreno, tendo assim uma maior distância focal da câmera e diminuição da qualidade quando a altitude de voo é aumentada.

3.2.5 Plano de Voo

O plano de voo consiste na logística do levantamento e determinação de parâmetros de voo, manipulando os dados através de aplicativos de planejamento e execução de voo. Segundo Arias (2017), um desses aplicativos é o DroneDeploy que é operado através de celulares, tablets e computadores conectados à internet.

Com o aplicativo é possível informar a altura de voo desejada e angulação da linha de voo, como apresentado na Figura 11.

Figura 11 - DroneDeploy



Fonte: Arias (2017)

A Figura 11 demonstra que é possível recolher informações como:

- Tempo de Voo;
- Tamanho da Área de Interesse;
- GSD;
- Quantidade de Baterias Necessárias para Realizar o Voo (Drone);

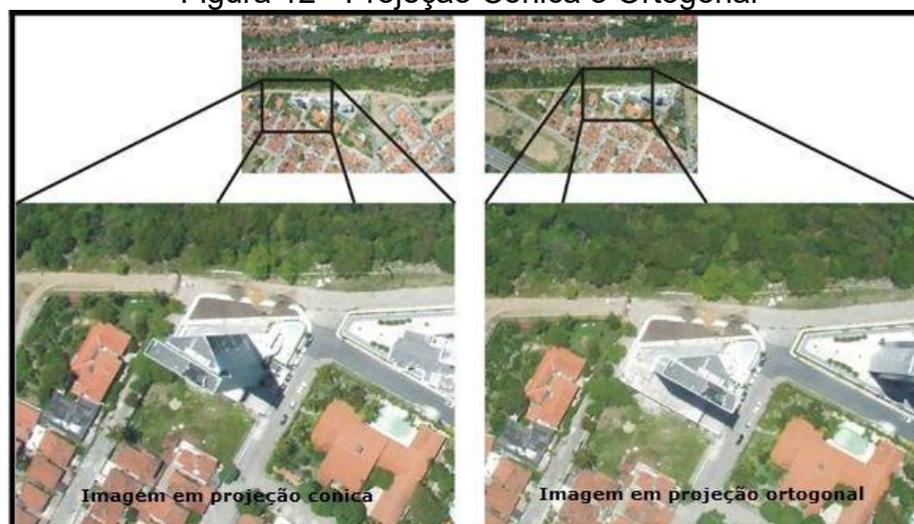
De acordo com Arias (2017), toda parte de voo é automatizada, realizando a decolagem de um local escolhido e, quando acabada, a aterrissagem no mesmo local de partida.

3.2.6 Ortofotos

As ortofotos são imagens capturadas através de um levantamento aerofotogramétrico, onde as imagens são georreferenciadas, com coordenadas reais. Consoante a Wolf (1983) e Barreto (2016), as ortofotos se equivalem a mapas convencionais, devido a captura das posições ortográficas verdadeiras de objetos.

Barreto (2016), afirma que “de modo análogo à ortofoto, ortofotografia é o produto resultante da transformação de uma foto original em uma foto onde os deslocamentos devido ao relevo e a inclinação da fotografia é eliminada.”

Figura 12 - Projeção Cônica e Ortogonal



Fonte: Medeiros (2014)

A Figura 12 exemplifica a diferença de projeção cônica para a ortogonal, sendo a ortogonal utilizada como parâmetro de captura de fotos em aerolevantamentos.

A confecção de ortofotos é um mecanismo para obter o produto final, que é o mosaico de ortofotos. Nesse mosaico é elaborado um sistema de correção e a associação das ortofotos capturadas no mesmo local. Segundo Barreto (2016), esse processo ocorre pelo meio de busca dos pontos homólogos entre as imagens sobrepostas entre si, e a correção radiométrica para não haver ruptura nas cores quando juntadas. A Figura 13 apresenta um exemplo de mosaico de ortofotos formado por 41 ortofotos.

Figura 13 - Mosaico de Ortofotos



Fonte: Barreto (2016)

4 ESTUDO DE CASO

Esta monografia se baseou em um estudo de caso realizado em Juiz de Fora, na cidade de Minas Gerais, que tem por finalidade realizar uma comparação de produção de trabalho, viabilidade, qualidade e custo. O estudo de caso foi realizado junto com a empresa UaiSoil Projetos & Consultorias, que disponibilizou equipamentos, tempo para executar o serviço e qualidade técnica para a possibilitar esta comparação. Para complemento do trabalho, foi necessário estudos de livros, artigos científicos, órgãos, revistas e normas com o intuito de tornar a pesquisa mais embasada.

O levantamento foi iniciado no dia 08/07/2019 e terminado no dia 11/07/2019, sendo encontrado um clima ensolarado nos dias. O clima foi propício para executar o aerolevante devido à grande taxa de iluminação presente, que foi realizado no dia 10/07/2019.

De acordo com a necessidade do cliente deste projeto, deverá ser entregue os seguintes produtos finais:

- Ortofoto;
- Curvas de Níveis;
- Vetorização de postes, rua, limites do terreno, córregos, árvores, edificações e rede elétrica;
- Identificação de área de APP e área de mata;

Uma das exigências do cliente para este projeto foi a captura dos marcos apenas com pontos fixos. Para atender a essa necessidade foi utilizado o GPS RTK devido sua precisão e facilidade para trabalhar em grandes projetos. Também foi necessário a utilização do drone para gerar a ortofoto e construir as curvas de nível.

Também é válido ressaltar que todo o levantamento foi regido segundo a NBR 13.133/1994, desde o trabalho de campo a elaboração da planta topográfica seguindo os padrões de simbologia estabelecidos.

4.1 Área de Estudo

O levantamento topográfico foi realizado em um terreno rural localizado na

cidade de Juiz de Fora - MG. A Figura 14 mostra a localização do terreno retirado através do Google Earth (2019).

Figura 14 - Área de Estudo



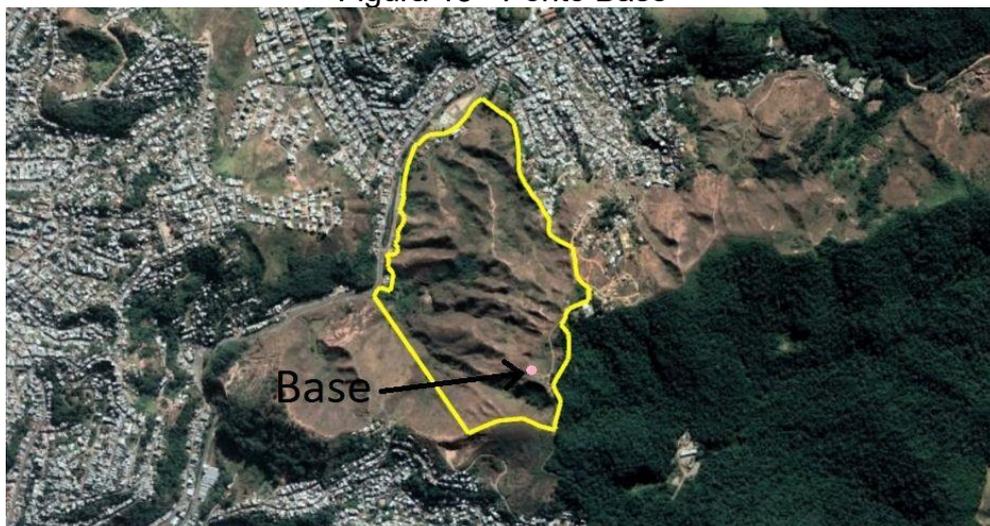
Fonte: Google Earth Pro (2019)

O polígono que delimita o terreno possui uma área de estudo de aproximadamente 50Ha (Hectares) e 3.200m (metros) de perímetro do terreno traçado na Figura 14.

4.2 Levantamento Topográfico Convencional

Para realizar o levantamento do terreno de interesse foi decidido utilizar o GPS RTK como equipamento para coletar os pontos e suas coordenadas fixas. Essa decisão foi tomada devido à grande extensão do terreno, assim, otimizando tempo e esforços devido a não necessidade de carregar e nivelar a estação total usando o método de ré e vante. Com o equipamento definido, foi estudado um local no terreno de fácil acesso e sem condições adversas, como árvores e edificações próximas, para a colocação e nivelamento da Base, como foi apresentado na Figura 15.

