

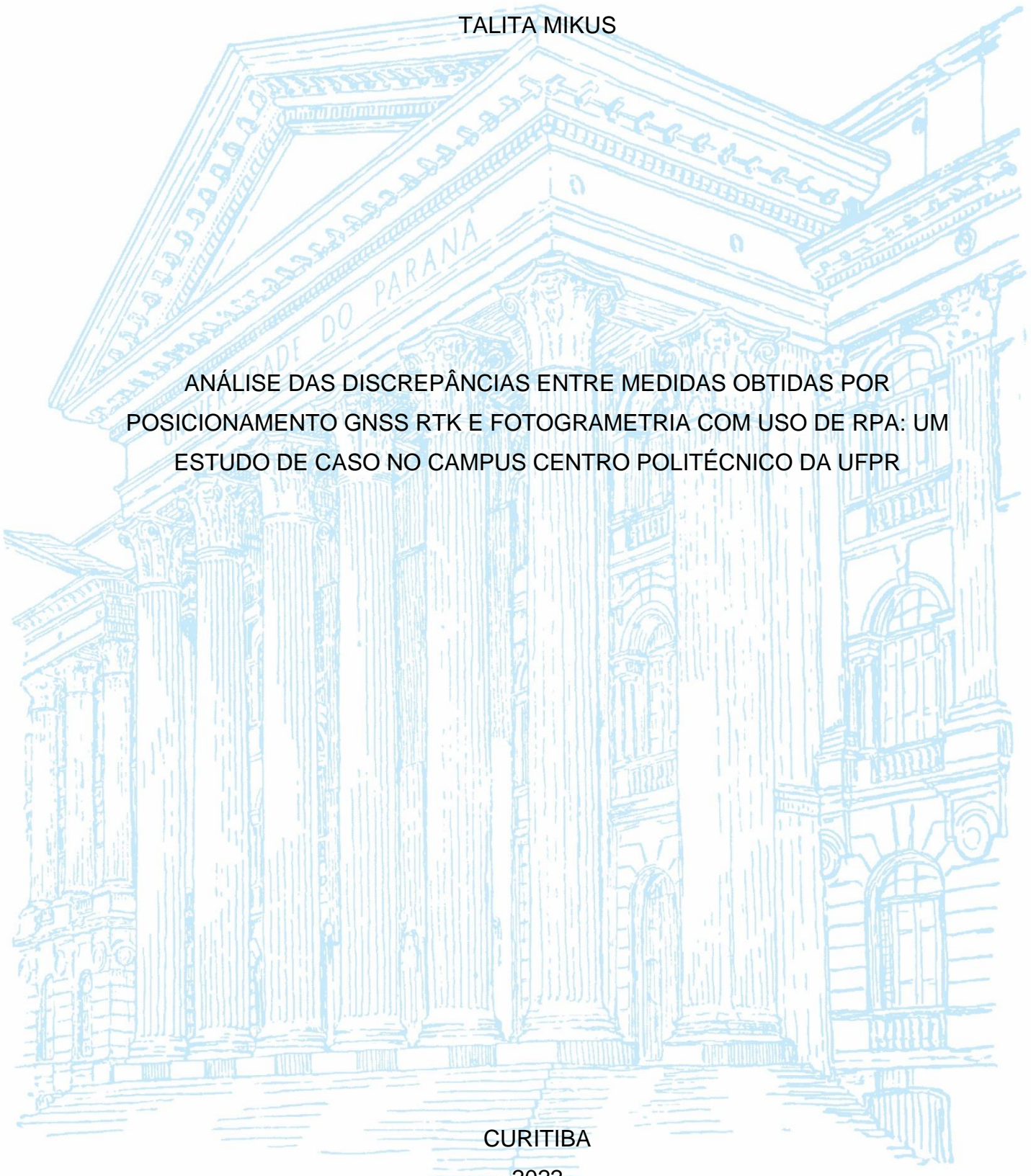
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TALITA MIKUS

ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE MEDIDAS OBTIDAS POR
POSICIONAMENTO GNSS RTK E FOTOGRAMETRIA COM USO DE RPA: UM
ESTUDO DE CASO NO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR

CURITIBA

2022



TALITA MIKUS

ANÁLISE DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE MEDIDAS OBTIDAS POR
POSICIONAMENTO GNSS RTK E FOTOGRAMETRIA COM USO DE RPA: UM
ESTUDO DE CASO NO CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO DA UFPR

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

Orientador: Prof. Dr. Wander da Cruz

Coorientador: Eng. Kalima Mendes Pitombeira, Ma

CURITIBA

2022

Dedico este trabalho ao meu avô Pedro Mikus, um homem moldado pelas dificuldades da vida, o qual soube vencê-las e sempre executou suas atividades com dedicação e esmero. E *In memoriam* de minha amada Vó Marisa dos Santos Mikus, mulher forte que nos deixa com enorme saudade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo que me é concedido em toda minha trajetória.

Ao meu querido esposo Willian pelo amor, apoio e companheirismo demonstrado em toda minha jornada acadêmica, nos momentos de alegria e de tristeza.

A todos meus familiares. Principalmente aos meus pais e avós que sempre estiveram ao meu lado, me incentivando e fortalecendo meu emocional com carinho e muito incentivo. Gratidão especialmente a minha mãe Gilmara por todo seu amor, dedicação e cuidado sempre.

Não poderia deixar de agradecer aos colegas de graduação que se tornaram amigos, provavelmente não chegaria até aqui sem a ajuda e apoio de vocês nos inúmeros desafios que passamos juntos.

A todos os professores do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da UFPR pelos ensinamentos e reflexões que fizeram diferença na minha formação acadêmica.

Também agradeço aos meus orientadores Professor Wander e Kalima, pelas conversas e direcionamentos que permitiram a realização deste trabalho.

Sabe o que é mais caro na engenharia? O desconhecimento.

Luiz Anibal de Oliveira Santos.

RESUMO

Com auxílio de Remotely Piloted Aircraft Systems - RPAs a obtenção de informações em projetos de engenharia poupa tempo, dinheiro e otimiza esforços das equipes na coleta de dados de campo. Ter disponível em meio digital um conjunto de fotos que, com auxílio de um software de processamento, geram produtos e possibilitam a utilização de ferramentas diversas, inclusive a de extrair medidas, otimiza o acesso à informação. Estes produtos e ferramentas são maneiras de se obter informações posicionais e dimensionais dos objetos e áreas de interesse. Baseado nisto, escolheu-se uma área de estudo, com pontos que pudessem ser mensurados tanto utilizando o GNSS quanto pela de fotogrametria com RPA. Analisando as discrepâncias dos valores de distâncias e desníveis entre os voos fotogramétricos de diferentes alturas em relação aos dados obtidos pela RTK, vemos que em relação as distâncias não foram encontradas discrepâncias maior que 10 cm, já em relação os desníveis as discrepâncias chegaram próximas a 30 cm. Análises da região dos pontos com maiores valores de discrepância mostraram que em alguns produtos os dados utilizados diretamente do RPA possuíam *outliers* e por tal refletiam nos maiores valores de discrepâncias. Estas análises reforçam que existem diferenças na obtenção de medidas pelas técnicas de Fotogrametria com uso de RPA e Levantamentos Geodésicos com RTK, mas que ambas as técnicas são aliadas na aquisição de informações da superfície terrestre e que a depender das precisões admitidas em projetos podem ser utilizados a fotogrametria com RPA para se obter medidas de distâncias e desníveis.

Palavras-chave: RTK. RPA. Distâncias. Desníveis. Acurácia.

ABSTRACT

With the help of Remotely Piloted Systems - RPA aeronautical engineering, information on saving projects time, money, and field optimization of the teams in the data collection. Having available in digital media a set of photos that, with the aid of processing software, produces products and enables the use of various tools, including to extract measurements, optimizing access to information. These products and tools are ways to obtain positional information and dimensions of objects and areas of interest. Based on this, a study area was used, with points that could be measured both by GNSS and by photogrammetry with RPA. Analyzing the different discrepancies in the values of heights and levels between the distance flights in relation to the data obtained by the RTK, we see that the photo in relation to the distances were not discrepancies greater than more than 10 cm, in relation to the differences, the discrepancies reached 30 cm. Analysis of the region of those with discrepancy values and for such points reflected reflected in some products the data used directly by RPA had more values outside the highest values. These analyzes reinforce that there are differences in obtaining measurements by Photogrammetry techniques using RPA and Geodetic Surveys with RTK, but that both techniques are allied in the acquisition of information from the earth's surface and that, depending on the accuracies admitted in projects, they can be used. photogrammetry with RPA to obtain measurements of distances and gaps.

Keywords: RTK. RPA. Distances. Unevenness. Accuracy.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SOBREPOSIÇÃO LATERAL E LONGITUDINAL	24
FIGURA 2 - ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO	25
FIGURA 3 - MAPA DA REGIÃO DE INTERESSE	26
FIGURA 4 - RPA PHANTON 4 PRO	27
FIGURA 5 - EQUIPAMENTOS GNSS.....	27
FIGURA 6 - PONTOS DE APOIO PLANEJADOS.....	28
FIGURA 7 - BASE INSTALADA SOBRE A RM3.....	29
FIGURA 8 - RM3.....	30
FIGURA 9 - PARTE DA MONOGRAFIA DA RM3.....	30
FIGURA 10 - ALTURA DA BASE	31
FIGURA 11 - EXEMPLO DOS PONTOS COLETADOS EM CAMPO	31
FIGURA 12 - REGIÃO SEM SINAL DEVIDO À OBSTRUÇÕES.....	32
FIGURA 13 - VISUALIZAÇÃO DOS DADOS DE CAMPO	32
FIGURA 14 - POSIÇÃO DOS PONTOS COLETADOS E VETOR COM A BASE.....	34
FIGURA 15 - NOMECLATURA DOS PONTOS	35
FIGURA 16 - DESNÍVEL DA REGIÃO	37
FIGURA 17 - ÁRVORES NA REGIÃO	38
FIGURA 18 - NASCER E PÔR DO SOL	39
FIGURA 19 - VELOCIDADE DO VENTO	39
FIGURA 20 - JANELA DE VOO	39
FIGURA 21 - CONFIGURAÇÕES DO VOO - 60 METROS	40
FIGURA 22 - CONFIGURAÇÕES DE VOO - 100 METROS.....	40
FIGURA 23 - LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMETRICO EM CAMPO.....	41
FIGURA 24 - PLANO DE VOO - 60 E 100 METROS.....	41
FIGURA 25 – EXEMPLO DA FOTO RETIRADA DO PROCESSAMENTO	42
FIGURA 26 - SISTEMAS DE REFERÊNCIA DO PROCESSAMENTO DOS DADOS – AGISOFT METASHAPE	43
FIGURA 27 - COORDENADAS DO PROCESSAMENTO – AGISOFT METASHAPE	43
FIGURA 28 - IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS NAS IMAGENS – AGISOFT METASHAPE.....	44
FIGURA 29 – DEM E ORTOMOSAICO 60 - AGISOFT METASHAPE	44

FIGURA 30 – DEM E ORTOMOSAICO DE 100 M - AGISOFT METASHAPE.....	45
FIGURA 31 – DEM ORTOMOSAICO MERGE - AGISOFT METASHAPE.....	45
FIGURA 32 - CONFIGURAÇÃO DOS PONTOS DE APOIO ESCOLHIDOS.....	46
FIGURA 33 - POLÍGONO CRIADO COM BASE NOS PONTOS.....	46
FIGURA 34 - EXEMPLO DA OBTENÇÃO DAS ALTITUDES DOS PONTOS – GLOBALMAPPER.....	48
FIGURA 35 - ANÁLISE DA REGIÃO DO PONTO B1 E B11.....	59
FIGURA 36 - ORTOMOSAICO SOBRE O DEM – GLOBALMAPPER.....	60
FIGURA 37 - ZOOM DA REGIÃO DO B1 E B11 SOBRE O DEM E ORTOMOSAICO – GLOBALMAPPER.....	60

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - PRECISÃO DOS PONTOS OBITIDOS COM RTK (CM)	49
GRÁFICO 2 - RMSE PLANIMÉTRICO (CM).....	52
GRÁFICO 3 - RMSE ALTIMÉTRICO (CM).....	52
GRÁFICO 4 - DISCREPÂNCIAS ENTRE AS MEDIDAS DE DISTÂNCIAS ENTRE OS PONTOS (CM).....	54
GRÁFICO 5 - COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DOS DESNÍVEIS EM CENTÍMETROS ENTRE OS PONTOS (CM).....	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – PONTOS COLETADOS	33
TABELA 2 - PRECISÕES DO LEVANTAMENTO RTK.....	35
TABELA 3 - COORDENADAS EM SIRGAS 2000 UTM 22 S.....	36
TABELA 4 – DA RELAÇÃO PIXEL E TERRENO DOS VOOS.....	50
TABELA 5 - ERRO PERMITIDO DOS PONTOS DE CHECK.....	50
TABELA 6 - ACURÁCIA DOS PONTOS DE CHECK – VOO 60 M.....	51
TABELA 7 - ACURÁCIA DOS PONTOS DE CHECK – VOO 100 M.....	51
TABELA 8 - ACURÁCIA DOS PONTOS DE CHECK – VOO MERGE.....	51
TABELA 9 - DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (CM).....	53
TABELA 10 - DISCREPÂNCIA ENTRE DISTÂNCIA (CM)	53
TABELA 11 - RELAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS VOOS (CM).....	55
TABELA 12 - MÉDIA DAS DISCREPÂNCIAS DAS DISTÂNCIAS (CM).....	55
TABELA 13 - DESNÍVEIS ENTRE OS PONTOS (M).....	56
TABELA 14 - DIFERENÇAS ENTRE DESNÍVEIS DOS VOOS COM O DESNÍVEL DE REFERÊNCIA (CM).....	56
TABELA 15 - RELAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS VOOS (CM).....	57
TABELA 16 - MÉDIA DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE OS DESNÍVEIS (CM)	58

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ET-CDGV	- Especificação Técnica de Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais a
DECEA	- Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DEM	- Modelo Digital de Elevação
GSD	- Ground Sample Distance
NBR	- Norma Brasileira para execução de levantamento topográfico
RTK	- Real Time Kinematic
REMQ	- Erro Médio Quadrático
RPA	- Remotely Piloted Aircraft
RPAS	- Remotely Piloted Aircraft Systems
SfM	- Structure from Motion
SIRGAS	- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UTM	- Universal Transversa de Mercator
VANT	- Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 OBJETIVOS	20
1.2.1 Objetivo geral	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS.....	21
2.2 LEVANTAMENTO FOTOGRAMETRICO	22
3 METODOLOGIA	25
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.2 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS	26
3.3 LEVANTAMENTO DOS PONTOS DE APOIO	28
3.4 LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO	37
3.5 OBTENÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS PONTOS	46
3.6 OBTENÇÃO DOS DADOS DE ALTITUDE DOS PONTOS.....	47
4 ANÁLISES DOS RESULTADOS	49
4.1 ANÁLISE DA PRECISÃO DOS DADOS OBITIDOS POR RTK	49
4.2 ANÁLISE DA ACURÁCIA DOS PROJETOS.....	50
4.3 ANÁLISE DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS PONTOS	53
4.4 ANÁLISE DOS DESNÍVEIS ENTRE OS PONTOS	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	63
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A obtenção de informações sobre a superfície terrestre para acompanhamento de obras de engenharia é feita com base em equipamentos e técnicas que estão constantemente em evolução. Andrade (1998), ressalta que as áreas da Geodésia e Cartografia, em conjunto com a Fotogrametria são essenciais na elaboração de mapas e análises de informações, as imagens são o apoio para os pontos de mapeamento na superfície terrestre, como cita Francischett (2004).

A representação do espaço geográfico dá-se através de cartas, plantas, croquis, mapas, globos, fotografias, imagens de satélites, gráficos, perfis topográficos, maquetes, textos e outros meios que utilizam a linguagem cartográfica. (FRANCISCHETT, 2004, p. 5).

Segundo o Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA (2015), o drone, como é genericamente chamado, é uma aeronave não tripulada, podendo ser usado para fins recreativos, profissionais, militares, comercial entre outros. De acordo com o próprio departamento de controle aéreo é um termo genérico sem amparo técnico ou definição na legislação, mas uma terminologia de conhecimento popular que remete ao Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT, que por sua vez, é um termo oficial nos órgãos reguladores brasileiros. Segundo a legislação (Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10), aeronaves projetadas para operarem sem piloto a bordo, sem caráter recreativo e possuindo uma carga útil embarcada, ou seja, aeronaves utilizadas como hobby são denominadas como aeromodelos e não VANT. Os *Remotely Piloted Aircraft* - RPA da sigla em inglês e em português, Aeronave Remotamente Pilotada, são aeronaves que não há piloto a bordo, mas é controlada remotamente por algum dispositivo seja um simulador, computador, controle remoto, que permite a interação a distância por um operador. Diferente da Aeronave Autônoma que quando programada não permite intervenção até completar o voo, este modelo de VANT é proibido no Brasil. Por isso para fins legislativos, RPA descreve apenas as aeronaves remotamente pilotadas não recreativas. Existem ainda os *Remotely Piloted Aircraft Systems* - RPAS, que descrevem todos os sistemas que compõem o RPA, todos os recursos que permitem a realização do voo: a estação de pilotagem remota, o link ou enlace de comando que possibilita o controle da aeronave, seus equipamentos de apoio etc. Ao conjunto de todos os componentes que envolvem

o voo de uma RPA utiliza-se, portanto, o nome de RPAS. Neste estudo, utilizaremos a terminologia RPA.

De acordo com Oliveira e Nunes (2018) o RPA é um instrumento fotogramétrico que já foi validado como tecnologia posicional. Os produtos gerados pelos seus voos podem atender diversas aplicações com diferentes precisões posicionais. Quanto mais pontos utilizados no processamento das fotos e melhor forem distribuídos na região em estudo melhor são as análises da avaliação da acurácia posicional. A exemplo disto é a aprovação do INCRA para uso de RPA no processo de georreferenciamento de imóveis rurais, conforme citação a seguir:

“A melhor precisão exigida pela norma técnica do Incra é de 50 cm e o padrão mais restritivo de exatidão cartográfica de produtos digitais no Brasil é 28 cm. Tudo o que medimos sobre o mosaico de fotografias temos uma incerteza de apenas 13,8 cm, demonstrando a qualidade da tecnologia que começamos a utilizar” CUNHA, M. J. P. Entrevista concedida a MundoGeo, 2017.

O comentário do chefe da Divisão de Ordenamento da Estrutura Fundiária do Incra de Minas Gerais, Marcelo José Pereira da Cunha, refere se a Especificação Técnica de Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais a ET-CDGV que exige um Padrão de Exatidão Cartográfica nos dados de produtos cartográficos digitais. Os 28 cm que Cunha (2017) se refere é em relação aos dados da planimetria que podem ser classificados como classe A na escala 1:1000.

Na engenharia de modo geral, o uso do RPA permitiu a agilidade na aquisição de informações. A Eng. Civil Mariana Paula Miranda em seu trabalho de conclusão de curso utilizou o RPA como instrumento de inspeção e monitoramento de obra civil e suas considerações sobre o estudo foram as seguintes:

O drone é uma ferramenta que a engenharia pode utilizar facilmente como um todo, seja em relatório, inspeção visual, monitoramento, auditoria ou perícias. Para gerenciamento de obras e acompanhamento periódico, o drone pode ser o equipamento ideal tendo em vista o custo-benefício. Realizar voos com aeronaves tripuladas para monitorar obras tornou-se inviável com a vinda os drones. Para a aeronave tripulada seria necessário pessoas qualificadas, espaço físico e recursos que muitas vezes as obras não disponibilizam. Com o drone todos esses recursos não são necessários. (MIRANDA, 2020, p. 48)

Miranda (2020) cita várias aplicabilidades e dentre elas é importante avaliar a acurácia dimensional de produtos cartográficos gerados com essa tecnologia que

pode ser amplamente utilizada. Para a extração de dados espaciais destes produtos é preciso conhecer os fatores que favorecem e comprometem a qualidade deles.

Os equipamentos utilizados possuem diferentes características, metodologias e precisões, sendo melhorados ao passo da tecnologia. Isto permite que projetos que necessitam de medidas com precisões acuradas tenham segurança nos seus produtos. As formas de se obter informações sobre a superfície terrestre vão desde *in loco*, com o instrumento coletando informações diretamente ao alvo de interesse como, por exemplo o posicionamento em tempo real, ao uso de imagens aéreas de regiões, como por exemplo, o caso da fotogrametria.

