

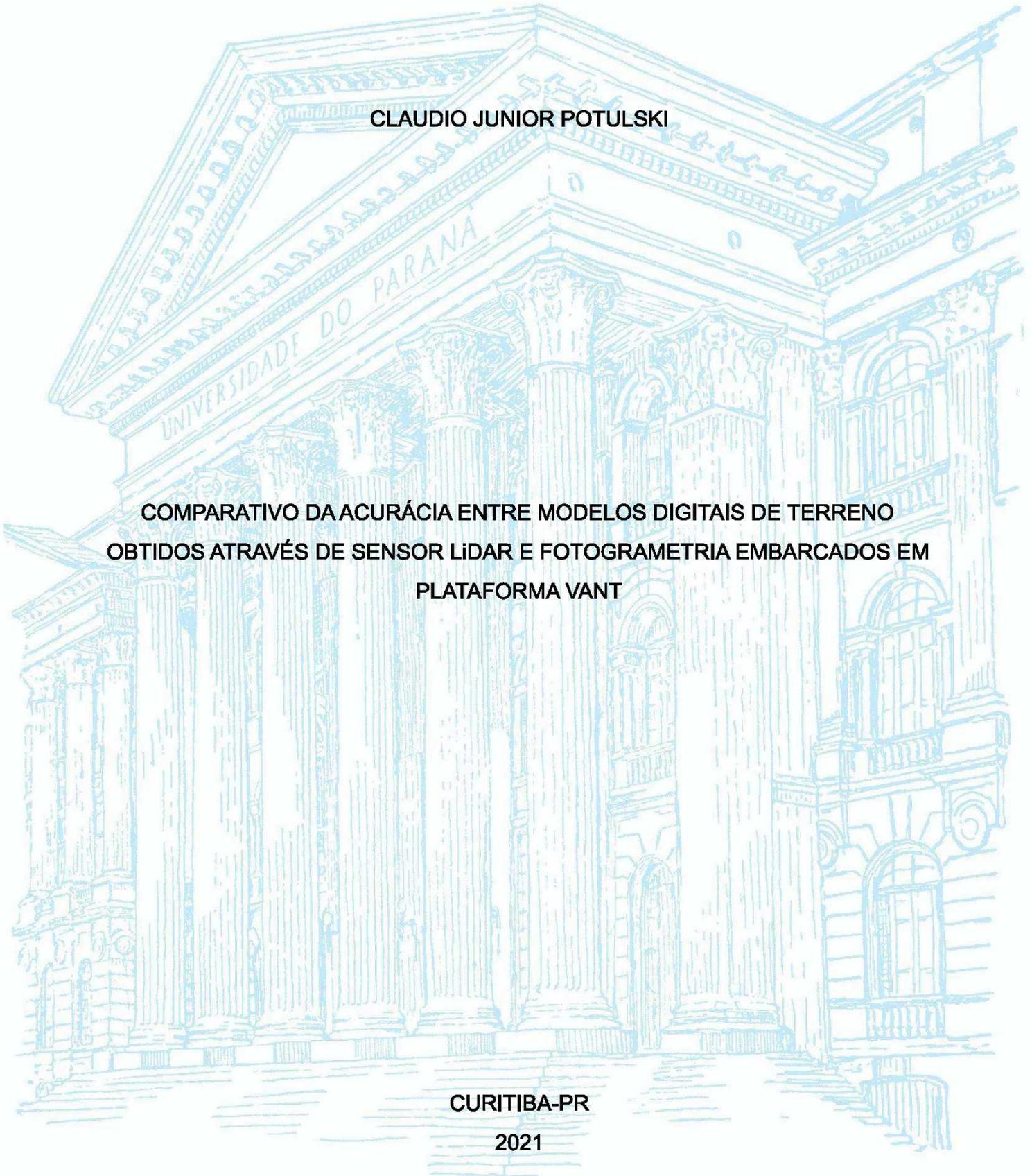
**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA**

CLAUDIO JUNIOR POTULSKI

**COMPARATIVO DA ACURÁCIA ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO
OBTIDOS ATRAVÉS DE SENSOR LIDAR E FOTOGRAMETRIA EMBARCADOS EM
PLATAFORMA VANT**

CURITIBA-PR

2021



CLAUDIO JUNIOR POTULSKI

COMPARATIVO DA ACURÁCIA ENTRE MODELOS DIGITAIS DE TERRENO
OBTIDOS ATRAVÉS DE SENSOR LIDAR E FOTOGRAMETRIA EMBARCADOS EM
PLATAFORMA VANT

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciência da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientação: Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

CURITIBA-PR

2021

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me permitir ultrapassar todos os obstáculos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

A minha família, em especial minha mãe Luisa Aparecida Ribeiro da Silva e meu pai Claudio Potulski, que me apoiaram e aconselharam nas decisões.

Ao Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga pela paciência e apoio, sem ele não seria possível completar este trabalho .

Aos meus e demais colegas da Universidade, que sempre me apoiaram.

A empresa BIM START Serviços Tecnológicos Ltda. que disponibilizou os equipamentos necessários para o levantamento e processamento dos dados. Em especial Diogo Teixeira Araújo pelo auxílio e instrução para realizar o levantamento.

RESUMO

O presente trabalho trata de um estudo de acurácia posicional do sistema LiDAR embarcado em plataforma VANT, especificamente o modelo Zenmuse L1, em comparação com fotogrametria com o equipamento Zenmuse P1. Primeiro são coletados pontos de checagem distribuídos na região escolhida. Para validar o potencial do método proposto, foram realizados experimentos com dados reais em nuvens de pontos 3D obtidas em ambientes externos.

O método proposto também foi comparado com técnicas de levantamento GNSS. Os resultados mostraram que a acurácia do sistema se enquadrava ao esperado para a altura de voo determinada, nas quais apresentaram erros similares aos erros tabelados..

Palavras-chave: LiDAR. Zenmuse L1. Zenmuse P1. Nuvens de pontos. Acurácia posicional.

ABSTRACT

The present work deals with a study of the positional accuracy of the LiDAR system embedded in a UAV platform, specifically the Zenmuse L1 model, in comparison with photogrammetry with the Zenmuse P1 equipment. First checkpoints distributed over the chosen region are collected. To validate the potential of the proposed method, experiments were performed with real data on 3D point clouds obtained in outdoor environments.

The proposed method was also compared with GNSS survey techniques. The results showed that the accuracy of the system fit the expected for the determined flight height, in which they presented errors similar to the tabulated errors...

Keywords: LiDAR. Zenmuse L1. Zenmuse P1. Point clouds. Positional accuracy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: SOBREPOSIÇÃO LATERAL E LONGITUDINAL DAS LINHAS DE VOO	13
FIGURA 2:- COMPONENTES DO SISTEMA DE IMAGEAMENTO LIDAR	17
FIGURA 3: SISTEMAS DE COORDENADAS E PAR METROS ENVOLVIDOS NO GEORREFERENCIAMENTO DIRETO DE UM SISTEMA LIDAR	18
FIGURA 4: PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO RTK	20
FIGURA 5 : MATRICE 300 RTK	22
FIGURA 6 :SENSOR LIDAR ZENMUSE L1	23
FIGURA: ZENMUSE P1	24
FIGURA 8 : ÁREA DO ESTUDO	26
FIGURA 9 : LINHAS DE VOO NO APP DJI PILOT	28
FIGURA 10: INTERFACE DO USUÁRIO NO SOFTWARE DJI TERRA	29
FIGURA 11: MODELO DE MARCO DA REDE TOPOGRÁFICA CAMPUS POLITÉCNICO UFPR	30
FIGURA 12 : ORTOMOSAICO GERADO	33
FIGURA 13: NUVEM DE PONTOS DENSA	34
FIGURA 14: NUVEM DE PONTOS DENSA	35
FIGURA 15: NUVEM DE PONTOS LIDAR COLORIDA	41
FIGURA 16 : NUVEM DE PONTOS LIDAR CLASSIFICADA EM PRIMEIRO E SEGUNDO RETORNO	42
FIGURA 17: AMPLITUDE DA NUVEM FOTOGRAMÉTRICA	49
FIGURA 18: AMPLITUDE DA NUVEM FOTOGRAMÉTRICA X AMPLITUDE DA NUVEM LIDAR	50

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 : COORDENADAS UTM DOS PONTOS UTILIZADOS NO SISTEMA GEODÉSICO SIRGAS2000 FUSO 22S. -----	30
TABELA 2: COORDENADAS UTM COLETADAS DA NUVEM FOTOGRAFÉTRICA NO SISTEMA GEODÉSICO SIRGAS2000 FUSO 22S-----	35
TABELA 3: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS E AS FORNECIDAS PARA PONTOS DE APOIO -----	37
TABELA 4: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS -----	38
TABELA 5: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS E AS FORNECIDAS PARA PONTOS DE CHECAGEM -----	38
TABELA 6: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS -----	39
TABELA 7: PONTOS DE CHECAGEM -----	41
TABELA 8: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS E AS FORNECIDAS PARA PONTOS DE CHECAGEM -----	43
TABELA 9: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS -----	45
TABELA 10: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS DA FOTOGRAFETRIA E LIDAR -----	45
TABELA 11: ESTATÍSTICAS DAS NUVENS LIDAR E FOTOGRAFÉTRICA -----	47
TABELA 12: PRÓS E CONTRAS DE POR EQUIPAMENTO-----	50

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo

GNSS - *Global Navigation Satellite Systems* (Sistemas Globais de Navegação por Satélite)

GSD - *Ground Sample Distance*

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDS - Modelo Digital de Superfície

MDT - Modelo Digital do Terreno

NTRIP - Networked Transport Internet Protocol

POE - Parâmetro de Orientação Exterior

POI - Parâmetro de Orientação Interior

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

RTK - *Real Time Kinematic*

SFM - Structure from motion

SIRGAS 2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000

UTM - *Universal Transversa de Mercator*

VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1 OBJETIVO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 FOTOGRAMETRIA	12
2.1.1 Conceito e Definição	12
2.1.2 Levantamento Aerofotogramétrico	13
2.1.3 Fototriangulação	14
2.1.4 Ortofotos	15
2.4.5 Modelo Digital do Terreno (MDT)	15
2.4.6 Fotogrametria por meio da utilização dos VANTs	16
2.1.1 Sistema de Escaneamento LiDAR Aéreo	17
2.3.1 Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1 MATERIAIS	22
3.1.1 VANT DJI Matrice 300 RTK	22
3.1.2 Sensor Zenmuse L1	23
3.1.3 Sensor Zenmuse P1	24
3.1.5 Softwares e Hardwares utilizados	25
4 EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS	26
4.1 EXPERIMENTO	26
4.1.1 Local do Estudo	26
4.1.2 Levantamento com o Sensor Zenmuse L1	27
4.1.3 Levantamento com o Sensor Zenmuse P1	28
4.1.4 Processamento De dados LiDAR	29
4.1.5 Processamento Aerofotogramétrico	30
4.1.6 Pontos de apoio e Checagem	30
4.2 RESULTADOS	33
4.2.1 Resultados Do Processamento fotogramétrico	33
4.2.1 Resultados Do Processamento LiDAR	42
4.2.4 Comparativo Direto das nuvens LiDAR e da Fotogramétrica	48
5 CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS	54
ANEXOS	55

1 INTRODUÇÃO

A área de Ciências Geodésicas evolui com a Sociedade. Considerada por alguns historiadores como uma das mais antigas ciências do mundo, seu progresso acompanha as mais recentes tecnologias de processamento de dados, imagens, computação gráfica e outros campos, todos com grande importância para a atual fase da revolução industrial. O Posicionamento Geodésico foi a primeira área com uma mudança geral de paradigma no posicionamento, com o uso de sistemas de posicionamento por satélites, ressaltando que a idéia já era da década de 80. Nas últimas duas décadas houve uma grande revolução nos métodos de coleta de dados em campo para fins de mapeamento, seja em pequena ou grande escala.

O uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) popularizou o uso de fotogrametria, com a facilidade em se obter imagens comparativamente com o processo tradicional. Adicionado a este fato, o processamento também sofreu uma grande revolução com a adoção de técnicas clássicas, utilizadas principalmente em computação gráfica e aplicadas à fotogrametria, que buscam simultaneamente estimar a posição da câmara e a definição de pontos tridimensionais a partir de um conjunto de imagens bidimensionais, como a caso da aplicação do SfM (Structure from Motion).

Adicionalmente, outra forma de abordagem da coleta de posições tridimensionais em campo também se destaca atualmente: o uso de nuvens de pontos para a representação digital de uma área, algo muito usado para a chamada captura da realidade. Estas nuvens podem ser obtidas diretamente em campo a partir de sistemas de varredura à laser, ou popularmente, referindo-se ao equipamento empregado na coleta, usando *lasers scanners*.

Um dos subprodutos que podem ser gerados a partir da aplicação das técnicas fotogramétricas também é a geração de nuvens de pontos de uma área. Uma versatilidade dos VANT que vem sendo incorporada a estes equipamento é o uso de outros sensores além da câmara. Um destes sensores é justamente um laser scanner, permitindo então a realização de varreduras a laser aéreas.

Neste sentido, este trabalho busca comparar as nuvens de pontos obtidos pelas duas técnicas para verificar a precisão de cada uma. Isto será feito empregando-se como padrão de comparação, coordenadas de um conjunto de pontos em campo determinadas por posicionamento GNSS.

1 OBJETIVO

Comparar a precisão de nuvens de pontos geradas a partir de varredura a laser e técnica fotogramétrica, empregando-se sensores embarcados em um veículo aéreo não tripulado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 FOTOGRAMETRIA

2.1.1 Conceito e Definição

A Fotogrametria é a ciência ou tecnologia de se obter informações seguras sobre objetos físicos e do meio ambiente, através de processos de registro, medição e interpretação das imagens fotográficas (FONTES, 2005).

O uso de fotogrametria como fonte de dados topográficos planimétricos e altimétricos a nível mundial, teve seu início nos meados dos anos 1950 (BLASCHKE, 1957; CARNAHAN, 1958; BELCHER, 1960; TERNRYD 1969; CANONICA, 1969).

As principais vantagens da fotogrametria são relativas à grande quantidade de informações que pode obter com a fotointerpretação, que é essencial para as fases preliminares de projetos de engenharia, também quando se deseja um levantamento mais rápido de grande extensão ou em áreas perigosas ou inacessíveis. Como desvantagens são apontadas a menor precisão em comparação com os levantamentos topográficos, necessidade de condições atmosféricas propícias.

2.1.2 Levantamento Aerofotogramétrico

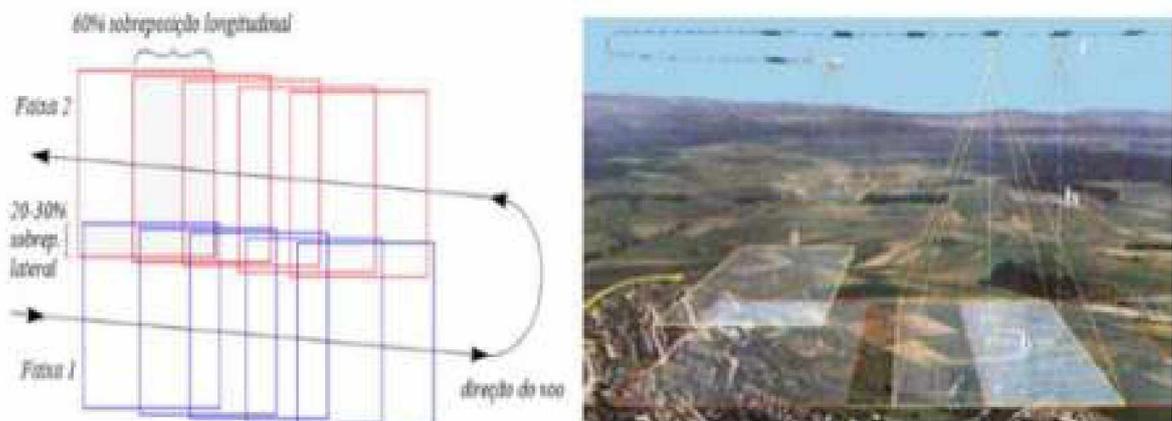
Segundo Fontes (2005), a Aerofotogrametria refere-se às operações realizadas com fotografias da superfície terrestre, obtidas por uma câmara de precisão com o eixo óptico do sistema de lentes mais próximo da vertical e montada em uma aeronave preparada especialmente. Pode-se utilizar esta técnica aerofotogramétrica nas atividades de mapeamento cartográfico, no planejamento e desenvolvimento de área urbana, e em engenharias afins.

Segundo Paredes (1987), para um levantamento fotogramétrico completo, deve ser feito um cuidadoso planejamento do voo fotogramétrico, que tem por objetivo a obtenção da cobertura aerofotográfica da área do terreno, cujo levantamento topográfico será realizado por meio da fotogrametria. A cobertura aerofotogramétrica é um conjunto de fotografias aéreas verticais tecnicamente tiradas a partir de uma aeronave, de forma a assegurar uma correta e completa representação de toda a área do terreno a ser estudado (PAREDES, 1987).

Conforme Fontes (2005), se o objetivo da cobertura é o mapeamento da região, as linhas de voo são planejadas com um espaçamento lateral tal que se obtenha uma área comum entre as faixas com no mínimo 30%, como mostra a Figura 5.

Estas áreas comuns, resultantes da superposição entre faixas num sentido transversal à direção do vôo, são denominadas de recobrimento lateral ou transversal. Cada fotografia tomada ao longo de uma linha de vôo cobre uma área que se superpõe à área coberta pela fotografia anterior em aproximadamente 60% (Figura 1). Esta superposição entre as áreas fotografadas consecutivamente é denominada de recobrimento longitudinal. No caso de uma cobertura aerofotogramétrica cuja finalidade é a obtenção de ortofotos, a taxa de recobrimento longitudinal é de 80%.

FIGURA 1: SOBREPOSIÇÃO LATERAL E LONGITUDINAL DAS LINHAS DE VOO.



FONTE: (ADAPTADO DE FONTES, 2005)

2.1.3 Fototriangulação

A técnica de cálculo e ajustamento das coordenadas dos centros de perspectiva e dos ângulos de atitude do sensor no momento da aquisição de cada uma das imagens fotográficas que compõem um bloco fotogramétrico, de forma a permitir a obtenção de coordenadas tridimensionais no espaço objeto (terreno) a partir do espaço imagem denomina-se Fototriangulação.

O maior objetivo do processo é proporcionar coordenadas precisas para os pontos necessários para a orientação de modelos fotogramétricos para a restituição ou elaboração de ortofoto.

Para obter resultados satisfatórios, deve-se dispor de dados iniciais de boa qualidade, para poupar tempo de processamento. Esses dados iniciais constituem-se, basicamente, na determinação dos pontos de controle e de verificação, parâmetros de Orientação Interior (POI) e de Orientação Exterior (POE). Os pontos de controle podem ser extraídos de cartas topográficas em escala apropriada ou por meio de levantamento em campo por topografia ou GPS, de acordo com a resolução espacial da imagem a ser corrigida (SILVA, 2000), e tem como função amarrar o bloco fotogramétrico ao terreno no método da

fototriangulação. Obtidos através de referencial geodésico, para os resultados das informações desse processo possam permitir a transferência de informações oriundas de diversas fontes. Já que os pontos de verificação e pontos de controle são obtidos da mesma forma, contudo os pontos de verificação não são empregados no processo de fototriangulação, pois são pontos que servem para verificar a acurácia (qualidade posicional) dos produtos cartográficos gerados.

Brito & Coelho Filho (2007) destacam que o planejamento da fototriangulação deve iniciar na cobertura fotogramétrica, pois é necessário conhecer o número de pontos de campo, realizar um voo apoiado, entre outros fatores que modificam os procedimentos futuros, pois é necessário confiar que os dados para a triangulação foram obtidos com qualidade.

2.1.4 Ortofotos

Ortofotos são representações cartográficas de uma região da superfície terrestre, produzidas mediante um conjunto de imagens aéreas, tomadas por avião ou satélite. Nas fotografias capturadas, ainda com deformações devido ao deslocamento do relevo, são aplicadas correções, seguindo um Modelo Digital do Terreno (MDT) para garantia da qualidade métrica da ortofoto, removendo qualquer distorção geométrica (LIMA, 2018).

2.4.5 Modelo Digital do Terreno (MDT)

Um Modelo Digital do Terreno – MDT trata dos pontos que representam o terreno, enquanto que o MNE trata dos pontos que representam as elevações contidas na superfície.

Desta forma, um MDT representaria apenas as informações referentes ao terreno que está sendo modelado e o MDE (Modelo Digital de Elevação) pode conter

informações do terreno, como também de elementos existentes sobre este, como edificações, vegetações, etc.

2.4.6 Fotogrametria por meio da utilização dos VANTs

O uso da fotogrametria passou a ser cada vez mais utilizada em virtude do crescimento de tecnologias o que viabilizou o mapeamento de diversos tipos de projetos, antes tido como inviável, atualmente passaram a ser considerados como uma realidade. Nota-se que a aplicação da fotogrametria permite que sejam extraídos elementos geográficos específicos para as mais diversas aplicações (LARANJA; CORREA; BRITO, 2012)

Tommaselli (2009) destaca que a fotogrametria se mostra vantajosa, possuindo uma gama variada de funções e finalidades, uma vez a área ou objeto a ser mensurada não é tocado, “a quantidade de informações semânticas e geométricas é elevada, superfícies de difícil acesso podem ser determinadas, a precisão se adequa às especificações do projeto.” A fotogrametria aérea, permite que sejam realizadas fotografias do espaço, obtidas através de uma câmera instalada no VANTs.

Os principais aspectos de vantagens da fotogrametria são relativos a grande quantidade de informações que pode obter com a fotointerpretação, essencial para as fases preliminares dos projetos e estudos das possíveis variantes, mas também quando se deseja um levantamento mais rápido de grande extensão ou em áreas perigosas ou inacessíveis (SILVA e COSTA, 2010).