Figura 15 - Ponto Base



Fonte: Google Earth Pro (2020)

O ponto em rosa na Figura 15 representa a locação de um piquete para alocar a base do GPS nos demais dias de levantamento. A base do GPS geodésico (Figura 16) é devidamente nivelada e configurada no local escolhido e é deixada neste local durante, no mínimo, 3 horas para a constante troca de informações com os satélites. O tempo de troca da base durou cerca de 4 horas em cada dia do levantamento, sendo um tempo satisfatório.

Figura 16 - GPS Base e Rádio



Fonte: Paula (2010)

Com a base instalada foi realizado a configuração do rover (Figura 17) e

iniciado a coleta das coordenadas dos pontos em tempo real, enviando o sinal para a Base, que foi posicionada em local de grande visão do céu, captando em média 12 dos 30 satélites da constelação GPS e GLONASS, possibilitando que mesma retransmita as coordenadas medidas para o rover que irá comparar suas próprias coordenadas com a recebida da base, calculando sua posição em tempo real com precisão milimétrica. Essa precisão pode ser obtida através do Diluição da Precisão de Posição (PDOP).

Figura 17 - Aparelho GPS RTK modelo GTR-i



Fonte: Scussel (2013)

Ao analisar o terreno e sua extensão foi decidido obter as coordenadas dos pontos de limites do terreno, coletando as coordenadas da cerca existente. Também é de interesse a geração das curvas de níveis, porém, devido sua extensão de área, foi decidido não gerar as curvas de nível através do GPS.

Após a coleta desses pontos foi esperado cerca de 48 horas para processar e corrigir o ponto base no site do IBGE, utilizado a ferramenta PPP. Com a base corrigida, foi processado o restante dos pontos pelo software GTR Processor, obtendo assim, as coordenadas reais e corrigidas dos pontos coletados em campo.

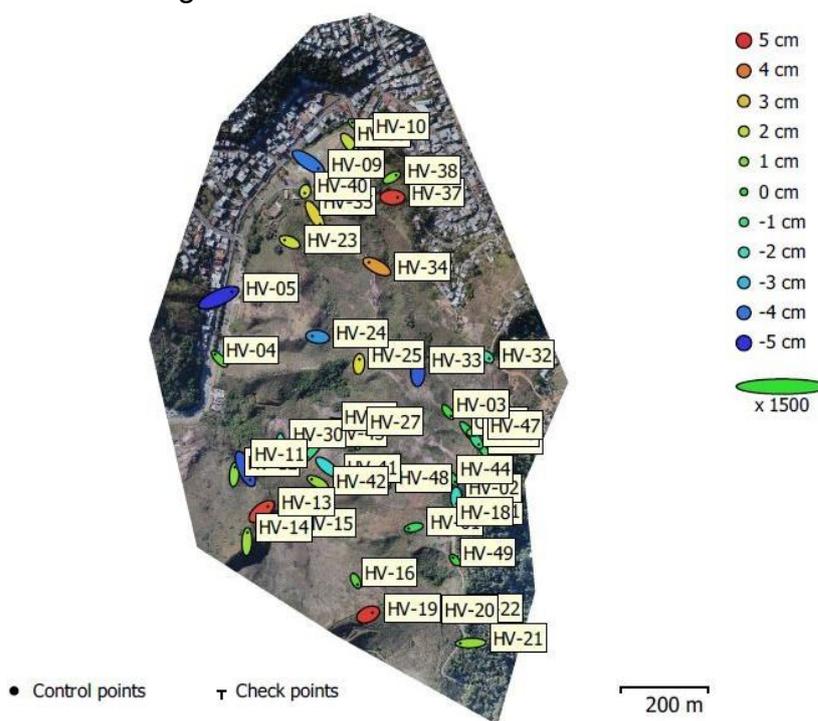
Em seguida foi necessário um trabalho com o software Métrica Topo e Civil 3d, onde auxiliou na geração da prancha do projeto (Anexo A), adicionando informações como:

- Malha de Coordenadas;
- Orientação Geográfica;
- Escala Gráfica;
- Coordenada da Base;
- Convenções Topográficas (Simbologia);

4.3 Levantamento Aerofotogramétrico

O levantamento aerofotogramétrico foi realizado no dia 10/07/2019, sendo necessário usar o GPS RTK para melhorar a precisão do drone. Com a base instalada e configurada, o primeiro passo foi planejar onde seria espalhado os pontos de controle. A Figura 18 apresenta a definição dos pontos de controle.

Figura 18 - Estudo Pontos de Controle

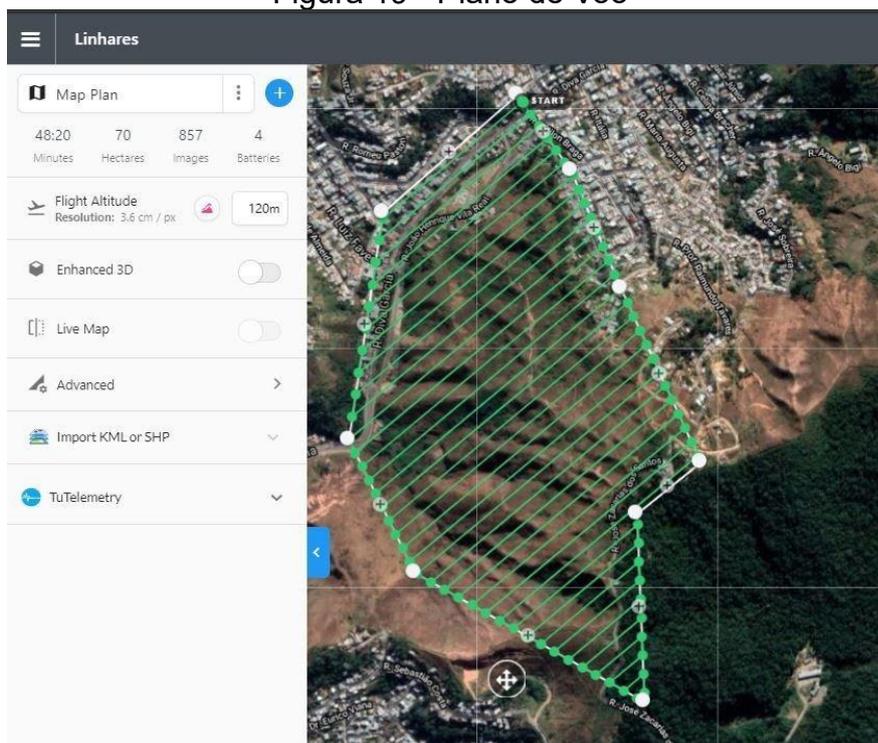


Os pontos definidos como HV, são os pontos de controles, totalizando 41 em todo o terreno. Já os pontos caracterizados como CH, são os *Chek Points*, que tem por objetivo ser uma verificação de qualidade e acurácia dos pontos de controle.

Para garantir uma boa qualidade no apontamento, foi tomado os cuidados para fixar essas placas e marcar a cal no solo, de tal modo que as condições externas não as alterem de lugar. Também foi realizada uma precaução no sentido de não colocar os pontos de controle próximos de árvores, para evitar o sombreamento nos alvos.

Logo após espalhar todos os pontos de controle foi realizado o voo com o drone, sendo traçado um plano de voo utilizando o DroneDeploy, cobrindo toda área do terreno e tendo uma altura de voo de 100 metros, como abordado na Figura 19.