A Fotogrametria permite a obtenção de informações do terreno, sua descrição e geração de produtos para engenharia através de fotos da superfície terrestre. O RPA é equipado com uma câmera e realiza o voo capturando a superfície e os objetos em uma realidade tridimensional.

Segundo Graça (2019) é importante fotos de diferentes ângulos sobre a superfície e objetos, para a reconstrução tridimensional deste voo. Isto porque, baseando-se no *Structure from Motion* - SfM, é possível gerar de maneira automatizada dados densos em nuvem de pontos 3D. Utilizar o RPA nos levantamentos de informações em campo possibilita um maior número de possibilidades na geração de produtos.

O *Structure from Motion* - SFM opera sob os mesmos princípios básicos da Fotogrametria, ou seja, uma posição 3D pode ser determinada a partir de uma série de imagens sobrepostas. Contudo, difere fundamentalmente no fato que na Fotogrametria convencional, a geometria da cena, posições e orientações da câmera são resolvidas automaticamente sem a necessidade de se especificar *a priori*, um conjunto de coordenadas 3D no espaço objeto. Toda solução é obtida de forma simultânea em um ajustamento iterativo ("*Bundle Adjustment*") altamente redundante. (GRAÇA, 2019. p 49)

Na fotogrametria a medida é feita no espaço imagem que por sua vez foi imageado por uma câmera. Dessa forma, para que as informações tenham finalidade métricas, os parâmetros do conjunto óptico do sensor devem ser calibrados. A nuvem de pontos gerada pelo recobrimento aéreo com o RPA está na intercessão dos feixes de luz sobre a superfície do objeto. Este conjunto de coordenadas tridimensionais dos pontos permite a sua reconstrução do modelo. Essa possibilidade de reconstruir a superfície com a nuvem de pontos permite a extração de informações dimensionais, como distâncias horizontais, ângulos e desníveis.

Um estudo publicado realizado por Cao, Lee e Xu (2017) , avaliou a precisão posicional e dimensional de imagens de RPA georreferenciadas com três GPS diferentes, sendo a avaliação dimensional referente ao comprimento e altura de um alvo no solo.

“Aumentar o número de GCPs pode compensar a incerteza trazida pelos equipamentos GPS com baixa precisão. Em termos de precisão dimensional do modelo do drone, mesmo com o uso de um GPS de baixa resolução a bordo do veículo, os erros absolutos médios são de apenas 0,04 m para altura e 0,10 m para comprimento, que são adequados para algumas aplicações em agricultura de precisão e em estudos topográficos.” (Cao, Lee e Xu, p 1, 2017, tradução nossa)

Portanto neste estudo podemos abordar as medidas relacionadas a distâncias e desníveis entre os pontos, comparando-os com produtos gerados pelo posicionamento cinemático em tempo real - RTK e as informações extraídas do ortomosaico gerado por Fotogrametria com uso de RPA.

1.1 JUSTIFICATIVA

O setor de engenharia no Brasil tem implementado o uso de RPA nos projetos, dada as possibilidades e os diversos produtos que podem ser gerados pela utilização deste tipo de equipamento. Segundo reportagem de Souza (2022) no Brasil, o número de drones registrados passa de 90 mil. Apenas no Paraná, de 2020 para 2021, o crescimento foi de 13,6%. Na reportagem um dos entrevistados cita as aplicabilidades do RPA em diversos tipos de serviços.

Os drones são equipamentos extremamente versáteis. Então já faz alguns anos que eles estão tomando o nosso céu e cada vez mais as pessoas estão utilizando para diversos tipos de serviços, desde inspiração, engenharia, mapeamentos. O custo não é alto pela tecnologia que traz, das câmeras, dos sensores, que são extremamente avançados, e pelo valor que esses dados geram”, explicou Alexandre Scussel, instrutor de drones. (Souza, p1. 2022)

Esse aumento de RPA registrados e a amplitude de aplicabilidade deste equipamento, permite que em alguns casos, os usuários utilizem seus produtos sem compreender o comportamento dessas informações. E com estes podem substituir a extração de dados espaciais através de levantamentos geodésicos, por exemplo pela utilização da Fotogrametria com RPA. A obtenção desses dados, pode ocorrer sem

que o usuário esteja ciente de que a extração de dados de distância e desníveis vão ter variações em diferentes configurações de voo e pontos de apoio.

Neste contexto, procura-se através deste trabalho mostrar o comportamento da acurácia dos pontos de Check em diferentes alturas de voo e utilização de pontos de apoio. Assim como seus reflexos na acurácia quando comparados com o levantamento geodésico por RPA, refletidos nas discrepâncias entre as distâncias e desníveis obtidos pelas técnicas de levantamento geodésico e de fotogrametria.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Analisar como diferentes alturas de voo, quantidades de pontos de apoio e a sua disposição influenciam na extração de medidas no que se refere a distâncias e desníveis entre pontos por Fotogrametria e ao compará-las com levantamento de informações obtidas com posicionamento geodésico com receptor GNSS-RTK.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Analisar a acurácia planimétrica e altimétrica no levantamento fotogramétrico com diferentes alturas de voo, através dos pontos de verificação.
- b) Verificar a distribuição de pontos de apoio no bloco fotogramétrico e como estes influenciam nos resultados de qualidade posicional.
- c) Analisar as discrepâncias entre as distâncias e desníveis em relação aos dados obtidos em diferentes alturas de voo e na combinação destas alturas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

Segundo Oliveira e Nunes (2018), “Geodésia é a ciência que permite estudar a Terra, suas formas, medidas e distâncias naturais e artificiais”.

A Geodésia é a ciência que tem por fundamento o estudo da forma e dimensão da Terra. Modernamente inclui-se neste escopo o estudo do campo gravitacional terrestre. A Geodésia tem dois ramos de atuação: um teórico relacionado com as investigações científicas destinadas à determinação da forma e das dimensões da Terra; uma outra, essencialmente prática, que disponibiliza uma série de informações de apoio aos trabalhos topográficos, cartográficos e para a engenharia. (UFSC, 2015)

De acordo com Dompieri, Silva e Nogueira Júnior (2015) os levantamentos geodésicos levam em consideração a curvatura da superfície terrestre, bem como seus cálculos sobre a superfície do elipsoide terrestre. A partir dos métodos geodésicos tem-se o conhecimento de coordenadas de um ponto. A estruturação, conhecimento e disponibilização destas informações à sociedade, caracteriza os chamados marcos geodésicos que servem de base e referência aos trabalhos de engenharia.

O posicionamento terrestre somente é possível mediante um sistema de coordenadas que possibilite a localização espacial do elemento desejado na superfície. Para cada objetivo, existe um sistema mais adequado em relação à escala e ao Padrão de Exatidão Cartográfica (Decreto Lei 89817/1984), assim como existem também técnicas de conversão e de implantação das coordenadas mediante normas a serem seguidas, como no caso do Plano Topográfico Local (NBR 13133/94 e 14166/98).

Segundo Dompieri, Silva e Nogueira Júnior (2015) utilizar o sistema de posicionamento por satélite possibilita determinar a posição em latitude, longitude e altura geométrica ou elipsoidal. Baseados no conhecimento da distância entre um receptor e pelo menos 4 satélites, conhecendo-se as coordenadas dos satélites torna-se possível calcular as coordenadas da antena do receptor no mesmo sistema de referência dos satélites. Essa categoria de levantamentos levam o termo GNSS, que segundo Marques (2012) foi criado em 1991 e atualmente, refere-se aos sistemas de posicionamento globais por satélites Global Positioning System - GPS, GLObal'naya

NAVigatsionnaya Sputnikkovaya Sistema - GLONASS, CNSS - Compass Navigation Satellite System - COMPASS/BeiDou.

Para Krueger (2004) existem diversos métodos de levantamentos que podem ser utilizados, mas de maneira geral os posicionamentos GPS podem ser categorizados em: Absoluto, Relativo e GPS Diferencial. O posicionamento Absoluto define-se como o posicionamento em que as coordenadas do ponto posicionado estão associadas diretamente ao geocentro. No posicionamento diferencial as coordenadas da estação móvel são determinadas pelas correções geradas na estação de referência, que são enviadas em tempo real por meio de comunicação e dentro de um formato correto, definido pela *Rádio Technical Committee for Maritime Service (RTCM)*. Por fim, a técnica de posicionamento relativo, as coordenadas são determinadas com relação a no mínimo uma estação de pontos conhecidos.

O chamado RTK - *Real Time Kinematic* é um tipo de posicionamento relativo, que segundo DAI et al., (2003) tem sido muito empregado, pois permite ao usuário determinar a sua posição acurada em tempo real.

2.2 LEVANTAMENTO FOTOGRAFICO

Segundo a ASPRS, (2009), fotogrametria é a junção da arte, ciência e tecnologia ,voltada a obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente, através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes.

O termo Fotogrametria deriva das palavras gregas *fotos*, que significa luz, *gramma*, que significa algo desenhado ou escrito e *metron*, que significa "medir". Portanto, Fotogrametria, de acordo com suas origens, significaria "medir graficamente usando luz".(TOMMASELLI et al, 1999. p 1)

Segundo Tommaselli et al (1999) a aerofotogrametria ou Fotogrametria aérea refere-se a informações extraídas de fotografias tomadas por uma ou mais câmeras embarcadas em uma aeronave.

A utilização de imagens aéreas de alta resolução provenientes de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) na extração de informações métricas da superfície terrestre tem sido vastamente pesquisada nestes últimos anos. As facilidades existentes na realização do voo autônomo, associado com o baixo custo do recobrimento e do sistema fotogramétrico VANT são os principais atrativos desta nova tecnologia em aplicações aerofotogramétricas. [...] (MITISHITA et. al., 2014, p2)

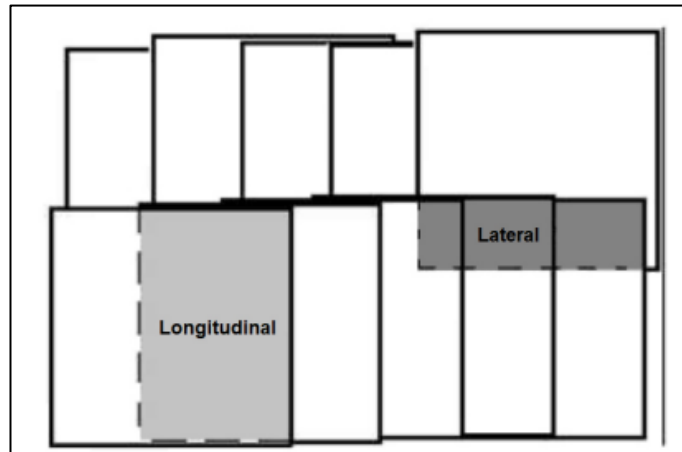
Segundo Elleres (2019) o planejamento de voo é fundamental para o levantamento aerofotogramétrico, já que é no planejamento que se faz conhecido os detalhes do voo a ser realizado, trazendo desta forma uma economia de tempo e de recursos financeiros a serem despendidos. É no planejamento de voo que define-se o menor ponto visível do terreno na foto, ou seja, a resolução espacial da foto conhecido como *Ground Sample Distance* - GSD . O qual está relacionado a distância focal, altura de voo e dimensão do pixel, e estas componentes do planejamento de voo podem ser calculadas manualmente ou por meio de softwares.

Os pontos de apoio, ou marcas como são chamados por Costa e Silva (2012), servem de apoio geométrico no voo fotogramétrico, suas localizações são planejadas em função do plano de voo sobre a área a ser levantada, suas posições devem estar em concordância com os requisitos de distribuição geral e as localizações dos pontos de controle de forma estratégica afim de servirem como amarração dos blocos.

As marcas devem ser dispostas em terreno plano, com boa visibilidade de cima e longe de objetos altos (edifícios, árvores, aterros). Quanto maior o número de fotos em que um mesmo ponto é medido mais confiáveis serão os valores finais das coordenadas calculadas. (COSTA e SILVA, 2012 p.4)

Segundo Figueiredo & Figueiredo (2018) no planejamento do voo um outro critério importante para a construção de uma ortofoto, e de que as imagens aéreas devem ser capturadas com sobreposição, chamada também de *overlap*, representada na FIGURA 1, é a sobreposição que permite ao algoritmo do software de processamento a identificação dos pontos comuns entre as imagens sequenciais.

FIGURA 1 - SOBREPOSIÇÃO LATERAL E LONGITUDINAL



Fonte: Ellieser (2019)

3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

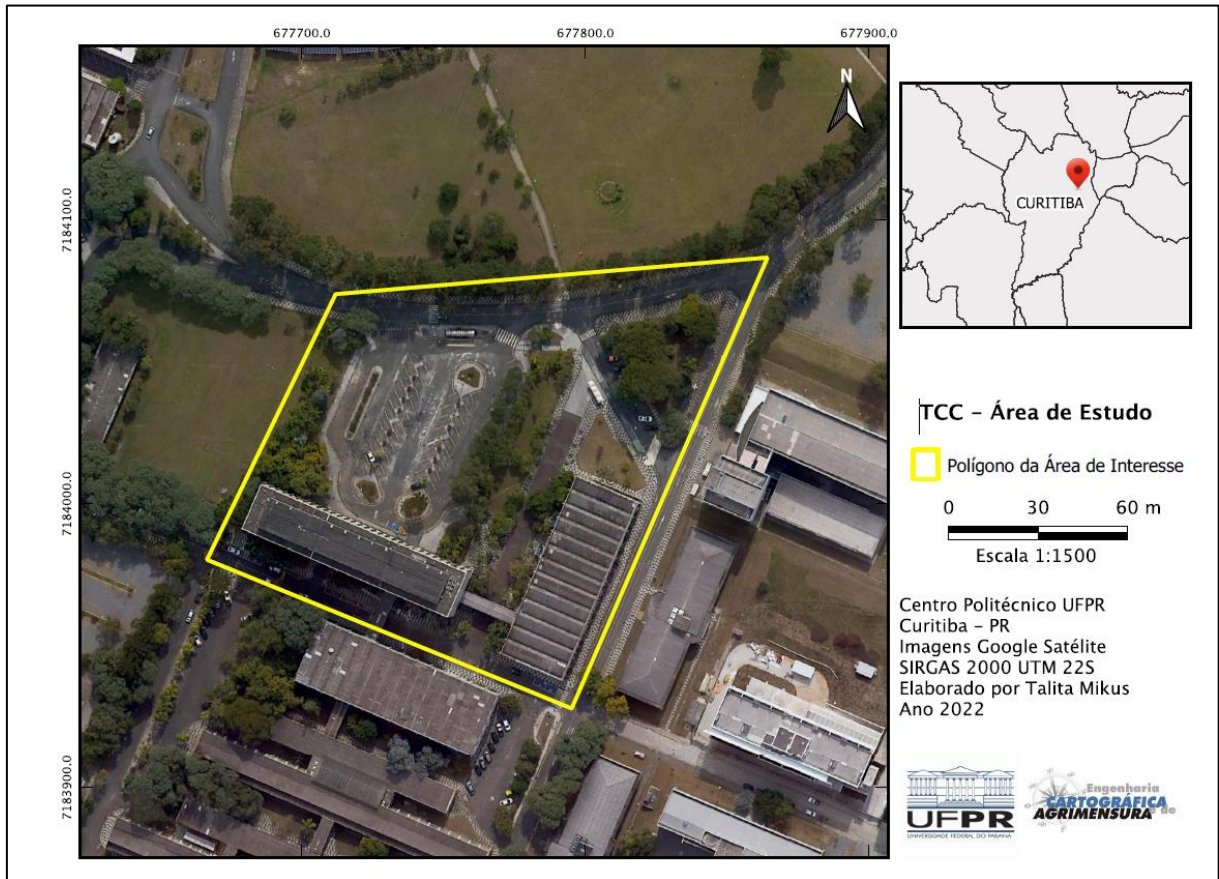
O local de estudo foi escolhido para ser dentro do *campus* Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná - UFPR, pois permite um livre acesso e segurança no decorrer do levantamento dos dados. A região dentro do Centro Politécnico a ser escolhida, deveria possuir feições fotoidentificáveis no terreno, de forma a representar um levantamento no qual não se cria os alvos dos pontos de apoio e sim utiliza-se os já existentes em campo. Isto para simular as condições de levantamento em que não se pode implantar os alvos em campo. Ademais que possuísse descritores de um ambiente urbanizado como edificações e árvores por exemplo, e não possuísse uma grande variação de desnível. Dados estes critérios escolheu-se a região ao redor do Prédio Administrativo da UFPR (FIGURA 2). Na FIGURA 3 observa-se a região delimitada como área de interesse.

FIGURA 2 - ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: A autora (2022)

FIGURA 3 - MAPA DA REGIÃO DE INTERESSE



FONTE: A autora (2022)

3.2 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E SOFTWARES UTILIZADOS

Para executar este estudo e os levantamentos dos dados em campo foram utilizados os seguintes equipamentos e materiais: RPA modelo Phantom 4 PRO para a realização do voo fotogramétrico, na

FIGURA 4 o RPA sendo montado para realização do voo.

FIGURA 4 - RPA PHANTON 4 PRO



FONTE: A autora (2022)

Para a coleta dos pontos em campo, foram utilizados: Base, Receptor e Coletora da TOPCON modelo HiPer Lite, na FIGURA 5 vemos estes equipamentos, além da trena para medição de altura do equipamento, outros materiais foram utilizados como o smartphone para realização do voo e o notebook para processamento e análises.

FIGURA 5 - EQUIPAMENTOS GNSS



FONTE: A autora (2022)

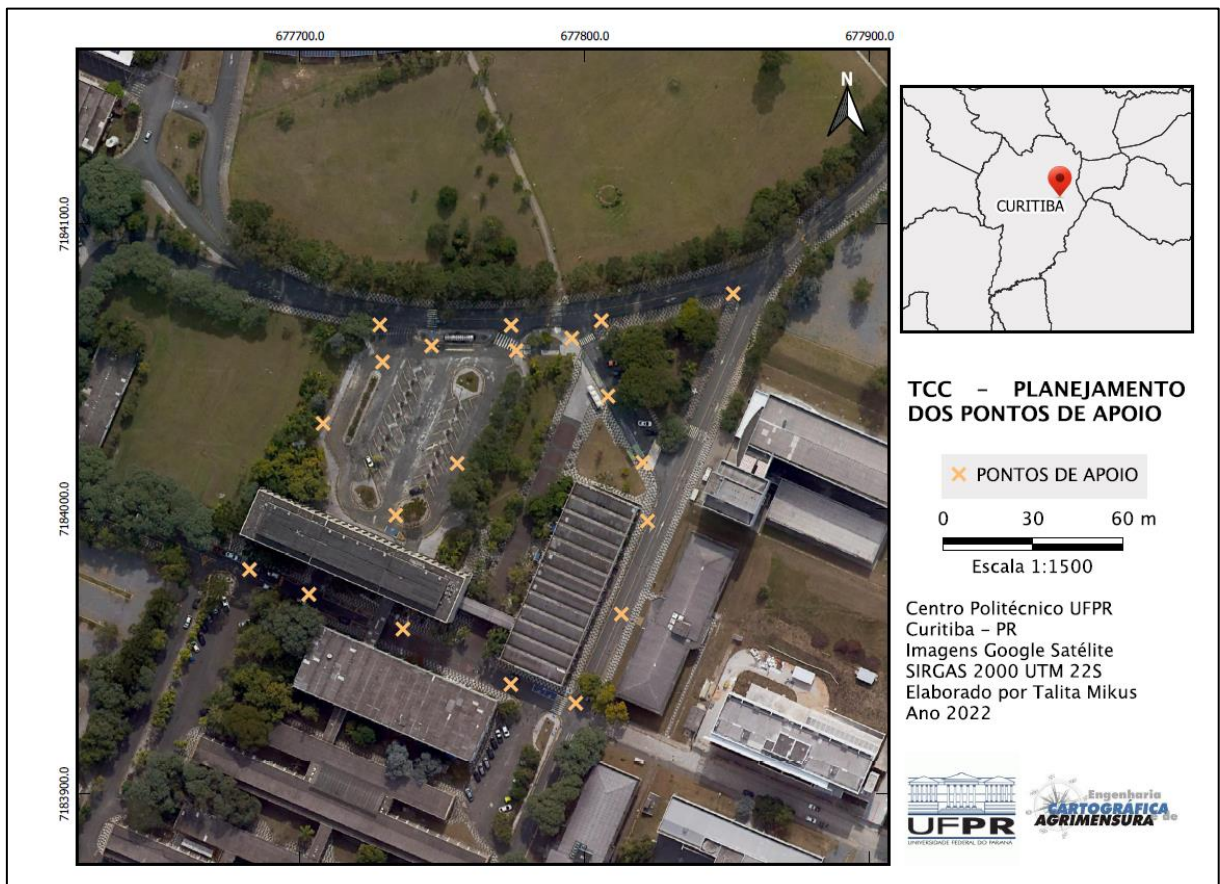
Os *softwares* utilizados no planejamento do estudo foram o Google Earth para planejamento dos pontos de apoio e o Drone Deploy para plano de voo. Durante o

levantamento também foi utilizado o Drone Deploy como aplicativo para execução do voo. Para o processamento dos dados, foi utilizado o Agisoft Metashape para os dados fotogramétricos e para os dados oriundos do posicionamento GNSS, o Topcon Tools. Para a transformação de altitudes, o MAPGEO2015. Durante as análises foram utilizados o Qgis Desktop versão 3.4.8 para geração dos mapas e dos polígonos, e o Global Mapper para atribuição das elevações nos pontos coletados a partir ortomosaico.