Para a aquisição de tais informações, diferentes metodologias são empregadas, podendo elas ser diretas como a Topografia e Geodésia, e indiretas como a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto. Sobre os métodos diretos, a Geodésia é uma ciência que estuda as formas e as dimensões do planeta, bem como a determinação do campo gravitacional e da superfície oceânica. Já a

Topografia, que muitas vezes é confundida com a Geodésia por se utilizar dos mesmos equipamentos, tem por finalidade mapear uma pequena parte dessa superfície, não levando em consideração as deformações sofridas pela esfericidade do globo (BRANDALIZE, 2000).

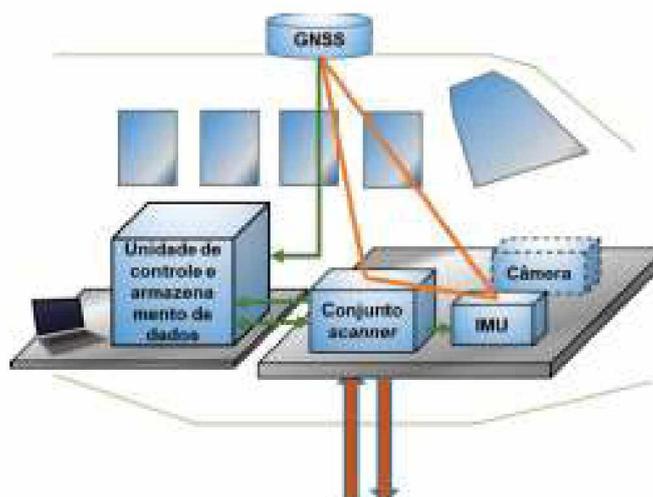
Estudos ambientais, monitoramento de obras, mapeamento de pequenas áreas, cálculos de volumes de mineração e pátio de estocagem de madeiras são algumas das aplicações possíveis. As principais dificuldades encontradas para o uso dos VANTs são as restrições legais sobre seu uso, as quais ainda estão em discussão, e a qualidade das informações em termos de precisão planialtimétricas obtidas (SILVA, 2014). Hoje já se encontram normas para a execução do voo, estipulando diferentes tipos de veículos aéreos, definidos de acordo com seu tamanho. Estas normas são dispostas na RBAC nº 94/2017 da ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil). Também sendo necessário o cadastro junto ao DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo)

2.2 CONCEITOS LIDAR

2.1.1 Sistema de Escaneamento LiDAR Aéreo

Segundo Vosselman e Maas (2010), o sistema de imageamento LIDAR é composto por dois principais componentes: um sistema de varredura laser, que mede a distância a um ponto no solo iluminado pelo laser e um GNSS/INS sistema que mede exatamente a posição e orientação do sistema. A FIGURA 1 ilustra os componentes básicos do sistema de escaneamento laser aéreo descrito pelos autores

FIGURA 2 - COMPONENTES DO SISTEMA DE IMAGEAMENTO LIDAR



FONTE: ADAPTADO VOSELMAN E MAAS (2010).

Conjunto scanner: é composto pelo laser e sistema óptico/mecânico do scanner. O sistema laser montado envia pulsos de laser continuamente sobre o terreno durante o voo. Dependendo da velocidade e altura de voo, as tecnologias atuais permitem um escaneamento com taxa de pontos de até 480.000 pontos/s.

Antena receptora GNSS: é, normalmente, uma antena de frequência dupla com registro de sinais a uma frequência de 5Hz. A antena é montada na parte externa do topo da aeronave para exposição à constelação de satélites GNSS.

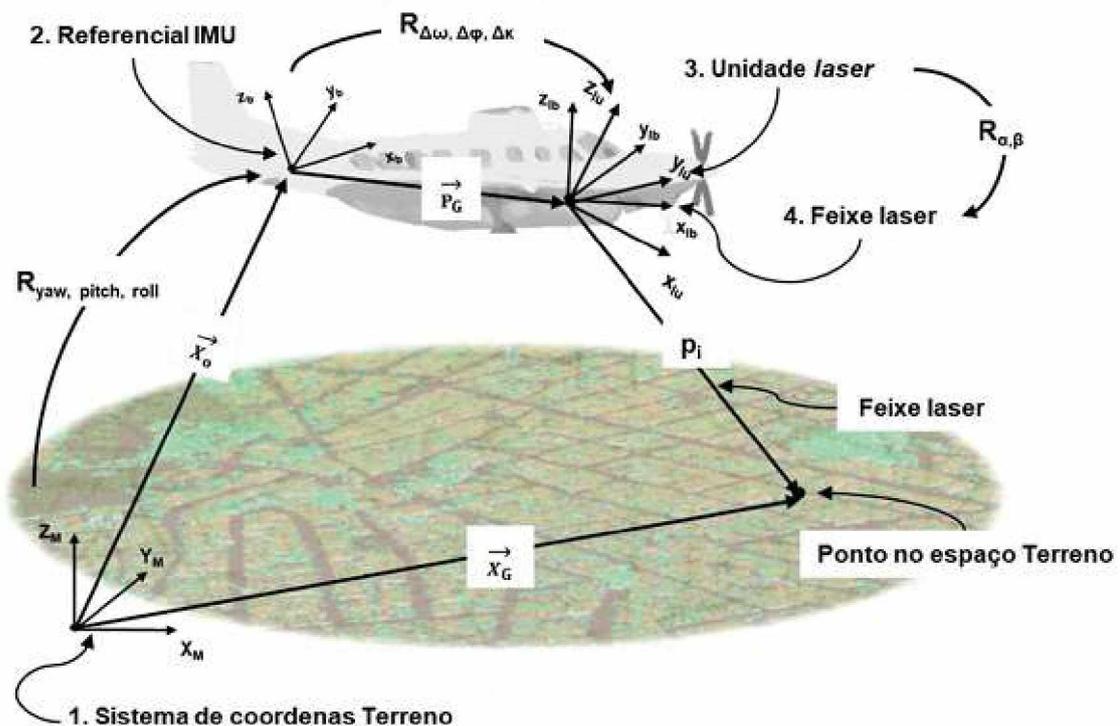
Unidade de medida inercial (IMU): a IMU ou é fixada diretamente no laser scanner ou próximo dele em uma plataforma estável. Normalmente, a IMU armazena dados de aceleração e taxas de rotação a uma frequência de 200 Hz. Enquanto os dados de aceleração são utilizados como suporte para a interpolação da posição da plataforma oriunda da trajetória do GNSS, as taxas de rotação são usadas para determinar a orientação da plataforma. A combinação de GNSS e IMU permite reconstruir a trajetória do voo com uma exatidão melhor que 10 cm.

Sistema de gerenciamento do voo: este é o meio pelo qual o piloto visualiza as linhas de voo pré-planejadas para a missão, atualmente é utilizado o controle UHF da aeronave.

Segundo Shan e Charles K. (2018), a informação posicional derivada dos sistemas LIDAR é baseada no cálculo da distância da unidade laser ao objeto no terreno. Como mostrado na FIGURA 2, a medida da distância e do vetor feixe laser são acompanhadas da posição e orientação determinadas pelo conjunto GNSS/INS para determinação direta da posição do ponto no espaço objeto usando a equação (1).

$$\vec{X}_G = \vec{X}_o + R_{yaw,pitch,roll} \vec{P}_G + R_{yaw,pitch,roll} R_{\Delta\omega,\Delta\phi,\Delta\kappa} R_{\alpha,\beta} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\rho \end{bmatrix} \quad (1)$$

FIGURA 3 - SISTEMAS DE COORDENAS E PAR METROS ENVOLVIDOS NO GEORREFERENCIAMENTO DIRETO DE UM SISTEMA LIDAR



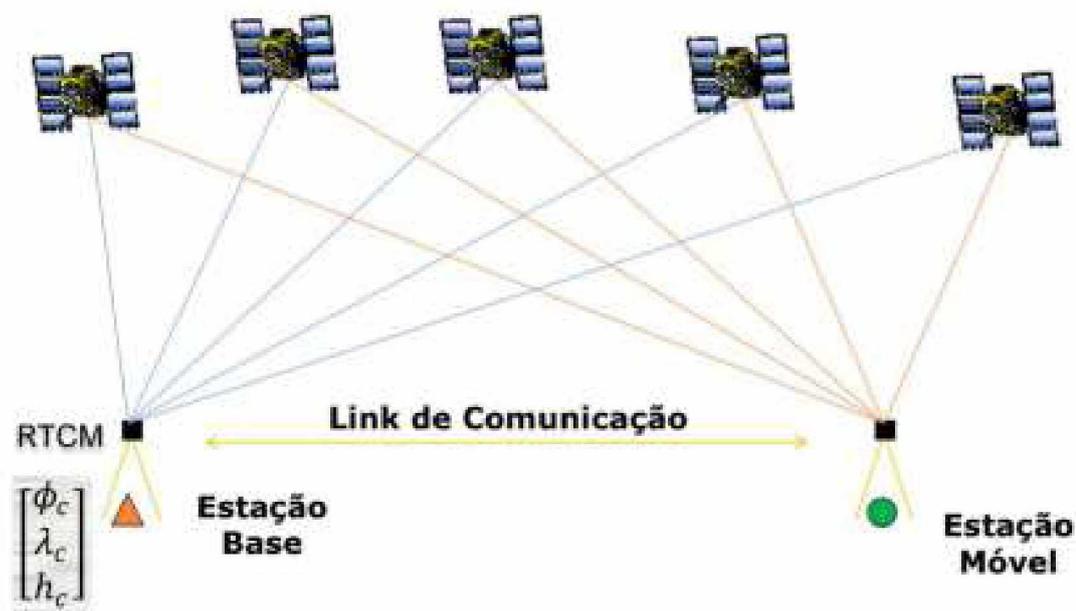
FONTE: ADAPTADO E TRADUZIDO DE SHAN E CHARLES K. (2018).

2.3.1 Posicionamento Relativo Cinemático em Tempo Real

A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC) teve a sua implementação no país no ano de 1996, onde ganhou destaque em virtude de sua fundamental importância nas atividades relacionadas a manutenção e a atualização da estrutura geodésica do território nacional, além de ter se tornado a primeira rede estabelecida em um país da América do Sul. As Redes de Operação Contínua GNSS desenvolvem ações onde o Sistema Geodésico de Referência tem papel fundamental de concepção geocêntrica como é o SIRGAS 2000, adotado oficialmente no Brasil em 2005 (COSTA, 2008).

As técnicas de posicionamento RTK (Real Time Kinematic) ou DGPS (Differential Global Positioning System) são baseadas no modo diferencial onde as correções dos sinais dos satélites GNSS são transmitidas, em tempo real, da estação de referência para uma estação onde se estabelece que sejam realizadas as coordenadas (Figura 4). É comum que as correções sejam enviadas via rádio UHF, onde são instalados, em conjunto com um receptor, em uma estação de coordenadas conhecidas, aos receptores móveis. Novas opções de coordenadas são estabelecidas constantemente para a transmissão das correções, que surgem através da Internet e o seu funcionamento wireless por meio da telefonia celular. O NTRIP (Networked Transport of RTCM via internet Protocol) é um protocolo HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) desenvolvido com o propósito de substituir o link de rádio pela conexão via Internet (SILVA., 2012).

FIGURA 4: PRINCÍPIO DO POSICIONAMENTO RTK



FONTE: IBGE

O RTK é uma técnica de levantamento baseada no posicionamento relativo da portadora, com precisão de poucos centímetros em tempo real. Para a realização de um levantamento RTK convencional é necessário um receptor instalado em uma estação com coordenadas conhecidas, denominado de estação de referência ou base RTK, um receptor móvel (rover), e um rádio de comunicação para enviar os dados da estação de referência RTK ao receptor móvel. O link de comunicação entre a estação de referência e o receptor móvel, desempenha um papel fundamental para o sucesso do levantamento RTK, porque as correções da estação de referência têm que chegar ao receptor móvel em tempo real. Um fator que limita a área de abrangência para a realização do RTK é o alcance da transmissão das ondas de rádio, pois se existirem obstáculos entre a referência e o receptor móvel a precisão esperada não será alcançada (COSTA, 2008).

Em virtude de haver a separação entre dois canais de rádio e desta ser estreita o sinal pode receber a interferência de outros usuários trabalhando na mesma banda de frequência reduzindo a qualidade do levantamento. A opção para ajustar o déficit é trocar o link de rádio pela comunicação via modem GSM (Global

System of Mobile), isso torna a disponibilidade dos serviços de telefonia celular correlacionada à área de trabalho (COSTA, 2008).

A técnica de posicionamento RTK tem inúmeras vantagens relacionadas às demais, uma vez que possui uma grande precisão e é de grande produtividade, ganhando destaque quando se compara as suas funções a técnicas mais conhecidas de topografia. As maiores limitações encontradas no levantamento RTK, encontram-se quando estão em ambientes com muita obstrução, destacando-se as áreas de mata e edifícios, além do alcance de link do rádio, que transmite as correções diferenciais (SILVA, 2014).

A utilização das bases cartográficas geradas pelo processo de coleta de dados com drones em conjunto com a base de rastreamento em solo obtido com GNSS RTK permitem análises técnicas, como mensuração de áreas, volumes e pela topografia do terreno, com alto nível de acurácia e precisão. As vantagens da utilização dos drones no desenvolvimento da infraestrutura urbana estão relacionadas, principalmente, à economia de tempo no desenvolvimento dos trabalhos, precisão dos dados que são coletados e à redução de custos comparado a metodologias tradicionais de levantamento, tornando os resultados bem mais confiáveis. Além disso, o equipamento oferece ainda a facilidade de acesso a pontos considerados de difícil alcance (NICHETTI, 2016).

Neste trabalho fez-se o uso do posicionamento RTK através da tecnologia NTRIP para o posicionamento da aeronave.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

3.1.1 VANT DJI Matrice 300 RTK

VANT da série DJI MATRICE utilizado neste trabalho conta com posicionamento RTK possibilitando precisão de 1 cm + 1 ppm (horizontal) 1,5 cm + 1

ppm (vertical) com RTK fixo. Sendo a plataforma necessária para acoplar os sensores utilizados neste trabalho cedida pela empresa BIM START.

FIGURA 5 : MATRICE 300 RTK



FONTE: DJI

3.1.2 Sensor Zenmuse L1

Integra um módulo Lidar, uma câmera RGB e um IMU de alta precisão ($0,05^\circ$), cobertura de até 2 km^2 , Precisão vertical: 5 cm, Precisão horizontal: 10 cm, retorno único: máx. 240.000 pontos/s; Retorno múltiplo: máx. 480.000 pontos/s. Este equipamento suporta até três retornos do mesmo pulso laser.

FIGURA 6 :SENSOR LiDAR ZENMUSE L1



FONTE: DJI

3.1.3 Sensor Zenmuse P1

O Zenmuse P1 integra um sensor Full Frame com lentes de foco fixo intercambiáveis em um gimbal estabilizado de 3 eixos. Projetado para fotogrametria.

FIGURA 7: ZENMUSE P1



FONTE: DJI

3.1.5 Softwares e Hardwares utilizados

- **DJI Pilot** - Software proprietário da DJI para planos de voo automatizados que permite a configuração de voo tais como sobreposição, altura de voo e inclinação da câmera. Software Livre disponibilizado pela DJI.
- **DJI Terra** - Software de Pós-processamento de dados LiDAR. Neste é possível fazer ajustes quanto ao posicionamento da aeronave.

- **Agisoft Metashape** - Software de processamento fotogramétrico
- **Autodesk Recap** - software de visualização e comparação para Nuvens de pontos.

Neste trabalho foram utilizados diferentes computadores para o processamento utilizando a ferramenta MS Cluster do Agisoft Metashape.

4 EXPERIMENTOS E ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 EXPERIMENTO

4.1.1 Local do Estudo

Para este trabalho foi escolhido o Campus Centro Politécnico da UFPR onde já havia uma rede de pontos implantada e destacada devido ao curto tempo para o desenvolvimento deste trabalho. Desta rede foram retiradas as coordenadas dos pontos para a comparação com a nuvem de pontos. A FIGURA 8 apresenta a área selecionada para o levantamento em vermelho.

FIGURA 8 : ÁREA DO ESTUDO.

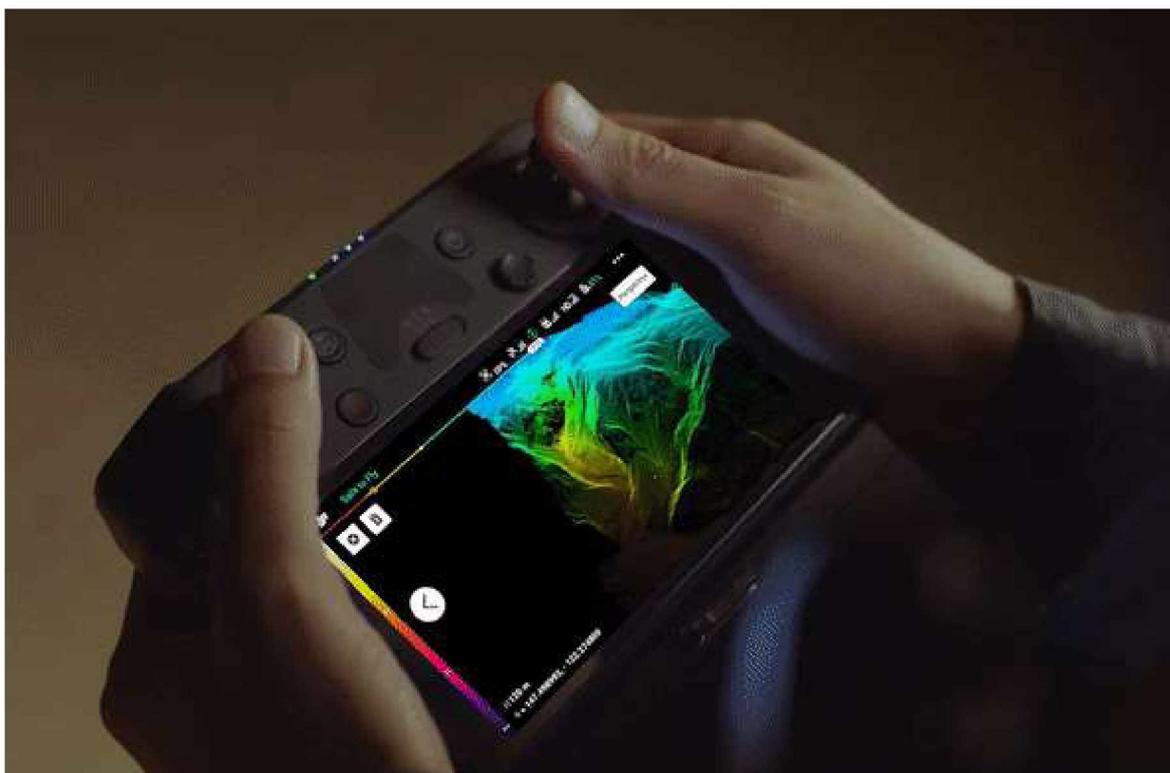


FONTE: AUTOR

4.1.2 Levantamento com o Sensor Zenmuse L1

O equipamento possibilita a coleta de até três retornos de pulso laser, sendo um dos diferenciais pois o segundo e terceiro retorno coletam informações abaixo da vegetação devido a transmissão do pulso laser, com a devida filtragem dos pontos pode-se obter um Modelo Digital de Terreno(MDT). Para o levantamento, a configuração utilizada foi 85% de sobreposição entre as faixas, padrão repetitivo de mapeamento e foram coletados somente dois retornos devido a baixa cobertura vegetal de grande porte.

FIGURA 9 : DJI SMART CONTROLLER



FONTE: DJI

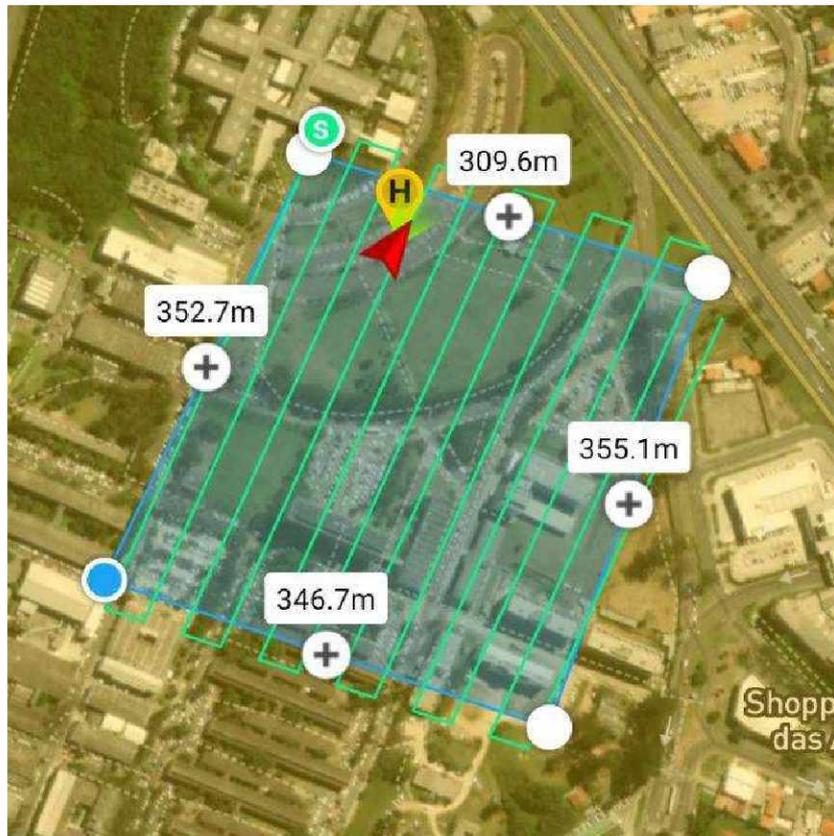
A figura acima ilustra uma das visualizações que o operador pode ver durante o levantamento com o sensor L1, este mostra uma prévia da nuvem com baixa densidade transmitida em tempo real.

4.1.3 Levantamento com o Sensor Zenmuse P1

No planejamento de voo o GSD escolhido foi 1 cm/pix à uma altura de voo de 100m, este foi realizado com sobreposição longitudinal de 85% e lateral de 80% para as fotos capturadas na direção nadiral.

O equipamento possui uma configuração chamada *Smart Oblique* que possibilita a captura imagens oblíquas em quatro direções entre as capturas nadirais, estas oblíquas foram capturadas com a inclinação de 65°.

FIGURA 9 : LINHAS DE VOO NO APP DJI PILOT

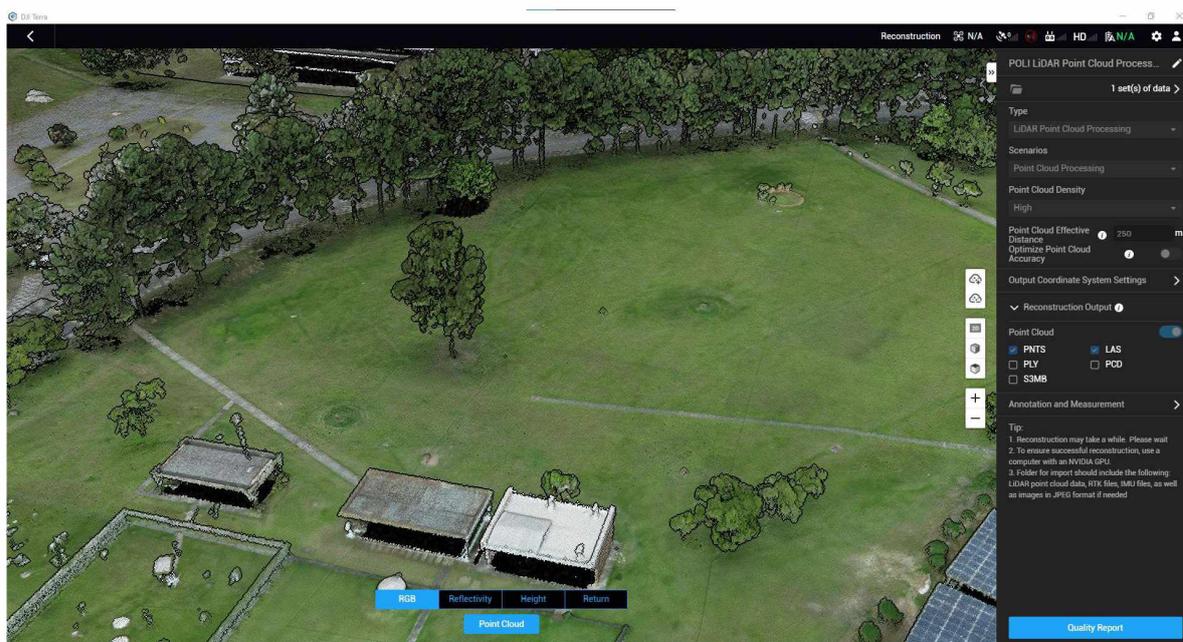


FONTE: AUTOR

4.1.4 Processamento De dados LiDAR

A grande vantagem do levantamento com o sensor Zenmuse L1 é que o mesmo faz o processamento em simultâneo a coleta dos dados podendo ser exportado diretamente nos formatos: LAS, PNTS, PLY, S3MB e PCD, contudo essa nuvem pode ter sua precisão melhorada com pós-processamento feito no software da fabricante que ainda está em fase Beta logo existem poucos ajustes que podem ser feitos no mesmo sendo eles ajuste da posição da base RTK e exportar o arquivo de coleta GNSS para pós-processar as suas posições. Existem outros softwares para ajuste entre as faixas como o LiDAR 360 contudo não foi possível a utilização dos mesmos neste trabalho devido a falta de acesso a licenças, tendo em vista que são softwares pagos.

FIGURA 10: INTERFACE DO USUÁRIO NO SOFTWARE DJI TERRA



FONTE: AUTOR

4.1.5 Processamento Aerofotogramétrico

Para este processamento foi utilizado o software Agisoft Metashape, foram utilizadas 1261 imagens, 47 pontos de apoio e 21 pontos de verificação. O processamento foi feito utilizando as configurações de processamento no Médio devido ao pouco tempo para utilizar o hardware. Para o processamento é necessário marcar a projeção dos pontos em várias imagens para que o software os identifique nas imagens restantes, com isso o mesmo consegue melhorar a qualidade dos parâmetros do processo fotogramétrico.

4.1.6 Pontos de apoio e Checagem

Para este trabalho foram utilizados os pontos da rede topográfica do Campus Politécnico Da UFPR, estes estão disponíveis através da plataforma WEBGIS UFPR CampusMap(2020). Os pontos estão destacados seguindo o padrão da Figura Abaixo:

FIGURA 11: MODELO DE MARCO DA REDE TOPOGRÁFICA CAMPUS POLITÉCNICO UFPR.



FONTE: UFPR CAMPUSMAP

Na TABELA 1 são apresentados todos os pontos utilizados neste trabalho.

TABELA 1 : COORDENADAS UTM DOS PONTOS UTILIZADOS NO SISTEMA GEODÉSICO SIRGAS2000 FUSO 22S.

Ponto	X/Easting	Y/Northing	Z/Altitude	Acurácia		
				X (m)	Y (m)	(m)
2016-07	677854,404	7184239,889	924,253	0,001	0,002	0,003

2016-19	677891,317	7183815,092	919,125	0,001	0,001	0,002
2016-24	677869,794	7184055,425	918,638	0,001	0,001	0,001
PTO-30	677793,547	7184104,626	917,667	0,000	0,000	0,001
2016-39	677589,557	7184009,385	909,597	0,001	0,001	0,003
2016-42	677829,916	7184027,835	915,860	0,001	0,001	0,002
PTO-05	677750,841	7184158,848	917,795	0,001	0,001	0,002
PTO-09	677774,574	7184077,332	916,742	0,000	0,001	0,001
PTO-10	677771,160	7184076,971	916,669	0,000	0,000	0,001
PTO-13	677828,753	7184085,045	918,136	0,000	0,000	0,001
PTO-17	677897,992	7184128,088	921,660	0,001	0,001	0,003
PTO-24	677855,481	7184187,096	922,058	0,001	0,002	0,003
PTO-25	677799,584	7184178,267	920,239	0,001	0,001	0,003
PTO-26	677798,055	7184177,798	920,225	0,001	0,001	0,003
PTO-28	677802,212	7184141,456	919,075	0,001	0,001	0,002
PTO-67	677900,639	7184154,230	922,393	0,000	0,000	0,001
PTO-72	677856,152	7184150,730	921,012	0,001	0,001	0,004
PTO-19	677865,037	7184143,331	921,006	0,001	0,001	0,003
PTO-14	677850,253	7184091,106	918,885	0,000	0,000	0,001
PTO-15	677858,277	7184093,754	919,076	0,000	0,000	0,001
2016-02	677852,312	7184206,704	923,208	0,001	0,002	0,003
2016-14	677801,717	7184243,616	921,641	0,001	0,001	0,002
2016-15	677695,190	7184200,996	916,799	0,001	0,001	0,002
2016-20	677911,993	7183869,168	919,862	0,001	0,002	0,005
2016-28	677788,635	7183923,651	911,926	0,001	0,001	0,003
2016-34	677793,634	7183936,135	912,046	0,001	0,002	0,002
2016-37	677845,750	7184148,015	920,665	0,000	0,000	0,001
2016-38	677654,651	7184131,906	912,795	0,000	0,000	0,001
2016-40	677605,227	7184017,483	909,416	0,001	0,001	0,004
2016-43	677599,145	7184005,540	909,629	0,000	0,000	0,002
PTO-02	677677,297	7184131,468	914,137	0,001	0,001	0,002
PTO-03	677684,334	7184154,732	915,499	0,000	0,000	0,001

PTO-06	677753,382	7184158,932	917,884	0,001	0,001	0,004
PTO-08	677761,595	7184109,719	916,821	0,000	0,000	0,001
PTO-11	677733,290	7184078,901	915,880	0,000	0,000	0,001
PTO-12	677803,026	7184079,844	917,320	0,000	0,000	0,001
PTO-16	677880,870	7184112,697	920,349	0,000	0,001	0,001
PTO-18	677911,672	7184147,870	922,529	0,001	0,000	0,001
PTO-20	677852,803	7184130,217	920,111	0,001	0,001	0,003
PTO-21	677839,361	7184192,320	921,840	0,001	0,002	0,002
PTO-22	677816,144	7184188,326	921,166	0,001	0,001	0,002
PTO-23	677887,335	7184166,193	922,319	0,001	0,001	0,002
PTO-27	677777,635	7184169,698	919,138	0,001	0,001	0,002
PTO-29	677803,538	7184115,265	918,261	0,000	0,000	0,001
PTO-54	677783,503	7184148,084	918,620	0,000	0,000	0,001
PTO-71	677879,410	7184135,594	921,087	0,001	0,001	0,004
PTO-74	677828,675	7184159,570	920,540	0,001	0,001	0,003

FONTES: CAMPUSMAP UFPR

As coordenadas utilizadas estão no Sistema de referência UTM SIRGAS2000 no Fuso 22S, optou-se pela utilização da altitude geoidal neste trabalho para que todas as nuvens estivessem no mesmo referencial tanto horizontal quanto vertical.

Observa-se que as precisões das coordenadas utilizadas todas são inferiores a 5mm, o que permite a sua utilização no processo de comparação com as nuvens obtidas.

4.2 RESULTADOS

4.2.1 Resultados Do Processamento fotogramétrico

Após cerca de 40 horas de processamento tem-se como produto a nuvem de pontos densa e o mosaico ortorretificado da área de estudo. Na imagem a seguir

uma representação do mosaico obtido. No ANEXO 1 é apresentado mosaico completo.

FIGURA 12 : ORTOMOSAICO GERADO



FONTE: AUTOR

A nuvem obtida através do processamento apresenta a densidade de 454 pontos/m², no total são mais de 101 milhões de pontos que cobrem uma área de 223000m². Na Figura 13 e 14 são apresentadas imagens geradas a partir da nuvem de pontos. Como foi realizado um voo inclinado também há uma melhora no MDE no sentido de contemplar um maior número de pontos em superfícies verticais comparativamente a um voo apenas com a câmera na vertical.