Figura 19 - Plano de Voo



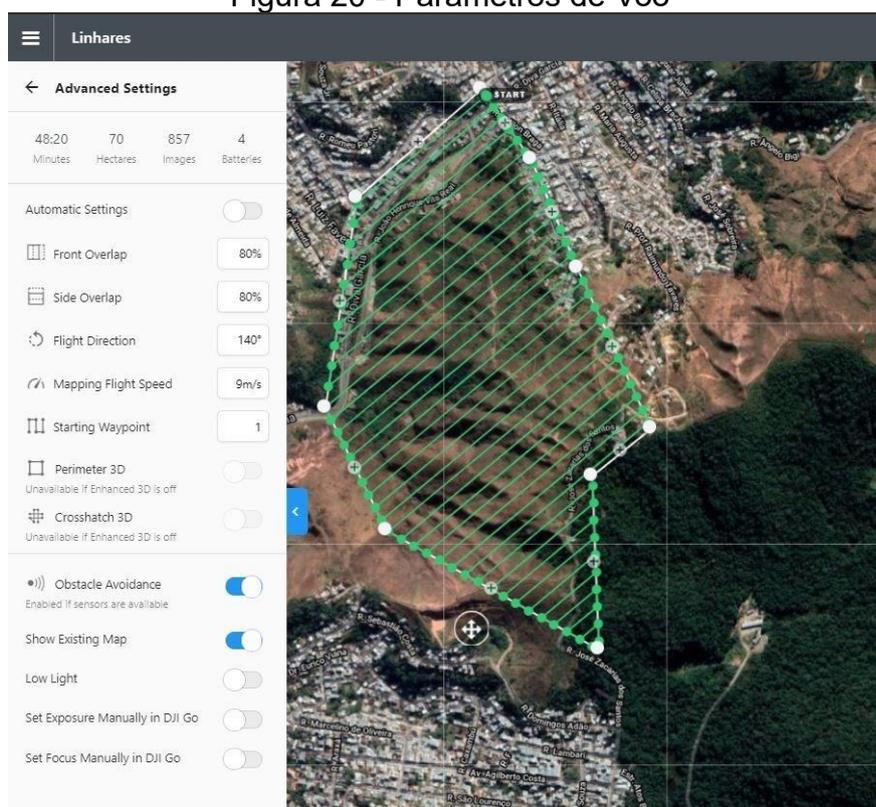
Fonte: DroneDeploy (2019)

A Figura 19 apresenta o plano de voo e suas características, a partir do programa foi possível obter as seguintes informações:

- Área do Voo: 70 hectares
- Tempo de Voo: 48 minutos
- GSD: 3.6 cm/px
- Baterias para o Voo: 4 Baterias
- Imagens Capturadas: 857 fotos

A Figura 20 aborda os parâmetros de voo configurados para realizar o aerolevanteamento:

Figura 20 - Parâmetros de Voo



Fonte: DroneDeploy (2019)

A Figura 20 apresenta as configurações para realizar o voo. No campo de *Front Overlap* e *Slide Overlap* é a porcentagem de sobreposição das fotos capturadas com o drone, sendo assim definida com 80% de sobreposição. No *Flight Direction* é determinado a angulação do voo, podendo variar as direções das faixas de voos. Também é definido a velocidade do voo através do *Mapping Flight Speed*, quanto menor essa velocidade maior qualidade das imagens coletadas. E por último é definido o ponto para decolagem do drone, na opção *Starting Waypoint*.

Com essas informações processadas foi autorizado o voo às 13:54 e término às 14:40. É válido ressaltar que o horário do levantamento aerofotogramétrico foi fora da janela de voo, obtendo mais área de sombreamento que o ideal.

Figura 21 - Janela de Voo Calculada



Fonte: Autor (2019)

A Figura 21 aborda o cálculo da janela de voo para Juiz de Fora e região, onde foi obtido os dados do nascer e pôr do sol.

Com o plano de voo determinado, foi autorizado o início do voo para começar as capturas das fotos. Todo o voo é automatizado sem a necessidade de controlar manualmente o equipamento. O drone utilizado para o levantamento é um Phantom 4 Adv (Figura 22) que possui uma câmera de bordo com um sensor *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) de 20 megapixels de 1 polegada. Um obturador mecânico é usado para eliminar a distorção do obturador de rolamento, que pode ocorrer ao tirar imagens de objetos em movimento rápido ou ao voar em altas velocidades.

Figura 22 - Phantom 4 Adv



Fonte: DJI (2020)

O drone possui bom desempenho óptico, sensores e processadores asseguram que tudo é capturado com alta faixa dinâmica e mais detalhes de imagem

necessários para pós-produção avançada.

Após a aterrissagem do drone, foi realizada a coleta das coordenadas e de todos os pontos de controle espalhados pelo terreno. Com o recolhimento das placas, foram guardados todos os equipamentos e realizado um trabalho auxiliado por softwares.

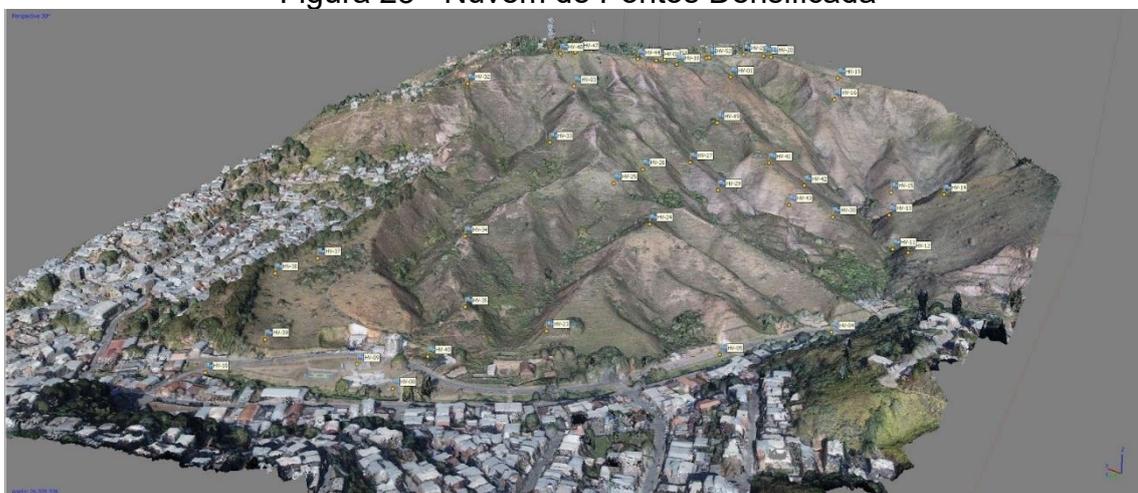
Devido a mesma locação da base realizada em todos os dias, não foi necessário processar os dados outras vezes no IBGE. Apenas é necessário a correção das coordenadas dos pontos de controle com referência da base corrigida.

Com todos os trabalhos de campos terminados, foi necessário a utilização de alguns softwares para processar as informações retiradas no campo. O programa Photoscan Agisoft foi o escolhido para realizar as etapas até a entrega do produto final. Primeiramente foi necessário efetuar o alinhamento de fotos, onde é realizado o processo de fototriangulação. Este processo consiste em juntar as imagens capturadas, formando assim várias ortofotos.

Com o alinhamento delas, a segunda etapa consiste na locação dos pontos de controle coletados em campo, com suas coordenadas X, Y e Z. O resultado gerado pelo alinhamento é a nuvem de pontos, no qual sua função é materializar as coordenadas no terreno.

Com a formação da nuvem de pontos, é realizada a densificação da mesma. O objetivo é aumentar a quantidade de pontos gerados e diminuir os vazios entre os pontos, tornando assim, uma representação 3d do terreno. A Figura 23 aborda o resultado da nuvem de pontos densificada.