3.3 LEVANTAMENTO DOS PONTOS DE APOIO

Considerando a área de interesse, apresentada no capítulo 3.1, foram subdivididas a área e planejados a posição dos pontos de forma estratégica para contemplar e apoiar toda a area do voo fotogramétrico, conforme FIGURA 6.

FIGURA 6 - PONTOS DE APOIO PLANEJADOS



FONTE: A autora (2022)

Com base neste planejamento, foi realizado o levantamento dos dados destes pontos, através da metodologia de posicionamento em tempo real, RTK. Esse método pode alcançar acurácia centimétrica e foi o método utilizado no levantamento dos dados em campo pois permite agilidade a obtendo das coordenadas dos pontos em tempo real a medida em que se ocupa os pontos de interesse, para tal utilizou-se o equipamento da Topcon modelo HiPer Lite.

FIGURA 7 - BASE INSTALADA SOBRE A RM3



FONTE: A autora (2022)

A base de rastreo foi instalada em um ponto com coordenadas conhecidas, visível na FIGURA 7, que serviram de apoio para a correção das coordenadas obtidas. Identificada como RM3, a referência de nível está materializada por marco de concreto, chapeada. Esta fica situada na área anexa ao Laboratório de Geodésia Espacial e Hidrografia - LAGEH, na FIGURA 8 temos uma foto da chapa identificadora do ponto.

FIGURA 8 - RM3



FONTE: A autora (2022)

A monografia da estação RM3 foi obtida no site Campus Map, a qual fornece as coordenadas geodésicas da referência de nível, conforme parte dela exemplificada na FIGURA 9.

FIGURA 9 - PARTE DA MONOGRAFIA DA RM3

  		MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA CENTRO DE PESQUISAS APLICADAS EM GEOINFORMAÇÃO MONOGRAFIA DA REDE TOPOGRÁFICA DA UFPR CEPAG-UFPR	
Informações Gerais:			
Identificação:	RM03=RN3279D	Período:	2022-1
Tipo:	REFERÊNCIA DE NÍVEL	Localidade:	CAMPUS CENTRO POLITÉCNICO
Coordenadas Geodésicas Espaciais:			
Sist. Ref. Terrestre:	SIRGAS 2000	Latitude(ϕ):	25°26'54.5660"S ± 0.0010
Elipsóide:	GRS 80	Longitude(λ):	49°13'52.2115"W ± 0.0020
Altitude via:	GNSS PP 1s\15s GTOPO	Alt. geométrica: $h \pm \sigma_h(m)$:	923.732 ± 0.0010
Fator de conversão via:	hgeoHNOR_IMBITUBA	Alt. conv.: $N \pm \sigma_N(m)$:	3.92 ± 0.06
Altitude normal via:	GNSS/hgeoHNOR_IMBITUBA	Alt. normal: $H \pm \sigma_H(m)$:	919.81 ± 0.06
Gravidade via:	...	Gravidade: $G \pm \sigma_G(mGal)$:	... ± ...
Sist. Ref. Terrestre:	SAD69/96	Latitude(ϕ):	25°26'52.8043"S ± 0.0010
Elipsóide:	UGG167	Longitude(λ):	49°13'50.4765"W ± 0.0020
Altitude via:	PROGRID (Técnica Doppler/GPS)	Alt. geométrica: $h \pm \sigma_h(m)$:	926.785 ± 0.0010
Fator de conversão via:	MOLODENSKI	Fator conv.: $N \pm \sigma_N(m)$:	6.97 ± ...
Altitude normal via:	PROGRID/MOLODENSKI	Alt. normal: $H \pm \sigma_H(m)$:	919.81 ± ...
Coordenadas no Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM):			
Sist. Ref. Terrestre:	SIRGAS 2000	$E \pm \sigma_E(m)$:	677856.706 ± 0.0020
Fuso:	22	$N \pm \sigma_N(m)$:	7184210.087 ± 0.0010
Meridiano Central:	51°W	CM: 0°45'36.2355"W	K: 0.999988496

FONTE: Campus Map (2022)

A base foi instalada às 8h32min do dia 22 de março de 2022 com uma altura de 1,395 m (FIGURA 10) e o tempo de rastreamento foi de aproximadamente 2 horas.

FIGURA 10 - ALTURA DA BASE



FONTE: A autora (2022)

Com os equipamentos configurados, iniciou-se a coleta dos pontos de apoio para o estudo. Na FIGURA 11, são apresentados exemplos dos pontos coletados em campo. Como se pode notar, os pontos utilizados foram sinalizações horizontais bem definidas no asfalto.

FIGURA 11 - EXEMPLO DOS PONTOS COLETADOS EM CAMPO



FONTE: A autora (2022)

Durante a aquisição de alguns pontos planejados, não obteve-se sinal de satélites devido a obstruções ou sinal com efeitos de multicaminhos¹ causados pelos prédios e árvores ao redor como, por exemplo, na FIGURA 12. Por isso durante o levantamento de campo optou-se por coletar mais pontos que o planejado.

FIGURA 12 - REGIÃO SEM SINAL DEVIDO À OBSTRUÇÕES

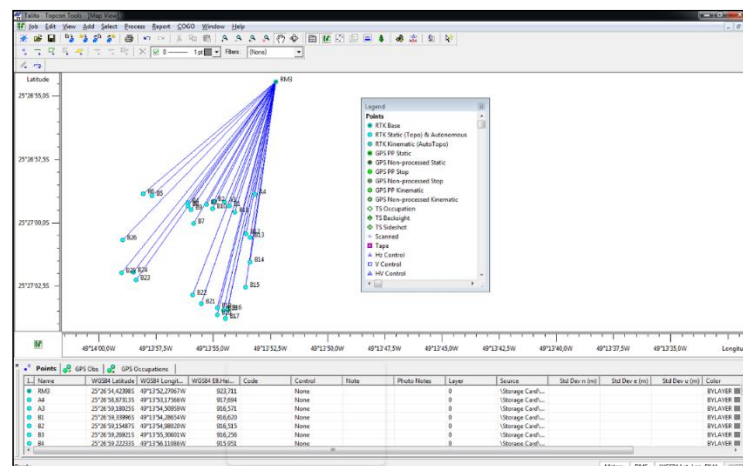


FONTE: A autora (2022)

Após a coleta dos pontos, para descarga e processamento dos dados para determinação das coordenadas foi utilizado o software TopCon Tools, conforme demonstrado na

FIGURA 13.

FIGURA 13 - VISUALIZAÇÃO DOS DADOS DE CAMPO



FONTE: A autora (2022)

¹ [...] efeito do multicaminho que ocorre principalmente em sinais enviados por satélites, pois estes se refletem em superfícies próximas ao receptor antes de chegarem ao mesmo. Esses sinais refletidos deslocam o sinal direto causando diversos erros que prejudicam a precisão e acurácia dos resultados obtidos nos sistemas de posicionamento por satélite, tais como o GPS (Global Positioning System). (SOUZA et al, 2005. p 1).

Em posse dos pontos de apoio, utilizou-se o software MAPGEO2015 para se obter a ondulação geoidal e assim obter a altitude ortométrica dos pontos. Na TABELA 1 as coordenadas geográficas em Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000. As suas representações espaciais na FIGURA 14, e na FIGURA 15 as respectivas nomeclaturas.

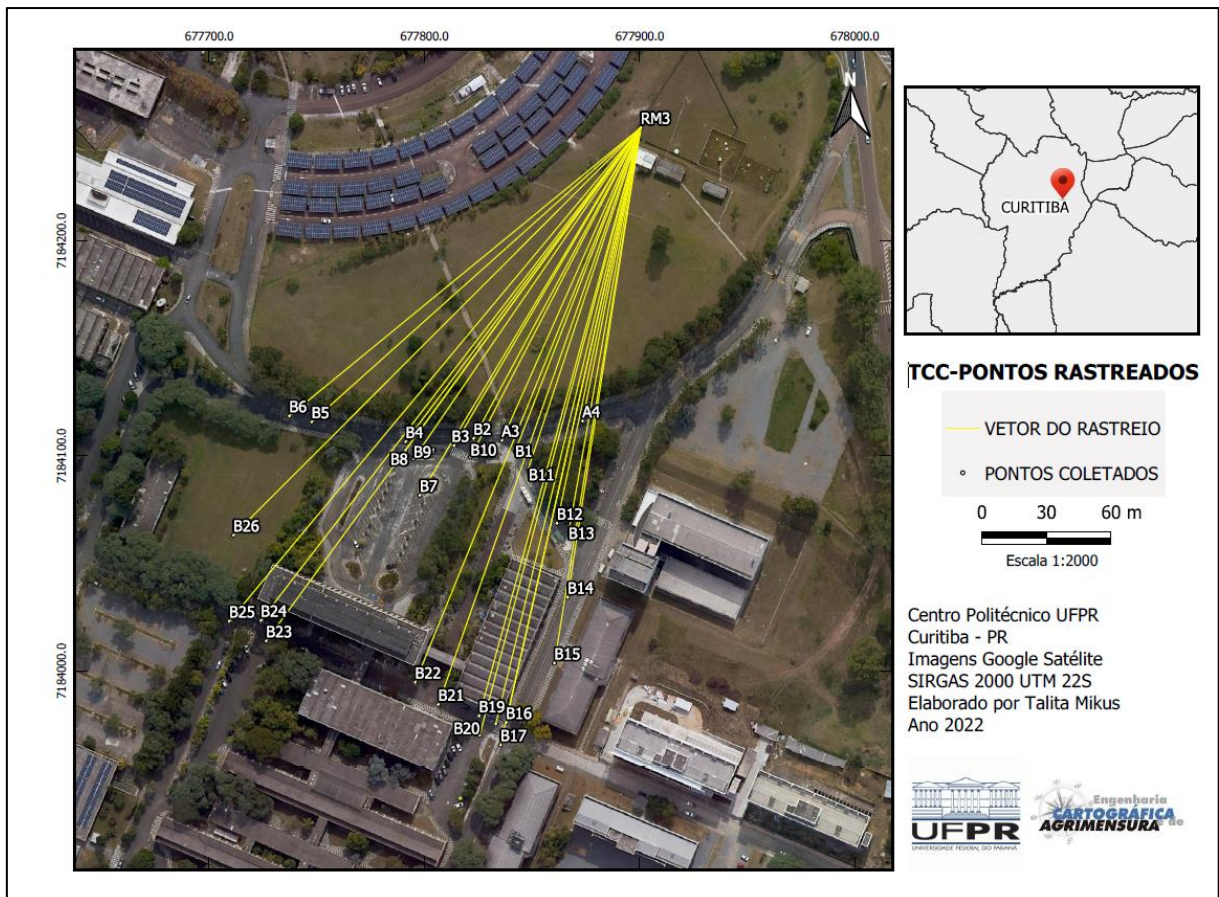
TABELA 1 – PONTOS COLETADOS

Ponto	Latitude Sirgas 2000	Longitude Sirgas 2000	Altitude Elipsoidal (m)	Altitude Ortométrica (m)	Ondulação Geoidal
A3	25°26'59,32227"S	49°13'54,45042"W	916,592	912,67	3,92
A4	25°26'59,01515"S	49°13'53,11649"W	917,715	913,80	3,92
B1	25°26'59,48198"S	49°13'54,22737"W	916,641	912,72	3,92
B2	25°26'59,29689"S	49°13'54,92103"W	916,536	912,62	3,92
B3	25°26'59,41123"S	49°13'55,24684"W	916,278	912,36	3,92
B4	25°26'59,36435"S	49°13'56,05169"W	915,972	912,05	3,92
B5	25°26'59,08122"S	49°13'57,62049"W	915,149	911,23	3,92
B6	25°26'58,99669"S	49°13'57,99364"W	914,689	910,77	3,92
B7	25°27'00,16774"S	49°13'55,80321"W	916,016	912,10	3,92
B8	25°26'59,48664"S	49°13'56,04922"W	916,184	912,26	3,92
B9	25°26'59,61742"S	49°13'55,91619"W	916,144	912,22	3,92
B10	25°26'59,57878"S	49°13'54,96851"W	916,511	912,59	3,92
B11	25°26'59,73001"S	49°13'54,00141"W	916,275	912,36	3,92
B12	25°27'00,56366"S	49°13'53,51773"W	915,320	911,40	3,92
B13	25°27'00,71103"S	49°13'53,32266"W	915,158	911,24	3,92
B14	25°27'01,68080"S	49°13'53,32435"W	913,948	910,03	3,92
B15	25°27'02,67717"S	49°13'53,53054"W	912,732	908,81	3,92
B16	25°27'03,58599"S	49°13'54,32319"W	911,711	907,79	3,92
B17	25°27'03,92379"S	49°13'54,40924"W	911,726	907,81	3,92
B18	25°27'03,60541"S	49°13'54,48998"W	911,741	907,82	3,92

B19	25°27'03,49042"S	49°13'54,77122"W	911,796	907,88	3,92
B20	25°27'03,78425"S	49°13'54,75677"W	911,716	907,80	3,92
B21	25°27'03,32668"S	49°13'55,45309"W	911,933	908,01	3,92
B22	25°27'02,99603"S	49°13'55,83947"W	911,797	907,88	3,92
B23	25°27'02,39973"S	49°13'58,32670"W	911,215	907,30	3,92
B24	25°27'02,09326"S	49°13'58,42113"W	911,205	907,29	3,92
B25	25°27'02,10940"S	49°13'58,94687"W	910,939	907,02	3,92
B26	25°27'00,81143"S	49°13'58,89545"W	913,611	909,69	3,92
RM3	25°26'54,56600"S	49°13'52,21150"W	923,732	919,81	3,92

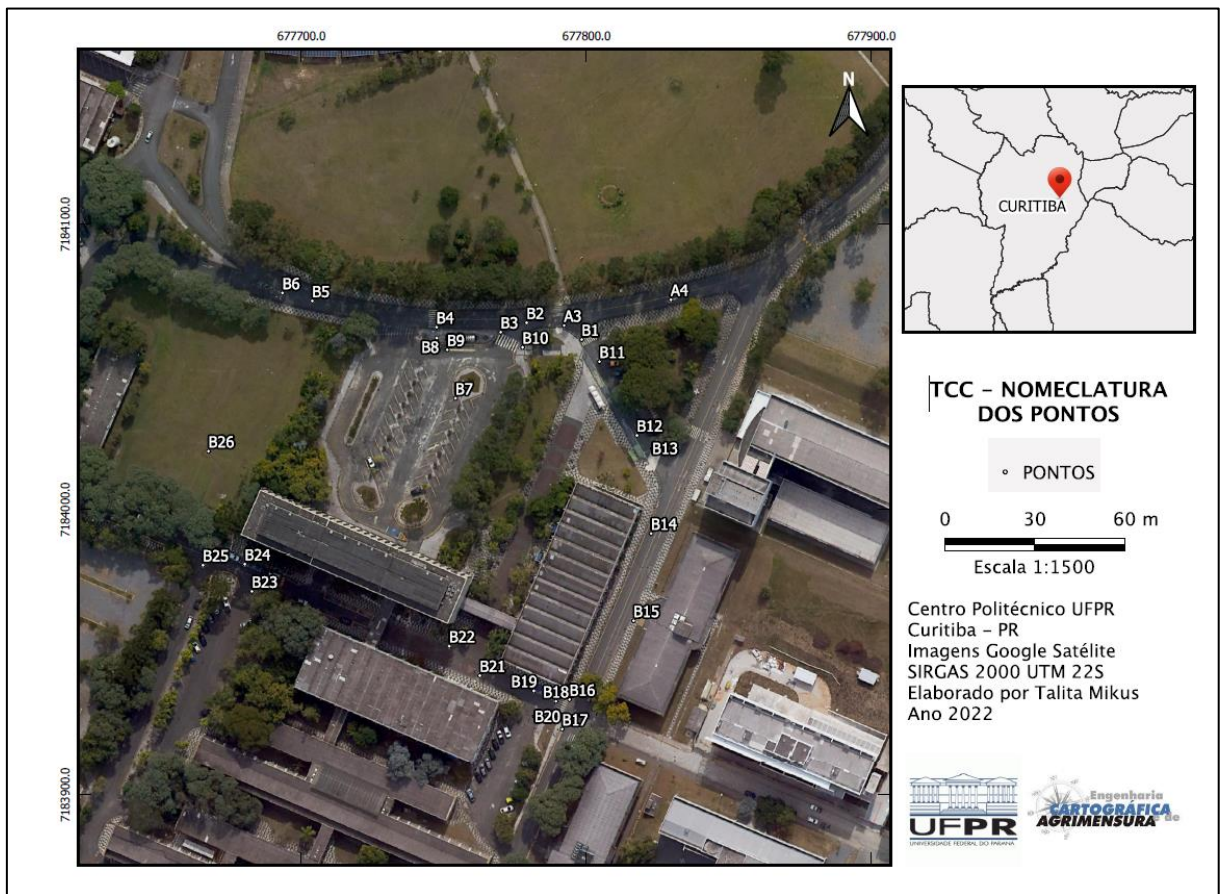
FONTE: A autora (2022).

FIGURA 14 - POSIÇÃO DOS PONTOS COLETADOS E VETOR COM A BASE



FONTE: A autora (2022)

FIGURA 15 - NOMECLATURA DOS PONTOS



FONTE: A autora (2022)

As coordenadas obtidas pelo RTK possuem precisões que foram estimadas pelo software de processamento empregado, e como vamos utilizá-los como pontos de apoio para o voo fotogramétrico e nas análises é imprescindível conhecer as precisões das coordenadas, apresentadas na TABELA 2.

TABELA 2 - PRECISÕES DO LEVANTAMENTO RTK

Ponto	Precisão Horizontal (cm)	Precisão Vertical (cm)
A3	2,00	1,70
A4	1,00	0,90
B1	0,90	1,50
B2	1,70	2,00
B3	1,70	1,30
B4	1,60	1,70
B5	1,80	2,00
B6	1,90	1,70
B7	1,40	1,60
B8	1,30	1,60
B9	1,30	1,60
B10	1,10	1,40
B11	1,20	1,60
B12	1,80	2,00

B13	1,80	2,00
B14	1,50	2,30
B15	1,80	1,50
B16	1,90	2,70
B17	1,60	1,80
B18	1,80	2,90
B19	1,80	1,70
B20	1,50	1,40
B21	1,60	3,40
B22	1,50	2,70
B23	1,90	3,00
B24	1,80	1,90
B25	1,80	2,00
B26	1,50	1,60

FONTE: A autora (2022)

Para que seja possível efetuar as análises com melhor compreensão e com sentido métrico, as coordenadas foram transformadas para o sistema de referência SIRGAS 2000 na projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, TABELA 3.

TABELA 3 - COORDENADAS EM SIRGAS 2000 UTM 22 S

Ponto	E (m)	N (m)
A3	677.792,22	7.184.064,57
A4	677.829,61	7.184.073,53
B1	677.798,38	7.184.059,57
B2	677.779,08	7.184.065,53
B3	677.769,93	7.184.062,13
B4	677.747,47	7.184.063,87
B5	677.703,76	7.184.073,16
B6	677.693,37	7.184.075,90
B7	677.754,08	7.184.039,06
B8	677.747,49	7.184.060,11
B9	677.751,15	7.184.056,03
B10	677.777,64	7.184.056,87
B11	677.804,59	7.184.051,86
B12	677.817,77	7.184.026,03
B13	677.823,15	7.184.021,42
B14	677.822,71	7.183.991,58
B15	677.816,54	7.183.961,00
B16	677.794,03	7.183.933,33
B17	677.791,49	7.183.922,97
B18	677.789,36	7.183.932,80
B19	677.781,55	7.183.936,44
B20	677.781,84	7.183.927,39
B21	677.762,57	7.183.941,73
B22	677.751,91	7.183.952,05

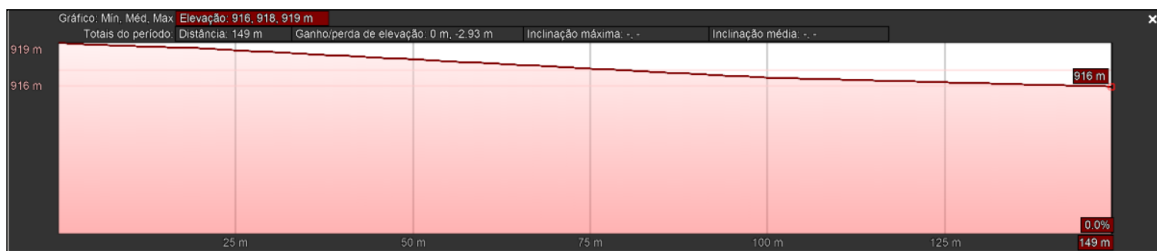
B23	677.682,67	7.183.971,32
B24	677.680,16	7.183.980,78
B25	677.665,47	7.183.980,48
B26	677.667,43	7.184.020,40

FONTE: A autora (2022)

3.4 LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

Iniciou-se o planejamento do voo compreendendo a região da área de estudo. A análise iniciou-se a partir da observação do relevo da região através do Google Earth, viu-se que a região do levantamento tem baixa diferença de altitude, como pode ser observado na FIGURA 16, com uma declividade máxima de aproximadamente 3 metros entre o limitante estipulado da área de estudo conforme capítulo 3.1.

FIGURA 16 - DESNÍVEL DA REGIÃO



FONTE: Google Earth (2022)

Além dessa informação do desnível para o planejamento do voo verificou-se a composição da área e altura média dos itens ali presentes, FIGURA 17. A área é composta por árvores e dois prédios que minimizam a proposta de altura de voo acima destes, já que a altura média das árvores é de 20 metros e dos prédios de seis e dois andares, tendo uma altura aproximada de 20 a 8 metros, respectivamente, torna-se conhecido que a altura de voo deverá ser maior que estes objetos.

FIGURA 17 - ÁRVORES NA REGIÃO



FONTE: A autora (2022)

Para este estudo foi utilizado o aplicativo DroneDeploy², que baseado na área de estudo, especificações técnicas do RPA e no GSD ou altura de voo estimada, configura o plano de voo e envia os parâmetros do voo para o RPA.

Propôs-se ter dois GSDs, ou seja, dois voos, com diferença de 1 cm cada para análise, então chegou-se nos voos com duas alturas, um de 60 e outro a 100 m de altura, refletindo desta forma no planejamento de um GSD estimado de 1,4 cm e 2,3 cm. O modo de voo das duas alturas propostas, 60 e 100 m, foi no modelo GRID, ou seja, o RPA passa sequencialmente pelas faixas de voo sem cruzar nenhuma faixa. No plano de voo de ambas as alturas foi utilizada uma sobreposição lateral de 70% e longitudinal de 80%.

Ainda no planejamento do voo, utilizando as informações relativas a nascer e por do Sol, FIGURA 18, calculou-se a janela de voo para se evitar possíveis oclusões por sombra, FIGURA 20, e verificou-se a previsão do tempo a fim evitar chuvas, ventos, como demonstrado na FIGURA 19.

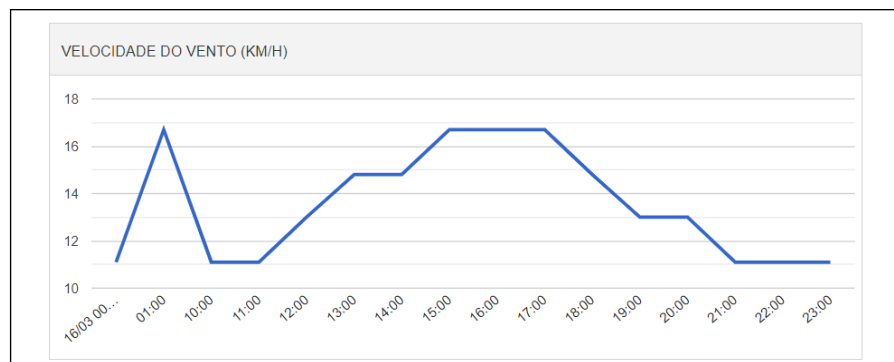
² Os softwares de planejamento de voo fotogramétrico são similares aos da Fotogrametria convencional: conhecida a distância focal da câmera, a escala ou GSD (Ground Sample Distance), definidas as sobreposições (maiores que na fotogrametria convencional: 70-80% longitudinal e lateral) e as coordenadas dos cantos da área, o software lança em mapa do Google as linhas de voo e estima o tempo necessário. (SILVA et al., 2014. p 3)

FIGURA 18 - NASCER E PÔR DO SOL

Data	Nascer do sol	Pôr do sol	Comprimento do dia
Anúncio fechado por Google			
1 Março 2022, terça-feira	06:12	18:46	12:33
2 Março 2022, quarta-feira	06:12	18:45	12:32
3 Março 2022, quinta-feira	06:13	18:44	12:30
4 Março 2022, sexta-feira	06:13	18:43	12:29
5 Março 2022, sábado	06:14	18:42	12:27
6 Março 2022, domingo	06:14	18:41	12:26
7 Março 2022, segunda-feira	06:15	18:40	12:24
8 Março 2022, terça-feira	06:15	18:39	12:23
9 Março 2022, quarta-feira	06:16	18:38	12:21
10 Março 2022, quinta-feira	06:16	18:37	12:20
11 Março 2022, sexta-feira	06:17	18:36	12:18
12 Março 2022, sábado	06:17	18:35	12:17
13 Março 2022, domingo	06:18	18:34	12:15
14 Março 2022, segunda-feira	06:18	18:33	12:14
15 Março 2022, terça-feira	06:19	18:32	12:12
16 Março 2022, quarta-feira	06:19	18:31	12:11

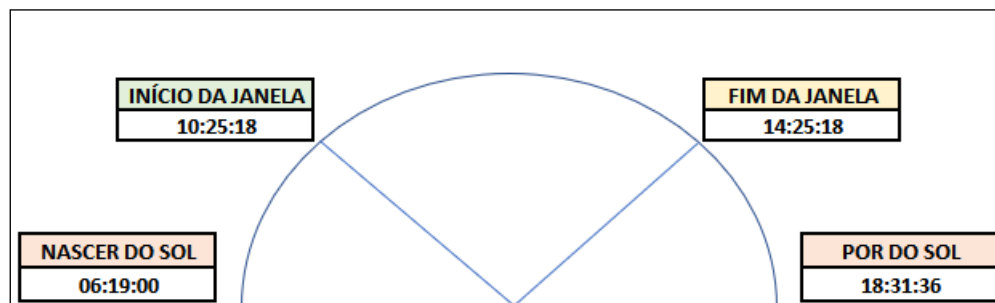
FONTE: <https://www.sunrise-and-sunset.com> (2022)

FIGURA 19 - VELOCIDADE DO VENTO



FONTE: tempo.com (2022)

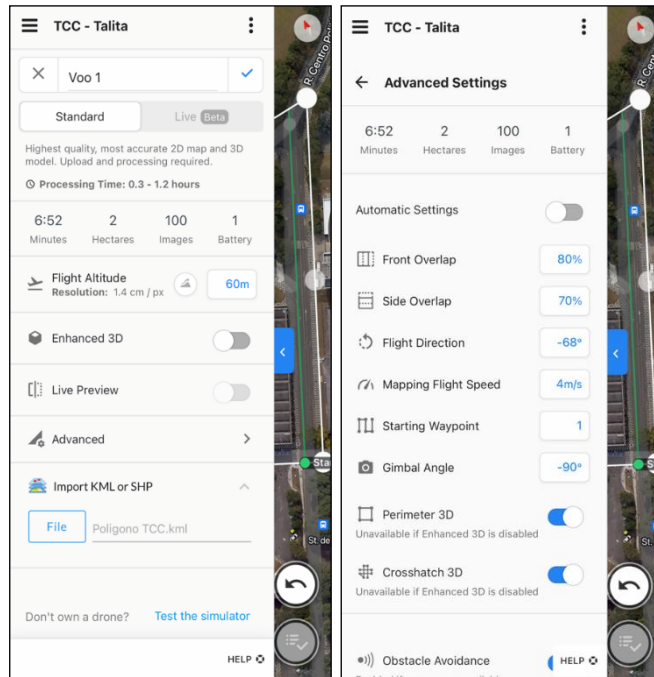
FIGURA 20 - JANELA DE VOO



FONTE: A autora (2022)

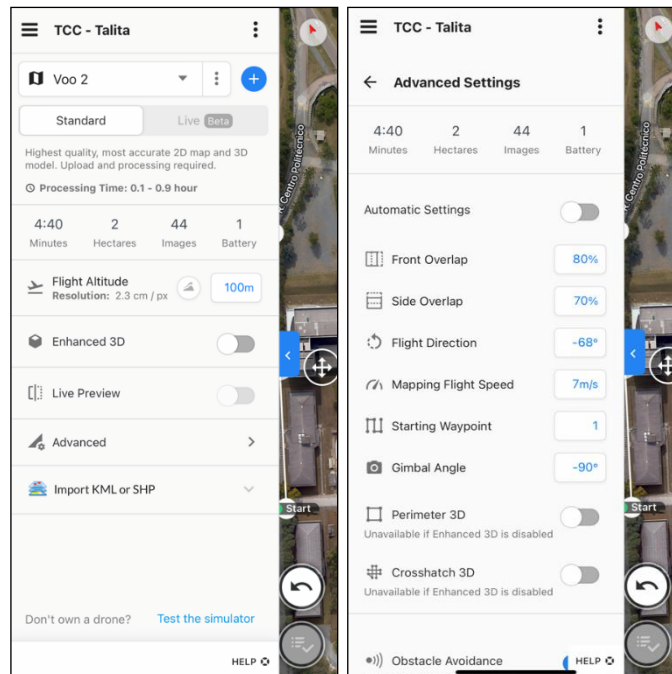
A seguir, FIGURA 21 e FIGURA 22 temos as configurações planejadas para os voos no aplicativo da *DroneDeploy*.

FIGURA 21 - CONFIGURAÇÕES DO VOO - 60 METROS



FONTE: A autora (2022)

FIGURA 22 - CONFIGURAÇÕES DE VOO - 100 METROS



FONTE: A autora (2022)

Vale constar que, apesar de calculada a janela de voo, no dia do levantamento o céu estava predominantemente nublado e os voos ocorreram no intervalo das 11 as 12 horas com a autorização de voo concedida pelo DECEA (Departamento de

Controle do Espaço Aéreo) através do sistema SARPAS (Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPAS). Na FIGURA 23 temos a preparação para os voos.

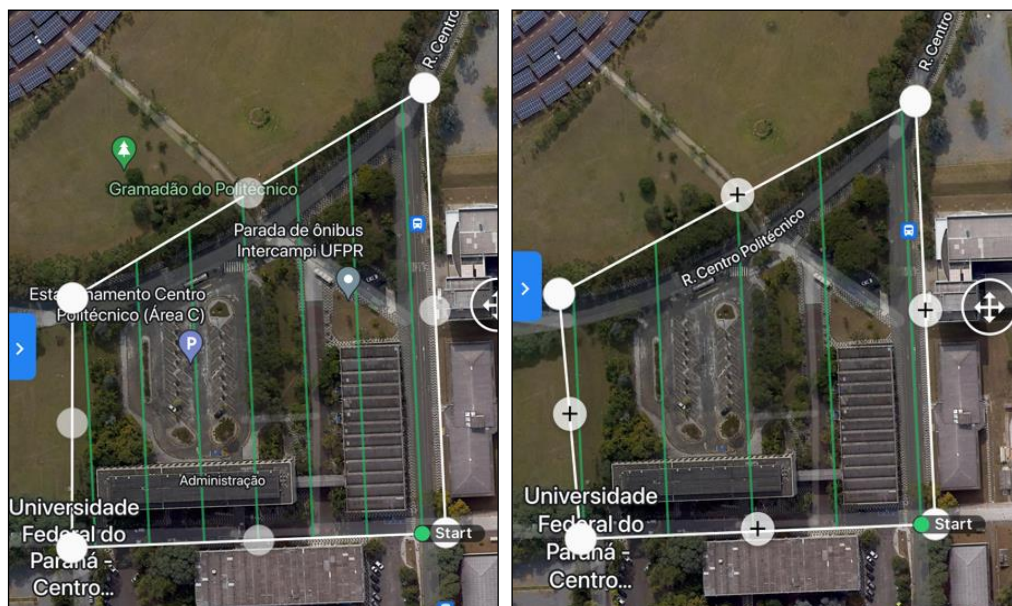
FIGURA 23 - LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMETRICO EM CAMPO



FONTE: A autora (2022)

Iniciou-se com o voo de 60 m, que resultou em um conjunto de 80 fotos e na sequência o voo de 100 m em um conjunto de 35 fotos. As rotas nas capturas das fotos podem ser observadas a seguir, FIGURA 24.

FIGURA 24 - PLANO DE VOO - 60 E 100 METROS



FONTE: DroneDeploy. A autora (2022)

Com os voos concluídos, fez-se o download do conjunto de fotos e realizou-se a filtragem para o pré-processamento, isto para verificar se não havia nenhuma

foto com problemas que pudessem interferir no processamento. Por exemplo fotos borradas, pretas e/ou a foto inicial que a câmera tira em solo. Conferindo os dois voos, nenhuma foto apresentou qualquer problema, sendo apenas retirada as fotos iniciais a nível de solo, por exemplo FIGURA 25.

FIGURA 25 – EXEMPLO DA FOTO RETIRADA DO PROCESSAMENTO



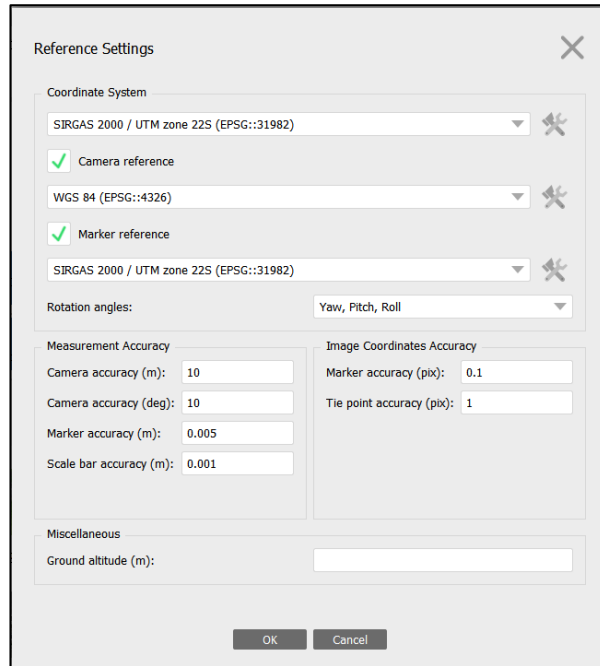
FONTE: A autora (2022)

Com essas duas alturas de voo, propos-se um terceiro projeto, a união do voo de 60 e 100 m, nomeado de merge. Com isto, temos os seguintes projetos e processamentos:

- Voo com 60 metros,
- Voo a 100 metros, e
- Merge.

No Agisoft foram importadas as fotos respectivas a cada voo e as coordenadas dos pontos que serviram de apoio ao processamento. As fotos possuem coordenadas geográficas iniciais que estão atreladas ao GPS de navegação do RPA com erros posicionais podendo chegar em metros.

FIGURA 26 - SISTEMAS DE REFERÊNCIA DO PROCESSAMENTO DOS DADOS – AGISOFT METASHAPE



FONTE: A autora (2022)

Os pontos de apoio foram inseridos com as coordenadas na projeção Universal Transversa de Mercator - UTM, fuso 22S, Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, de acordo com as FIGURA 26 e FIGURA 27.

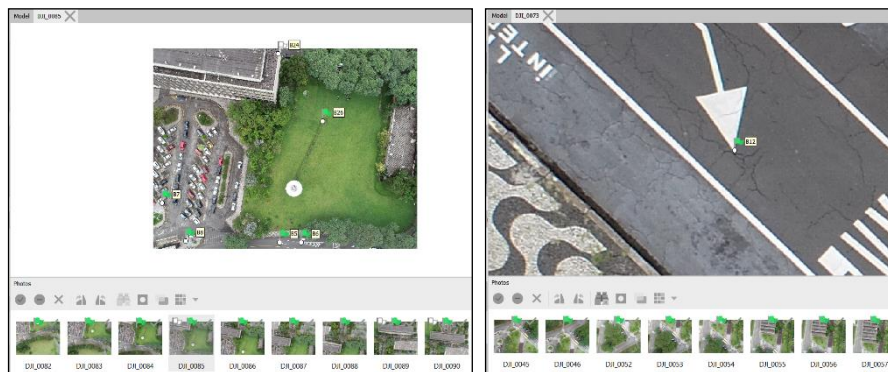
FIGURA 27 - COORDENADAS DO PROCESSAMENTO – AGISOFT METASHAPE

Reference					
Cameras	Longitudo	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)	
✓ DJI_0082	-49.232586	-25.449629	986.704000	10.000000	
✓ DJI_0083	-49.232633	-25.449764	986.904000	10.000000	
✓ DJI_0084	-49.232729	-25.449966	986.804000	10.000000	
✓ DJI_0085	-49.232788	-25.450096	986.904000	10.000000	
Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	
✓ A3	677792.074000	7184064.306000	913.807000	0.005000	
✓ A4	677829.464000	7184073.262000	914.930000	0.005000	
✓ B1	677798.240000	7184059.310000	913.856000	0.005000	
✓ B2	677778.937000	7184065.261000	913.751000	0.005000	

FONTE: A autora (2022)

O processamento iniciou com um alinhamento prévio das imagens e identificação dos pontos de apoio em cada imagem. O software sinaliza a posição aproximada dos pontos, o que facilita a identificação dos pontos e sugere a região em que o ponto se encontra. Cabe ao operador confirmar para o software a pontaria do respectivo ponto, logo o sinalizador do ponto fica na cor verde, indicando que esta posição foi confirmada como sendo do ponto. Se não for confirmada a posição, a cor do sinalizador fica em azul, e sem a identificação visual do ponto o sinalizador fica na cor branca, FIGURA 28.

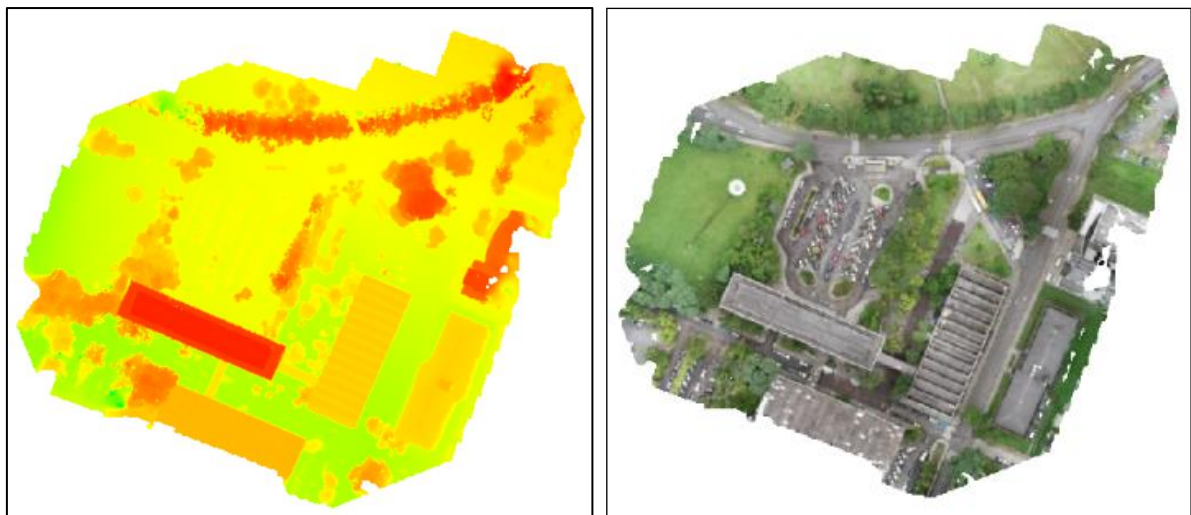
FIGURA 28 - IDENTIFICAÇÃO DOS PONTOS NAS IMAGENS – AGISOFT METASHAPE



FONTE: A autora (2022)

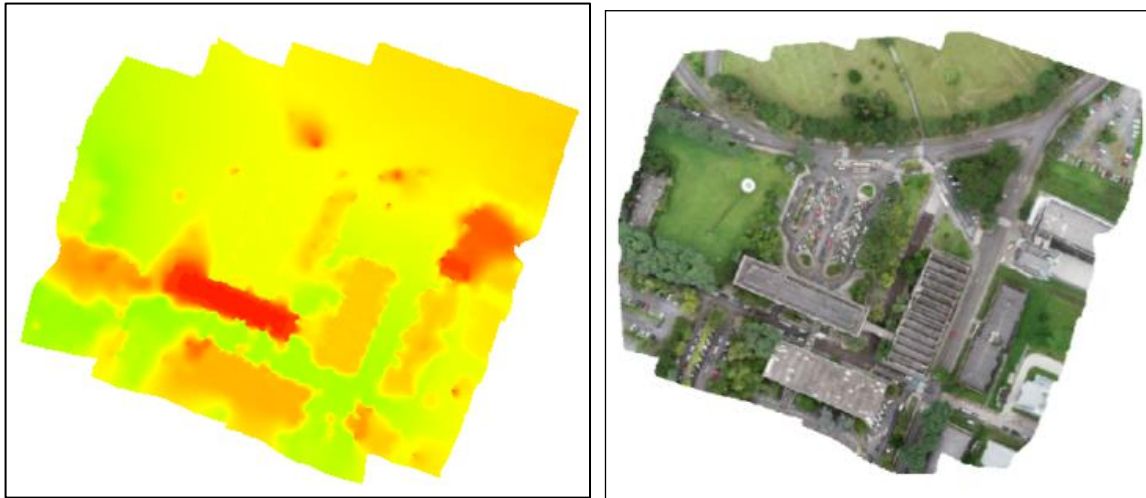
Com os pontos marcados, densifica-se a nuvem de pontos, cria-se o modelo digital de superfície e então permite-se à criação do Ortomosaico, FIGURA 29, FIGURA 30 e FIGURA 31.

FIGURA 29 – DEM E ORTOMOSAICO 60 - AGISOFT METASHAPE



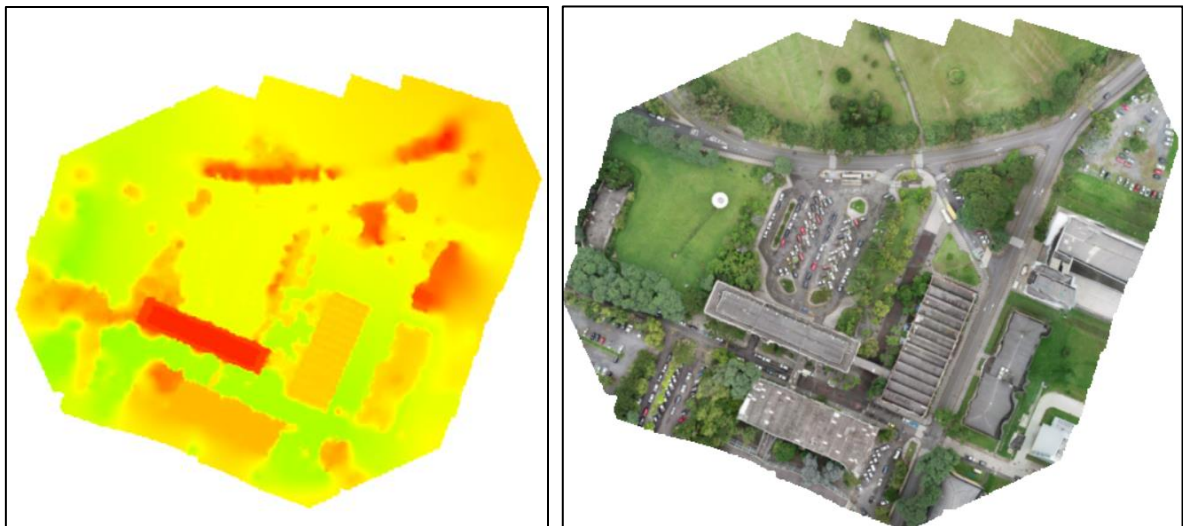
FONTE: A autora, 2022

FIGURA 30 – DEM E ORTOMOSAICO DE 100 M - AGISOFT METASHAPE



FONTE: A autora, 2022

FIGURA 31 – DEM ORTOMOSAICO MERGE - AGISOFT METASHAPE



FONTE: A autora, 2022

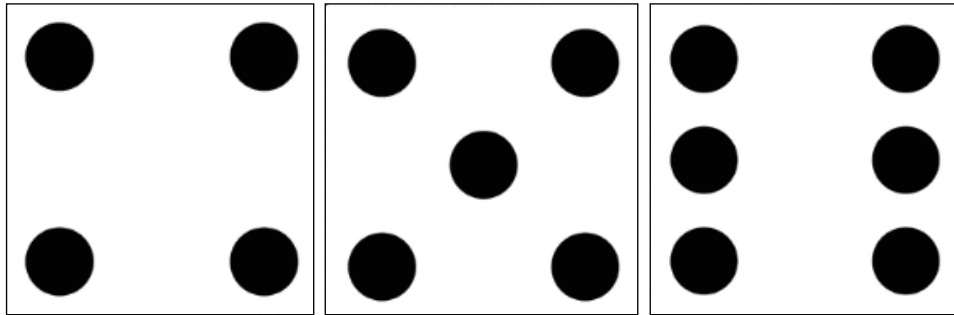
Dos pontos coletados em campo, quinze foram utilizados como pontos de check, que servem como indicadores de qualidade do projeto e para os pontos de apoio, que servem de apoio a fixação do referencial, utilizou-se nas seguintes configurações, conforme FIGURA 32:

A utilização de quatro pontos de apoio, sendo eles com disposição nos cantos do ortomosaico;

A utilização de cinco pontos de apoio, sendo quatro nos cantos do ortomosaico e um próximo a região central.

E a utilização de seis pontos de apoio, sendo três a esquerda e três a direita do ortomosaico.

FIGURA 32 - CONFIGURAÇÃO DOS PONTOS DE APOIO ESCOLHIDOS



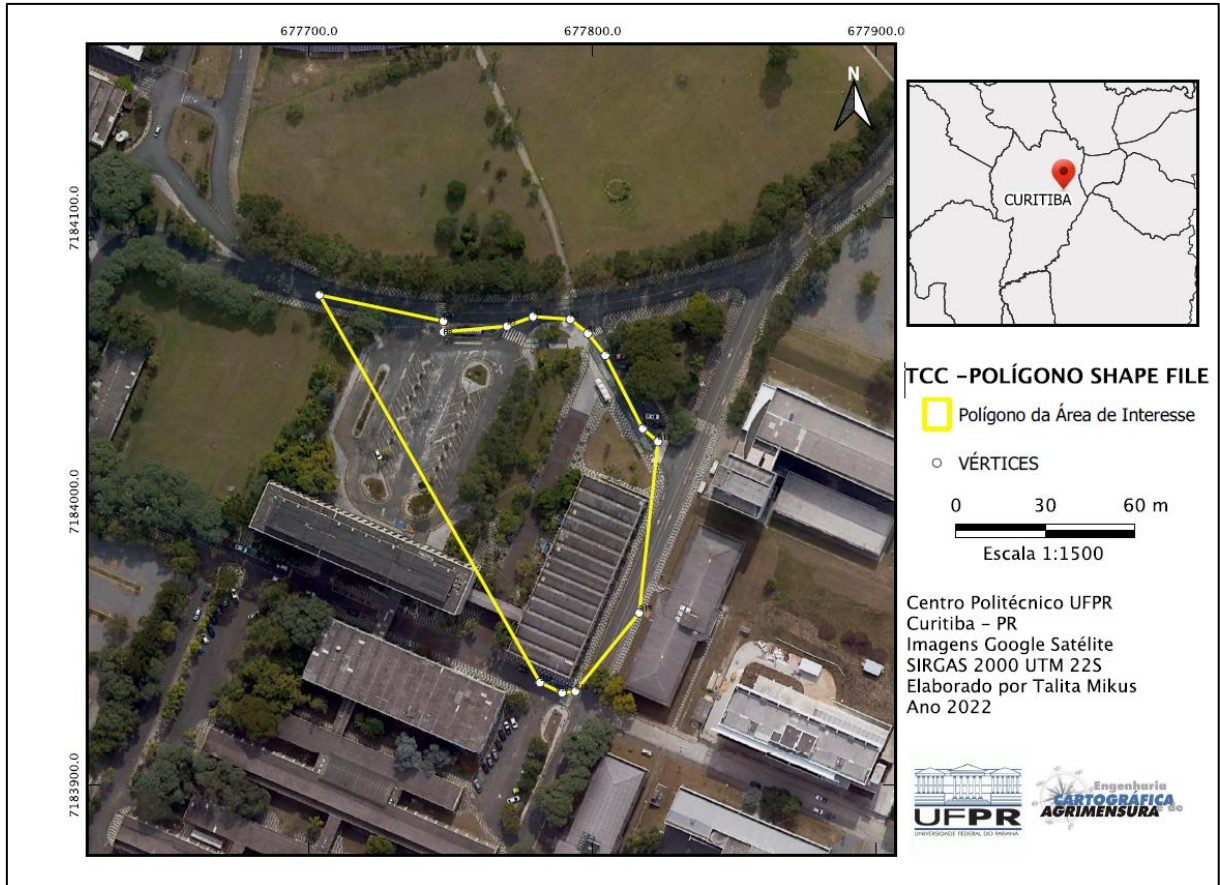
FONTE: A autora (2022)

Dado esta proposta da configuração dos pontos de apoio na sequência, foram realizados os processamentos e os resultados são apresentados do capítulo 4.

3.5 OBTENÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS PONTOS

No capítulo de análises os pontos de Check, além de serem utilizados para verificar a acurácia dos projetos também foram utilizados para analisar as medidas de distância entre eles. Para o desenvolvimento de tal utilizou-se o software Qgis, utilizando a geração de um arquivo vetorial tipo *shapefile*, que possibilitou criar um vértice no local indicado como sendo um ponto de Check e desta forma obter a coordenada da posição do ponto de Check com base no ortomosaico. Este processo foi executado com base nos ortomosaicos gerados pelos processamentos. A seguir, FIGURA 33, um exemplo do polígono formado pelos pontos de Check escolhidos para esta análise.

FIGURA 33 - POLÍGONO CRIADO COM BASE NOS PONTOS



FONTE: A autora (2022)

Baseados no cálculo de distância euclidiana, é possível analisar as medidas obtidas no conjunto de dados proposto.

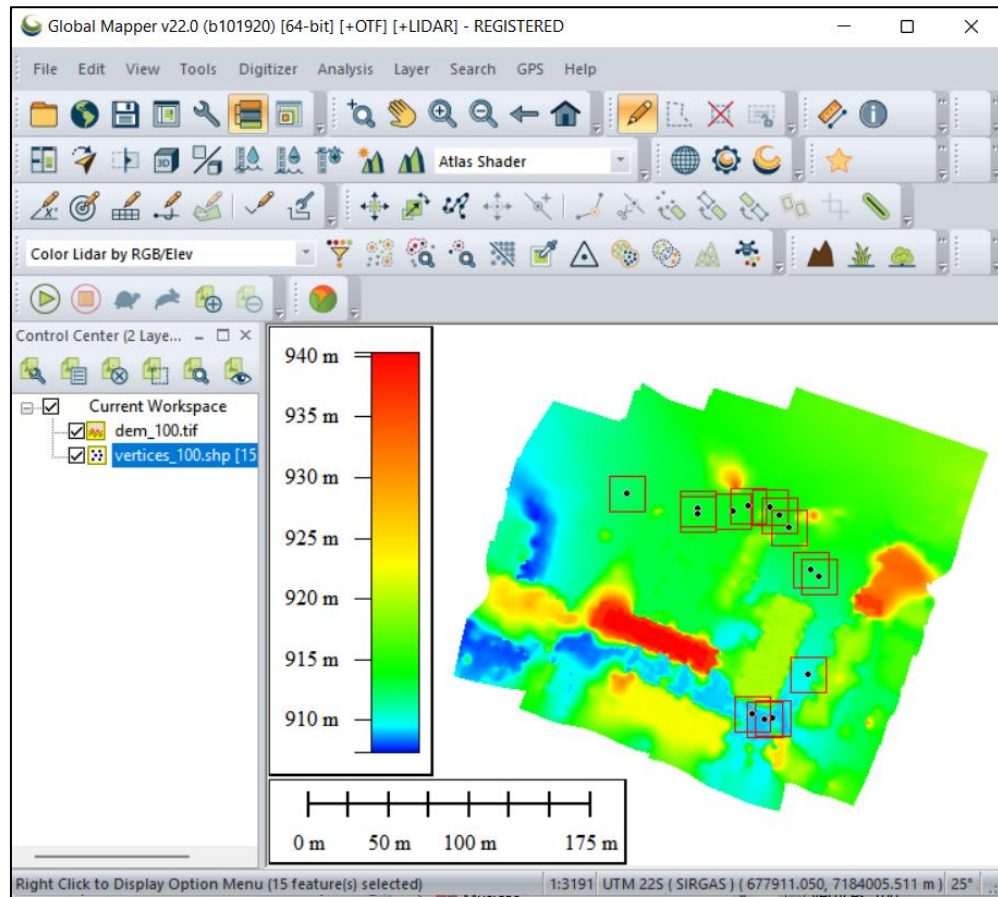
3.6 OBTENÇÃO DOS DADOS DE ALTITUDE DOS PONTOS

Tendo os polígonos dos pontos de cada processamento, utilizou-se a função do Qgis *extrair vértices*, desta forma os vértices dos polígonos tornaram-se um conjunto de pontos. Estes pontos juntamente com o Modelo Digital de Elevação³, resultante do processamento dos dados, foi possível coletar as altitudes de cada vértice. Com auxílio do software GlobalMapper 22.0, utilizou-se a ferramenta aplicar

³ Se o modelo digital de elevação (DEM) for gerado com base nos dados da nuvem de pontos densa, ele pode incluir tanto o terreno quanto todos os objetos acima do solo, como árvores, edifícios e outros objetos feitos pelo homem, estruturas (modelo digital de superfície, DSM), ou apenas mostrar a paisagem do território (terreno digital modelo, DTM). (AGISOFT, 2021, tradução nossa)

elevação, FIGURA 34, desta forma a elevação do ponto fica na tabela de atributos do arquivo shape. Estes dados serão utilizados no capítulo de análises.

FIGURA 34 - EXEMPLO DA OBTENÇÃO DAS ALTITUDES DOS PONTOS – GLOBALMAPPER



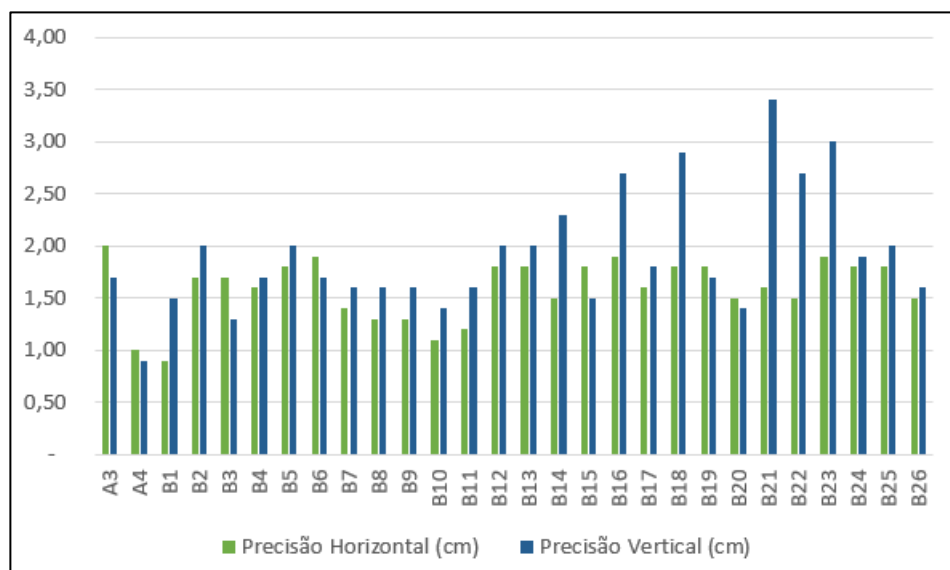
FONTE: A autora (2022)

4 ANÁLISES DOS RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DA PRECISÃO DOS DADOS OBITIDOS POR RTK

Os dados obtidos pelo método de posicionamento em tempo real, o RTK, servirão como parâmetros para os cálculos de discrepância e como pontos de apoio a fotogrametria. Desta forma conhecer a precisão destes dados é de suma importância, já que analisaremos a acurácia dos processamentos e cálculos. Vale lembrar que a maior parte dos softwares de processamento tende a superestimar a qualidade dos pontos processados. Conforme as informações apresentadas no capítulo 3.3, podemos visualizar no GRÁFICO 1 que a menor precisão não ultrapassa 3,5 cm.

GRÁFICO 1 - PRECISÃO DOS PONTOS OBITIDOS COM RTK (CM)



FONTE: A autora (2022).

Desta forma, visualizamos que todas as precisões planimétricas de todos os pontos estão melhores que 2 cm e apenas seis pontos com precisões altimétricas acima de 2 cm, mas não ultrapassando 3,5 cm.

4.2 ANÁLISE DA ACURÁCIA DOS PROJETOS

Conforme apresentado no capítulo 3.4, temos como resultado 3 processamentos destes levantamentos. Para os três levantamentos obtivemos as seguintes relações pixel com terreno, (TABELA 4).

TABELA 4 – DA RELAÇÃO PIXEL E TERRENO DOS VOOS

	Voo 60 metros (cm/pix)	Voo 100 metros (cm/pix)	Merge (cm/pix)
PIXEL/TERRENO	1,68	2,87	2,03

FONTE: A autora (2022).

Além da importância em relação a representação em cada pixel, o GSD também servirá como parâmetro para o cálculo da acurácia dos projetos. Estipulando que o Erro Médio Quadrático – REMQ dos pontos de check não ultrapasse em três vezes o número do GSD para a planimetria e não ultrapasse em cinco vezes o número do GSD na altimetria, podemos ponderar se os projetos atendem a está proposta.

$$\text{Equação 1 } \textit{Erro permitido na planimetria} = \textit{GSD} * 3$$

$$\text{Equação 2 } \textit{Erro permitido na altimetria} = \textit{GSD} * 5$$

Tendo os GSD conforme TABELA 4, os limites para planimetria (XY) e altimetria (Z) serão (TABELA 5):

TABELA 5 - ERRO PERMITIDO DOS PONTOS DE CHECK

	Voo 60 metros (cm)	Voo 100 metros (cm)	Merge (cm)
Planimetria	5,04	8,58	6,09
Altimetria	8,40	14,30	10,15

FONTE: A autora (2022).

O cálculo do erro cometido baseia-se na diferença entre as coordenadas observadas no processamento dos dados fotogramétricos e as coordenadas observadas em campo, conforme Equação 3 e Equação 4.

$$\text{Equação 3 } \textit{RMSE planimetrico} = \sqrt{\frac{\sum(E_{\text{observado}} - E_{\text{campo}})^2 + (N_{\text{observado}} - N_{\text{campo}})^2}{N^{\circ} \text{ amostras}}}$$

$$\text{Equação 4 } \textit{RMSE Altimetrico} = \sqrt{\frac{\sum(H_{\text{observado}} - H_{\text{campo}})^2}{N^{\circ} \text{ amostras}}}$$

Com base neste cálculo obtemos as acurácias para planimetria (XY) e altimetria (Z) para cada projeto proposto (TABELA 6, TABELA 7 e TABELA 8).

TABELA 6 - ACURÁCIA DOS PONTOS DE CHECK – VOO 60 M

	Voo 60 metros (cm) 4 pontos de apoio	Voo 60 metros (cm) 5 pontos de apoio	Voo 60 metros (cm) 6 pontos de apoio
RMS X	2,78	2,86	2,77
RMS Y	3,73	3,69	3,29
RMS XY	4,65	4,67	4,30
RMS Z	3,97	4,15	3,71

FONTE: A autora (2022).

TABELA 7 - ACURÁCIA DOS PONTOS DE CHECK – VOO 100 M

	Voo 100 metros (cm) 4 pontos de apoio	Voo 100 metros (cm) 5 pontos de apoio	Voo 100 metros (cm) 6 pontos de apoio
RMS X	3,78	3,49	3,27
RMS Y	4,93	4,68	4,39
RMS XY	6,21	5,84	5,48
RMS Z	5,92	7,08	6,33

FONTE: A autora (2022).

TABELA 8 - ACURÁCIA DOS PONTOS DE CHECK – VOO MERGE

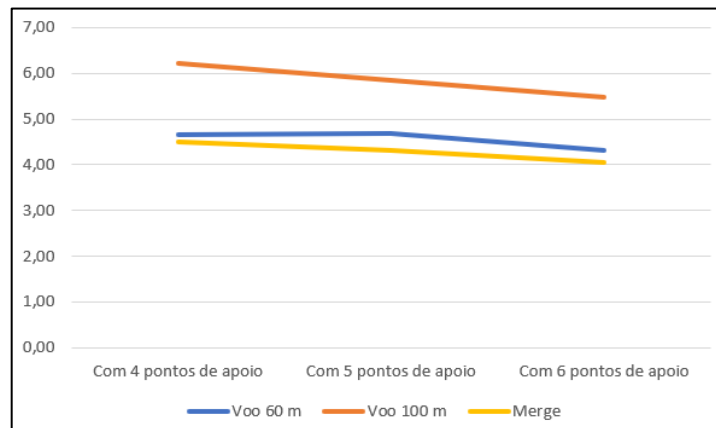
	Voo Merge (cm) 4 pontos de apoio	Voo Merge (cm) 5 pontos de apoio	Voo Merge (cm) 6 pontos de apoio
RMS X	2,73	2,69	3,95
RMS Y	3,58	3,36	3,05
RMS XY	4,50	4,31	4,99
RMS Z	4,75	4,10	4,31

FONTE: A autora (2022).

De acordo com a proposta de limite para acurácia dos projetos, vemos nas tabelas TABELA 6, TABELA 7 e TABELA 8 que nos três processamentos o RMSE planimétrico e altimétrico ficou dentro dos limites propostos TABELA 5.

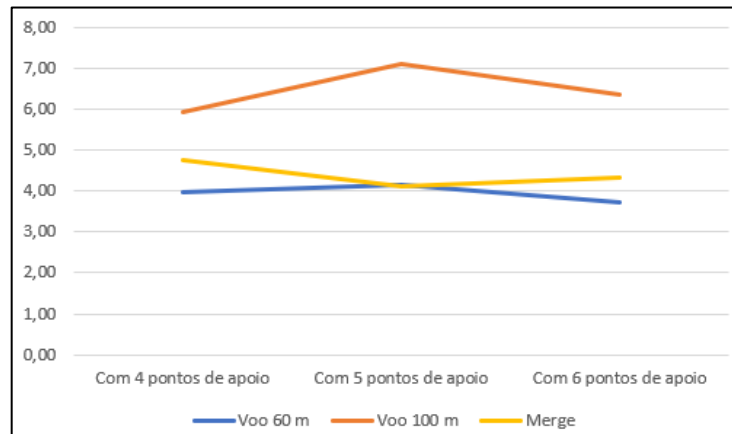
Utilizando os valores de RMSE, que refletem a acurácia do projeto vemos que aumentar a quantidade de pontos de apoio e modificar suas posições influenciou nos valores da acurácia, conforme os gráficos GRÁFICO 2, planimetria e GRÁFICO 3, altimetria.

GRÁFICO 2 - RMSE PLANIMÉTRICO (CM)



FONTE: A autora (2022)

GRÁFICO 3 - RMSE ALTIMÉTRICO (CM)



FONTE: A autora (2022)

Nota-se que o RMSE planimétrico melhora conforme aumenta os pontos de apoio nos três tipos de projetos, mas não reflete da mesma maneira no RMSE altimétrico. Além desta, em relação aos dados planimétricos aumentar a quantidade de pontos e suas configurações não resultou em uma melhora maior de 1 cm em nenhum dos processamentos.

Por esta razão, de não haver melhora no RMSE e tendo em vista o custo adicional de se levantar mais pontos em campo, de modo que a influência posicional no trabalho não é significativa, seguiremos para análise apenas com os ortomosaicos baseados nos processamentos com quatro pontos de apoio.

4.3 ANÁLISE DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS PONTOS

Tendo os três ortomosaicos oriundos dos processamentos, e aplicando o processo descrito na seção 3.5, os vértices dos polígonos são definidos na posição do ponto respectivo no ortomosaico e através do cálculo de distância euclidiana, Equação 5, podemos analisar o comportamento das distâncias entre os pontos nos três processamentos em relação às coordenadas coletadas com GNSS-RTK.

$$\text{Equação 5 Distância Euclidiana} = \sqrt{\sum(E_n - E_{n-1})^2 + (N_n - N_{n-1})^2}$$

Na TABELA 9, são apresentadas as distâncias entre os pontos e na TABELA 10 as discrepâncias das distâncias em relação a distância calculada com os dados do RTK.

TABELA 9 - DISTÂNCIA ENTRE OS PONTOS (CM)

	RTK	60 M	100 M	60+100
B5 para B4	44,69	44,65	44,66	44,61
B4 para B8	3,76	3,79	3,81	3,74
B8 para B3	22,54	22,55	22,56	22,55
B3 para B2	9,76	9,78	9,84	9,76
B2 para A3	13,17	13,13	13,12	13,13
A3 para B1	7,94	7,88	7,89	7,88
B1 para B11	9,91	10,00	9,99	9,97
B11 para B12	28,99	28,96	29,00	28,96
B12 para B13	7,09	7,09	7,07	7,07
B13 para B15	60,78	60,77	60,77	60,79
B15 para B16	35,67	35,67	35,69	35,66
B16 para B18	4,70	4,72	4,70	4,71
B18 para B19	8,62	8,59	8,54	8,61
B19 para B5	157,31	157,25	157,38	157,22

FONTE: A autora (2022).

TABELA 10 - DISCREPÂNCIA ENTRE DISTÂNCIA (CM)

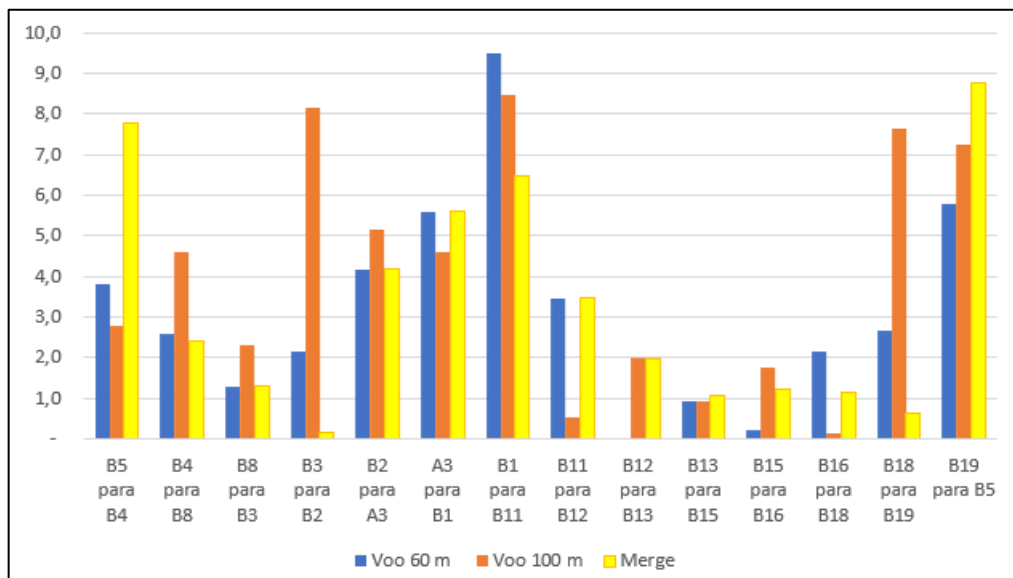
	Voo 60 m	Voo 100 m	Merge
B5 para B4	3,79	2,79	7,79
B4 para B8	2,60	4,60	2,40
B8 para B3	1,30	2,30	1,30
B3 para B2	2,16	8,16	0,16
B2 para A3	4,17	5,17	4,17

A3 para B1	5,60	4,60	5,60
B1 para B11	9,48	8,48	6,48
B11 para B12	3,47	0,53	3,47
B12 para B13	0,02	1,98	1,98
B13 para B15	0,95	0,95	1,05
B15 para B16	0,22	1,78	1,22
B16 para B18	2,14	0,14	1,14
B18 para B19	2,65	7,65	0,65
B19 para B5	5,77	7,23	8,77

FONTE: A autora (2022)

No GRÁFICO 4 percebemos que as discrepâncias entre as medidas de distâncias entre os pontos em relação aos dados obtidos pelo RTK não são maiores que 10 cm. Tanto no voo de 60 m como no voo de 100 m, as distâncias entre B1 e B11 são os que apresentam maior discrepância juntamente com B19 e B5.

GRÁFICO 4 - DISCREPÂNCIAS ENTRE AS MEDIDAS DE DISTÂNCIAS ENTRE OS PONTOS (CM)



FONTE: A autora (2022)

Os processamentos com menores ou iguais valores de discrepâncias entre os pontos com o RTK são os de altura de voo de 60 m e o projeto merge, correspondente a 43% dos valores com menor discrepância. O voo de altura de voo 100 m, apresenta menor quantidade de pontos que tiveram menor discrepância em relação as outros projetos, sendo este 35%.

No cálculo das distâncias o reflexo da utilização das duas alturas de voo podemos visualizar na

TABELA 11, os pontos sinalizados, são os que tiveram menor ou igual discrepância entre os voos.

TABELA 11 - RELAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS VOOS (CM)

	Voo 60 m	Voo 100 m	Merge
B5 para B4	3,79	2,79	7,79
B4 para B8	2,60	4,60	2,40
B8 para B3	1,30	2,30	1,30
B3 para B2	2,16	8,16	0,16
B2 para A3	4,17	5,17	4,17
A3 para B1	5,60	4,60	5,60
B1 para B11	9,48	8,48	6,48
B11 para B12	3,47	0,53	3,47
B12 para B13	0,02	1,98	1,98
B13 para B15	0,95	0,95	1,05
B15 para B16	0,22	1,78	1,22
B16 para B18	2,14	0,14	1,14
B18 para B19	2,65	7,65	0,65
B19 para B5	5,77	7,23	8,77

Menor ou igual discrepância em relação aos projetos

FONTE: A autora (2022)

Vemos que em relação aos voos de altura de 60 e 100 m comparados com o merge, obtivemos 9 e 8 pontos que melhoraram ou se mantiveram com o mesmo valor de discrepância, respectivamente.

Observando a média das discrepâncias entre os voos de 60 m, 100 m e o merge, TABELA 12, o voo com menor discrepância média nas distâncias entre os pontos em comparação ao método do RTK, foi o voo de 60 m. O fato de o valor da média ser menor no voo de 60 m é o reflexo de que nos três projetos, as discrepâncias entre as distâncias são menores para a maioria dos pontos na altura de voo de 60 m, do que tanto na altura de voo de 100 m como no Merge. Utilizar o merge permite ter uma combinação maior de fotos com duas diferentes alturas, mas para as discrepâncias das distâncias não foi significativamente menor que 1 cm.

TABELA 12 - MÉDIA DAS DISCREPÂNCIAS DAS DISTÂNCIAS (CM)

	Voo 60 m	Voo 100 m	Merge
média	3,17	4,03	3,30

FONTE: A autora (2022)

Se olharmos o valor do GSD na TABELA 4, o menor é referente ao voo de 60 m, esse valor de GSD, por ser este o menor, ele reflete em uma maior resolução da medida em relação aos outros. Esse pode ser um fator que colaborou para menores discrepâncias entre os outros voos.

4.4 ANÁLISE DOS DESNÍVEIS ENTRE OS PONTOS

Conforme descrito no capítulo 3.6, utilizou-se o DEM para se obter as altitudes dos pontos, e assim poder calcular os desníveis entre os pontos:

$$\text{Desnível} = \text{Altitude}_n - \text{Altitude}_{n-1}$$

TABELA 13 - DESNÍVEIS ENTRE OS PONTOS (M)

	RTK	Voo 60 m	Voo 100 m	Merge
B5 para B4	0,82	0,92	0,95	0,94
B4 para B8	0,21	0,20	0,21	0,16
B8 para B3	0,09	0,08	0,06	0,15
B3 para B2	0,26	0,26	0,28	0,22
B2 para A3	0,06	0,10	0,15	0,12
A3 para B1	0,05	0,01	0,02	0,03
B1 para B11	0,37	0,40	0,05	0,29
B11 para B12	0,96	0,90	1,32	1,03
B12 para B13	0,16	0,18	0,17	0,17
B13 para B15	2,43	2,44	2,41	2,37
B15 para B16	1,02	1,03	0,92	1,03
B16 para B18	0,03	0,04	0,00	0,03
B18 para B19	0,05	0,11	0,14	0,07
B19 para B5	3,35	3,23	3,05	3,18

Tendo os dados obtidos pelo levantamento RTK como referência, podemos analisar as discrepâncias entre o RTK e os três processamentos:

TABELA 14 - DIFERENÇAS ENTRE DESNÍVEIS DOS VOOS COM O DESNÍVEL DE REFERÊNCIA (CM)

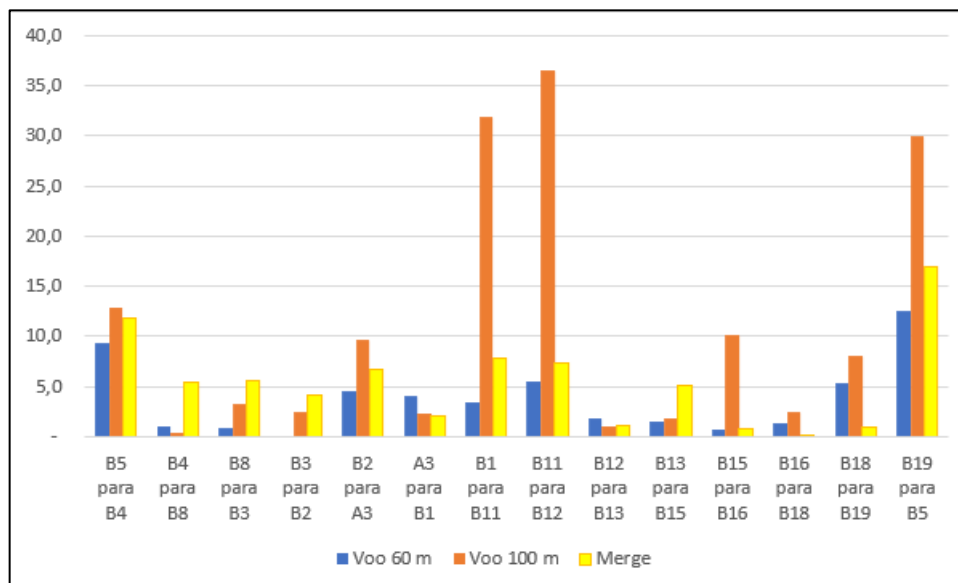
	Voo 60 m	Voo 100 m	Merge
B5 para B4	9,40	12,80	11,80
B4 para B8	1,00	0,40	5,50
B8 para B3	0,90	3,30	5,60
B3 para B2	0,10	2,50	4,10
B2 para A3	4,50	9,70	6,70
A3 para B1	4,10	2,40	2,10

B1 para B11	3,40	31,90	7,80
B11 para B12	5,50	36,50	7,30
B12 para B13	1,80	1,10	1,20
B13 para B15	1,50	1,90	5,20
B15 para B16	0,80	10,20	0,80
B16 para B18	1,30	2,50	0,20
B18 para B19	5,40	8,10	1,00
B19 para B5	12,50	29,90	16,90

FONTE: A autora (2022)

É possível notar pelos dados exibidos na TABELA 14 que os resultados obtidos das discrepâncias são da ordem de 1, 10, 20 e até 30 centímetros entre algumas das medidas, o GRÁFICO 5 expressa e permite uma melhor compreensão sobre o comportamento dessas discrepâncias.

GRÁFICO 5 - COMPORTAMENTO DA VARIAÇÃO DOS DESNÍVEIS EM CENTÍMETROS ENTRE OS PONTOS (CM)



FONTE: A autora (2022)

Assim como no capítulo 4.3, neste podemos analisar se adicionar duas alturas de voo reflete em uma precisão da medida do desnível.

TABELA 15 - RELAÇÃO DAS DISCREPÂNCIAS DAS DISTÂNCIAS ENTRE OS VOOS (CM)

	Voo 60 m	Voo 100 m	Merge
B5 entre B4	9,40	12,80	11,80
B4 entre B8	1,00	0,40	5,50
B8 entre B3	0,90	3,30	5,60

B3 entre B2	0,10	2,50	4,10
B2 entre A3	4,50	9,70	6,70
A3 entre B1	4,10	2,40	2,10
B1 entre B11	3,40	31,90	7,80
B11 entre B12	5,50	36,50	7,30
B12 entre B13	1,80	1,10	1,20
B13 entre B15	1,50	1,90	5,20
B15 entre B16	0,80	10,20	0,80
B16 entre B18	1,30	2,50	0,20
B18 entre B19	5,40	8,10	1,00
B19 entre B5	12,50	29,90	16,90

Menor ou igual discrepância em relação aos projetos

FONTE: A autora (2022)

TABELA 16 - MÉDIA DAS DISCREPÂNCIAS ENTRE OS DESNÍVEIS (CM)

	Voo 60 m	Voo 100 m	Merge
Média	3,73	10,94	5,44

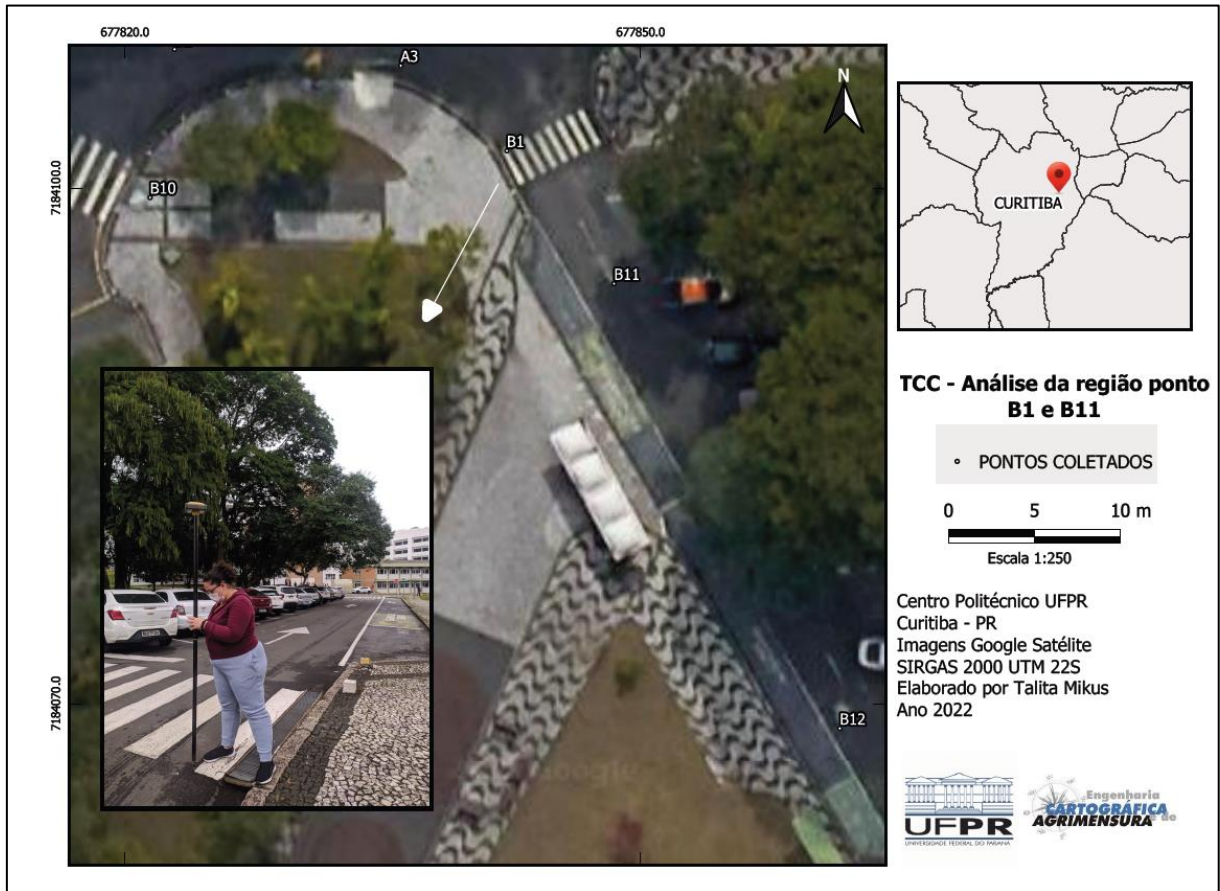
FONTE: A autora (2022)

Vemos que com relação aos voos de altura de 60 e 100 m comparados com o merge, obtivemos 5 e 9 pontos que melhoraram ou se mantiveram com o mesmo valor de discrepância, respectivamente. Unir as duas alturas de voos, o merge, vemos dois impactos distintos nas medidas de desníveis: Em relação ao voo de altura 60 m, o merge influenciou negativamente na maioria dos pontos, ou seja, nesse projeto houve um aumento nos valores de discrepância de desnível em 9 dos 14 pontos. Já em relação ao voo de 100 m, o merge influenciou positivamente, diminuindo a discrepância de 9 dos 14 pontos. Vale lembrar que esses 9 pontos que sofreram positiva e negativamente impactos nos valores de discrepância não são os mesmos.

Se analisarmos individualmente os voos, com a altura de 60 m tem a maior quantidade de baixas discrepâncias, e isso é visualizado na TABELA 16, na qual notamos que o voo de 60 m possui a menor discrepância em média. E a média das discrepâncias ainda, reflete que unir os dois projetos, com alturas de voo de 60 e 100 m, não colaborou para minimizar as discrepâncias de forma geral.

Alguns dos desníveis que mais se ressaltam, no GRÁFICO 5, as discrepâncias entre os pontos são: B1 entre B11 e B11 entre B12, no voo de 100 metros. Na FIGURA 35, vemos que esta região possui algumas árvores que se sobrepõem em alguns trechos sobre a rua em que os pontos estão localizados.

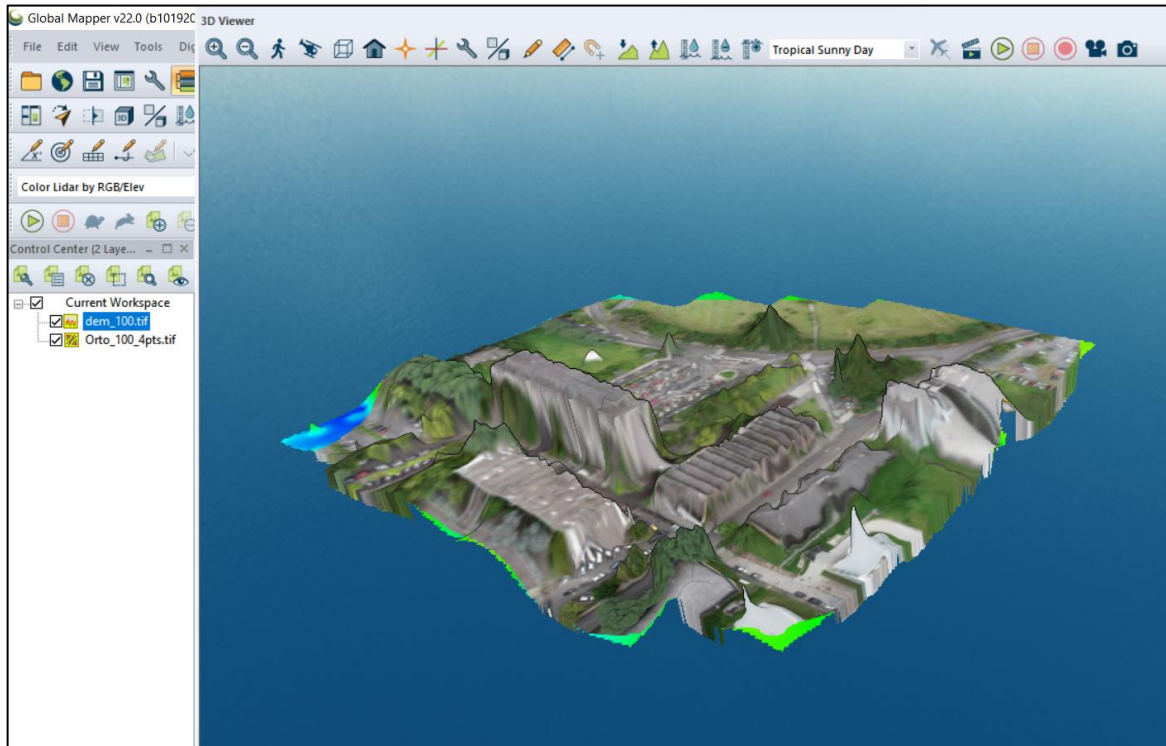
FIGURA 35 - ANÁLISE DA REGIÃO DO PONTO B1 E B11



FONTE: A autora (2022)

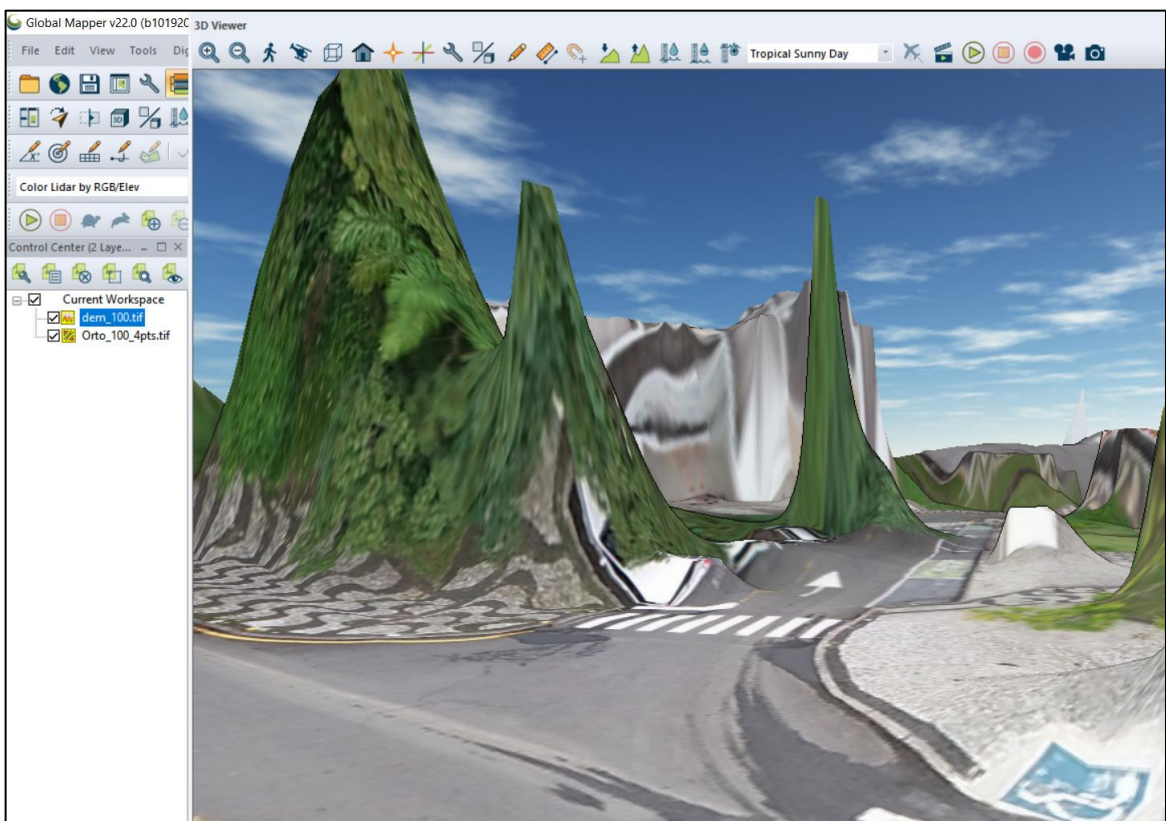
Como as medidas altimétricas dos pontos foram extraídas do DEM gerados pelos dados do voo, utilizou-se do software Global Mapper para analisar o DEM e sobrepondo o ortomosaico para melhor identificação da região, conforme FIGURA 36. Quando aproximamos para a região dos pontos B1, B11 e B12, na FIGURA 37 vemos que o modelo gerado possui irregularidades e ondulações no asfalto oriundas da geração do DEM que justifica as maiores discrepâncias dos desníveis entre os pontos observados.

FIGURA 36 - ORTOMOSAICO SOBRE O DEM – GLOBALMAPPER



FONTE: A autora(2022)

FIGURA 37 - ZOOM DA REGIÃO DO B1 E B11 SOBRE O DEM E ORTOMOSAICO – GLOBALMAPPER



FONTE: A autora (2022)

Observando a discrepância desse resultado, o DEM e conhecendo a superfície da região dos pontos, FIGURA 35, sabemos que no processo de modelagem do terreno existem *outliers*⁴. Dessa forma podemos associar há pontos que não correspondiam ao terreno utilizados na modelagem como tal.

Para resolver este problema, pode-se realizar a filtragem da nuvem de pontos e realizar a modelagem somente com pontos do terreno. Limpando informações da superfície como carros, árvores etc., que podem confundir o algoritmo no processo de interpolação dos dados. Se houver interesse em uma melhor acurácia dos pontos este processo de limpeza da nuvem de pontos provavelmente melhoraria o resultado das análises em relação ao desnível. Reduzindo a discrepância entre os desníveis dos pontos que extrapolaram, resultando possivelmente na aproximação do comportamento dos valores de desníveis dos demais pontos, abaixo dos 15 cm no caso desse processamento. Vale ressaltar que este processo não foi efetuado neste trabalho, pois os objetivos aqui se limitavam a analisar os dados brutos obtidos pelas técnicas propostas e não o manuseio de dados dos pós processamento.

⁴ Segundo Rousseuw e Zomeren (1990) o *Outlier* é um termo que faz referência as observações que não seguem o padrão da maioria dos dados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da amplitude de produtos e aplicações do RPA, o aumento no registro desses equipamentos e a sua versatilidade, nesta análise foram coletados dados pelo posicionamento RTK e dados aerofotogramétricos. Os dados foram coletados em uma área de estudo com elementos de urbanização composta por edificações, árvores e sinalizações horizontais de trânsito, com isso foi possível analisar a influência de diferentes alturas de voo e diferentes distribuições de pontos de apoio, na acurácia dos levantamentos com o RPA. Comparando desta forma produtos disponíveis aos usuários do RPA, que podem optar por utilizar estes como fonte para obtenção de dados, sem conhecimento das áreas de Geodésia e Fotogrametria. Por consequência, utilizam os dados sem estarem cientes que utilizar tais produtos diretamente dos processamentos dos dados obtidos por RPA possuem variações.

Aumentar a quantidade de pontos de apoio coletados reflete em um aumento de tempo em campo e no aumento de custos de operação. Como vimos, para este estudo, com uma área de geometria regular de aproximadamente 2 hectares modificar a configuração das posições dos pontos de apoio e aumentá-los de 4 para 5 e 6 pontos, não refletiu em uma melhora além de 1 cm nos processamentos. Por esta razão, utilizou-se os produtos gerados com 4 pontos de apoio nas análises das distâncias e desníveis.

As variações das distâncias planimétricas entre os pontos nos diferentes projetos, mostraram discrepância máxima de 10 cm entre a técnica de posicionamento RTK e extração de medidas pelo ortomosaico.

Utilizar a combinação de duas alturas de voo, o denominado merge neste estudo, não minimizou as discrepâncias de maneira geral em relação aos dados do levantamento geodésico, isso tanto para as distâncias, quanto para os desníveis. A utilização do merge, melhorou a qualidade dos pontos em relação ao voo com altura de 100 m, mas piora a qualidade dos pontos no voo com altura 60 m, nos dados de desníveis. Além do mais, utilizar os produtos gerados diretamente pelo software, pode refletir em informações equivocadas pela geração automática dos produtos, como no caso do desnível do ponto B1 para B11, do voo de 100 m com valores de *outliers* que refletiram em valores com grande discrepância. O melhor desempenho médio dos dados, foi no voo de 60 metros, que como vimos pode estar associado ao menor valor do GSD entre os três processamentos.

Esse estudo permite perceber que com relação aos dados obtidos da fotogrametria por RPA, a depender da precisão exigida no projeto e tempo de urgência para obtenção dessas informações, é possível serem utilizados tanto o ortomosaico quanto o DEM como dados para extrair medidas de distâncias e desníveis. Isto de modo que atendam aos requisitos propostos do projeto e com consciência de quem por esta optar, que as medidas possuem variações em relação à medida em campo. As análises das discrepâncias entre as medidas observadas, no ortomosaico e em campo por meio do posicionamento RTK, realizadas neste estudo enfatizam que, há diferenças entre observações realizadas por levantamentos Fotogramétricos e Geodésicos, e que estas não podem ser ignoradas.

Portanto, com o referente trabalho foi possível analisar que os Levantamentos Geodésicos e a Fotogrametria são ciências que abordam técnicas de levantamento que se complementam, uma técnica ou método não inviabiliza o outro. A Fotogrametria proporciona um volume de dados maior de pontos XYZ, além de otimizar em termos de tempo o levantamento em campo em relação ao Levantamento Geodésico, que serve tanto para obtenção de pontos para serem utilizados como apoio e controle, a fim para melhorar a qualidade posicional dos dados fotogramétricos obtidos com RPA como permite a aquisição de informações em regiões que o equipamento aéreo não tem acesso, por exemplo. Ambas são aliadas na obtenção de informações sobre a superfície terrestre. Na engenharia, a utilização de metodologias e equipamentos em conjunto, favorece a otimização de serviços e produtos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se efetuar análises e estudos semelhantes com:

Variação na dimensão e geometria da área de estudo;

Variação na composição da área de estudo, em uma região menos antropizada, uma região rural por exemplo.

Utilização de outros RPAs; e

Utilizar outros softwares de processamento.

REFERÊNCIAS

- ASPRS. **Guidelines for Procurement of Professional Aerial Imagery, Photogrammetry, Lidar and Related Remote Sensor-based Geospatial Mapping Services**. 2009. Disponível em: http://www.asprs.org/society/committees/standards/Procurement_Guidelines_w_accompanying_material.pdf Acesso em: 17 abr. 2022
- AGISOFT. Agisoft Metashape **User Manual Professional Edition, Version 1.7**. 2021 Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_7_en.pdf Acesso em: 17 abr. 2022
- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998.
- CAMPUSMAP. Campanha 1. Disponível em: <https://campusmap.ufpr.br/map/php/index.php#> Acesso em: 17 abr. 2022
- CAO, C., LEE, X., AND XU, J. **Positional and Dimensional Accuracy Assessment of Drone Images Geo-referenced with Three Different GPSs**. vol. 2017.
- COELHO JÚNIOR, J. M.; ROLIM NETO, F. C.; ANDRADE, J. DA S. C.O. **Topografia geral**. Recife : EDUFURPE, 2014. Disponível em: https://repository.ufrpe.br/bitstream/123456789/2418/1/livro_topografiaGeral.pdf Acesso em: 17 abr. 2022
- CORRÊA, I. C. S.; RIBEIRO, R.DA R.; WESCHENFESTER, J. **Museu de Topografia Prof. Laureano Ibrahim Chaffe: 25 anos a Serviço da Ciência: 1996 – 2021**. IGEO/UFRGS. 2021. Porto Alegre. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/220738/001125419.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17 abr. 2022
- COSTA, G. C. C.; SILVA, D.C. **PRÉ-SINALIZAÇÃO DE PONTOS DE APOIO EM AEROFOTOGRAMETRIA COM CÂMERAS DE PEQUENO FORMATO**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 06- 09 de maio de 2012. Disponível em: https://labtopope.webnode.com/files/200000593-a3902a48c0/190_4.pdf . Acesso em: 17 abr. 2022.
- CUNHA, M. J. P. **Incra valida levantamentos com Drones para Georreferenciamento**. [Entrevista concedida a MundoGeo] 2017. Disponível em: <https://mundogeo.com/2017/11/20/incra-valida-levantamentos-com-drones-para-georreferenciamento/>. Acesso em: 17 abr. 2022.
- DAI, L.; WANG, J.; RIZOS, C.; HAN, S. **Predicting atmospheric biases for realtime ambiguity resolution in GPS/GLONASS reference station networks**. Journal of Geodesy, Berlin v. 76 n°11/12, p.617-628, 2003.
- DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Voos de VANT (drones). Entenda Melhor!** 12 jan. de 2015. Disponível em: https://www.decea.mil.br/?i=midia-e-informacao&p=pg_noticia&materia=autorizacoes-para-voos-de-vant-entenda-melhor. Acesso em 17 abr. 2022.
- DOMPIERI M. H. G; SILVA, M.A. S.; NOGUEIRA JÚNIOR, L. R. **Sistemas de Referência Terrestre e Posicionamento por Satélite**. Embrapa. 2015. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142335/1/Doc-197.pdf> Acesso em: 17 abr. 2022
- ELLERES, F. A. P. **QPLANNER: MÓDULO PARA PLANEJAMENTO DE VOO NO SOFTWARE QGIS**. 2019. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1365/3/Qplanner%20-%20M%c3%bdulo%20para%20planejamento%20de%20voo%20no%20software%20Qgis.pdf> Acesso em: 17 abr. 2022
- FRANCISCHETT, M. N. **A cartografia no ensino de geografia: a aprendizagem mediada**. Cascavel: EDUNIOESTE, 2004. Disponível em: <http://www.bocc.ubi.pt/pag/francischett-mafalda-representacoes-cartograficas.html#foot1244> Acesso em: 17 abr. 2022.

FIGUEIREDO, E.O., FIGUEIREDO, S. M. DE M. **Planos de Voo Semiautônomos para Fotogrametria com Aeronaves Remotamente Pilotadas de Classe 3**. Circular Técnica 75. Rio Branco, AC. Novembro, 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/187874/1/26750.pdf> Acesso em: 17 abr. 2022.

GRAÇA. N. L. S. de S. **Estudo Da Influência Da Geometria De Voo Na Obtenção De Produtos Cartográficos Empregando Recobrimento Aéreo Com Vant E Técnica Fotogramétrica Sfm**. 2019. 240 f. Tese (Doutorado em ciências geodésias). UFPR, 2019. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/64082/R%20-%20T%20-%20NIARKIOS%20LUIZ%20SANTOS%20DE%20SALLES%20GRACA.pdf?sequence=1&isAllowed=y> . Acesso em: 17 abr. 2022

KRUGGER. P. C. **Curso De Georreferenciamento De Imóveis Rurais -Modalidade Aperfeiçoamento em Ead (Ensino A Distância)**. Apostila de Posicionamento por Satélites –Módulo II. 2004.

MARQUES. H. A. **Ppp Em Tempo Real Com Estimativa Das Correções Dos Relógios Dos Satélites No Contexto De Rede Gns**. 2012. 228 f. Tese (Doutorado em Ciências Cartográficas) - CAMPUS DE PRESIDENTE PRUDENTE, UNESP, 2012. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/100256/marques_ha_dr_prud.pdf?sequence=1&isAllowed=y Acesso em: 17 abr. 2022

MIRANDA, M. P. **Inspeção e monitoramento de obra civil com drone**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharel em Engenharia Civil. Faculdade Presidente Antônio Carlos De Conselheiro Lafaiete. Conselheiro Lafaiete. 2020. Disponível em: <https://ri.unipac.br/repositorio/wp-content/uploads/taican-items/282/106058/TCC-FINAL-MARIANA-PAULA-MIRANDA-28-06-2020.pdf> Acesso em: 17 abr. 2022

OLIVEIRA, J. V. M.; NUNES, P. A. **Topografia a e Georreferenciamento**. Londrina : Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. Disponível em: http://cm-kl-content.s3.amazonaws.com/201801/INTERATIVAS_2_0/TOPOGRAFIA_E_GEOREFERENCIAMENTO/U1/LIVRO_UNICO.pdf Acesso em: 17 abr. 2022

MITISHITA et. al. **O Uso De Veículos Aéreos Não Tripulados (Vants) Em Aplicações De Mapeamento aerofotogramétrico**. Programa de Pós – Graduação em Ciências Geodésicas. UFPR. SIMEPAR 2014. Disponível em: <https://docplayer.com.br/10616752-O-uso-de-veiculos-aereos-nao-tripulados-vants-em-aplicacoes-de-mapeamento-aerofotogrametrico.html> Acesso em: 17 abr. 2022

NBR 13133/94 1994. **Execução de Levantamento Topográfico**. 1994

ROUSSEUW, P. J. E ZOMEREN, B. C. **Unmasking multivariate outliers and leverage points**. Journal of the American Statistical Association, 85,633-651. 1990 Disponível em <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01621459.1990.10474920>. Acesso em: 17 abr. 2022

SILVA. D. C. da,. TOONSTRA. G.W.A. SOUZA. H. L. S. PERREIRA. T. A. J. **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. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Daniel-Silva-66/publication/316527115_QUALIDADE_DE_ORTOMOSAICOS_DE_IMAGENS_DE_VANT_PROCESSADOS_COM_OS_SOFTWARES_APS_PIX4D_E_PHOTOSCAN/links/590240c94585156502a2fce3/QUALIDADE-DE-ORTOMOSAICOS-DE-IMAGENS-DE-VANT-PROCESSADOS-COM-OS-SOFTWARES-APS-PHX4D-E-PHOTOSCAN.pdf Acesso em: 17 abr. 2022

SOUZA. E.M. de, PAGAMISSE, A. , MENEGUETTE Jr. M., MONICO . J.F.G. **Processamento de Sinais com Wavelets : Redução do Efeito do Multicaminho do Sinal GPS**. Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP, 19060-900 Presidente Prudente, SP, Brasil. Disponível em: <https://tema.sbmec.org.br/tema/article/view/316> Acesso em: 17 abr. 2022

SOUZA, M. **Paraná tem quase 6 mil drones registrados e autorizados a voar, segundo Anac.** G1. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2022/01/29/parana-tem-quase-6-mil-drones-registrados-e-autorizados-a-voar-segundo-anac.ghtml> Acesso em: 17 abr. 2022.

TOMMASELLI, A. M. G.; SILVA, J.F.C da; HASEGAWA, J. K.; GALO, M.; DAL POZ, A. P. **Fotogrametria: aplicações a curta distância** IN: MENEGUETE Jr, M.; ALVES, N. (Organizadores), FCT 40 anos, Perfil Científico – Educacional, Presidente Prudente SP, p. 147 - 149, 1999.

UFSC. **News em Topografia ... Fotogrametria ... Geodésia ... Cartografia.** 2015. Disponível em: <https://topografia.paginas.ufsc.br/news-em-topografia/> Acesso em: 17 abr. 2022

APÊNDICES

A seguir, para melhor compreensão das áreas citadas no texto, como ocorreu o levantamento e situações citadas, seguem os mapas ilustrativos:

- A) Área de estudo
- B) Planejamento dos pontos de apoio
- C) Nomenclatura dos pontos
- D) Pontos rastreados
- E) Polígono Shape File
- F) Análise da região ponto B1 e B11

677700.0

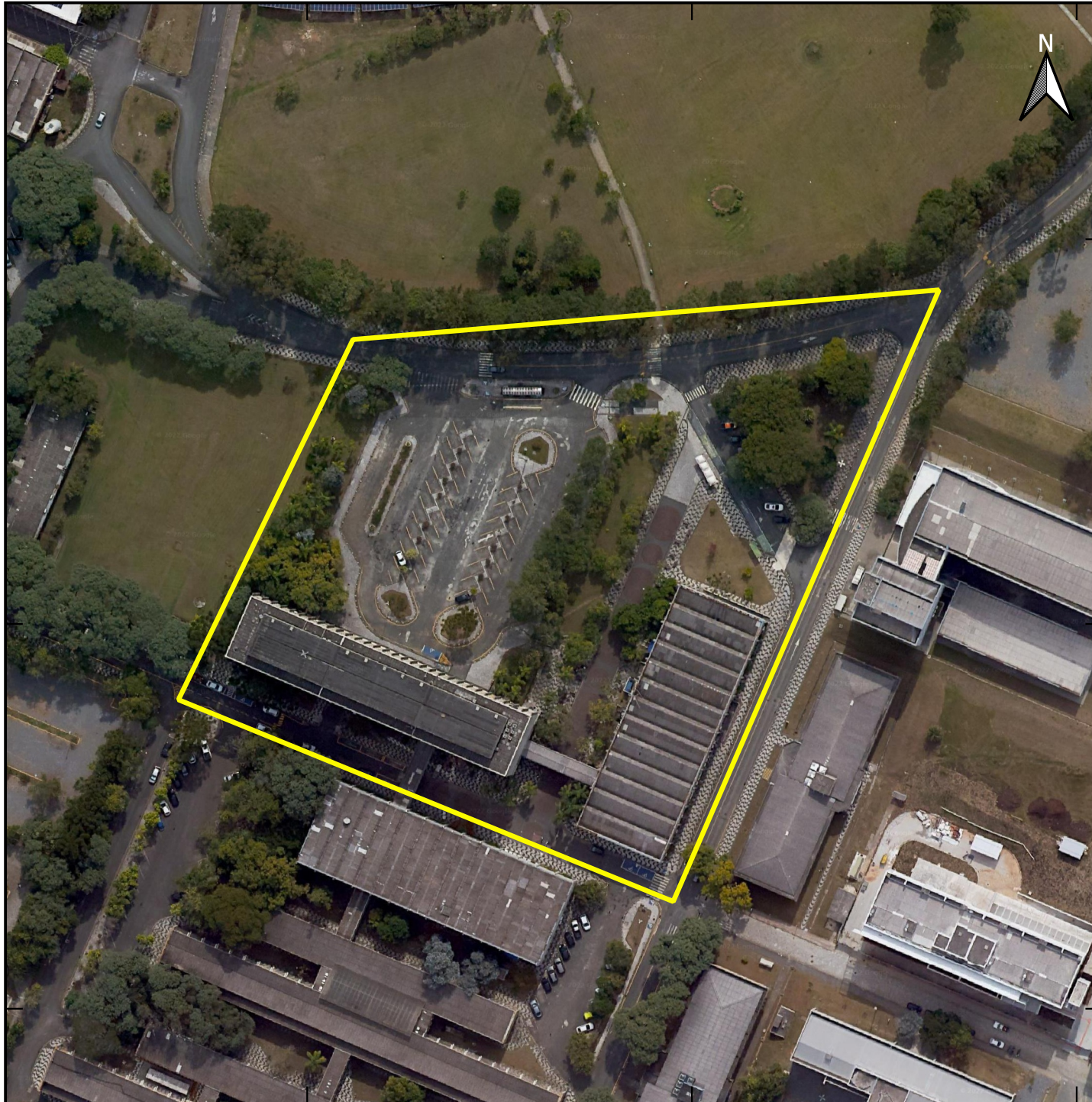
677800.0

677900.0

7184100.0

7184000.0

7183900.0



TCC – Área de Estudo

 Polígono da Área de Interesse

0 30 60 m



Escala 1:1500

Centro Politécnico UFPR
Curitiba – PR
Imagens Google Satélite
SIRGAS 2000 UTM 22S
Elaborado por Talita Mikus
Ano 2022



677700.0

677800.0

677900.0

7184100.0

7184000.0

7183900.0



TCC - PLANEJAMENTO DOS PONTOS DE APOIO

✕ PONTOS DE APOIO

0 30 60 m



Escala 1:1500

Centro Politécnico UFPR
Curitiba - PR
Imagens Google Satélite
SIRGAS 2000 UTM 22S
Elaborado por Talita Mikus
Ano 2022



677700.0

677800.0

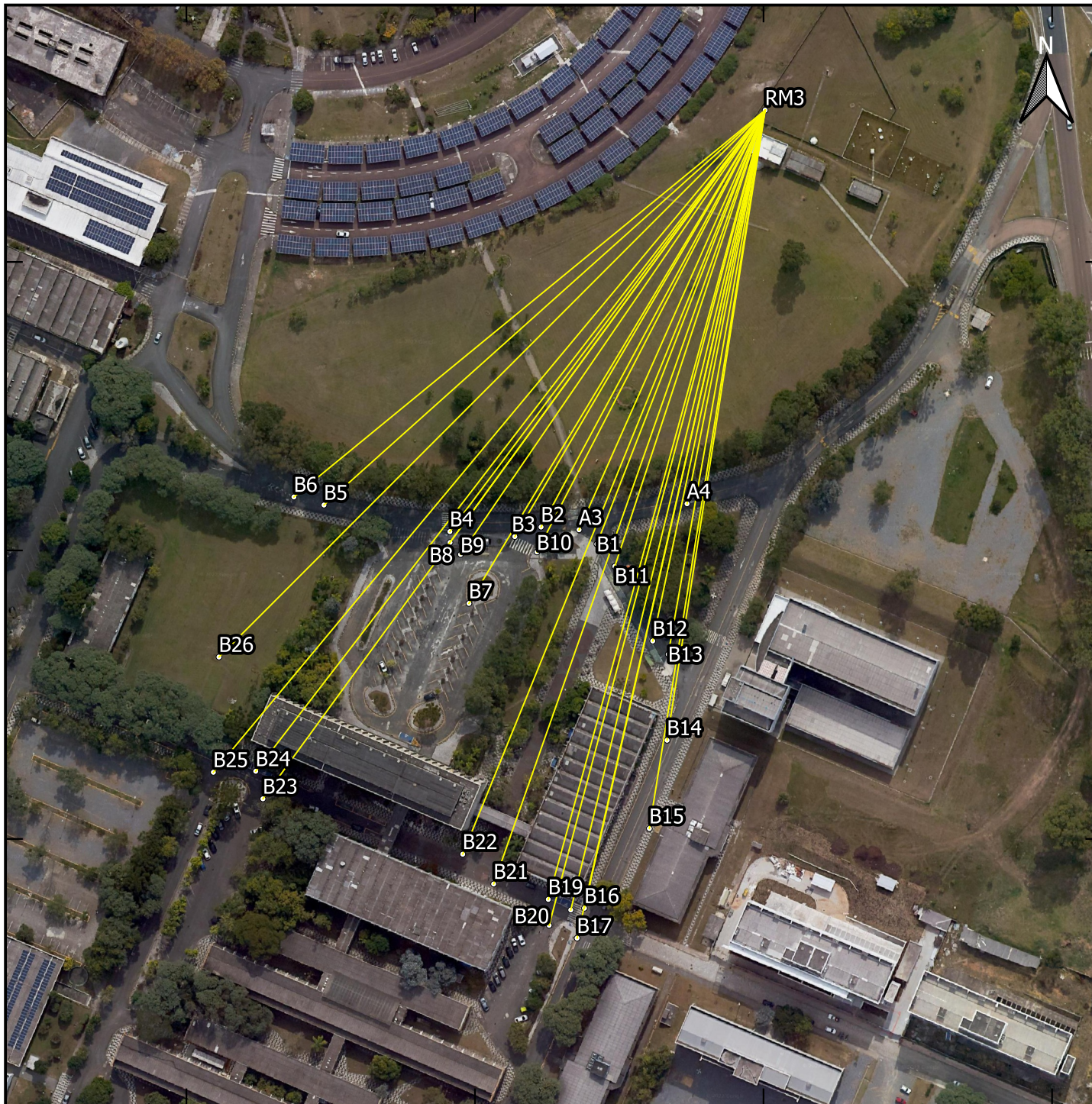
677900.0

678000.0

7184200.0

7184100.0

7184000.0



TCC-PONTOS RASTREADOS

- VETOR DO RASTREIO
- PONTOS COLETADOS

0 30 60 m



Escala 1:2000

Centro Politécnico UFPR
 Curitiba - PR
 Imagens Google Satélite
 SIRGAS 2000 UTM 22S
 Elaborado por Talita Mikus
 Ano 2022



677700.0

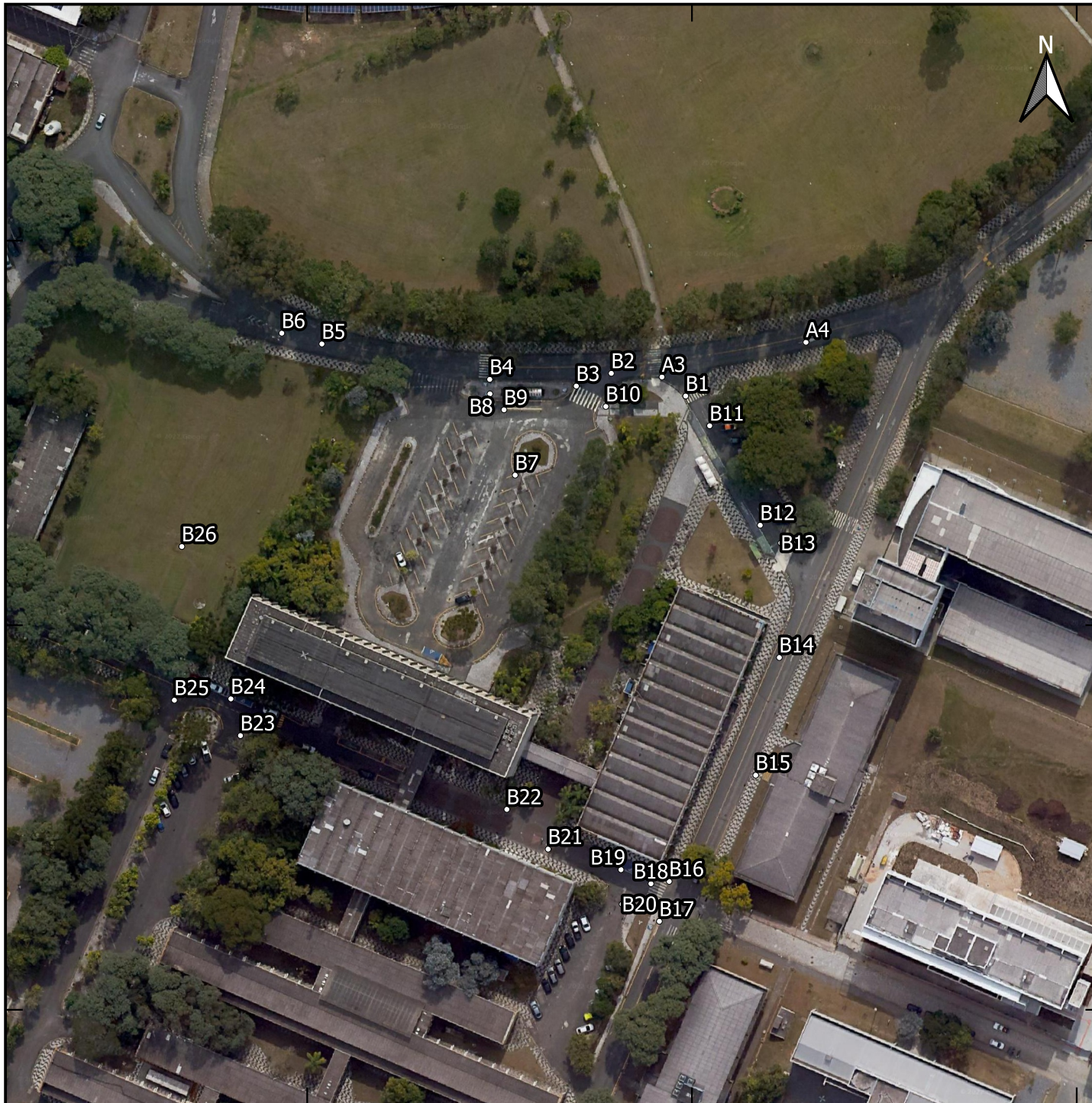
677800.0

677900.0

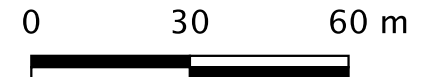
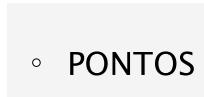
7184100.0

7184000.0

7183900.0



TCC – NOMECLATURA DOS PONTOS



Escala 1:1500

Centro Politécnico UFPR
 Curitiba – PR
 Imagens Google Satélite
 SIRGAS 2000 UTM 22S
 Elaborado por Talita Mikus
 Ano 2022



677700.0

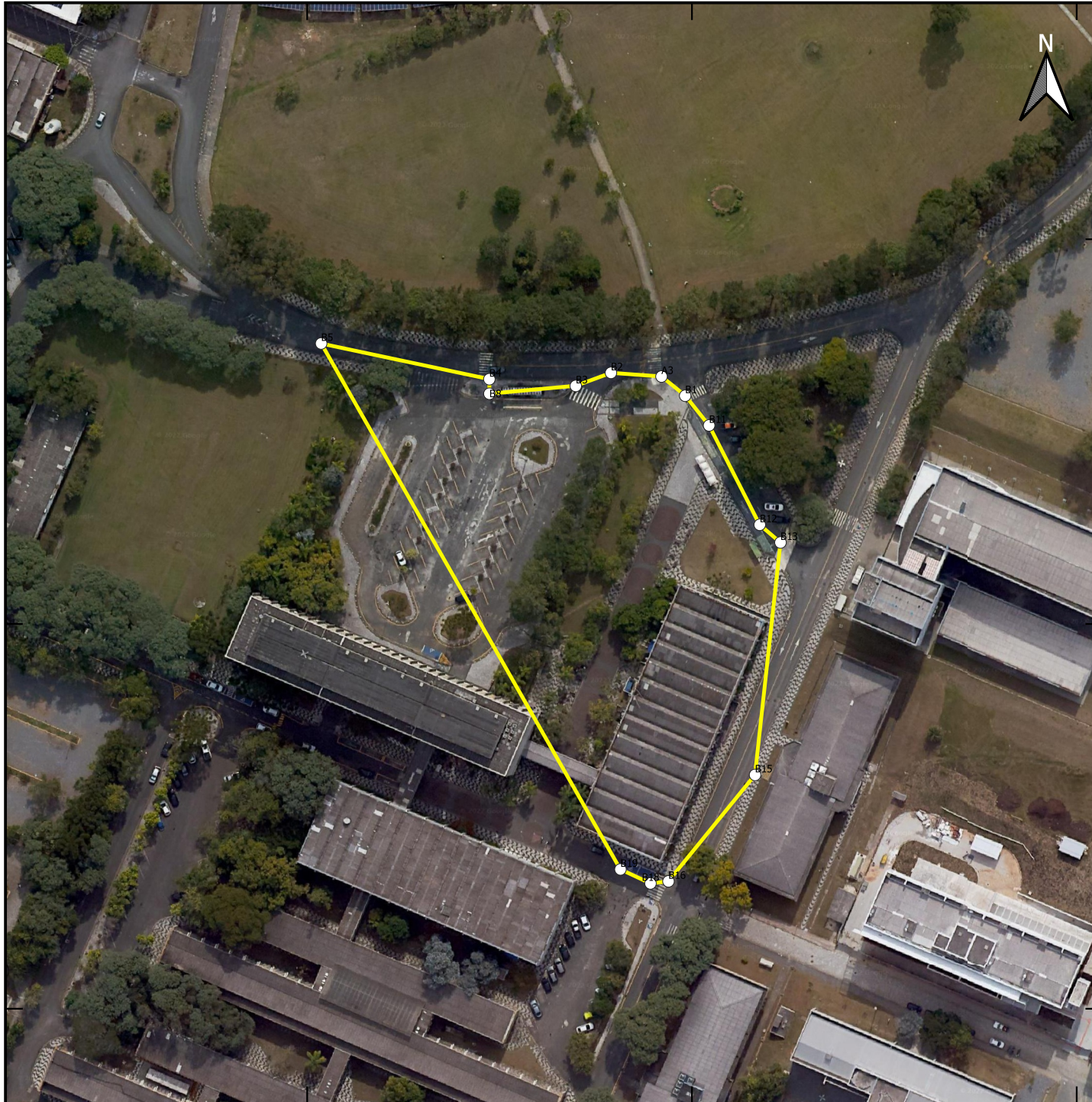
677800.0

677900.0

7184100.0

7184000.0

7183900.0



TCC - POLÍGONO SHAPE FILE

 Polígono da Área de Interesse

 VÉRTICES

0 30 60 m



Escala 1:1500

Centro Politécnico UFPR
 Curitiba - PR
 Imagens Google Satélite
 SIRGAS 2000 UTM 22S
 Elaborado por Talita Mikus
 Ano 2022



677820.0

677850.0

7184100.0

7184070.0



TCC - Análise da região ponto B1 e B11

○ PONTOS COLETADOS

0 5 10 m



Escala 1:250

Centro Politécnico UFPR
 Curitiba - PR
 Imagens Google Satélite
 SIRGAS 2000 UTM 22S
 Elaborado por Talita Mikus
 Ano 2022