FIGURA 13: NUVEM DE PONTOS DENSA



FONTE: AUTOR

FIGURA 14: NUVEM DE PONTOS DENSA



FONTE: AUTOR

Para avaliar a qualidade do produto final foram coletadas as coordenadas dos pontos de apoio diretamente da nuvem de pontos densa com e foram calculadas as diferenças entre as mesmas. Estes pontos foram coletados da seguinte forma: foram identificados os pontos da rede nas imagem e usando o software Autodesk ReCap onde foram criadas anotações para a exportar os pontos

Os pontos foram divididos em dois grupos: pontos de checagem e pontos de apoio, pontos de apoio são utilizados para melhorar a qualidade dos parâmetros utilizados no processamento fotogramétrico, já os pontos de checagem são utilizados para verificar a qualidade do processamento. Para este trabalho foram utilizados 20 pontos de checagem e 27 pontos de apoio.

TABELA 2: COORDENADAS UTM COLETADAS DA NUVEM FOTOGRAMÉTRICA NO SISTEMA GEODÉSICO SIRGAS2000 FUSO 22S.

Ponto	Coordenadas Medidas Fotogrametria		
	X/Easting	Y/Northing	Z/Altitude
2016-07	677854,403	7184239,888	924,252
2016-19	677891,357	7183815,133	919,139
2016-24	677869,787	7184055,410	918,625
PTO-30	677793,540	7184104,623	917,656
2016-39	677589,567	7184009,377	909,597
2016-42	677829,905	7184027,859	915,823
PTO-05	677750,846	7184158,868	917,777
PTO-09	677774,591	7184077,412	916,727
PTO-10	677771,141	7184076,984	916,706
PTO-13	677828,771	7184085,084	918,158
PTO-17	677898,006	7184128,091	921,577
PTO-24	677855,479	7184187,088	922,054
PTO-25	677799,573	7184178,253	920,271
PTO-26	677798,053	7184177,810	920,209
PTO-28	677802,217	7184141,453	919,072
PTO-67	677900,667	7184154,194	922,368
PTO-72	677856,158	7184150,718	921,007
PTO-19	677865,036	7184143,328	920,974
PTO-14	677850,261	7184091,082	918,908
PTO-15	677858,245	7184093,765	919,116
2016-02	677852,309	7184206,698	923,209
2016-14	677801,715	7184243,615	921,639
2016-15	677695,184	7184200,991	916,801
2016-20	677912,001	7183869,161	919,857
2016-28	677788,631	7183923,651	911,931
2016-34	677793,643	7183936,131	912,012
2016-37	677845,750	7184148,015	920,660

2016-38	677654,651	7184131,906	912,791
2016-40	677605,224	7184017,492	909,451
2016-43	677599,145	7184005,540	909,630
PTO-02	677677,295	7184131,474	914,130
PTO-03	677684,334	7184154,731	915,500
PTO-06	677753,378	7184158,931	917,888
PTO-08	677761,595	7184109,720	916,819
PTO-11	677733,290	7184078,901	915,885
PTO-12	677803,025	7184079,845	917,326
PTO-16	677880,870	7184112,697	920,363
PTO-18	677911,672	7184147,876	922,541
PTO-20	677852,806	7184130,212	920,092
PTO-21	677839,358	7184192,317	921,853
PTO-22	677816,144	7184188,321	921,166
PTO-23	677887,331	7184166,190	922,321
PTO-27	677777,633	7184169,697	919,145
PTO-29	677803,538	7184115,264	918,259
PTO-54	677783,503	7184148,082	918,618
PTO-71	677879,416	7184135,587	921,051
PTO-74	677828,676	7184159,569	920,532

FONTE: AUTOR

As coordenadas foram então comparadas, gerando-se os dados apresentados na tabela 3 abaixo listada.

TABELA 3: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS E AS FORNECIDAS PARA PONTOS DE APOIO

Diferença Pontos de Apoio				
Ponto	Tridimensional	X/Easting	Y/Northing	Z/Altitude
2016-02	0,0066	-0,0029	-0,0058	0,0011
2016-14	0,0034	-0,0024	-0,0013	-0,0021
2016-15	0,0077	-0,0059	-0,0046	0,0018
2016-20	0,0117	0,0077	-0,0070	-0,0053
2016-28	0,0069	-0,0043	-0,0002	0,0054
2016-34	0,0353	0,0090	-0,0039	-0,0340
2016-37	0,0046	-0,0001	-0,0001	-0,0046
2016-38	0,0037	-0,0004	-0,0004	-0,0037
2016-40	0,0362	-0,0028	0,0086	0,0351
2016-43	0,0007	0,0001	-0,0001	0,0007
PTO-02	0,0098	-0,0022	0,0061	-0,0073
PTO-03	0,0016	-0,0002	-0,0009	0,0013
PTO-06	0,0056	-0,0040	-0,0006	0,0039
PTO-08	0,0026	0,0004	0,0012	-0,0023
PTO-11	0,0049	0,0002	0,0005	0,0049
PTO-12	0,0063	-0,0010	0,0009	0,0061
PTO-16	0,0142	-0,0003	-0,0002	0,0142
PTO-18	0,0138	-0,0003	0,0062	0,0123
PTO-20	0,0202	0,0029	-0,0046	-0,0194
PTO-21	0,0134	-0,0027	-0,0032	0,0127
PTO-22	0,0055	-0,0005	-0,0055	-0,0005
PTO-23	0,0051	-0,0038	-0,0030	0,0017
PTO-27	0,0073	-0,0022	-0,0011	0,0069
PTO-29	0,0019	-0,0002	-0,0007	-0,0017
PTO-54	0,0030	0,0002	-0,0023	-0,0019
PTO-71	0,0373	0,0061	-0,0071	-0,0361
PTO-74	0,0082	0,0006	-0,0010	-0,0081

Diferença média:	0,0103	0,0023	0,0029	0,0087
-------------------------	--------	--------	--------	--------

FONTES: AUTORES

Para este caso a média da diferença na coordenada E foi de 0,0023 m, para N foi de 0,0029 m e para Z 0,0087 m, valores mínimos, máximos e desvio padrão são apresentados na tabela 4.

TABELA 4: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS

Coordenada	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio padrão
E	0,00006	0,00897	0,00344
N	0,00010	0,00863	0,00378
Z	0,00047	0,03614	0,01377

FONTES: AUTORES

TABELA 5: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS E AS FORNECIDAS PARA PONTOS DE CHECAGEM

Diferença Pontos de Checagem				
Ponto	Tridimensional	X/Easting	Y/Northing	Z/Altitude
2016-07	0,0021	-0,0010	-0,0014	-0,0012
2016-19	0,0588	0,0397	0,0412	0,0135
2016-24	0,0215	-0,0075	-0,0155	-0,0129
PTO-30	0,0138	-0,0073	-0,0032	-0,0114
2016-39	0,0131	0,0104	-0,0080	0,0002
2016-42	0,0456	-0,0107	0,0238	-0,0373
PTO-05	0,0274	0,0052	0,0202	-0,0178
PTO-09	0,0837	0,0175	0,0804	-0,0153
PTO-10	0,0436	-0,0193	0,0134	0,0367
PTO-13	0,0484	0,0176	0,0392	0,0221
PTO-17	0,0837	0,0137	0,0028	-0,0826
PTO-24	0,0089	-0,0021	-0,0079	-0,0036
PTO-25	0,0363	-0,0111	-0,0140	0,0316

PTO-26	0,0200	-0,0016	0,0118	-0,0161
PTO-28	0,0060	0,0045	-0,0029	-0,0027
PTO-67	0,0520	0,0280	-0,0363	-0,0245
PTO-72	0,0138	0,0057	-0,0118	-0,0046
PTO-19	0,0326	-0,0006	-0,0030	-0,0325
PTO-14	0,0340	0,0084	-0,0237	0,0229
PTO-15	0,0524	-0,0322	0,0111	0,0397
Diferença média:	0,0349	0,0122	0,0186	0,0215

TABELA 5: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS E AS FORNECIDAS PARA PONTOS DE CHECAGEM

Para este caso a média da diferença na coordenada E foi de 0,0122 m, para N foi de 0,0186 m e para Z 0,0215 m, valores mínimos, máximos e desvio padrão são apresentados na tabela 6.

TABELA 6: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS

Coordenada	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio padrão
E	0,0006	0,0397	0,0108
N	0,0014	0,0804	0,0190
Z	0,0002	0,0826	0,0191

FONTE:AUTOR

Como esperado, as discrepâncias em relação aos pontos utilizados como pontos de apoio são menores do que as discrepâncias em relação aos pontos de checagem.

4.2.1 Resultados Do Processamento LiDAR

O processamento dos dados obtidos com o sensor Lidar foi realizado através do programa DJI Terra. Os dados foram exportados em formato LAS. As coordenadas dos pontos de verificação foram feitas coletadas através do software Autodesk ReCap.

Na figura 15 uma imagem do MDE obtido com o Lidar.

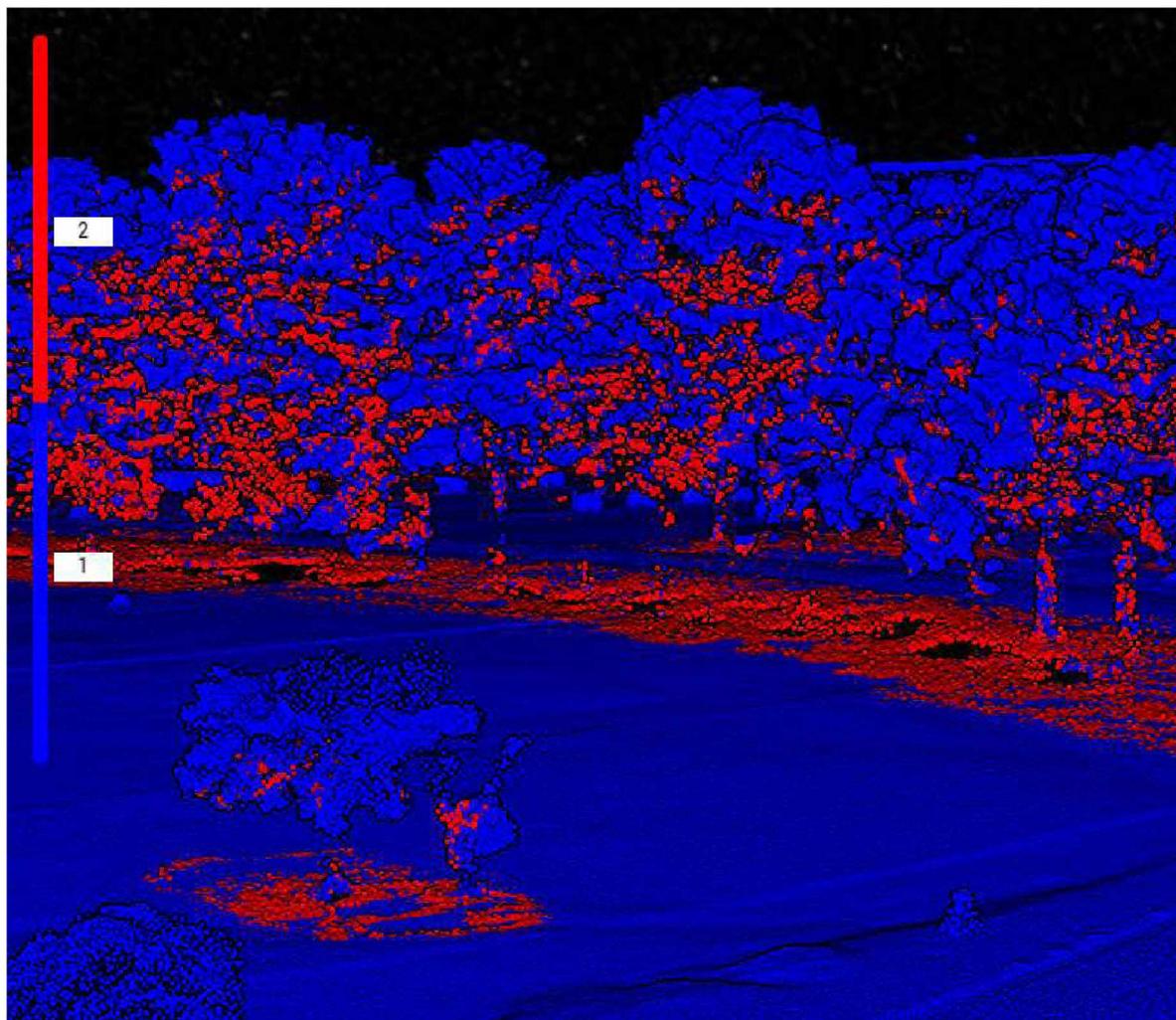
FIGURA 15: NUVEM DE PONTOS LIDAR COLORIDA



FONTE: AUTOR

Na figura 16 observam-se pontos na cor vermelha e azul, em azul são representados os pontos do primeiro retorno do pulso laser e em vermelho são os pontos do segundo retorno o qual refere se a um pulso que penetrou pela vegetação. A ainda a possibilidade de configurar o sensor para 3 retornos, porém com o custo de prejudicar a precisão das coordenadas planas (E,N) pois utiliza se de um padrão não repetitivo de emissão/recepção do pulso laser.

FIGURA 16 : NUVEM DE PONTOS LIDAR CLASSIFICADA EM PRIMEIRO E SEGUNDO RETORNO.



FONTE: AUTOR

Na tabela 7 são apresentados os pontos de checagem empregados na comparação

TABELA 7: PONTOS DE CHECAGEM

Ponto	Coordenadas Medidas LiDAR		
	X/Easting	Y/Northing	Z/Altitude
2016-02	677852,225	7184206,762	923,154
2016-07	677854,469	7184239,974	924,310
2016-14	677801,766	7184243,547	921,698
2016-15	677695,240	7184201,071	916,774
2016-19	677891,278	7183815,046	919,100

2016-20	677912,082	7183869,052	919,893
2016-24	677869,696	7184055,314	918,676
2016-28	677788,729	7183923,717	911,875
2016-34	677793,541	7183936,221	911,975
2016-37	677845,698	7184147,965	920,717
2016-38	677654,735	7184131,968	912,731
2016-39	677589,463	7184009,457	909,555
2016-40	677605,154	7184017,556	909,506
2016-42	677829,807	7184027,959	915,784
2016-43	677599,226	7184005,458	909,586
PTO-02	677677,201	7184131,559	914,154
PTO-03	677684,397	7184154,659	915,540
PTO-05	677750,742	7184158,936	917,819
PTO-06	677753,456	7184159,006	917,850
PTO-08	677761,509	7184109,807	916,853
PTO-09	677774,513	7184077,353	916,780
PTO-10	677771,211	7184077,074	916,657
PTO-11	677733,226	7184078,981	915,841
PTO-12	677802,954	7184079,934	917,371
PTO-13	677828,701	7184085,194	918,212
PTO-14	677850,166	7184090,996	918,871
PTO-15	677858,311	7184093,827	919,093
PTO-16	677880,807	7184112,771	920,328
PTO-17	677898,108	7184127,993	921,540
PTO-18	677911,769	7184147,774	922,498
PTO-19	677865,101	7184143,421	920,937
PTO-20	677852,744	7184130,316	920,135
PTO-21	677839,457	7184192,401	921,879
PTO-22	677816,086	7184188,430	921,188
PTO-23	677887,390	7184166,276	922,284
PTO-24	677855,585	7184187,016	922,077

PTO-25	677799,652	7184178,189	920,315
PTO-26	677797,968	7184177,739	920,240
PTO-27	677777,532	7184169,613	919,121
PTO-28	677802,120	7184141,555	919,042
PTO-29	677803,460	7184115,190	918,300
PTO-30	677793,603	7184104,728	917,705
PTO-54	677783,430	7184148,009	918,567
PTO-67	677900,730	7184154,272	922,411
PTO-71	677879,311	7184135,536	920,998
PTO-72	677856,065	7184150,643	921,052
PTO-74	677828,743	7184159,481	920,586

FONTE: AUTOR

TABELA 8: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS E AS FORNECIDAS PARA PONTOS DE CHECAGEM

Ponto	Discrepância		
	Erro em X	Erro em Y	Erro em Z
2016-02	0,087	-0,058	0,054
2016-07	-0,065	-0,085	-0,057
2016-14	-0,049	0,069	-0,057
2016-15	-0,050	-0,075	0,025
2016-19	0,039	0,046	0,025
2016-20	-0,089	0,116	-0,031
2016-24	0,098	0,111	-0,038
2016-28	-0,094	-0,066	0,051
2016-34	0,093	-0,086	0,071
2016-37	0,052	0,050	-0,052
2016-38	-0,084	-0,062	0,064
2016-39	0,094	-0,072	0,042
2016-40	0,073	-0,073	-0,090
2016-42	0,109	-0,124	0,076

2016-43	-0,081	0,082	0,043
PTO-02	0,096	-0,091	-0,017
PTO-03	-0,063	0,073	-0,041
PTO-05	0,099	-0,088	-0,024
PTO-06	-0,074	-0,074	0,034
PTO-08	0,086	-0,088	-0,032
PTO-09	0,061	-0,021	-0,038
PTO-10	-0,051	-0,103	0,012
PTO-11	0,064	-0,080	0,039
PTO-12	0,072	-0,090	-0,051
PTO-13	0,052	-0,149	-0,076
PTO-14	0,087	0,110	0,014
PTO-15	-0,034	-0,073	-0,017
PTO-16	0,063	-0,074	0,021
PTO-17	-0,116	0,095	0,120
PTO-18	-0,097	0,096	0,031
PTO-19	-0,064	-0,090	0,069
PTO-20	0,059	-0,099	-0,024
PTO-21	-0,096	-0,081	-0,039
PTO-22	0,058	-0,104	-0,022
PTO-23	-0,055	-0,083	0,035
PTO-24	-0,104	0,080	-0,019
PTO-25	-0,068	0,078	-0,076
PTO-26	0,087	0,059	-0,015
PTO-27	0,103	0,085	0,017
PTO-28	0,092	-0,099	0,033
PTO-29	0,078	0,075	-0,039
PTO-30	-0,056	-0,102	-0,038
PTO-54	0,073	0,075	0,053
PTO-67	-0,091	-0,042	-0,018
PTO-71	0,099	0,058	0,089

PTO-72	0,087	0,087	-0,040
PTO-74	-0,068	0,089	-0,046
Dispersão:	$\pm 0,078$	$\pm 0,082$	$\pm 0,039$

FONTES: AUTOR

Para este caso a média da diferença na coordenada E foi de 0,078 m, para N foi de 0,082 m e para Z 0,039 m, valores mínimos, máximos e desvio padrão são apresentados na tabela 8.

TABELA 9: VALORES MÍNIMOS, MÁXIMOS E DESVIO PADRÃO DAS DISCREPÂNCIAS

Coordenada	Valor Minimo	Valor Maximo	Desvio padrão
E	0,034	0,116	0,020
N	0,021	0,149	0,022
Z	0,012	0,120	0,023

Analisando vemos que as médias estão dentro da precisão esperada do equipamento.

4.2.4 Comparativo Direto das nuvens LiDAR e da Fotogramétrica

Inicialmente comparamos as coordenadas dos pontos coletadas em suas respectivas nuvens de pontos, como resultado temos a TABELA 9.

TABELA 10: DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS COLETADAS DA FOTOGAMETRIA E LIDAR

Ponto	Coordenadas Fotogramétricas-LiDAR		
	X/Easting	Y/Northing	Z/Altitude
2016-02	-0,084	0,064	-0,055
2016-07	0,066	0,086	0,058
2016-14	0,051	-0,068	0,059
2016-15	0,056	0,079	-0,027

2016-19	-0,079	-0,087	-0,039
2016-20	0,081	-0,109	0,036
2016-24	-0,091	-0,096	0,051
2016-28	0,099	0,066	-0,056
2016-34	-0,102	0,090	-0,037
2016-37	-0,052	-0,050	0,057
2016-38	0,085	0,062	-0,06
2016-39	-0,105	0,080	-0,042
2016-40	-0,071	0,065	0,055
2016-42	-0,098	0,100	-0,039
2016-43	0,081	-0,082	-0,044
PTO-02	-0,094	0,085	0,024
PTO-03	0,064	-0,072	0,04
PTO-05	-0,104	0,068	0,042
PTO-06	0,078	0,075	-0,038
PTO-08	-0,087	0,087	0,034
PTO-09	-0,079	-0,060	0,053
PTO-10	0,070	0,090	-0,049
PTO-11	-0,064	0,079	-0,044
PTO-12	-0,072	0,089	0,045
PTO-13	-0,069	0,110	0,054
PTO-14	-0,096	-0,086	-0,037
PTO-15	0,066	0,062	-0,023
PTO-16	-0,063	0,074	-0,035
PTO-17	0,102	-0,098	-0,037
PTO-18	0,097	-0,102	-0,043
PTO-19	0,065	0,093	-0,037
PTO-20	-0,062	0,103	0,043
PTO-21	0,099	0,084	0,026
PTO-22	-0,058	0,109	0,022
PTO-23	0,059	0,086	-0,037

PTO-24	0,106	-0,072	0,023
PTO-25	0,079	-0,064	0,044
PTO-26	-0,086	-0,071	0,031
PTO-27	-0,101	-0,084	-0,024
PTO-28	-0,096	0,102	-0,03
PTO-29	-0,078	-0,074	0,041
PTO-30	0,064	0,105	0,049
PTO-54	-0,073	-0,073	-0,051
PTO-67	0,063	0,078	0,043
PTO-71	-0,105	-0,051	-0,053
PTO-72	-0,093	-0,075	0,045
PTO-74	0,068	-0,089	0,054
Discrepância média:	±0,0787	±0,0818	±0,042

FONTES: AUTOR

Comparando os valores médios das diferenças entre as coordenadas tomadas como referência e as coordenadas obtidas pelas duas técnicas (Tabela XX) Observa-se que a nuvem do levantamento aerofotogramétrico apresentou melhores resultados comparativamente aos obtidos com a técnica Lidar.

TABELA 11: ESTATÍSTICAS DAS NUVENS LIDAR E FOTOGRAMÉTRICA

Coordenada	Fotogrametria				LIDAR			
	Média	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão	Média	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desvio Padrão
E	±0,0122	0,0006	0,0397	0,0108	±0,078	0,034	0,116	0,020
N	±0,0186	0,0014	0,0804	0,0190	±0,082	0,021	0,149	0,022
Z	±0,0215	0,0002	0,0826	0,0191	±0,039	0,012	0,120	0,023

FONTES: AUTOR

O sensor laser utilizado apresenta precisões horizontais de 10cm a 50m e vertical de 5 cm a 50 metros. Levando-se em consideração que o voo foi executado numa altura de 80 as diferenças encontradas em comparação aos pontos de referência estão dentro das especificações do mesmo.

As coordenadas dos pontos de verificação obtidos pelas duas técnicas são comparadas entre si.

Para exemplificar também as diferenças entre os dois métodos, escolheu-se uma área plana, neste caso a laje de uma edificação . Para esta área foram plotados os pontos em perfil, de forma a visualizar a variação da componente H. Observa-se na figura 17 que a variação encontrada para o MDE obtido por fotogrametria encontra-se com uma amplitude máxima de 1,6 cm e média de 1 cm. Para o MNE obtido pelo laser máxima de 7,1 cm e média de 5 cm

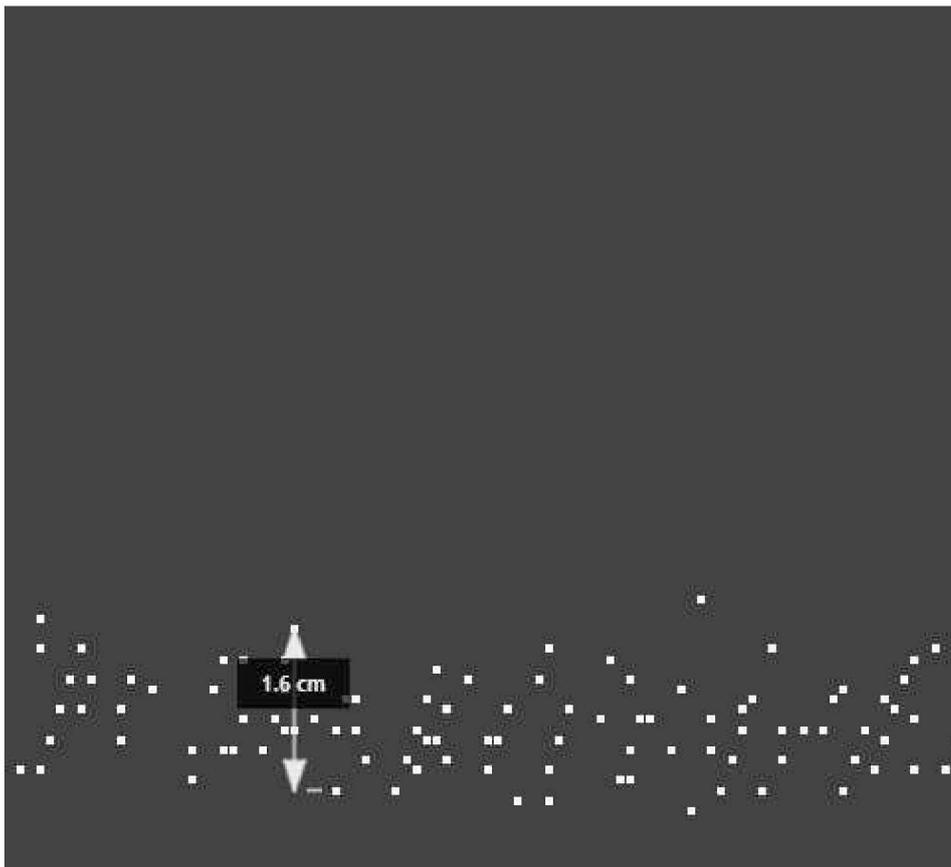


FIGURA 17: AMPLITUDE DA NUVEM FOTOGRAMÉTRICA

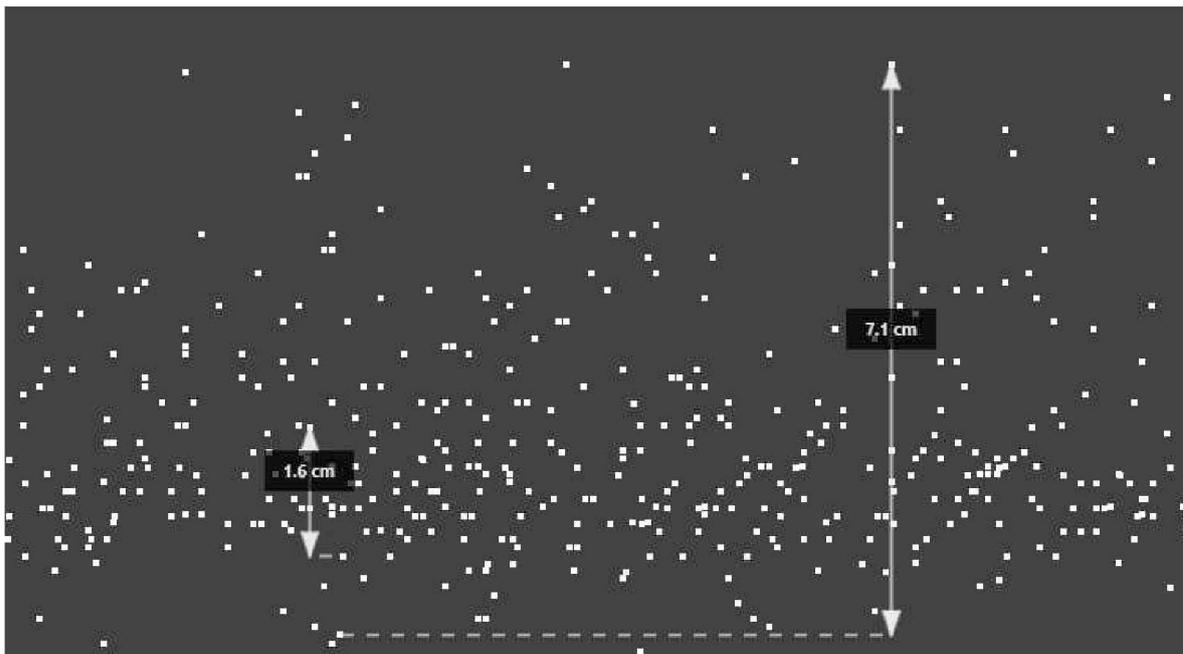


FIGURA 18: AMPLITUDE DA NUVEM FOTOGRAMÉTRICA X AMPLITUDE DA NUVEM LIDAR

A TABELA 12 foi elaborada para destacar os principais pontos de cada equipamento utilizado neste trabalho.

TABELA 12: PRÓS E CONTRAS DE POR EQUIPAMENTO

Sensor	Prós	Contras
Zenmuse L1	<ul style="list-style-type: none"> • Não depende das condições de iluminação. • Adquire dados DSM e DEM em regiões de densa vegetação. • Reconstrução de dados relativamente mais rápida. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requer calibração em todo início de faixa. • Precisão inferior.
Zenmuse P1	<ul style="list-style-type: none"> • Dados de alta resolução. • Alta precisão. • Função Smart Oblique. • Lente intercambiável. • Maior cobertura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo de Processamento. • Necessidade de alta capacidade de processamento.

FONTE: AUTOR

5 CONCLUSÃO

Para fins de comparação, o processamento das imagens para gerar os produtos fotogramétricos demandou mais de 30h entre processos automatizados e cerca de 10h de processos manuais, enquanto o processamento LiDAR demandou cerca de duas horas com o ajuste. Em contraponto o software da DJI não possibilita quase nenhuma modificação quanto ao seus parâmetros ou ajustamento utilizando de pontos de apoio.

O LiDAR traduz um ganho mais significativo, quando o objeto do projeto tiver como finalidade estruturas estreitas como linhas de energia ou torres de telecomunicações e para mapear áreas abaixo de locais com alta densidade de relevo devido a possibilidade de levantamentos com 3 retornos do sinal. Porém deve se considerar a perda da acurácia em N, E e H

A fotogrametria tem a vantagem de melhor posicionamento dos elementos e melhor detalhamento dos modelos devido as imagens oblíquas. Porém deve se levar em conta o custo operacional principalmente no processamento que precisa de computadores potentes para que o tempo seja reduzido, neste trabalho utilizou uma rede de quatro computadores com processador i7-9900k e placa de video RTX 2070, mesmo assim o tempo de processamento predefinição média passou das 30h para gerar o produto,

Ao comparar LiDAR e fotogrametria, entende-se que ambas as tecnologias têm suas aplicações, bem como limitações, e na maioria dos casos de uso elas são complementares.

REFERÊNCIAS

FONTES, L. C. A. de A. **Fundamentos de Aerofotogrametria Aplicada à Topografia**. Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica. Salvador – BA, 2005.

BLASCHKE, W. **Experiencias Práticas del Empleo de la Fotogrametria em la LLConstruccion de Autopistas**. Strasse und Autobahn. V. 9 p. 305-309. 1957.

SILVA, GP *et al.* Levantamento geodésico GNSS-RTK para o mapeamento da Linha de Costa. **IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife-PE, p.02-10, 2012.

SILVA, DC *et al.* **Qualidade de ortomosaicos de imagens de vant processados com os Softwares APS, PIX4D E PHOTOSCAN**. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 12- 14 de Nov de 2014.

BRITO, J. L. N.campiteli S.; COELHO FILHO, L. C. T. **Fotogrametria Digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007.

LARANJA, RM; CORREA, NCS; BRITO, JLNS. **Mapeamento Fotogramétrico Digital: Um Estudo Comparativo da Bacia Hidrográfica do Rio Piabanha Nos Ambientes E-Foto e LPS**. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE, mai, 2012.

TOMMASELLI, AMG. **Fotogrametria Básica**. 2009.

VOSSelman, G.; MAAS, H.-G. **Airborne and terrestrial laser scanning**: Whittles Publishing, 2010.

SHAN, J.; CHARLES K. **Topographic laser ranging and scanning: principles and processing**: CRC press, 2018.

COSTA, SMA *et al.* RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. **Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação**, v. 2, p. 8-11, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações sobre geociências: Cartografia.**

CEPAG. Centro de Pesquisas Aplicadas em Geoinformação. **WebGis CampusMap UFPR.**

BORGES, RO *et al.* **Utilização de drones de pequeno porte como alternativa de baixo custo para caracterização topográfica da infraestrutura de transportes no Brasil.** Dissertação - UFT, Rio Sono, Tocantins, 2018.

DJI. **Zenmuse L1 Specs** , 2021. Disponível em: <
<https://www.dji.com/br/zenmuse-l1>> Acesso em 5 de dez. 2021.

DJI. **Zenmuse P1 Specs** , 2021. Disponível em: <
<https://www.dji.com/br/zenmuse-p1>> Acesso em 5 de dez. 2021.

ANEXOS

ANEXO 1 – ORTOFOTO COMPLETO..... 54

ANEXO 1

ORTOFOTO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO