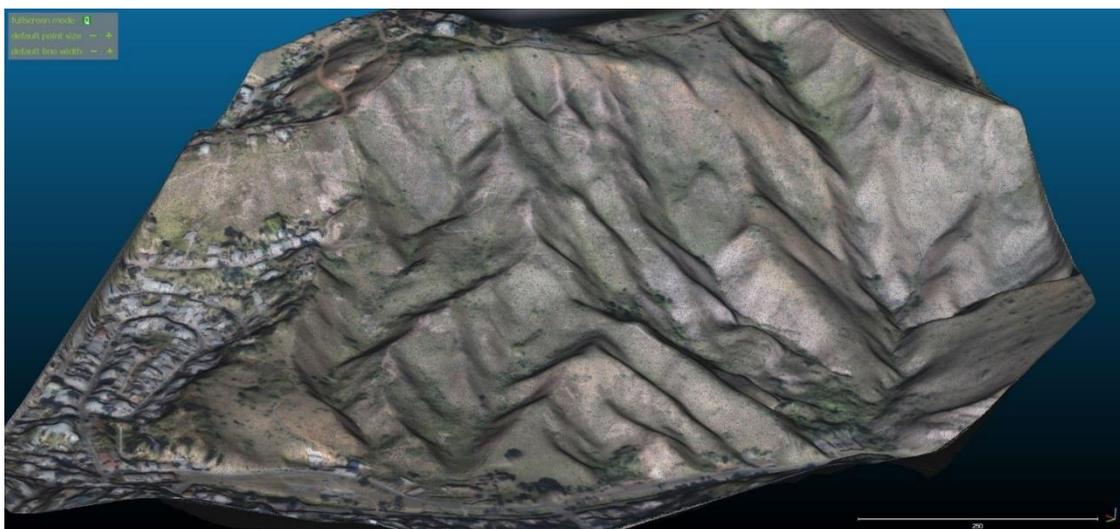
Figura 23 - Nuvem de Pontos Densificada



Fonte: UaiSoil (2019)

Na Figura 23 é apresentada uma melhora da qualidade da nuvem de pontos, obtendo cerca de 26.328.336 pontos. Este processo é de importância para que seja possível gerar o Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital da Superfície (MDS). A principal diferença entre os modelos é que no MDT a cota é referente ao terreno e no MDS é referente a superfície. Como é de interesse a geração de curva de níveis do terreno, então será utilizado o MDT para fornecê-las. Para obter as cotas reais do terreno é necessário fazer uma filtragem de árvores, edificações e quaisquer objetos que possa atrapalhar na geração das curvas de nível. A Figura 24 exhibe a filtragem efetuada para eliminar árvores e edificações que atrapalhem para gerar as curvas de níveis do terreno.

Figura 24 – Nuvem de Pontos Densificada e Filtrada

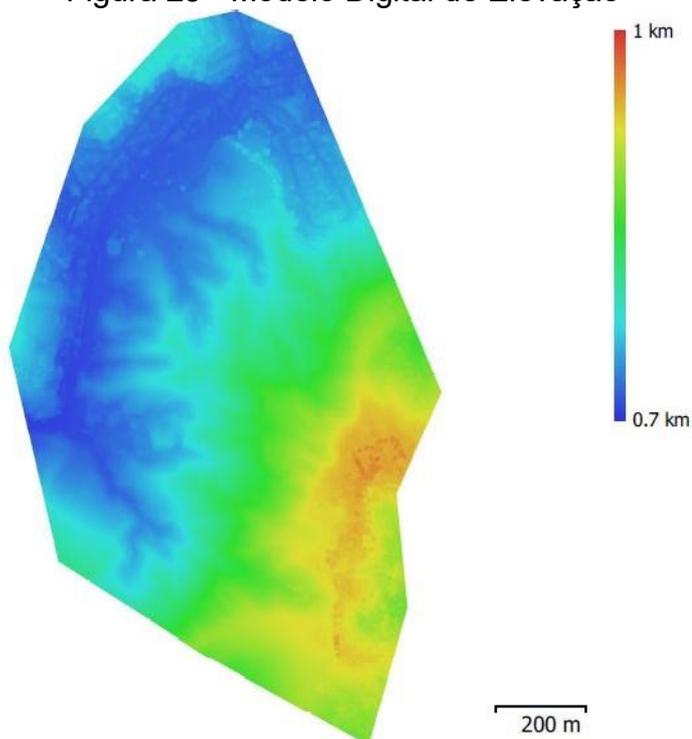


Fonte: UaiSoil (2019)

A partir da Figura 24 é possível observar a diferença da vegetação reduzida com a Figura 23. Esse processo de filtragem foi feito através do software CloudCompare, onde é feito um processo automático para obter apenas a coordenadas do solo.

Após retirar todas as impurezas para produção do MDT, foi elaborado a confecção do Modelo Digital de Elevação (DEM). O DEM é um plano 2d onde é representado através de cores a variação da elevação. A Figura 25 apresenta a formação do DEM no terreno situado.

Figura 25 - Modelo Digital de Elevação



Fonte: UaiSoil (2019)

A partir da Figura 25 pode-se notar as variações de cores frias (baixas elevações) e quentes (altas elevações), representando assim a mudança de cotas de elevação ao longo de todo o terreno.

Com o DEM gerado é realizada a produção do mosaico de ortofotos, ocorrendo a ortorretificação das imagens. Na Figura 26 é apresentado a junção de todas as imagens do terreno em uma única ortofoto. Essa imagem carrega uma qualidade variando com a escolha da altura do voo, o GDS.

Figura 26 - Mosaico de Ortofotos



Fonte: UaiSoil (2019)

Na Figura 26 fica explícito o processo de mosaicagem, obtendo uma imagem que abrange todo o terreno situado.

Para finalizar, foram geradas as curvas de nível, tendo como base o MDT filtrado com coordenadas do terreno. A Figura 27 apresenta o resultado da produção das curvas de nível.

Figura 27 - Curvas de Nível



Fonte: UaiSoil (2019)

De acordo com a Figura 27, pode-se perceber as curvas de nível geradas e cotadas. Essas curvas podem ser exportadas para serem trabalhadas em outros softwares, ajustadas na prancha final do projeto.

Após todos esses processos foi gerada a prancha para entrega ao cliente. O programa utilizado para esta etapa é o Civil 3d da Autodesk, que atende as necessidades e oferece funções a mais para facilitar a plotagem. O projeto final está localizado no Anexo A.

5 RESULTADOS

Neste capítulo será abordado a comparação entre os métodos adotados para o levantamento situado na cidade de Juiz de Fora. Essa comparação tem por objetivo apresentar as vantagens e desvantagens de cada método de acordo com o estudo de caso efetuado, realizando uma análise sobre os seguintes parâmetros:

- Custo dos Levantamentos;
- Tempo de Execução;
- Condições de Viabilidade Operacional;
- Precisão dos Métodos;
- Comparação entre os Produtos Gerados;

5.1 Custo dos Levantamentos

Para tornar possível esta comparação de custo, primeiramente, foi comparado o modelo de equipamento utilizado no estudo de caso para ambos os métodos. Além disso, a Tabela 1, demonstra o tipo de software que cada método utiliza. Outro fator importante é a desconsideração de softwares de desenho, como por exemplo, AutoCad e MétricaTopo, devido sua aplicação nos dois métodos comparados.

Quadro 1 - Descrição dos Custos

Tipo de Levantamento	Modelo do Equipamento	Software Usado
GPS RTK	GPS RTK / GTRI	GTR Processor / TECHGEO
DRONE + GPS RTK	Phantom 4 Adv / DJI	Photoscan Professional / AGISOFT

Fonte: Autor (2020)

O Quadro 1 apresenta os dois métodos e, respectivamente, o modelo de equipamento e programa usado para extrair dados brutos retirados em campo. Para o aerolevanteamento, também deve-se considerar o GPS RTK e o software GTR Processor devido a insuficiência do GPS integrado do drone.

Para obter a relação dos valores total foram pesquisados preços dos equipamentos nos sites dos fabricantes, os mesmos servem para os desenvolvedores

dos softwares presentes em cada método. A Tabela 1 aborda essa diferença de custo entre os tipos de levantamentos.

Tabela 1 - Precificação dos Métodos

Tipo de Levantamento	Valor Equipamento	Software	Total
GPS RTK	R\$50.000,00	R\$0,00	R\$50.000,00
DRONE + GPS RTK	R\$58.000,00	R\$11.725,00	R\$69.725,00

Fonte: Autor (2020)

Na Tabela 1 é possível verificar uma grande diferença de valores entre os métodos. Essa diferença é grande devido o GTRi Processor ser gratuito para os usuários do GPS. Também pode-se notar o valor unitário do drone, subtraindo o valor do equipamento GPS RTK com o do aerolevamento.

5.2 Tempo de Execução

Para a comparação do tempo de execução dos métodos apresentados, foi decidido separar em duas partes, tempo de trabalho em campo e tempo de trabalho com softwares. Nenhum dos métodos foi desfavorável no levantamento com relação ao tempo, sendo encontrado um clima ensolarado todos os dias. Na Tabela 2, fica claro o tempo médio gasto nos procedimentos.

Tabela 2 - Tempo Médio

Tipo de Levantamento	Tempo de Trabalho de Campo	Tempo de Trabalho com Softwares	Total
GPS RTK	21:37:00	02:00:00	23:37:00
DRONE + GPS RTK	02:30:00	15:45:00	18:15:00

Fonte: Autor (2020)

A Tabela 2 apresenta o tempo total gasto de levantamento em todos os dias. Válido ressaltar que o tempo de trabalho de campo com o GPS RTK foi direcionado para vetorização de rua, postes e marcos, a diferença seria maior caso entregasse o mesmo resultado que o aerolevamento, realizando uma malha em todo o terreno para gerar as curvas de nível. Para os dois métodos foram desconsiderados o tempo de processamento no IBGE, sendo que o tempo de espera seria o mesmo para tal.

5.3 Condições de Viabilidade Operacional

Nesta seção será abordada a capacidade de operação dos equipamentos comparados, levando em conta o número de operadores em cada método e viabilidade de execução em condições adversas. O Quadro 2 realiza a comparação das condições entre os tipos de equipamentos.

Quadro 2 - Condições dos Equipamentos

Tipo de Levantamento	Condição de Trabalho na Chuva	Condição de Trabalho em Mata Densa	Quantidade de Operadores (Mínimo)
GPS RTK	Não	Não	1
DRONE + GPS RTK	Não	Não	1

Fonte: Autor (2020)

No Quadro 2 fica explícito a igualdade entre os métodos. Em condições de chuvas o GPS poderá realizar o Levantamento, porém, deve-se garantir que o rádio ligado ao receptor esteja fora do alcance da chuva.

Para os levantamentos em matas densas, próxima de arborismo ou vegetação, o GPS RTK não é preciso devido à perda de sinal entre a comunicação com o receptor, podendo coletar pontos flutuantes. Já para o drone se torna inviável o aerolevanteamento em matas, sendo difícil fixar os pontos de controle e má visualização do terreno devido à grande quantidade de árvores e vegetações. O equipamento que melhor atende nessas condições é a estação total, podendo ser realizado caso haja a visualização entres os pontos de interesse.

Na categoria de operadores mínimos ocorre um empate entre os métodos, podendo ser executado o levantamento por apenas uma pessoa.

5.4 Acurácia dos Métodos

Neste módulo iniciaremos explicando a diferença entre acurácia e precisão. De forma geral, a acurácia é a exatidão de um valor obtido em relação a um valor somado como referência, sendo assim podemos utilizá-la como parâmetro. Já a precisão, está diretamente ligada com a proximidade entre os valores obtidos pela repetição no processo de medição. Uma vez que a medição é precisa, ocorrerá uma menor variabilidade entre os valores, sendo assim, apresentando menor dispersão. A Figura 28 apresenta, de forma ilustrativa, a diferença entre os termos em algumas situações.

Figura 28 - Acurácia e Precisão



Fonte: Camboim (2007)

A partir da Figura 28 pode-se perceber a aplicação na prática de coleta de pontos precisos e acurados. A situação ideal para ser almejada é a busca de pontos precisos e acurados, com a finalidade de diminuir a imprecisão e garantir a qualidade dos pontos.

Com os conceitos aprofundados, chega o momento de apresentar a acurácia dos equipamentos operados no estudo de caso. Para o início da comparação, a Tabela 3 exibe alguns pontos coletados, através do GPS RTK, e suas características.

Tabela 3 - Acurácia GPS

Descrição	X	Y	Z	PDOP	Ponto
M14	640.965.763	7.562.454.781	874.100	1.8	Fixo
M02	640.965.754	7.562.454.793	874.105	1.8	Fixo
M01	640.965.750	7.562.454.787	874.088	1.5	Fixo
M08	640.965.773	7.562.454.792	874.065	1.4	Fixo
M08	640.965.775	7.562.454.796	874.085	1.4	Fixo
LOTE	640.965.766	7.562.454.808	874.111	1.4	Fixo
LOTE	640.965.764	7.562.454.806	874.093	1.4	Fixo
LOTE	640.965.767	7.562.454.803	874.089	1.5	Fixo
LOTE	640.965.775	7.562.454.800	874.099	1.4	Fixo
M15	640.965.774	7.562.454.803	874.065	1.4	Fixo
M18	640.965.774	7.562.454.807	874.105	1.4	Fixo
M17	640.965.773	7.562.454.803	874.094	1.4	Fixo
M16	640.965.775	7.562.454.802	874.086	1.4	Fixo
POSTE	640.965.773	7.562.454.809	874.048	1.6	Fixo
MF	640.965.768	7.562.454.798	874.081	1.6	Fixo
MF	640.965.769	7.562.454.799	874.057	1.6	Fixo

Fonte: UaiSoil (2019)

Por intermédio da Tabela 3 é possível notar a descrição de cada ponto e suas coordenadas geradas em Universal Transversa de Mercator (UTM). Também é

possível atentar o valor de PDOP obtido. Esse valor define qual a qualidade e exatidão do ponto coletado. O Quadro 3 apresenta uma classificação para cada nível de PDOP.

Quadro 3 - Nível de PDOP

Nível DOP	Qualidade	Descrição
< 1	Ideal	Máxima precisão possível
1 a 2	Excelente	Medições precisas
2 a 5	Bom	Medições com precisão adequada
5 a 10	Moderado	Qualidade moderada
10 a 20	Fraco	Nível de confiança baixa
> 20	Ruim	Precisão muito baixa

Fonte: Autor (2020)

Em concordância com o Quadro 3, verifica-se a classificação e qualidade de níveis de PDOP. Contemplando a Tabela 3, podemos demarcar como qualidade excelente a comunicação com os satélites do céu.

Para classificar a acurácia do aerolevanteamento, foi gerado um relatório dos 41 pontos de controles inseridos no terreno. Nesse relatório é possível gerar o erro em centímetro das coordenadas X, Y e Z para cada ponto de controle e verificar os pontos com qualidades aceitáveis e desfavoráveis. Além disso, é elaborado nesse relatório uma média dos pontos de controle, em que é exibido o erro total entre eles. O Quadro 4 revela os resultados obtidos para essa verificação.

Quadro 4 - Erros nos Pontos de Controle

Número	X Erro (cm)	Y Erro (cm)	Z Erro (cm)	XY Erro (cm)	Total (cm)
41	1.73906	1.86301	2.4753	2.54856	3.55278

Fonte: UaiSoil (2019)

No Quadro 4 é possível verificar o erro resultante nos 41 pontos de controles implantados no terreno. A qualificação do erro é dada pelo critério do engenheiro responsável, podendo ser um erro admissível ou um erro que comprometa os interesses técnicos do levantamento.

O resultado para este aerolevanteamento foi aceitável devido à grande extensão do terreno e por se tratar de um georreferenciamento, sendo tolerado um erro de 3,56 centímetros em relação a um ponto.

5.5 Análise do Produto Final

Para ultimar o cotejamento proporcionado pelo trabalho, nesta seção, será apresentado os resultados dos produtos finais do estudo de caso, demonstrando algumas particularidades do levantamento com GPS e do aerolevanteamento.

Um dos pontos a serem notados é a incrível similaridade da ortofoto com os pontos coletados via GPS RTK, encontrando-se resultados muito próximos do real. A Figura 29 traz uma ampliação da ortofoto vetorizada via GPS RTK.

Figura 29 - Vetorização de Terreno

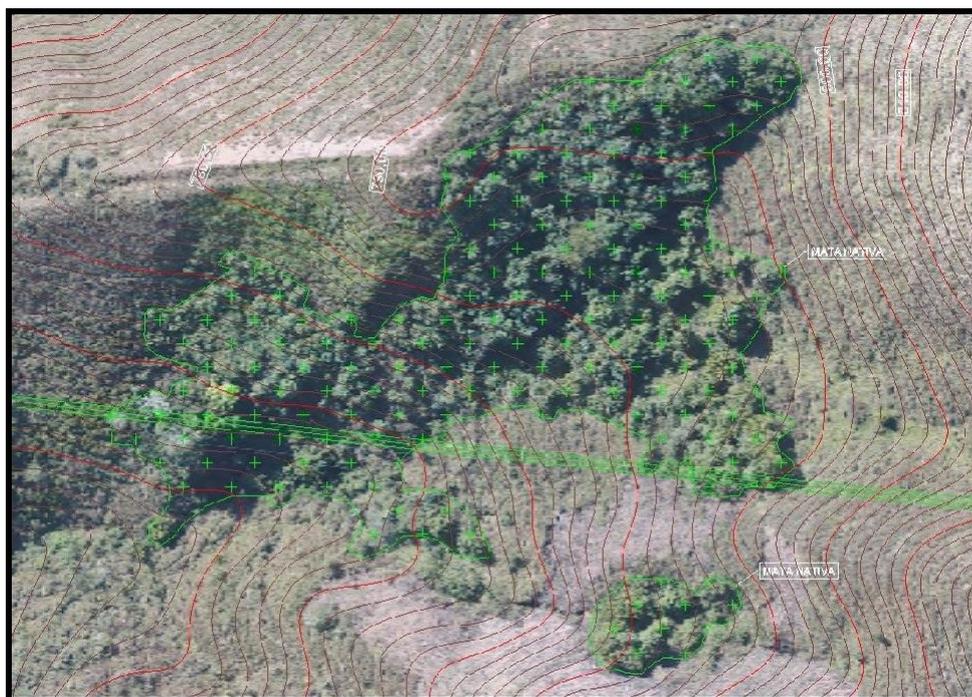


Fonte: UaiSoil (2019)

Com a Figura 29 é possível notar que em vários trechos a ortofoto foi exata comparado a vetorização do GPS. Na rua, por exemplo, é capaz de realçar tamanha conformidade entres os dois levantamentos. Para a praça e as edificações residentes no terreno, o resultado também foi suficiente para um georreferenciamento.

Como visto no Anexo A, o terreno possui uma grande parte com vegetação alta, e com o auxílio da ortofoto foi viável efetuar uma vetorização ao entorno dessa vegetação. Nesse ponto, o GPS RTK não poderia exercer com exatidão esse limite pois perde o sinal quando permanece próximo a mata densa. A Figura 30 traz essa vetorização confeccionada por intermédio do mosaico de ortofotos.

Figura 30 - Indicação de Vegetação



Fonte: UaiSoil (2019)

A partir da Figura 30 é possível notar uma linha em verde que mostra o limite dessa vegetação nativa. Essa representação pode ser muito útil ao proprietário dependendo de seus interesses. No projeto, também foi marcado Área de Preservação Permanente (APP), vegetação rasteira e areial identificado através da ortofoto.

Outro ponto notável foram as curvas de nível no entorno do terreno. Por muitas vezes não condizentes com a realidade. A Figura 31 exhibe, em um determinado local do levantamento, curvas de níveis que não possuem boa confiabilidade.

Figura 31 - Curvas de Nível ao Entorno



Fonte: UaiSoil (2019)

Na Figura 31 fica explícito a falta de segmentos das curvas intermediárias, isso se dá ao fato de possuir bastante edificações ao entorno, obtendo assim, um falso resultado das coordenadas reais. Existe alguns artifícios para poder tentar minimizar esses erros no aerolevantamento, como por exemplo a colocação de mais pontos de controle nesta região, fazendo que tenha mais pontos de referência e mais triangulações entre elas. Também é necessário maior prudência na etapa de filtragem com o software Photoscan Agisoft, eliminando os pontos que não fazem parte do solo.

6 ANÁLISE E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise mais aprofundada das tecnologias que estão disponíveis para a construção civil, já que foi trago a comparação entre o levantamento convencional com o aerolevante. Ademais, permitiu um estudo de caso, confeccionado através da UaiSoil Projetos & Consultorias, na qual era estagiário, possibilitando trazer os dados de forma mais consistentes sobre as etapas de processos, o tempo gasto, as dificuldades nas utilizações dos métodos e condições de trabalhos.

É perceptível pela Tabela 1 que ambos os métodos possuem um valor de equipamento bastante alto comparado a uma estação total, que pode ser usada para levantamentos topográficos. Esses altos valores ocorrem devido ao alto investimento na tecnologia para cada vez mais otimizar os serviços prestados.

Como visto, na Tabela 2, verifica-se que existem diferenças significativas no tempo de execução, uma vez que, ao utilizar somente o GPS RTK, encontra-se um tempo de trabalho de 23h37min, sendo que todo esse tempo gasto foi destinado a coleta de marcos, postes e vetorização da rua. Em relação ao drone, houve um ganho de 5h22min de trabalho total, comparado ao levantamento convencional. Também é válido frisar que foi gasto apenas 2h30min no levantamento em campo, passando a maior parte processando os dados em softwares.

Vale ressaltar, que para usar tais tecnologias é necessário condições climáticas satisfatórias, dado que ambos os métodos não possuem boa resistência a água. Outro fator que revoga a aplicação de drones e GPS's é a exposição dos equipamentos ao entrar em mata densa, podendo haver perda de sinal do equipamento e má visualização em casos de confecção de ortofotos, como mostra o Quadro 2. Logo, para essas condições, a escolha mais indicada não seria os equipamentos apresentados.

Em relação a acurácia, o GPS RTK, como descrito na Tabela 3, aponta valores excelentes de DPOP, sendo assim, pode-se dizer, que as coletas dos pontos obtiveram boa comunicação com os satélites. Em contrapartida, para o aerolevante foi gerado um relatório, localizado no Quadro 3, que apresenta o valor de erro dos pontos de controle em centímetros. Esse erro pode comprometer certos casos na construção civil, mas para o serviço apresentado o método pode servir de maneira satisfatória, mesmo perdendo mais precisão que o GPS.

Por intermédio dos quadros e tabelas, pode-se concluir que por mais que há diferenças nos sistemas, e assim, podemos declarar um empate, mas, vale ressaltar que tudo depende do profissional escolhido para manusear e cabe a ele afirmar qual é sua relação com a tecnologia, para que não ocorra resultados indesejáveis.

É necessário frisar que este trabalho não tem como objetivo garantir qual método é mais eficiente e deve ser adotado, e sim, demarcar as principais características de cada uma das tecnologias, diferenciar e compará-las.

Entretanto, acredito que se deve analisar o objetivo do projeto e definir qual o método que melhor atende o caso analisado. Com essa análise, os usuários serão capazes de impactar significativamente os projetos, como por exemplo, a diminuição do tempo de serviço, os erros durante a medição, e garantia de boa qualidade de acurácia.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR13133 - Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro ABNT, Maio 1994.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY(ASP). Manual of Photogrammetry, 1966, 1220p.

ARIAS, Anderson. DronEng: Drones & Engenharias, 2017. Como fazer o planejamento de voo para grandes áreas?. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/planejamento-de-voo-para-grandes-areas/>> Acesso em: 05 abril de 2020.

ARIAS, Anderson. DronEng: Drones & Engenharias, 2017. Janela de voo: o que é e como calcular?. Disponível em: < <http://blog.droneng.com.br/o-que-e-janela-de-voo/>> Acesso em: 05 abril de 2020.

ARIAS, Anderson. DronEng: Drones & Engenharias, 2017. Variação de GSD: como funciona. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/variacao-de-gsd/>> Acesso em: 05 abril de 2020.

AUTOCAD. Version 2018. Autodesk, 2019. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/>> Acesso em: 09 de julho de 2019.

BARRETO, Lucas. DronEng: Drones & Engenharias, 2016. Mosaico de ortofotos: o que você precisa saber. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/mosaico-de-ortofotos/>>Acesso em: 05 abril de 2020.

CAMBUIM, Silvana Phillipi; MundoGEO, 2012. Qualidade de dados na era do compartilhamento. Disponível em: <<https://mundogeo.com/2007/08/04/qualidade-de-dados-na-era-do-compartilhamento/>> Acesso: 15 de maio de 2020.

CIVIL 3D. Version 2018. Autodesk, 2019. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/>> Acesso em: 09 de julho de 2019.

COULDCOMPARE. Version 2.11.2. GNU General Public License (GPL), 2019.

Disponível em: <<http://www.cloudcompare.org/>> Acesso em: 09 de julho de 2019.

DJI. 2020. Phantom 4 Adv. Disponível em: <https://www.dji.com/br>. Acesso em: 10 de agosto de 2020.

DOMINGUES, Aranha; AUGUSTO, Felipe. Topografia e Astronomia de Posição para Engenheiros e Arquitetos. São Paulo: Mcgraw-hill, 1979. 403 p.

DRONEDEPLOY. Version 4.1.0. Dronedeploy, 2019. Disponível em: <<https://www.dronedeploy.com/>> Acesso em: 09 de julho de 2019.

DRONENG DRONES E ENGENHARIA. DronEng: Drones & Engenharias, 2015. Planejamento de voo: tudo que você precisa saber. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/planejamento-de-voo-tudo-que-voce-precisa-saber/>> Acesso em: 05 abril de 2020.

FIRKOWSKI, Henrique. Confiabilidade da Fototriangulação: Configuração e Detecção de Erros no Apoio de Campo, 1988. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/36639/D%20-%20HENRIQUE%20FIRKOWSKI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 07 abril de 2020.

FORTUNATO, José Carlos. MundoGEO, 2018. Artigo: comparação entre topografia com Drones x topografia tradicional. Disponível em: <<https://mundogeo.com/2018/06/26/artigo-comparacao-entre-topografia-com-drones-x-topografia-tradicional/>> Acesso em: 08 abril 2020.

GIL, A. C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 5 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

GOGONI, Ronaldo. Tecnoblog, 2019. O que é um pixel?. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/295290/o-que-e-um-pixel/>> Acesso em: 07 abril de 2020.

GOOGLE EARTH PRO. Version 7.3. Google, 2019. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/>> Acesso em: 09 de julho de 2019.

GTR PROCESSOR. Version 2.94. Techgeo, 2019. Disponível em: <<http://104.131.64.55/mirtest/suporte.techgeo.com.br/kb/a48/Controls/index.html>> Acesso em: 09 de julho de 2020.

HORUS. Horus, 2018. Qual o GSD ideal para resultado?. Disponível em: <<https://horusaeronaves.com/qual-o-gsd-ideal-para-cada-resultado/>> Acesso em: 02 abril de 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE, 2019. Serviço online para pós-processamento de dados GNSS - IBGE-PPP; Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/s%20servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processame%20nto-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=o-que-e>> Acesso em: 04 de julho de 2019.

JURIAANS, Sharon E. L. DronEng: Drones & Engenharias, 2017. 5 aplicativos de voo automatizado para mapeamento aéreo. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/aplicativos-de-voo-automatizado/>> Acesso em: 04 abril de 2020.

LANGLEY, Richard B. RTK GPS, GPS World, p. 70 – 76, September 1998. Disponível em: <<http://www2.unb.ca/gge/Resources/gpsworld.september98.pdf>> Acesso em: 06 abril de 2020.

LEE, In-Su, GE, Linlin. The performance of RTK-GPS para levantamento sob condições ambientais desafiadoras. Earth Planet Sp, 58, 515–522, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/BF03351948>> Acesso em: 16 de junho de 2020.

NETO, Manoel Silva. DronEng: Drones & Engenharias, 2015. Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com Drone?. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quando-utilizar/>> Acesso em: 06 abril em 2020.

NETO, Manoel Silva. DronEng: Drones & Engenharias, 2016. Para que serve o GSD?. Disponível em: <<https://blog.droneng.com.br/gsd/>> Acesso em: 06 abril em 2020.

PAULA, Alexandre Silva Sanches de; DIAS, Karine Eliza Batista; VITAL, Leonardo Alexandre Reis; FERREIRA, Tiago da Mata; MundoGEO, 2011. Estudo Comparativo de Levantamento Planimétrico com Uso de GPS e Imagens Geradas pelo Satélite Ikonos. Disponível em: <<https://mundogeo.com/2010/05/14/estudo-comparativo-de-levantamento-planimetrico-com-uso-de-gps-e-imagens-geradas-pelo-satelite-ikonos/>> Acesso em: 10 de maio de 2020.

PEREIRA, Adriana Pires; JUSTINO, Reginaldo Adair; COSTA, Ricardo de Moura; ZANETTE, Fernando César; MundoGEO, 2013. Topografia aplicada na execução da terraplanagem de um projeto viário. Disponível em: <https://mundogeo.com/2012/02/14/topografia-aplicada-na-execucao-da-terraplanagem-de-um-projeto-viario/> Acesso em: 10 de maio de 2020.

PHOTOSCAN. Version 1.5.5. Agisoft, 2019. Disponível em: <https://www.agisoft.com/> Acesso em: 09 de julho de 2020.

SCUSSEL, Alexandre; MundoGEO, 2013. TechGeo anuncia lançamentos em tecnologia GPS. Disponível em: <https://mundogeo.com/2013/05/27/techgeo-anuncia-lancamentos-em-tecnologia-gps/> Acesso em: 15 de maio de 2020.

SOUSA, Luís Antônio Soares e. GEOeduc, 2018. O futuro da Topografia: a tecnologia e o destino do profissional do setor. Disponível em: <http://geoeduc.com/2018/05/16/o-futuro-da-topografia/> Acesso em: 15 setembro 2020.

TOMMASELI, Antonio M. G.. Fotogrametria Básica Introdução, 2009. Disponível em: http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_fotogrametria.pdf > Acesso em: 04 abril de 2020.

UAISSOIL, Projetos & Consultorias. Serviços Geotécnicos, 2020. Disponível em: <https://www.uaisoil.com/> Acesso em: 18 setembro de 2020

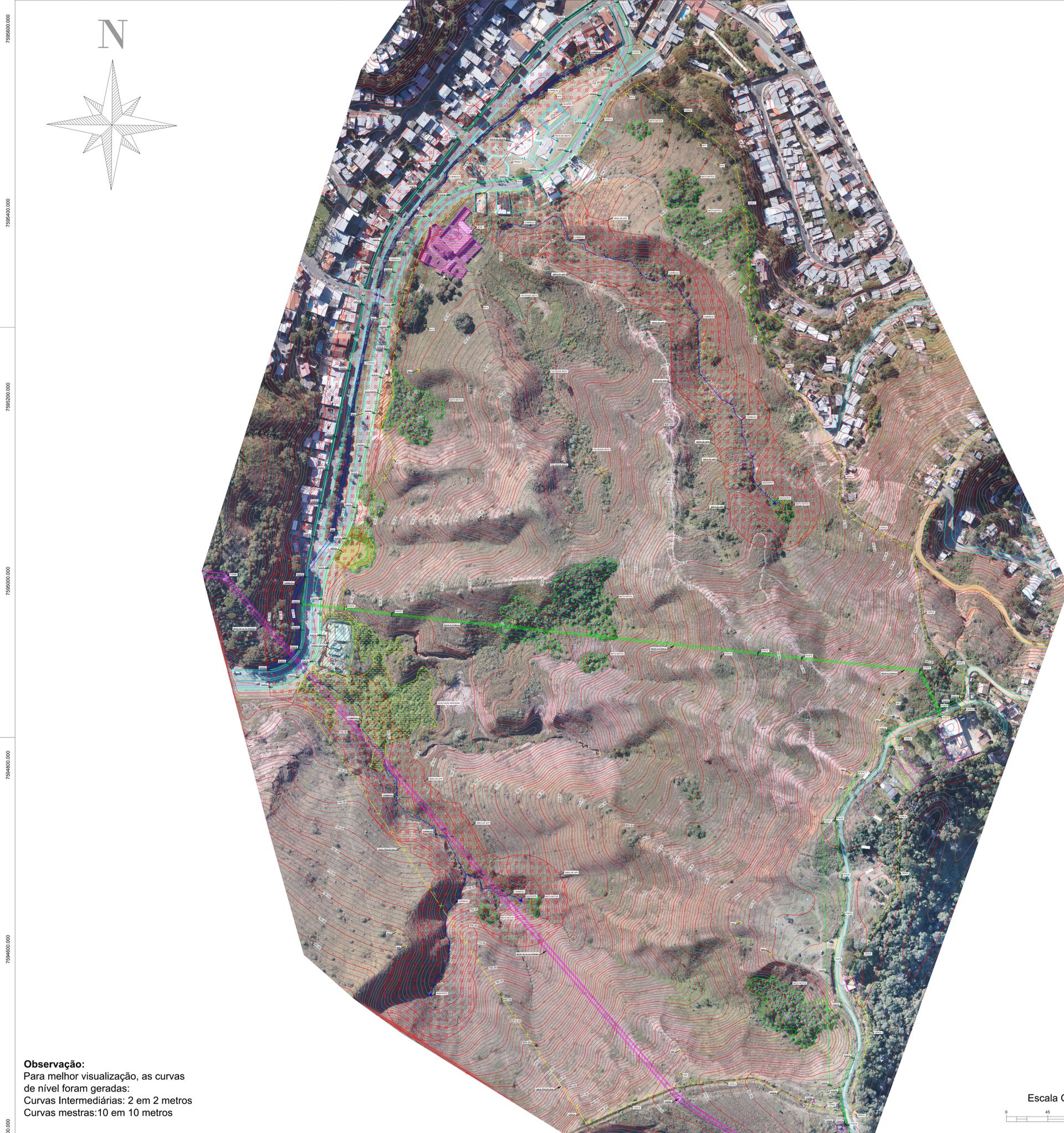
VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Zehnpfennig; FAGGION, Pedro Luis. *Fundamentos de Topografia*, 2007. Disponível em: <http://www.gpeas.ufc.br/disc/topo/apost04.pdf> Acesso em: 20 maio de 2020.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Zehnpfennig; FAGGION, Pedro Luis. *Fundamentos de Topografia: Engenharia Cartográfica e de Agrimensura* Universidade Federal do Paraná. Paraná: Ufpr, 2012. 274 p. Disponível em: http://www.cartografica.ufpr.br/docs/topo2/apos_topo.pdf Acesso em: 08 abril de 2020.

WOLF, P. R. Elements of photogrammetry. N. York, Mac Graw Hill. 1983. 626p.

YIN, R. K. *Estudo de caso: planejamento e métodos*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

ANEXO A – Projeto Topográfico Estudo de Caso



Observação:
 Para melhor visualização, as curvas de nível foram geradas:
 Curvas Intermediárias: 2 em 2 metros
 Curvas mestras: 10 em 10 metros



Orientação
 Convergência e declinação do ponto: GPS BASF
 Elipsóide: SIRGAS2000
 Latitude $\phi = 21^{\circ}42'28.6400''$ S
 Longitude $\lambda = 43^{\circ}19'35.14401''$ W
 Data: 21/06/2019

Sistema de Coordenadas
 Coordenadas Planas Sistema UTM
 Origem das coordenadas:
 Elipsóide: SIRGAS2000
 N Equador acrescido de 10.000.000 m
 E MC 49° acrescido de 500.000 m
 Coordenadas Geodésicas do ponto: GPS BASF
 Latitude $\phi = 21^{\circ}42'28.64500''$ S
 Longitude $\lambda = 43^{\circ}19'35.14401''$ W
 Coeficiente de Escala: K = 0.999970992

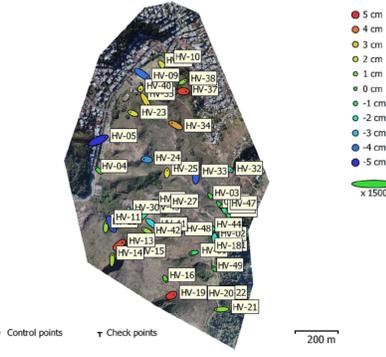
Tabela de Coordenadas dos Marcos

Descrição	Leste	Norte	Cota
M11	672530.4100	7595132.3380	739.410
M10	672533.3170	7594618.6510	782.062
M09	672543.5410	7594603.3430	785.349
M07	672841.4540	7594490.0810	898.744
M06	672940.2940	7594595.9250	920.182
M05	672907.1480	7594629.1270	907.498
M03	673026.9590	7594790.9600	935.656
M22	672554.8120	7595384.1790	717.697
M21	672610.3210	7595429.2060	719.228
M23	672518.8500	7595286.2130	713.504
M20	672661.1510	7595436.1770	721.045
M19	672705.2270	7595454.7990	723.607
M16	672783.1920	7595528.6650	734.151
M17	672862.5370	7595475.4400	757.394
M18	672881.2820	7595453.9990	761.461
M12	672557.2960	7595229.2510	729.754
M15	672753.5690	7595439.0280	740.376
M24	672497.1380	7595182.7690	713.531
M14	672624.5590	7595300.2740	735.070
M02	673065.7550	7594850.9590	943.213
M13	672564.7810	7595277.6320	724.599
M01	673072.5850	7594870.1070	941.951
M08	672841.9910	7594465.6070	904.803
M25	672472.8430	7595055.8770	710.234
M04	673023.8510	7594775.8610	935.695

Tabela de Pontos das Árvores

Descrição	Leste	Norte	Cota
ARV 34	672478.3820	7594990.1710	723.752
ARV 33	672551.7959	7595345.1206	718.049
ARV 32	672536.9384	7595359.9137	715.455
ARV 31	672545.0369	7595375.2755	716.787
ARV 30	672667.9105	7595503.1913	719.451
ARV 29	672618.3696	7595468.3414	718.016
ARV 28	672638.6995	7595439.3468	720.333
ARV 27	672648.5897	7595389.6221	725.374
ARV 26	672668.4988	7595442.3973	722.002
ARV 25	672552.3380	7595357.8961	718.135
ARV 24	672550.7012	7595324.8902	718.184
ARV 23	672539.8428	7595309.8695	716.733
ARV 22	672556.4522	7595307.1065	720.423
ARV 21	672536.2576	7595290.0754	716.674
ARV 20	672550.0453	7595288.1266	720.434
ARV 19	672486.3380	7594926.8441	717.192
ARV 18	672491.9803	7594907.8841	718.955
ARV 17	672973.2416	7594505.5491	896.505
ARV 16	672949.8931	7594522.0897	890.765
ARV 15	672935.4395	7594531.9216	885.911
ARV 14	672580.7888	7595310.2739	726.203
ARV 13	672583.4167	7595317.3248	727.245
ARV 12	672587.3424	7595323.0990	727.472
ARV 11	672592.6752	7595331.4643	726.445
ARV 10	672589.1994	7595311.9009	728.895
ARV 08	672598.2356	7595326.4105	727.367
ARV 07	672599.5689	7595314.4179	728.805
ARV 06	672605.1180	7595281.3515	735.908
ARV 05	672718.2479	7595210.6080	746.289
ARV 04	672871.9751	7595249.3670	765.942
ARV 03	672758.1156	7595116.9870	771.139
ARV 02	672588.1356	7594898.7418	733.764
ARV 01	672949.8474	7595032.5623	831.671
ARV 09	672592.9028	7595318.8596	729.009

Distribuição dos Control Points e Check Points



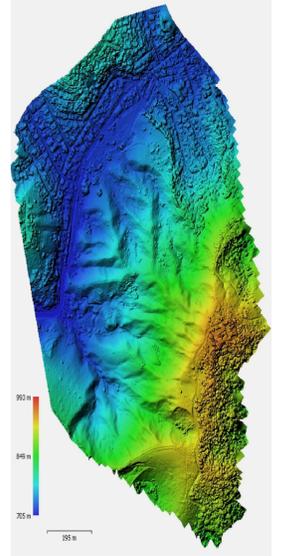
Precisão do Aerolevamento (Control Points)

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
41	1,7396	1,8630	2,4753	2,5485	3,5528

Acurácia do Aerolevamento (Check Points)

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
2	1,551	1,9021	0,78985	2,5247	2,6481

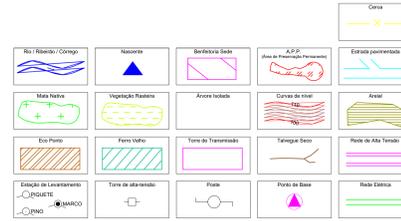
Modelo Digital de Elevação (DEM)



Quadro de Áreas

Área Total do Terreno	49,6687 ha
	496.687,819 m²
Perímetro do Terreno	3.152,112 m

Convenções topográficas - NBR 13133



Levantamento Planialtimétrico Georreferenciado

Conteúdo da Folha: **Planta Topográfica** Data: 06/10/2020 Folha: **01/01**
 Escala: 1/1500

Informações do Levantamento:
 Voo realizado no dia 10/07/2019 por volta de 14:40. Direção de voo, aproximadamente, 45 minutos. O clima encontrado no local foi ensolarado.

Situação: Elaborado Por: