

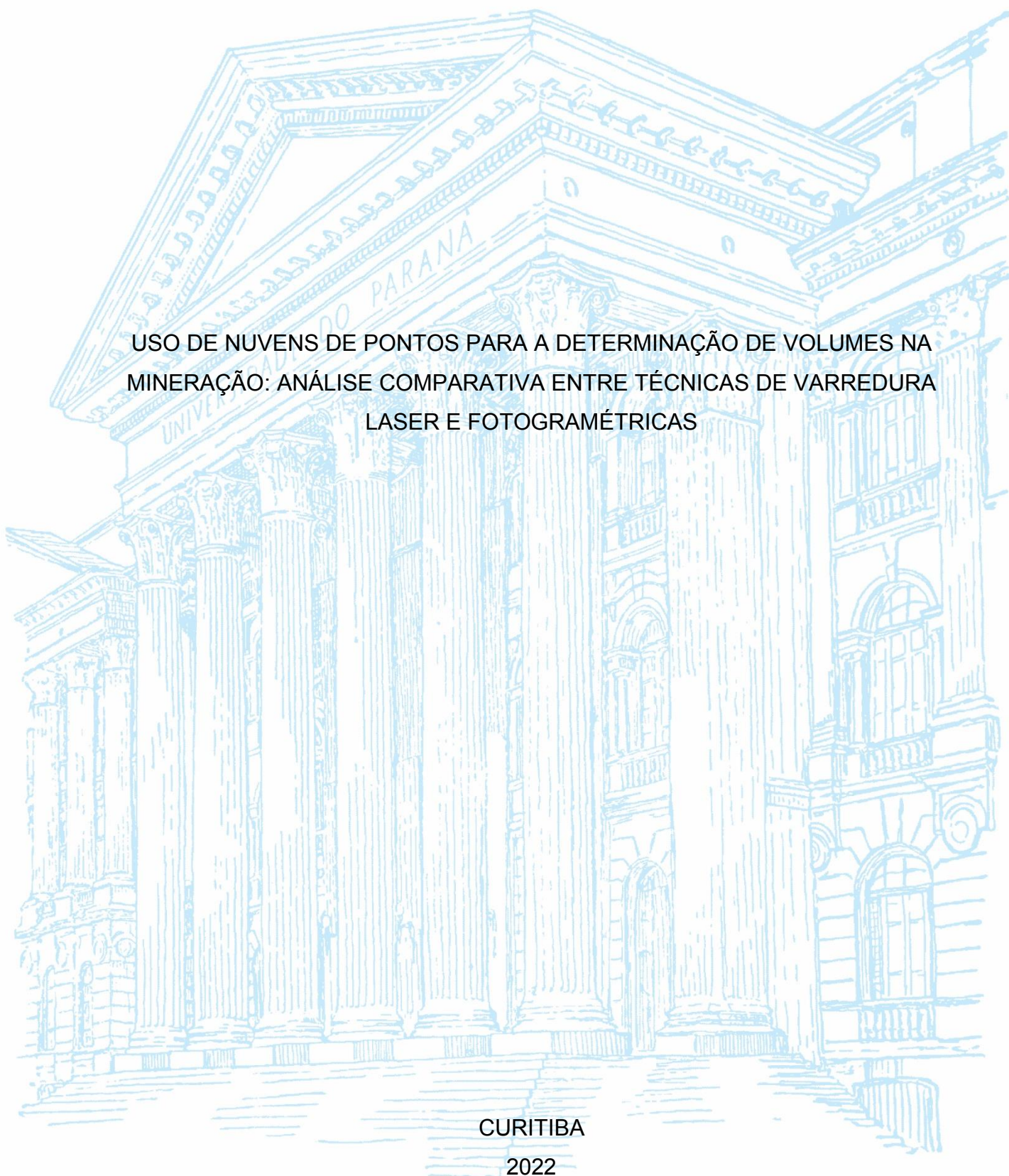
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL PEREIRA WEIRICH GOMES DOS SANTOS

USO DE NUVENS DE PONTOS PARA A DETERMINAÇÃO DE VOLUMES NA
MINERAÇÃO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TÉCNICAS DE VARREDURA
LASER E FOTOGRAMÉTRICAS

CURITIBA

2022



GABRIEL PEREIRA WEIRICH GOMES DOS SANTOS

USO DE NUVENS DE PONTOS PARA A DETERMINAÇÃO DE VOLUMES NA
MINERAÇÃO: ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TÉCNICAS DE VARREDURA
LASER E FOTOGRAMÉTRICAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura do Setor Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientadores:

Prof. Dr. Daniel Arana

Prof. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga

Eng. M.Sc. Samir de Souza Oliveira Alves

CURITIBA

2022



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

TERMO DE APROVAÇÃO

GABRIEL PEREIRA WEIRICH GOMES DOS SANTOS

USO DE NUVEM DE PONTOS PARA DETERMINAÇÃO DE VOLUMES NA MINERAÇÃO:
ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE TÉCNICAS DE VARREDURA LASER E
FOTOGRAMAMÉTRICAS

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, foi APROVADO como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Prof Dr. Daniel Arana

Orientador(a) – Departamento de Geomática, UFPR

Msc. Pedro Vogt

Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar

Prof. Dr. Alex Soria Medina

Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 19 de setembro de 2022.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela oportunidade da vida, da saúde, do estudo. Aos Orientadores Prof. Dr. Daniel Arana, Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga e Eng. M.Sc. Samir de Souza Oliveira Alves por todas as orientações, conselhos, ensinamentos e contribuições para o desenvolvimento do projeto. A todos os professores da graduação que contribuíram com a minha formação e em especial ao Prof. Dr. Daniel Rodrigues dos Santos, Prof. Dra. Érica Baluta e Prof. Dra. Regiane Dalazoana aos quais me auxiliaram e incentivaram a sempre ir em frente em um momento difícil. A toda minha família, em especial meus pais Cláudio Roberto Weirich Gomes dos Santos e Lilian Pereira Weirich Gomes dos Santos e irmão Guilherme Pereira Weirich Gomes dos Santos pela criação, incentivo, apoio e amor incondicional. Aos meus Avós Francisco Gomes dos Santos, Albari de Jesus Pereira, Maria da Luz Pereira e Vitória Weirich (in memorian). A Bruna Borgia de Andrade por todo amor, carinho e compreensão ao longo dos anos. Ao Dimas e Rosane Bisson aos quais tenho enorme admiração e respeito, pela amizade, ajuda, aconselhamentos e por sempre me incentivar a evoluir. Ao Josemar e Waldirene Gusso, por todo o apoio e incentivo ao longo dos anos. Ao meu amigo Alexandre Cortes e sua esposa Cristiane pelos conselhos e amizade ao longo dos anos. Ao Engenheiro Cartógrafo José Roberto da Conceição, por todas as oportunidades, ensinamentos, conselhos e principalmente pela amizade e apoio. Ao Dr. Nelson Maoski, por sempre me incentivar a crescer. A Engenheira Cartógrafa Lígia Betinni pela primeira oportunidade de estágio na Companhia Paranaense de Energia e todo o apoio e incentivo ao longo do curso. Ao Adilson Junior Campos por todos os conselhos e apoio. Ao Marcelo Soaki pela força, amizade e incentivo e evoluir. Aos meus amigos Pedro Henrique Vogt Silveira e Ana Carolina por todo o auxílio, incentivo e amizade viabilizar este projeto. Ao Luiz Kasczezen pela amizade e carinho. A Precisa Topografia & Engenharia, em especial ao Marcos Fernando Straube e Carlos Sielski Marquardt pela amizade, todos os ensinamentos e todo o auxílio prestado para a conclusão deste projeto. Aos Engenheiros Cartógrafos Arthur Meneses e Hilton Masuko pela contribuição no período em que trabalhamos juntos. Ao Dyenison Dalpiaz e João Pedro por toda a amizade, conselhos e principalmente pela ajuda na minha formação e principalmente neste trabalho de conclusão de curso. A Agda Marina, pela ajuda em campo na execução deste trabalho. A Companhia de Saneamento do Paraná por todas as

oportunidades de crescimento e aprendizado. Aos meus amigos que tenho como irmãos Christian Souza e Larissa Guimarães, Gabriel Gusso e Gabriela Rocha, Guilherme Prólico e Luiz Guilherme Tatch pela amizade e carinho ao longo dos anos. Aos professores do Curso Técnico em Segurança do Trabalho Marcio Martins, Edésio Golvea Neto, Franciele Scorsin e Luis Guilherme Beltrami por seus conselhos, ensinamentos e principalmente pelos incentivos ao longo dos anos. Aos amigos Carlos e Regina Daldegan, Talles de Jesus, Joelson Lima, Gabriel Bregolin, Leonardo Oliveira, Giordano Carraro, Paulo Henrique, Claudio Potulski, Lucas Soero, Evando Dias, Minas Markov, Rhuan Felipe, Matheus Ricardo, Gabriele Tijolli (in memorian), Giovane Hain, Bruno Hain, Angela Hain, André Bisson, Fernando, Eduardo Becker, Heric, Elton, Henrique Domingues, Lucas Fernando, André Squeano, Geovani Siqueira, André Straube, Bruno Chiarello, Rogério, Gabriel Schueda e Davi Fagundes pela parceria e amizade. A todos, que de alguma forma contribuíram com meu desenvolvimento e formação.

“que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível.”
(Charles Chaplin.)

RESUMO

Na Mineração, conhecer a superfície de extração é essencial, pois a quantificação dos elementos demonstrará a viabilidade de extração e a empregabilidade dos elementos extraídos. O reconhecimento da superfície se faz necessário desde o momento de pesquisa até os momentos de operação da extração mineral, pois através de tal reconhecimento é possível quantificar o volume de material retirado e até mesmo o que ainda é passível de retirada, sendo estes fatores ligados ao custo operacional da mina. Portanto, tem-se a necessidade de utilizar uma técnica para a quantificação do volume de forma que caracterize a superfície com riqueza nos detalhes, a fim de ter dados cada vez mais precisos. Neste contexto, para o estudo em questão, foram aplicadas duas técnicas modernas de levantamento da superfície, sendo elas: Aerolevantamento com VANT e a Varredura através de laser scanner, analisando a viabilidade de uso a partir do valor numérico de volume obtido por cada técnica. Com a metodologia aplicada foi possível obter uma nuvem de pontos para cada técnica otimizando a extração de informações. Nas comparações realizadas o volume obtido através do Aerolevantamento utilizando pontos de apoio apresentou uma diferença de 5,11% em relação Aerolevantamento sem pontos de apoio. Por outro lado a comparação entre a varredura laser scanner e o Aerolevantamento com pontos de apoio mostrou uma diferença de 0,54% no volume. Estes resultados indicam que é recomendado a utilização do Aerolevantamento com pontos de apoio para o cálculo de volume na mineração.

Palavras-chave: Engenharia. Agrimensura. Técnicas de levantamento. Mineração. Técnicas Modernas.

ABSTRACT

In mining, knowing the surface of extraction is essential, as the quantification of the elements shows the viability of extraction and the applicability of the elements extracted. The survey of the surface has been required since the beginning of the research until the moment of the mineral extraction operation, as through such a survey it is possible to quantify the volume of material extracted and even what is capable of being obtained, and all this is linked to the operational costs of the mine. Thus, it is necessary to use a technique of volume quantification in a way that shows an appropriate quantity of detail with the intent to gather more precise data. In the context of this study, two modern techniques of surface survey have been applied, those being: aerial survey with UAV and survey through laser scanner, analyzing the viability of use from the numerical volume value obtained by each technique. With the methodology applied, it was possible to obtain a cloud of points for each technological option, optimizing the extraction of data. In the applied comparison, the product obtained through Aerial Survey utilizing support points shows greater quality of results in relation to Aerial Survey without support points and laser scanner survey. In the performed comparisons the volume obtained through the aerial support using support points presented a difference of 5.11% in relation to the aerial lifting. On the other hand, the comparison between a laser scanner and the Aerial Survey ground points supports points showed a difference of 0.54% in volume. These indicate that the use of Aerial Survey with fulcrum points is recommended for volume calculation results in mining.

Key-words: Engineering. Land Survey. Surveying Techniques. Mining. Modern Techniques.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - MINA À CÉU ABERTO	16
FIGURA 2 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ, COM AS PRIMEIRAS VILAS FORMADAS EM FUNÇÃO DOS GARIMPOS. ..	19
FIGURA 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO.....	20
FIGURA 4 - PEDREIRA DO ORLEANS, IMAGEM TOMADA EM JULHO DE 2020.	21
FIGURA 5 - PEDREIRA DO ORLEANS, IMAGEM TOMADA EM JULHO DE 2022.	21
FIGURA 6 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	22
FIGURA 7 - LASER SCANNER LEICA BLK360.....	23
FIGURA 8 - AERONAVES UTILIZADAS.....	24
FIGURA 9 – FLUXOGRAMA DA METODOLOGIA	26
FIGURA 10 - Pontos de Apoio Planejados.....	28
FIGURA 11 – ALVO DE PVC.....	28
FIGURA 12 - PLANEJAMENTO DO POSICIONAMENTO DOS ALVOS.....	29
FIGURA 13 - POSICIONAMENTO IMPEDIDO	30
FIGURA 14 - MARCO ENCONTRADO E OCUPADO.....	31
FIGURA 15 - VISTA A PARTIR DO MARCO OCUPADO.....	32
FIGURA 16 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA MINA.....	33
FIGURA 17 - EXEMPLO POSICIONAMENTO RTK.....	34
FIGURA 18 - INTERFACE CHC GEO OFFICE.....	35
FIGURA 19 - INTERFACE IBGE-PPP	35
FIGURA 20 - ARQUIVOS PROCESSADOS	36
FIGURA 21 - CONFERÊNCIA DE POSICIONAMENTO DA BASE	37
FIGURA 22 - RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO IBGE-PPP.....	38
FIGURA 23 - CONFERÊNCIA DOS PONTOS COLETADOS	39
FIGURA 24 - GRÁFICO DE VARIAÇÃO DO RELEVO	40
FIGURA 25 - PLANEJAMENTO DE VOO	42
FIGURA 26 - EXEMPLO DE ÁREA COM GEO FENCE.....	43
FIGURA 27 - ÁREA DO PROJETO SEM GEO FENCE	43
FIGURA 28 - ORIENTAÇÃO UTILIZADA NO VOO LIVRE.....	44
FIGURA 29 - CARACTERIZAÇÃO DAS BERMAS E TALUDES.....	45
FIGURA 30 – PRINCÍPIO DA COLINEARIDADE APLICADA A SENSORES LINEARES PUSHBROOM	46

FIGURA 31 - GEOLOCALIZAÇÃO DIRETA DAS IMAGENS	48
FIGURA 32 - PONTOS DE APOIO UTILIZADOS NA FOTOTRIANGULAÇÃO	49
FIGURA 33 - TIE POINTS FOTOTRIANGULAÇÃO INDIRETA	49
FIGURA 34 - TIE POINTS FOTOTRIANGULAÇÃO - DIRETA.....	50
FIGURA 35 - ÁREA INACESSÍVEL	52
FIGURA 36 - ÁREA DE VARREDURA LASER.....	52
FIGURA 37 - ALVOS POSICIONADOS	53
FIGURA 38 - NUVENS DE PONTOS NO SISTEMA LOCAL	55
FIGURA 39 - REGISTRO TOTAL DA NUVEM DE PONTOS	56
FIGURA 40 - IMAGEM 360°.....	57
FIGURA 41 - CAMINHAMENTO LAPENTOR	57
FIGURA 42 - RECORTE PARA CÁLCULO DE VOLUME.....	59
FIGURA 43 - VISUALIZAÇÃO E ÁREA DE CÁLCULO	60
FIGURA 44 – VOLUME DA ÁREA PROVENIENTE DO AEROLEVANTAMENTO...	61
FIGURA 45 - VOLUME DA ÁREA ATRAVÉS DA VARREDURA LASER SCANNER	61
FIGURA 46 - PRECISÃO ESPERADA PARA O LEVANTAMENTO.....	63
FIGURA 47 - OBSTRUÇÃO DO IMAGEAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO OCASIONADA PELA ESTRUTURA DA AERONAVE	65
FIGURA 48 - LOCALIZAÇÃO E NÚMERO DE IMAGENS SOBREPOSTAS EM CADA PIXEL.....	66
FIGURA 49 - NUVEM DE PONTOS A PARTIR DO GEORREFERENCIAMENTO INDIRETO.....	67
FIGURA 50 - ORTOMOSAICO - AEROLEVANTAMENTO COM PONTOS DE APOIO	67
FIGURA 51 - MODELO TRIDIMENSIONAL GEORREFERENCIADO INDIRETAMENTE.....	68
FIGURA 52 - NUVEM DE PONTOS A PARTIR DO GEORREFERENCIAMENTO DIRETO	69
FIGURA 53 - ORTOMOSAICO - AEROLEVANTAMENTO SEM PONTOS DE APOIO	70
FIGURA 54 - MODELO TRIDIMENSIONAL GEORREFERENCIADO DIRETAMENTE	70
FIGURA 55 - NUVEM REGISTRADA	72

FIGURA 56 - QR CODE IMERSÃO VIRTUAL.....	73
FIGURA 57 - QR CODE VISUALIZAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS.....	73

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CÁLCULO GSD	41
TABELA 2 - DADOS VARREDURA LASER SCANNER BLK 360	51
TABELA 3 - ESPECIFICAÇÕES CAMERA LEICA BLK 360	54
TABELA 4 - BASE PROCESSADA	62
TABELA 5 – COORDENADAS DOS PONTOS DE APOIO E RESPECTIVAS PRECISÕES	63
TABELA 6- INFORMAÇÕES REFERENTES A REALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAFÉTRICOS	64
TABELA 7 - DISCREPÂNCIAS OBTIDOS NOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO	68
TABELA 8 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBTIDOS	71
TABELA 9 - VOLUME ENTRE OBTIDO PARA CADA PROCESSAMENTO	73
TABELA 10 - VOLUMES DERIVADOS DAS NUVENS DE PONTOS	74
TABELA 11 - CUSTO DO LEVANTAMENTO POR VARREDURA LASER TERRESTRE	75
TABELA 12- CUSTO DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFÉTRICO COM PONTOS DE APOIO	76
TABELA 13 - CUSTO DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFÉTRICO SEM PONTOS DE APOIO	76

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

GEENG	- Laboratório de Geodésia Aplicada à Engenharia - UFPR
GNSS	- Global Navigation Satellite System
POE	- Parâmetro de orientação exterior
POI	- Parâmetro de orientação interior
VANT	- Veículo aéreo não tripulado
RPA	- Aeronaves remotamente pilotadas
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDS	- Modelo Digital de Superfície
PPP	- Processamento por Ponto Preciso
GPS	- Global positioning system
RPAs	- Remotely Piloted Aircraft System
RTK	- Real time kinematic
TCC	- Trabalho de Conclusão de Curso
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
PR	- Paraná
MSC	- Mestre
3D	- Tridimensional
RMS	- Root Mean Square
GSD	- Ground sample distance
GLONASS	- Global Navigational Satellite System
IGS	- International GNSS Service
ITRF	- Sistema de Referência Terrestre Internacional
RINEX	- Receiver Independent Exchange Format
PDF	- Portable Document Format

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ - Somatório de números

ω - Omega

φ - Phi

κ - Kappa

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 JUSTIFICATIVA.....	17
1.2 OBJETIVOS.....	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos	17
2 MATERIAL E MÉTODOS	19
2.1 ÁREA DE ESTUDO	19
2.2 EQUIPAMENTOS E <i>SOFTWARES</i>	22
2.3 METODOLOGIA	25
2.3.1 Levantamento dos pontos de Apoio	27
2.3.2 Levantamento aerofotogramétrico.....	40
2.3.3 Levantamento através de varredura laser scanner terrestre	50
2.3.4 Determinação dos volumes	57
3 RESULTADOS	62
3.1 MODELOS TRIDIMENSIONAIS E NUVENS DE PONTOS.....	62
3.2 CÁLCULO DE VOLUME	73
3.3 CUSTOS.....	75
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	78
REFERÊNCIAS	80
ANEXO 1 – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO COM PONTOS DE APOIO	82
ANEXO 2 – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO SEM PONTOS DE APOIO	93
ANEXO 3 – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO - REGISTRO NUVENS DAS NUVENS DA VARREDURA LASER SCANNER.....	102

1 INTRODUÇÃO

A mineração é um setor importante, visto seu impacto econômico, social e ambiental. Tendo em vista sua importância, a eficiência em sua gestão é primordial, logo tem-se a necessidade do levantamento dos recursos extraídos, suas reservas e informações pertinentes. Dentre as diversas contribuições no setor de mineração, os levantamentos geodésicos e topográficos possibilitam inventariar e acompanhar os avanços na operação.

O local de estudo denominado de Pedreira do Orleans (FIGURA 1) se dedicava a exploração mineral de pedra britada, que são advindos de Rochas para britagem. Este mineral é facilmente encontrado na natureza e atualmente é considerado como o recurso mineral mais abundante disponível.

A pedra britada é o produto resultante da cominuição de rochas e se caracteriza por tamanhos nominais de grãos enquadrados entre 2,4 e 64 mm (ABNT, 2009).

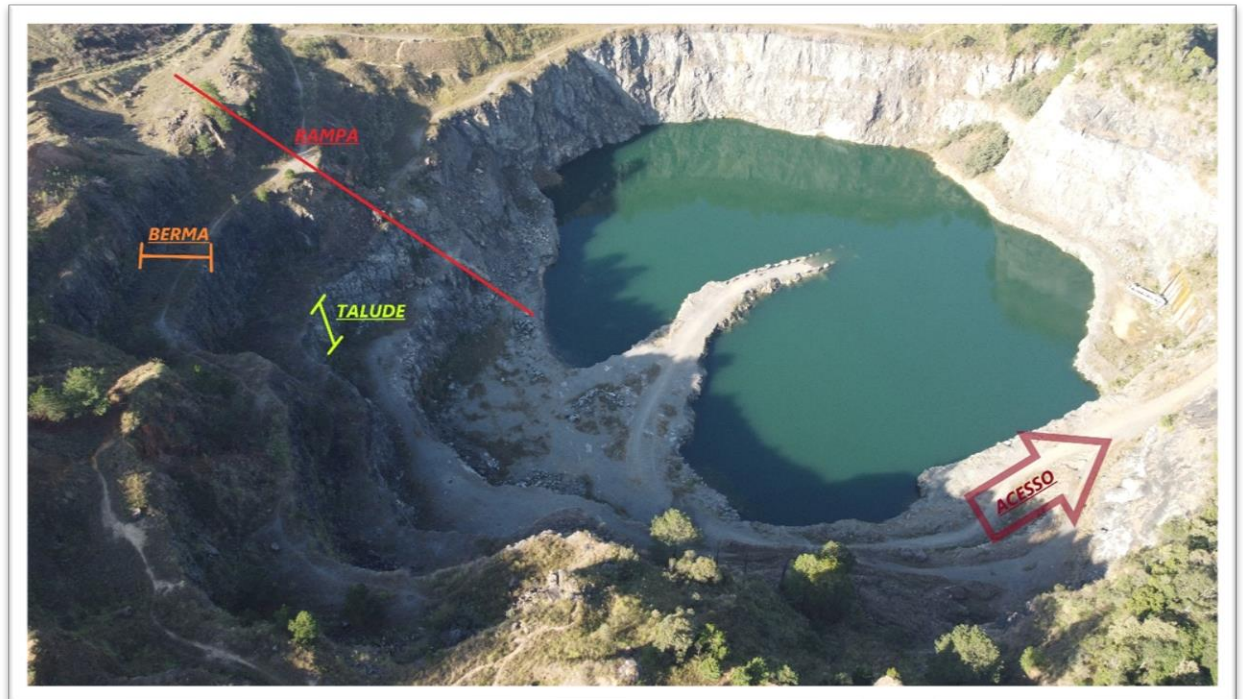
Segundo Bernucci et al. (2008) a exploração de uma pedreira tem como finalidade o desmonte da rocha sã, reduzindo o tamanho do material para a produção de agregados. Este tipo de exploração foi realizado na área de estudo deste trabalho, que é caracterizada como uma mina à céu aberto.

As minas a céu aberto variam muito em termo de tamanho, forma, orientação e profundidade. Entretanto, apresentam certas feições em comum. Assim o corpo mineral é sempre minerado de cima para baixo, geralmente por bancadas. (CURI, 2007, p.94)

O consumo de brita se dá principalmente na indústria da construção civil como na fabricação de concreto, pavimentação, edificações, obras civis (ferrovias, túneis, barragens), obras de infraestrutura (saneamento básico).

Desta forma a tendência de criação de minas ou atividades em andamento são próximas a grandes centros consumidores. Pedreiras para produção de pedra britada costumam ter um longo período de atividade. Existem alguns casos em que elas estão em produção há mais de 30 anos. Muitas vezes sua localização próxima às cidades torna-se um fator positivo.

FIGURA 1 - MINA À CÉU ABERTO



FONTE: O Autor (2022).

Diversas técnicas são atualmente empregadas para a determinação de volume em pedreiras, tais como a topografia convencional, posicionamento geodésico, sensoriamento remoto dentre diversas outras disponíveis no mercado. Neste trabalho foram empregadas duas técnicas modernas para o levantamento, a primeira consiste no Aerolevanteamento com VANT e a segunda na Varredura Laser Scanner. Com a aplicação de cada técnica é possível obter uma nuvem de pontos caracterizando a superfície de interesse, garantindo uma modelagem mais detalhada do objeto de estudo quando comparado a um método de levantamento convencional.

Para a primeira técnica foi analisada a possibilidade da obtenção de dados de forma direta, a partir dos dados de posicionamento no instante da tomada da fotografia provenientes do GNSS interno da aeronave e posteriormente foi comparada com o posicionamento obtido de forma indireta através da técnica de posicionamento RTK, que neste caso apresenta dados mais precisos no posicionamento. O estudo foi realizado em relação a viabilidade da varredura laser scanner com o intuito de melhor caracterização da área.

1.1 JUSTIFICATIVA

De acordo com o Instituto de Desenvolvimento da Mineração (2022), a mineração é considerada como um dos pilares da economia. Segundo o Observatório da Mineração (2022), o ramo atualmente é responsável por movimentar 3,1% do Produto Interno Bruto no Brasil.

Uma gestão eficiente nos locais em que os minérios são extraídos possibilita a otimização dos processos de extração, logística, transporte e desenvolvimento. Utilizar dados e técnicas adequadas contribuem no processo de gestão do setor.

O controle da produção de uma mineradora normalmente se dá pela saída da balança durante a pesagem dos caminhões. Com a topografia da mina é possível validar os dados da balança além de permitir estudos de otimização do local. Segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM), o reconhecimento da topografia do local da mina deve ser realizado obrigatoriamente de forma semestral. Além de atender as exigências do ANM, o processo de reconhecimento permite identificar explorações ilegais, erros ou desvios no estoque e na distribuição do material retirado. Portanto, a topografia deve ser realizado de forma rápida, econômica e caracterizando da melhor maneira possível os elementos da mina.

Diante da necessidade do registro efetivo dos elementos da superfície, a utilização de técnicas modernas de levantamentos é possibilita um alto detalhamento e a rapidez na representação de uma área através das nuvens de pontos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é determinar o volume de extração na mineração a céu aberto a partir da aplicação de técnicas de levantamento de nuvens de pontos, empregando-se aerolevantamento com VANT e varredura a Laser Scanner.

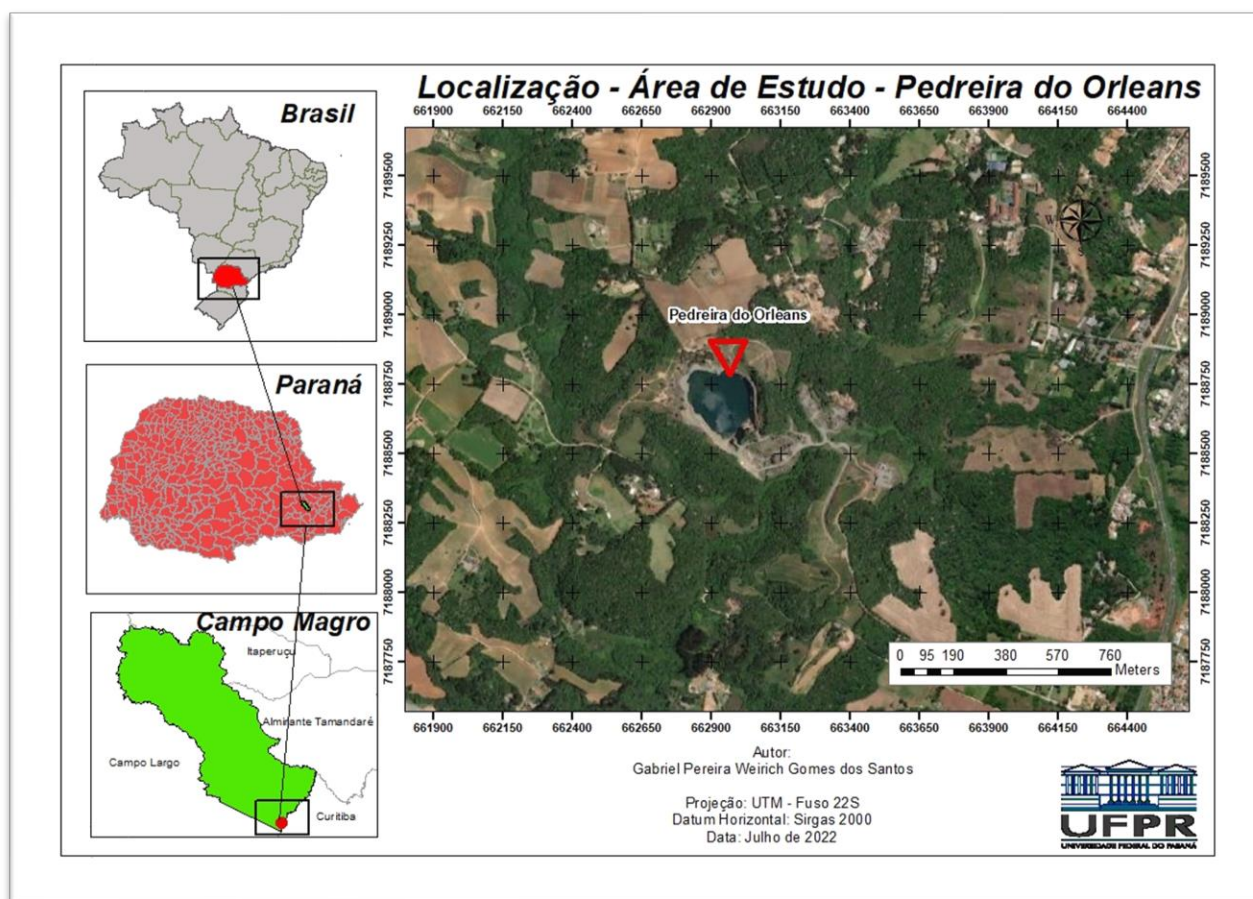
1.2.2 Objetivos específicos

Dentre os objetivos específicos deste trabalho, destaca-se:

- Realizar o levantamento da superfície da Pedreira do Orleans a partir das técnicas de aerolevanteamento utilizando VANT, levantamento utilizando Laser Scanner, e a técnica de posicionamento GNSS RTK;
- Realizar o processamento e análise dos dados obtidos por cada método
- Comparar os dados obtidos a partir da varredura Laser scanner e aerolevanteamento direto com o aerolevanteamento apoiado para a representação dos dados;
- Realizar o cálculo de volume de extração na mineração a partir dos dados obtidos por cada técnica de levantamento;
- Analisar a viabilidade de cada técnica em relação ao seu custo; e
- Gerar a representação gráfica tridimensional da pedreira.

desativada e ser uma propriedade privada, foram realizados bloqueios para evitar acessos de pessoas não autorizadas. A autorização para acesso a mesma foi concebida através do Geólogo e Engenheiro de Minas Msc. Pedro Henrique Vogt Silveira.

FIGURA 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO



FONTE: O Autor (2022).

Desde que foi desativada há 32 anos, a pedreira do Orleans gerou uma coluna de água com 45 metros de profundidade até o ano de 2020. Neste ano perpetuou-se a crise hídrica no Estado do Paraná, abrindo a necessidade de estudos e operações relacionados a pedreira com o intuito de suprir a demanda de fornecimento de água. Na FIGURA 4 é possível visualizar a pedreira antes das medidas tomadas.

FIGURA 4 - PEDREIRA DO ORLEANS, IMAGEM TOMADA EM JULHO DE 2020.



FONTE: Jornal Plural (2020).

Na FIGURA 5 apresenta-se uma imagem tomada da Pedreira do Orleans no dia 27/07/2022, onde é possível visualizar coluna atual de água com 37 metros a menos em relação ao ano de 2020, após a operação de coleta de água realizada pela SANEPAR que extraiu 2,1 milhões de metros cúbicos de água no período de julho a dezembro de 2020, encerrando a retirada de água do local.

FIGURA 5 - PEDREIRA DO ORLEANS, IMAGEM TOMADA EM JULHO DE 2022.



FONTE: O Autor (2022)., imagem no dia do levantamento.

Apresentada a área de estudos, damos prosseguimento com os equipamentos e *softwares* utilizados.

2.2 EQUIPAMENTOS E *SOFTWARES*

Para a realização da campanha foram utilizados um conjunto de materiais e métodos para cada levantamento. A seguir, lista-se os equipamentos, juntamente de seus respectivos acessórios complementares:

a) Receptores GNSS RTK

O conjunto de receptores utilizado foi cedido pela empresa PRECISA TOPOGRAFIA & PROJETOS DE ENGENHARIA. O equipamento é composto de dois receptores, sendo eles uma base do modelo CHC I90 e um rover do mesmo fabricante, denominado de I80 e seus equipamentos periféricos, juntamente da coletora de dados com sistema operacional Android e para o sistema de coleta de dados o *Landstar 7*. Com tal equipamento é possível coletar a coordenada tridimensional de pontos de interesse de uma determinada superfície no referencial de escolha. Com precisão horizontal: $2.5\text{mm} + 0,1 \text{ ppm RMS}$ e precisão vertical: $3,5\text{mm} + 0,4 \text{ ppm RMS}$ Levantamento Estático Pós-Processado. A demonstração do kit encontra-se na figura abaixo. (FIGURA 6)

FIGURA 6 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS



FONTE: CPE 2022

b) Laser Scanner Terrestre

O laser em questão foi cedido pelo Laboratório de Geodésia Aplicada a Engenharia (GEENG) da Universidade Federal do Paraná. O modelo utilizado foi BLK360, fabricante Leica. O mecanismo de funcionamento é baseado em sensores ativos e passivos embarcados em sua composição que realiza a captura do ambiente ao seu redor entregando como produto as nuvens de pontos e as imagens panorâmicas de alta resolução, sendo a precisão do ponto 3D no valor de 6 mm a 18m, 8mm a 20m. A representação do equipamento pode ser vista na FIGURA 7.

FIGURA 7 - LASER SCANNER LEICA BLK360



FONTE: O Autor (2022).

c) Aeronave Remotamente Pilotada multirrotor (ARP)

Foram utilizados duas ARP: o Phantom 3, da fabricante DJI, cedida pelo GEENG, possui câmera de fabricação própria com um sensor CMOS de 1/2.3 o drone fotografa com resolução máxima de 12 MP (4000x3000px) equipado com sua lente de 20 mm e f/2.8/2.3" CMOS *Effective* pixels: 12 M, Tamanho da foto 4000x3000. Global Navigation Satellite System (GNSS) GPS; e o Mavic Mini II pertencente ao autor utilizado para complementar o voo, possui câmera de fabricação própria com

Sensor CMOS de 1/2,3 pol. E Pixels efetivos: 12 MP, lentes Campo de visão (FOV): 83° Equivalente a formato de 35 mm: 24 mm Abertura: f/2,8 Alcance do foco: 1 m até ∞ . Tamanho da imagem 4:3: 4000×3000 / 16:9: 4000×2250. Global Navigation Satellite System (GNSS) GPS+GLONASS+GALILEO.(FIGURA 8)

FIGURA 8 - AERONAVES UTILIZADAS



FONTE: DJI (2022).

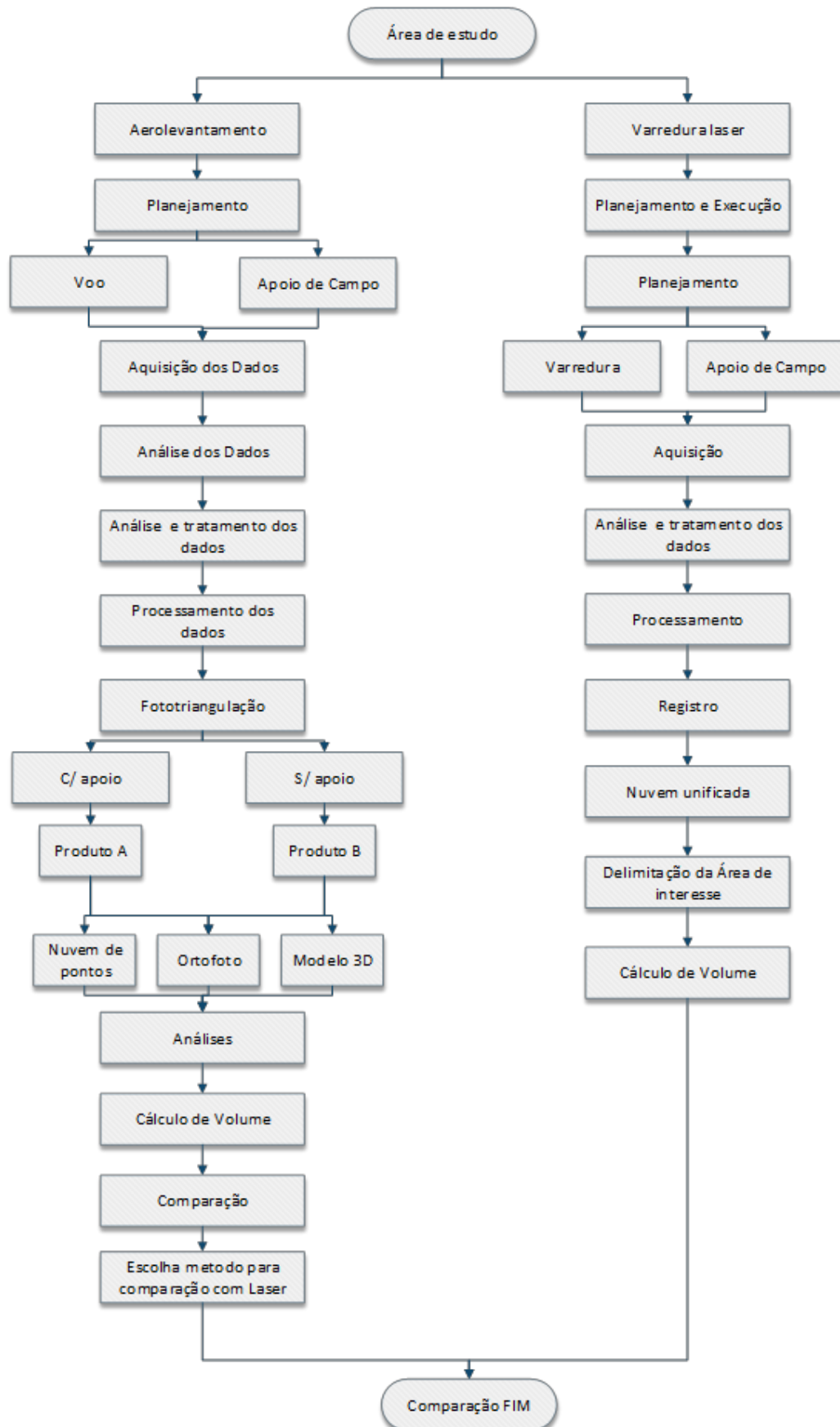
Para o processamento e tratamento dos dados, foram utilizados os seguintes *softwares*:

- Agisoft Metashape – Tratamento e processamento dos dados provenientes do aerolevanteamento
- Arcmap 10.1 - Mapas temáticos
- BLK 360 Workflow
- Cloud Compare – Tratamento e manuseio da nuvem de pontos
- CHC Geo office - Tratamento e processamento dos dados provenientes do GNSS
- Google Earth - Planejamento e visualização da área
- Leica Cyclone Register e Field – Tratamento e processamento dos dados laser
- Landstar 7 – Aquisição dos dados GNSS
- MetricaTopo – Densificação dos dados GNSS
- Microsoft 365 – Relatório e cálculos pertinentes

2.3 METODOLOGIA

O processo para a determinação do valor numérico de volume de uma determinada superfície na pedreira se deu a partir da aplicação de duas técnicas de levantamento. A primeira técnica foi executada a partir do escaneamento da superfície de interesse através da varredura Laser Scanner obtendo uma nuvem de pontos da superfície. Para a segunda técnica, foi realizado o aerolevantamento através da utilização de um Veículo Aéreo não tripulável, onde posteriormente será processado de duas formas, diretamente com os dados de geolocalização partindo do receptor interno da aeronave e indiretamente a partir do posicionamento GNSS com fins de comparação. A descrição e caracterização de todos os processos estão representados no fluxograma a seguir (FIGURA 9).

FIGURA 9 – FLUXOGRAMA DA MÉTODOLOGIA



FONTE: O Autor (2022).

2.3.1 Levantamento dos pontos de Apoio

Segundo Santos (2009), com a utilização de pontos de apoio é possível definir um sistema referencial no espaço-objeto e os elementos necessários para a orientação no processo de aerofotogrametria. Portanto, neste trabalho foi realizada a etapa de levantamento dos pontos de apoio, que consistiu no planejamento, na implantação e na coleta em campo.

Os pontos de apoio coletados em campo são caracterizados em pontos de controle e verificação. Com os pontos de apoio, é possível referenciar o modelo em relação ao sistema referencial de interesse, e também melhorar a precisão no processo de fototriangulação que consiste em determinar os parâmetros de orientação exterior de forma ajustada, permitindo assim a determinação das coordenadas de pontos fotogramétricos no referencial do mapeamento.

Para assegurar a qualidade da aerotriangulação, utilizamos parte dos pontos de apoio como pontos de verificação, ou seja, a partir da análise de discrepância sobre tais pontos é possível determinar a precisão do produto obtido.

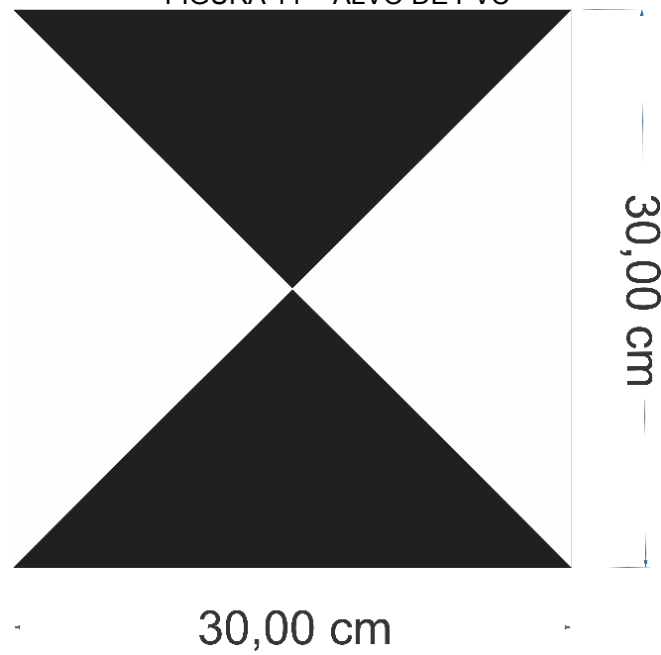
Considerando a característica topográfica da pedreira, cuja sua formação se dá a partir de bermas e taludes de rocha, e também a presença do lago que contempla grande parte da área de estudo, foram planejados 29 pontos de apoio ao longo da superfície e ao analisar as características visuais (FIGURA 10), foi possível notar a falta de elementos naturais foto identificáveis, desta forma, abrindo a necessidade da utilização de alvos artificiais. Para suprir tal necessidade, foram confeccionados 35 alvos, no material PVC, devido a sua durabilidade e baixo peso, facilitando o transporte. A dimensão para os alvos foi de 30x30cm conforme demonstrado na FIGURA 11 e de forma a complementar os pontos de apoio, foram pintados alvos com tinta spray, estes com dimensões de 50x50cm.

FIGURA 10 – PONTOS DE APOIO PLANEJADOS



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 11 – ALVO DE PVC



FONTE: O Autor (2022).

Para a área utilizada na aplicação da varredura com laser scanner temos uma superfície homogênea de difícil identificação visual, visto sua formação ser caracterizada por fragmentos de rocha, logo, tem-se a necessidade da implantação dos alvos artificiais, a distância planejada para o posicionamento dos alvos foi de 30 metros entre um e outro conforme a FIGURA 12 a seguir.

FIGURA 12 - PLANEJAMENTO DO POSICIONAMENTO DOS ALVOS



FONTE: O Autor (2022).

Contudo, durante a implantação nem todos os alvos puderam ser fixados como planejado, devido as características topográficas e geológicas da área de estudo. Houve a impossibilidade de acessar diversas áreas onde seriam posicionados os pontos planejados, na FIGURA 13 é possível visualizar os taludes onde não foi possível posicionar os alvos devido à falta de acesso. Tratando do talude de aplicação da varredura com *laser scanner*, novamente temos a impossibilidade de implantar os alvos na posição desejada, devido a característica de formação do talude e a risco de desmoronamento presente no local.

FIGURA 13 - POSICIONAMENTO IMPEDIDO



FONTE: O Autor (2022).

Após a implantação dos pontos de apoio, realizou-se a coleta de dados para a determinação tridimensional desses pontos sobre a superfície física da área de estudo. As coordenadas tridimensionais são obtidas a partir de técnicas de posicionamento. A seguir, tem-se a descrição do processo realizado para o levantamento dos pontos de apoio.

A determinação das coordenadas dos pontos de apoio foi realizada por dois métodos de posicionamento: o Método Absoluto e o Método Relativo. Estes métodos foram aplicados utilizando um conjunto de receptores GNSS CHC I90 e I80.

Inicialmente foi realizado o rastreamento de um marco materializado no terreno utilizando o receptor GNSS CHC I90. Essas coordenadas foram determinadas devido à falta de identificação do marco em uma base de dados. A coleta consistiu no rastreamento de mais de 4 horas contínuas e ininterruptas e o processamento pelo Método Absoluto foi realizado utilizando o *software* IBGE-PPP.

O IBGE-PPP é um serviço gratuito disponibilizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) o qual a sigla PPP significa Posicionamento por Ponto Preciso, que consiste em um pós processamento que minimiza os erros

atuantes na medida nas observáveis GNSS. Conforme IBGE (2009), este serviço é parte dos produtos do IGS (*International GNSS Service*), as quais são efetuadas correções de órbitas, relógios dos satélites, centros de fase da antena do receptor e dos satélites, cargas oceânicas e variações temporais das coordenadas. Obtendo-se coordenadas do ponto referenciadas ao SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) que é o Sistema Geodésico de Referência oficial do Brasil, e no ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*).

Concomitantemente à coleta do marco foi possível a aplicação do método de posicionamento relativo estático rápido, onde as correções da base são transmitidas ao rover. Destaca-se que o marco foi escolhido como base devido a sua localização favorecida pela ausência de interferências e de obstruções do sinal para os pontos coletados no terreno. Na FIGURA 14 é possível visualizar o marco encontrado, já ocupado pelo com o receptor e na FIGURA 15 temos a visualização da mina a partir de tal marco.

FIGURA 14 - MARCO ENCONTRADO E OCUPADO



FONTE: O Autor (2022).

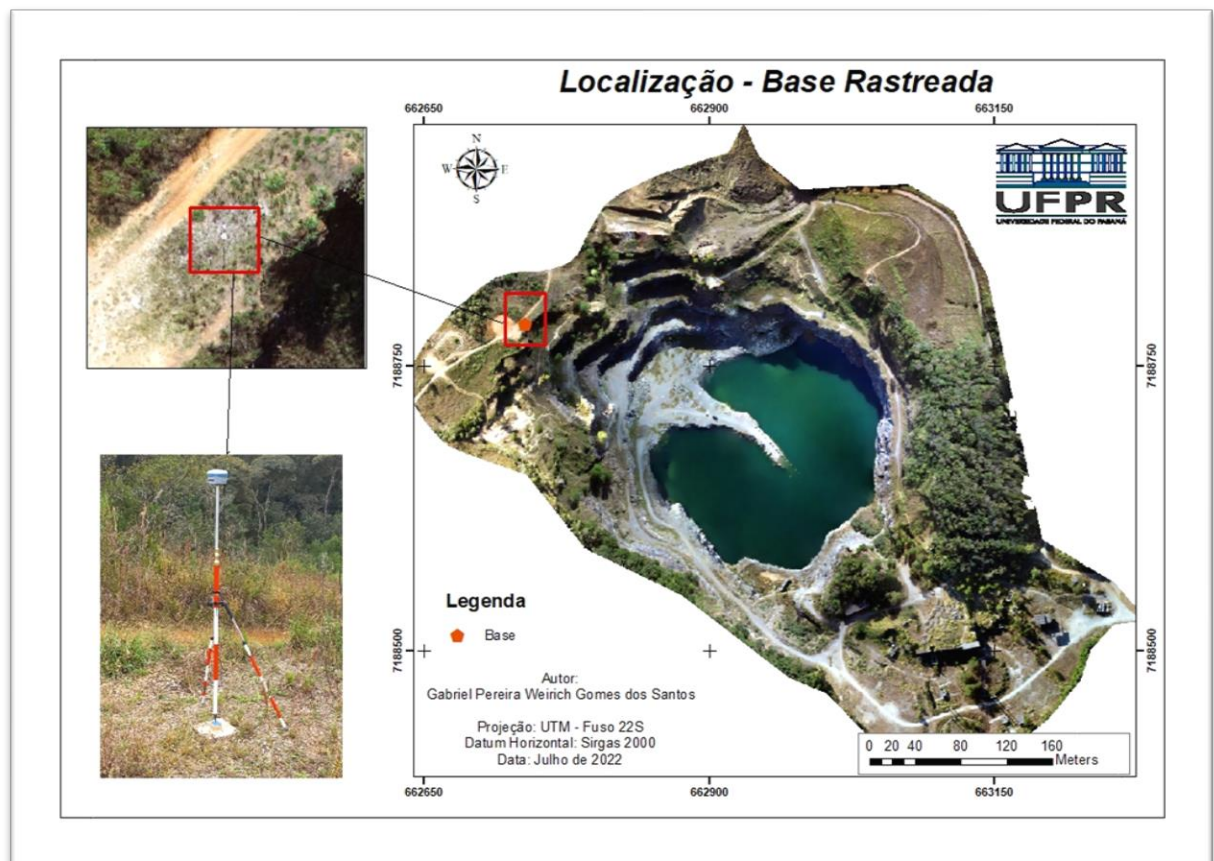
FIGURA 15 - VISTA A PARTIR DO MARCO OCUPADO



FONTE: O Autor (2022).

Na FIGURA 16 temos a representação do posicionamento da base em relação a pedreira.

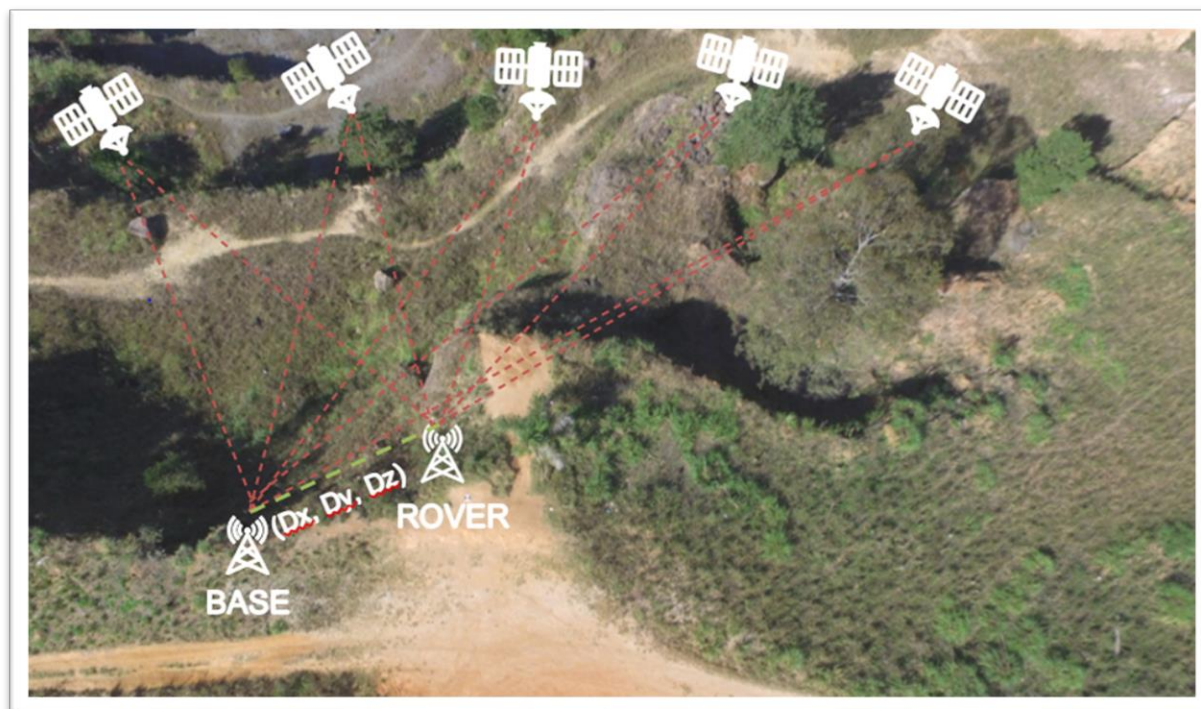
FIGURA 16 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA MINA



FONTE: O Autor (2022)

O método de posicionamento relativo estático rápido permitiu a determinação das coordenadas, de pontos ocupados pelo rover, de maneira precisa através de correções diferenciais enviadas pela base e o rastreo simultâneo da mesma constelação de satélites entre os receptores utilizados. Tal técnica foi aplicada na coleta dos pontos de apoio sobre o terreno (FIGURA 17).

FIGURA 17 - EXEMPLO POSICIONAMENTO RTK

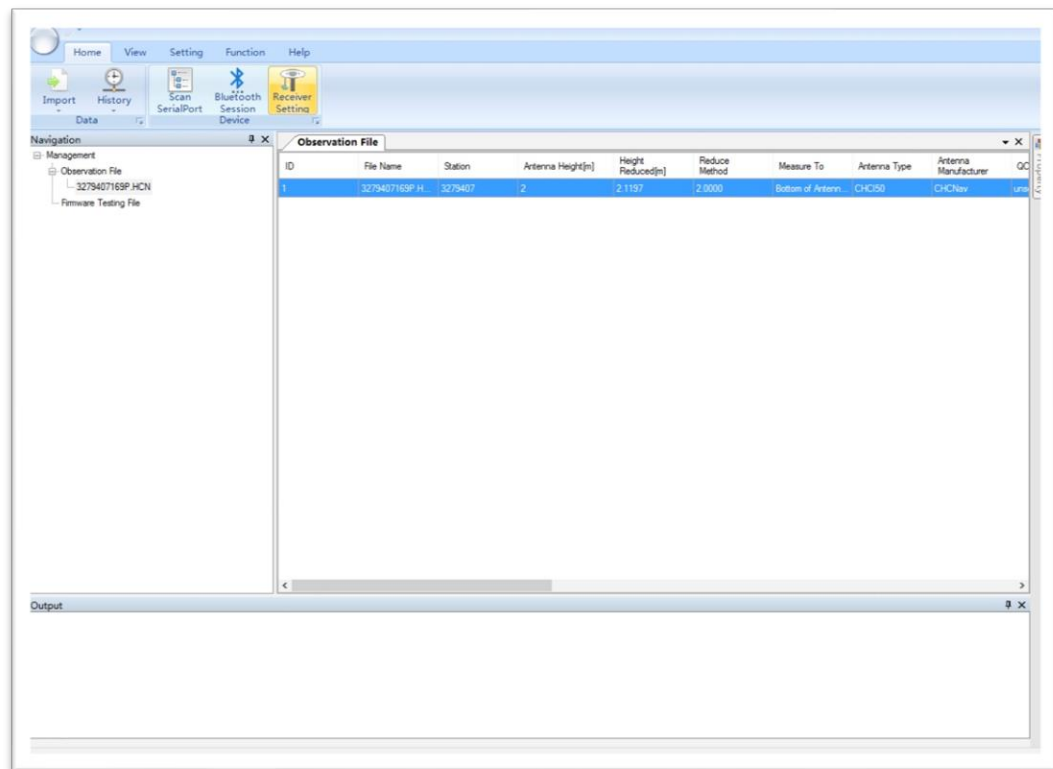


FONTE: O Autor (2022).

Após etapa de coleta dos pontos de apoio foi realizado o tratamento e processamento dos dados provenientes do posicionamento por GNSS para a determinação das coordenadas pós processadas.

Para realizar o processamento através do serviço do IBGE, é necessário entrar com os dados no formato universal RINEX, que é o formato de dados oficial utilizado no posicionamento por GNSS. O dado proveniente do receptor utilizado possui um formato característico do fabricante denominado de “.HCN”, logo, se faz necessário a conversão do mesmo para RINEX. Para a conversão foi utilizado o *software* CHC GEO OFFICE (FIGURA 18). Neste processo foi necessário informar o fabricante do receptor, o modelo da antena, sua altura e se esta altura foi mensurada de modo vertical ou inclinado. O resultado da conversão é o conjunto de arquivos, com os dados de observação, mensagem de navegação e dados meteorológicos que forma o RINEX.

FIGURA 18 - INTERFACE CHC GEO OFFICE



FONTE: O Autor (2022).

Em posse dos dados necessários é possível carregá-los na interface do IBGE. (FIGURA 19).

FIGURA 19 - INTERFACE IBGE-PPP

Selecione o Modo de Processamento: ☒ Estático ☐ Cinemático

Selecione um arquivo RINEX: Só serão aceitos arquivos no formato: O5o a 22o, O5O a 22O, O5d a 22d, O5D a 22D, obs, OBS, zip, ZIP, tar, TAR, tgz, TGZ, gz, GZ, rmx, RNX, crx, CRX, 7z, 7Z

Base_Tcc.zip

Os valores selecionados abaixo serão adotados para todos os RINEX que estejam comprimidos em um único arquivo:

Tipo de Antena: CHC90 NONE

Altura da antena (m): 2.00

☐ A altura da antena somente será alterada se esta caixa estiver marcada.

E-mail válido do usuário. (não pode conter espaços ou tabs!): gabrielweirich@ufpr.br

☒ Concordo que os resultados dos processamentos poderão ser utilizados pelo IBGE para a avaliação de produtos e informações cartográficas e geodésicas, bem como para a avaliação do próprio serviço IBGE-PPP

Nota: O processamento iniciará após a transferência do arquivo, o que pode demorar alguns minutos. Caso o resultado não comece a aparecer em 2 horas, por favor reprocesse.

FONTE: IBGE-PPP (2022).

Na interface da página é necessário informar o método de processamento desejado. Posteriormente é carregado o arquivo, já em formato RINEX, seguido da caracterização da antena e sua respectiva altura. O arquivo proveniente do processamento é enviado no e-mail informado e contempla os seguintes dados:

- “nomenclatura.pdf” - Resumo do relatório em PDF
- “nomenclatura.sum” - Relatório do processamento com as coordenadas do processamento estático
- “nomenclatura.pos” - Arquivo de posição ao longo do tempo, utilizado em processamento cinemático
- “nomenclatura.kml” – Arquivo Google Earth, apresentando o local do rastreo. As coordenadas ali representadas encontram-se no sistema sirgas, na época do levantamento.
- “nomenclatura_LEIME.txt – Arquivo com as instruções e explicações em relação ao processamento.
- “nomenclatura.22o.txt – Arquivo com as informações pertinentes ao arquivo RINEX e ao processamento.

A FIGURA 20 mostra os arquivos obtidos a partir do processamento.

FIGURA 20 - ARQUIVOS PROCESSADOS

Nome	Data de modificação	Tipo	Tamanho
 Base_Tcc.22o.kml	17/08/2022 09:26	KML	2 KB
 Base_Tcc.22o.pdf	17/08/2022 09:26	Microsoft Edge PD...	713 KB
 Base_Tcc.22o.pos	17/08/2022 09:26	Arquivo POS	1.958 KB
 Base_Tcc.22o.sum	17/08/2022 09:26	Arquivo SUM	19 KB
 Base_Tcc.22o.txt	17/08/2022 09:26	Documento de Te...	1 KB
 Base_Tcc.22o_LEIAME.txt	17/08/2022 09:26	Documento de Te...	3 KB

FONTE: O Autor (2022)

Para a visualização gráfica do ponto de base, é possível carregá-lo no *software* Google Earth, assim conferindo, inicialmente se o posicionamento do ponto está coerente com o que foi vivenciado em campo. (FIGURA 21)

FIGURA 21 - CONFERÊNCIA DE POSICIONAMENTO DA BASE



FONTE: O Autor (2022).

No relatório em formato “.pdf”, que de forma completa está apresentado em anexo deste trabalho, é possível analisar as informações pertinentes ao processamento, como o tempo de rastreo, efemérides utilizadas, altura da antena, precisões e demais dados de posicionamento. Na FIGURA 22 é possível visualizar o relatório gerado.

FIGURA 22 - RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO IBGE-PPP



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: 3400385

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/07/27 13:25:00,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/07/27 17:44:30,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	CHC190 NONE
Órbitas dos satélites: ¹	FINAL
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	3,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	2,000
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	0,92 GPS 0,82 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,67 GPS 0,69 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) ⁴	-25° 24' 32,1096"	-49° 22' 55,2767"	960,10	7188785.843	662739.001	-51
Na data do levantamento ⁵	-25° 24' 32,1010"	-49° 22' 55,2785"	960,10	7188786.109	662738.954	-51
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,001	0,003	0,005			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA	
Fator para Conversão (m):	4,22	Incerteza (m): 0,06
Altitude Normal (m):	955,88	

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário.
Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: ibge@ibge.gov.br ou pelo telefone 0800-7218181.

FONTE: IBGE (2022)

A partir da coordenada processada e ajustada torna-se possível recalcular a coordenada dos pontos coletados com o Rover, visto que os mesmos foram levantados com coordenadas arbitrárias no momento do levantamento. A correção funciona a partir de uma translação nos pontos de interesse referenciando-os na nova base processada.

Para o cálculo das coordenadas pós processadas, foram inseridos os novos valores para x, y e z obtidos a partir do processamento pelo *software* IBGE-PPP na coletora de dados através do *software* Landstar 7. O *software* assume a nova base com os dados inseridos manualmente e calcula a diferença entre a coordenada arbitrária obtida no momento da coleta e a coordenada informada após o ajustamento. Posteriormente é aplicado esta diferença sobre os demais pontos, desta forma temos as novas coordenadas obtidas em relação a base ajustada.

No *Landstar 7* é possível exportar as coordenadas em formato de texto. Para fins de conferência, as coordenadas foram lançadas no Excel e somadas da diferença entre a coordenada arbitrária em relação a ajustada, com essa comparação foi possível retornar aos valores antigos, desta forma confirmando o sucesso do procedimento. A nível de visualização e conferência, foi gerado o “kml”, (FIGURA 23) contendo todos os pontos coletados ao longo da pedreira, conforme pode ser visualizado na representação abaixo.

FIGURA 23 - CONFERÊNCIA DOS PONTOS COLETADOS



FONTE: O Autor (2022).

A etapa seguinte consiste em tratar os dados conforme sua finalidade, para isso, foram categorizados os pontos de apoio e divididos em pontos de controle e verificação, estes utilizados na etapa de processamento do aerolevantamento. O resultado das coordenadas, juntamente de suas precisões podem ser verificados no capítulo 3 (TABELA 5).

2.3.2 Levantamento aerofotogramétrico

O aerolevantamento faz uso da ciência conhecida como Fotogrametria, que segundo Andrade (2003) é a ciência e tecnologia utilizada para obter informações métricas de imagens a partir de um conjunto de processos.

Para a realização do processo de fotogrametria é necessário, inicialmente a tomada de fotografias a partir de uma câmera, podendo ser classificada em câmera métrica ou em câmera convencional. A primeira se destaca pela maior estabilidade geométrica dos parâmetros internos, como o conjunto de lentes e a distância focal, impactando diretamente na qualidade das informações métricas obtidas a partir da imagem tomada. A segunda, devido a menor estabilidade, possui exatidão geométrica inferior à câmera métrica.

Importante mencionar que fatores externos também influenciam na qualidade das informações métricas, como por exemplo: altura de voo, sobreposição entre as imagens, variações do relevo, plataforma, qualidade do receptor GNSS integrado, sensibilidade do sensor inercial, qualidade do “Guimbal”, condições naturais tais como ventos e luminosidade. Tendo em vista as situações descritas, é necessário realizar o planejamento de voo, descrito abaixo.

Primeiramente foi avaliada a variação de relevo do terreno conforme pode ser visto na FIGURA 24 através do *software* google Earth Pro.

FIGURA 24 - GRÁFICO DE VARIAÇÃO DO RELEVO



FONTE: O Autor (2022).

Esta avaliação é necessária devido ao impacto direto que a variação do relevo causa no GSD (*Ground Sample Distance*), isto é, o tamanho do pixel no terreno. Os parâmetros que influenciam na determinação do GSD são o tamanho do *pixel* da câmera, a distância focal e a altura de voo. Contudo com variações altimétricas do terreno causadas pelo relevo tem-se também a variação da altura de voo, que é referenciada a partir do ponto de decolagem da aeronave,

Para a determinação do GSD, foram realizados os cálculos aplicando o valor das maiores e menores elevações utilizando a Equação 01.

$$GSD (cm) = \frac{Altura de voo \times tamanho do pixel}{Distância focal} \times 100 \quad \text{Eq. 1}$$

Com os valores obtidos (TABELA 1) para o GSD, temos a determinação dos pixels com suas respectivas resoluções, que se degradam conforme a distância aumenta entre a câmera utilizada para aquisição das imagens e o terreno.

TABELA 1 – CÁLCULO GSD

Altura de voo considerada	120,00 m	60,00 m
GSD Calculado	5,12 cm	2,56 cm

FONTE: O Autor (2022)..

No planejamento do aerolevantamento, é necessário considerar a sobreposição entre as fotografias tomadas. Segundo Santos (2009) é necessário que se tenha uma sobreposição lateral de no mínimo 40 % e longitudinal de 80 %, garantindo assim a condição de paralaxe e a definição da região de Van Gruber (*tie points*). Esta é definida a partir de cinco feixes de raios homólogos do par estereoscópico que se cruzam, permitindo que os demais pontos de sobreposição longitudinal também se sobreponham (ANDRADE, 2008). Com isso temos os pontos de Von Gruber (Tie points) que são virtuais e estão localizados na região de Von Gruber. Tais pontos são homólogos aos pares de fotos, tornando propícia a convergência da orientação exterior e orientação relativa do modelo.

Para a o planejamento de voo, considerando a teoria descrita foi utilizado o *software* Pix4d. Em seu ambiente é informado apenas o modelo da aeronave, DJI PHANTON 3, pois suas características estão presentes no banco de dados do *software*. Posteriormente foi definida a área a ser imageada com aproximadamente

193.600,00 m². A altura de voo escolhida foi de 60 metros a partir do ponto de decolagem, seguido da sobreposição lateral de 70% e longitudinal de 80%. Para a tomada das imagens, foi definida a inclinação da câmera de 90°, ou seja, ortogonal a superfície de imageamento. A representação do planejamento pode ser vista na FIGURA 25.

FIGURA 25 - PLANEJAMENTO DE VOO



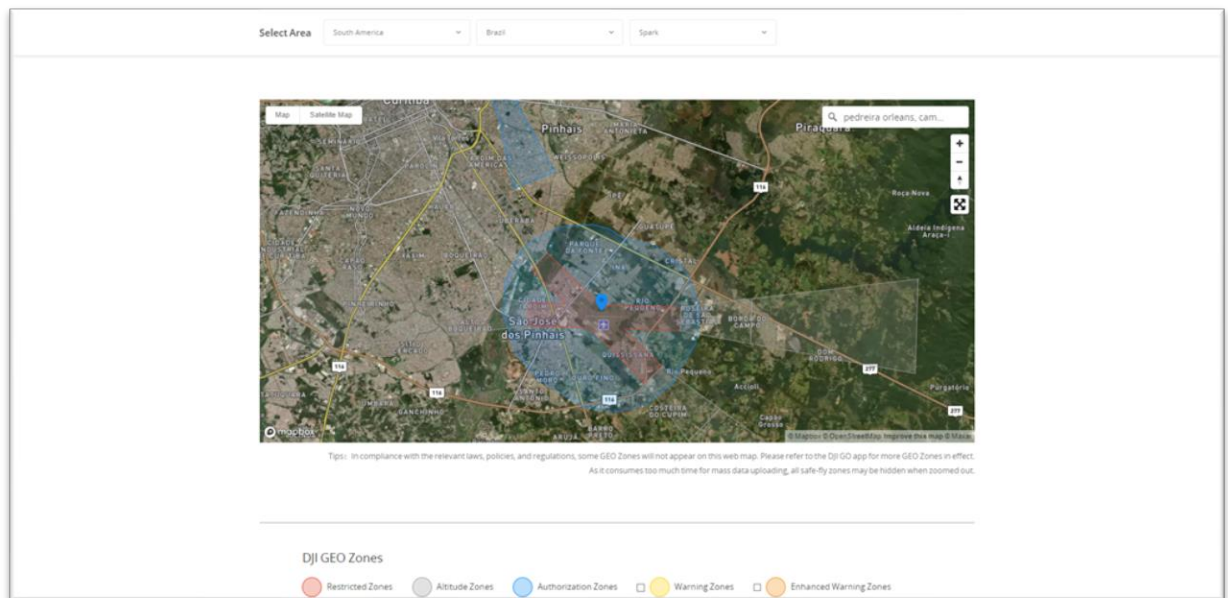
FONTE: O Autor (2022).

Após informar todas as devidas especificações no *software*, é possível visualizar o tempo necessário para o voo de 18 minutos, a quantidade de 2 baterias, o número de 13 faixas e de 214 fotografias que serão efetivamente tomadas.

Para a realização do aerolevantamento em campo com o *Phantom 3*, foi necessário inicializá-lo, seguido da calibração da bússola e a definição do retorno de emergência no momento em que a bateria chega-se a 20 % ver com o professor. Após esta etapa, o *software* de operação do equipamento informou a mensagem “*GEO FENCE ERROR*”. Que implica na impossibilidade de realizar a execução do plano de voo devido a uma cerca geográfica. Esta cerca serve para impedir o voo sobre uma área como um aeroporto pode ser visto na FIGURA 26 . Contudo esta situação foi verificada na etapa de planejamento e a área em questão não se encontra dentro de

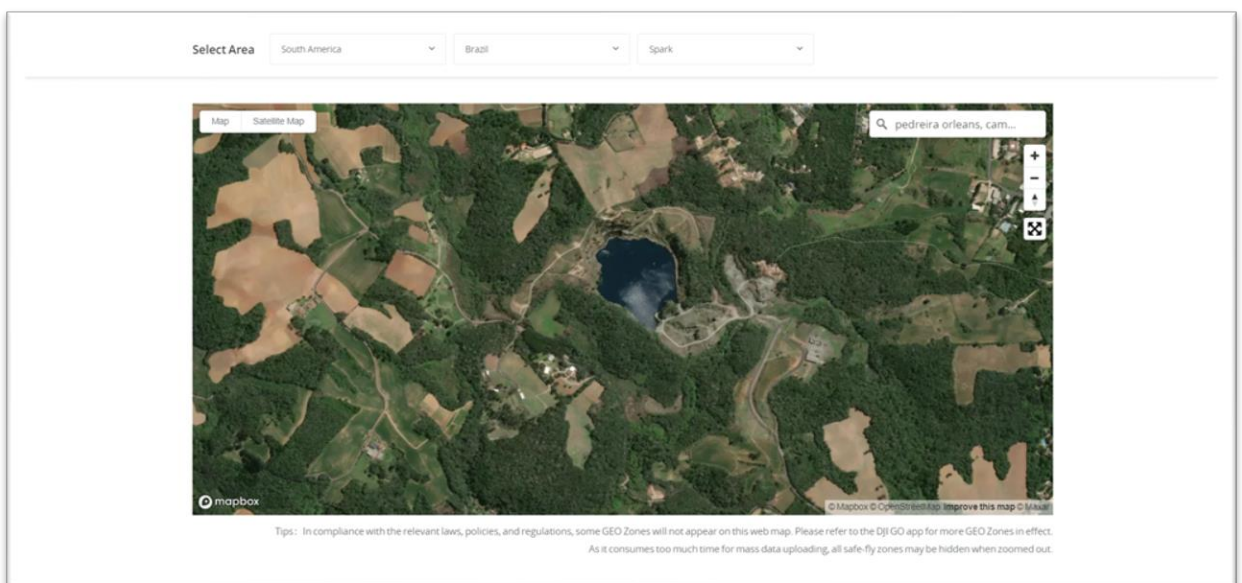
uma cerca geográfica, como demonstrado na FIGURA 27 logo, a impossibilidade de execução do voo planejado não era esperada por este motivo. Com tal impedimento e com a certeza que a área não pertencia à uma cerca geográfica, optou-se pela realização do voo livre, realizando a operação e tomada das fotografias de forma manual.

FIGURA 26 - EXEMPLO DE ÁREA COM GEO FENCE



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 27 - ÁREA DO PROJETO SEM GEO FENCE



FONTE: O Autor (2022).

Para execução do voo manual, o piloto conduz a aeronave a partir do controle remoto e do tablet. Na tela do aparelho é visualizada a transmissão da imagem proveniente da câmera, juntamente das informações de altura de voo, número de satélites para a geolocalização, autonomia da bateria e o posicionamento sobre um mapa como pode ser visualizado na. A operação é de extrema complexibilidade, visto que não há orientação em relação as linhas de voo, logo o recobrimento da área fica a cargo da capacidade percepção do piloto para as tomadas de fotos no tempo e na posição correta, garantindo assim uma sobreposição entre as imagens. Para isto o operador do VANT se orientou através de elementos presentes horizontalmente em relação a sua posição (FIGURA 28).

FIGURA 28 - ORIENTAÇÃO UTILIZADA NO VOO LIVRE



FONTE: O Autor (2022).

Com a realização do voo livre, tivemos uma redução na autonomia da bateria e para evitar possíveis lacunas no imageamento foi realizado um voo complementar a partir de outra aeronave, esta denominada de Mavic Mini II. Com o novo VANT, foi realizado um voo também manual com recobrimento transversal em relação ao voo anterior. A altura de voo foi mantida a fim de amenizar as possíveis diferenças no GSD. Com o Mavic também foram tomadas fotografias ao longo da área com a inclinação da câmera de forma oblíqua com 45° de inclinação e uma altura de voo

inferior ao levantamento anterior, garantindo assim a densificação na coleta dos dados e a possibilidade de uma melhor caracterização das bermas e dos taludes ali presentes (FIGURA 29).

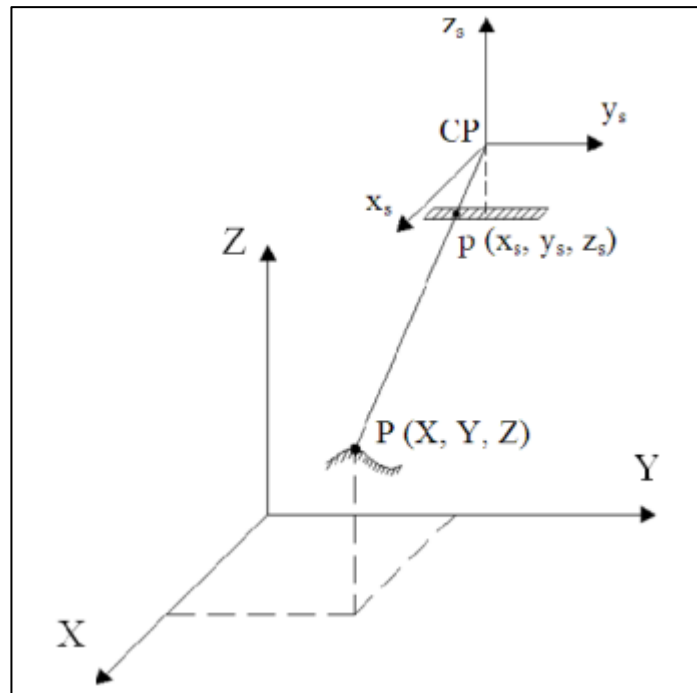
FIGURA 29 - CARACTERIZAÇÃO DAS BERMAS E TALUDES



FONTE: O Autor (2022).

Após a coleta das imagens realizou-se a etapa de processamento da fototriangulação, permitindo a determinação tridimensional dos elementos imageados a partir da transformação entre referenciais, partindo do referencial fiducial até o referencial geodésico ou referencial local adotado. E isto só se faz possível por meio das Equações de Colinearidade (Eq. 2) que podem ser consideradas como base da fotogrametria, isto ocorre devido a estas equações permitirem a integração do espaço imagem com o espaço objeto. De forma simplificada é adotada uma reta que passa 3 pontos, do centro perspectivo, no espaço imagem e no espaço objeto. Desta forma é possível obter as coordenadas do objeto no referencial da imagem. De acordo com Santos (2009), como condição de colinearidade é admitido que o Centro Perspectivo (CP) da câmera, o ponto da imagem (p') e o ponto no espaço objeto (P) são colineares. Conforme a representação na FIGURA 30.

FIGURA 30 – PRINCÍPIO DA COLINEARIDADE APLICADA A SENSORES LINEARES PUSHBROOM



Fonte: Galo (2006).

$$x = -f \times \frac{m_{11}(x_i - x_s) + m_{12}(y_i - y_s) + m_{13}(z_i - z_s)}{m_{31}(x_i - x_s) + m_{32}(y_i - y_s) + m_{33}(z_i - z_s)}$$

$$y = -f \times \frac{m_{21}(x_i - x_s) + m_{22}(y_i - y_s) + m_{23}(z_i - z_s)}{m_{31}(x_i - x_s) + m_{32}(y_i - y_s) + m_{33}(z_i - z_s)}$$

Eq. 2

Onde:

- f: Distância focal;
- m(ij): Matriz de rotação;
- x,y: Coordenadas sem distorção no referencial fotogramétrico
- X,Y,Z: Coordenadas tridimensionais do ponto no espaço objeto;
- XL,YZ,ZL: Coordenadas tridimensionais do ponto principal no espaço objeto.

Para a aplicação das Equações de Colinearidade é necessário respeitar a condição de colinearidade entre os objetos na imagem e sua posição na realidade, para tanto se faz necessário a determinação dos Parâmetros de Orientação Exterior (POE), que estão relacionados a localização da imagem no espaço no momento da captura da imagem. Temos os parâmetros que representam a origem do sistema de coordenadas no espaço que são X_o , Y_o , Z_o e os ângulos de Euler, estes que

representam as rotações em torno dos eixos X, Y e Z. Os ângulos são representados por ω , ϕ , κ . É necessário também a determinação dos Parâmetros de Orientação interior, que caracterizam a geometria do sensor utilizado e buscam modelar as distorções inerentes a montagem das lentes. Para isso determina-se por método de calibração: a distância focal, as coordenadas do ponto principal e os coeficientes de distorções radial simétrica e descentrada.

Tais parâmetros são refinados *pelo BUNDLE ADJUSTMENT*, ou seja, pelo ajustamento de observações que se utiliza do MMQ, método de ajustamento pelos mínimos quadrados que minimizam os resíduos dos parâmetros da Equação de Colinearidade e tornam a condição de colinearidade possível.

No *Software* Agisoft Metashape, foi possível realizar o processamento aerofotogramétrico sobre as imagens obtidas. Optou-se por realizar o processamento dos voos obtidos através das duas aeronaves de forma simultânea no projeto. Contudo à nível de comparação e para atender um dos objetivos do trabalho, o qual estuda-se a possibilidade de utilizar o aerolevantamento sem pontos de apoio, ou seja, a partir do posicionamento de forma direta para o cálculo do volume, o processamento das imagens foi realizado de duas formas, sendo a primeira com a injeção dos pontos de apoio e verificação e a segunda maneira sem a utilização de tais pontos. No ambiente do *software* é necessário, primeiramente criar o projeto e inserir as imagens coletadas com o VANT, ao inseri-las no projeto é possível as informações referentes a geolocalização de cada fotografia conforme demonstrado na FIGURA 31.

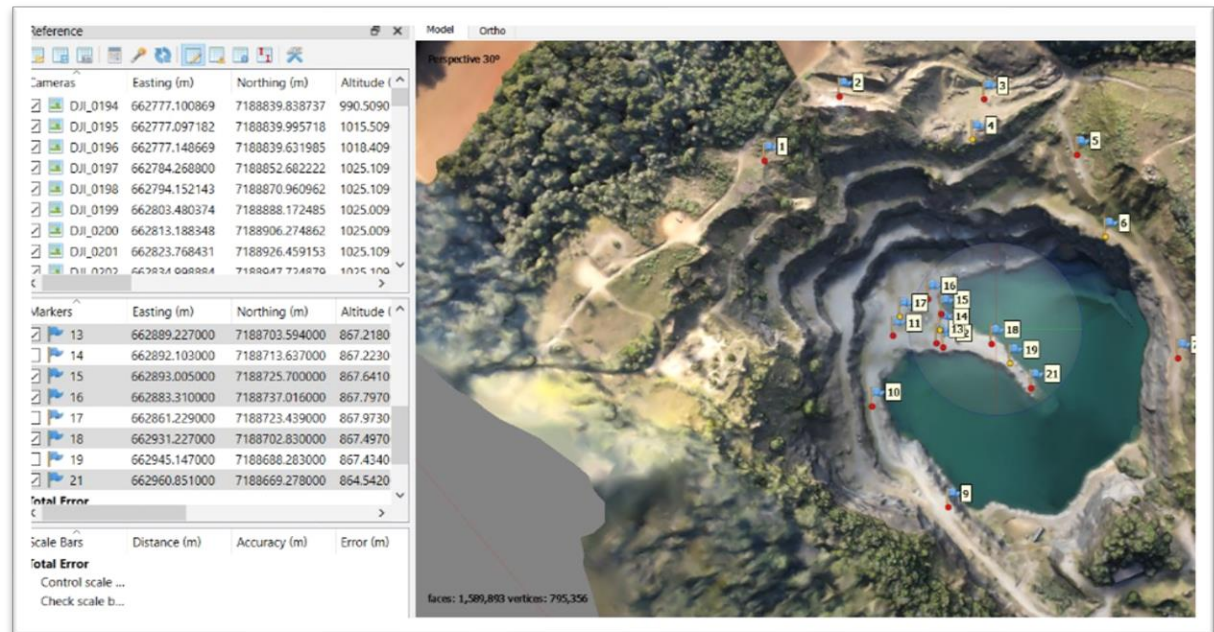
FIGURA 31 - GEOLOCALIZAÇÃO DIRETA DAS IMAGENS

Reference				
				
Cameras		Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)
☒  DJI_0193		662774.576507	7188840.247833	970.409019
☒  DJI_0194		662777.100869	7188839.838737	990.509019
☒  DJI_0195		662777.097182	7188839.995718	1015.509019
☒  DJI_0196		662777.148669	7188839.631985	1018.409019
☒  DJI_0197		662784.268800	7188852.682222	1025.109019
☒  DJI_0198		662794.152143	7188870.960962	1025.109019
☒  DJI_0199		662803.480374	7188888.172485	1025.009019
☒  DJI_0200		662813.188348	7188906.274862	1025.009019
☒  DJI_0201		662823.768431	7188926.459153	1025.109019
☒  DJI_0202		662834.998884	7188947.724879	1025.109019
☒  DJI_0203		662845.305641	7188967.029315	1024.809019
☒  DJI_0204		662856.934177	7188989.081038	1024.909019
☒  DJI_0205		662868.579623	7189010.910989	1024.909019
☒  DJI_0206		662880.585127	7189033.850510	1025.109019

FONTE: O Autor (2022).

A etapa seguinte consiste em inserir as informações sobre os pontos de apoio coletados a partir das técnicas de posicionamento GNSS, já descritas no capítulo anterior. Foram utilizados os pontos de controle e os pontos de verificação, estes pontos foram identificados e demarcados um a um através do *software* em todas as imagens. Como os pontos de verificação servem para a análise de erros, estes foram desmarcados no *software*. Desta forma, apenas os pontos de controle foram utilizados na fototriangulação no processo fotogramétrico (FIGURA 32).

FIGURA 32 - PONTOS DE APOIO UTILIZADOS NA FOTOTRIANGULAÇÃO



FONTE: O Autor (2022).

Dando sequência ao processo, foi realizado o alinhamento das fotos, permitindo a obtenção da nuvem de pontos fotogramétrica formada pelos tie points FIGURA 33, estes que segundo Andrade (2003) encontram-se em torno aos pontos de Von Gruber.

FIGURA 33 - TIE POINTS FOTOTRIANGULAÇÃO INDIRETA

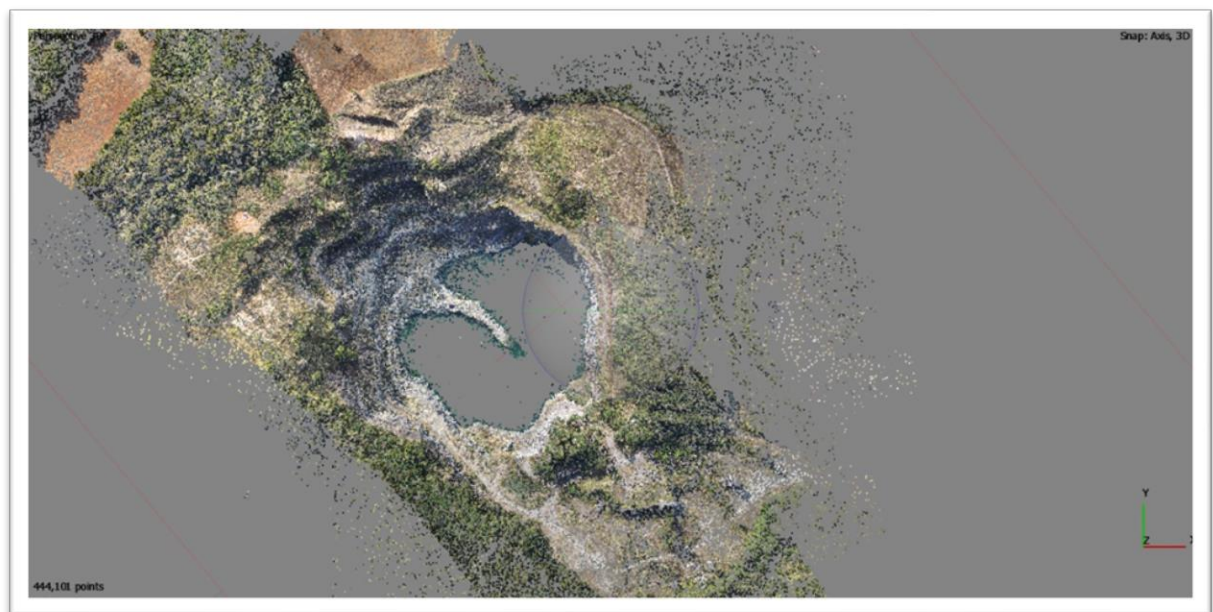


FONTE: O Autor (2022).

A partir do alinhamento das imagens é possível obter os parâmetros de orientação, que foram determinados a partir do ajustamento fotogramétrico, também é possível realizar os processos de densificação e texturização da nuvem de pontos e a geração de modelos digitais de elevação e da *orthofoto*. Estes produtos e o resultado do ajustamento serão apresentados e discutidos no capítulo 3.

Para o processamento do aerolevantamento sem a utilização dos apoios foram realizados os procedimentos descritos anteriormente, porém os pontos de apoio e de verificação não foram injuncionados no processo de fototriangulação. Desta forma a conexão entre as imagens e a geração da nuvem se deu apenas a partir dos tie points identificados de forma automática pelo *software*.

FIGURA 34 - TIE POINTS FOTOTRIANGULAÇÃO - DIRETA



FONTE: O Autor (2022).

2.3.3 Levantamento através de varredura laser scanner terrestre

Para a representação de um objeto ou região mantendo suas características geométricas é necessário conhecer suas coordenadas tridimensionais. Para este fim pode-se utilizar o sistema de varredura Laser Scanner, que segundo Barber (2003) é o ato de mensurar as coordenadas tridimensionais de uma região através de um aparelho que realiza a varredura laser determinando tais coordenadas de forma automática. Os dados coletados são denominados de “nuvens de pontos” que

fornece valores de X, Y, Z dos pontos medidos na superfície escaneada, bem como um valor de intensidade de retorno do sinal.

Para esse estudo, foi utilizado o sistema de varredura laser scanner a fim de suprir a necessidade de conhecer a superfície, representando sua geometria de forma mais acurada, e posteriormente viabilizando o cálculo volumétrico da área de interesse que atualmente é de extrema importância no ramo da mineração.

Para a execução do levantamento através da varredura Laser Scanner Terrestre, da fabricante Leica, modelo BLK360. Cujo suas características técnicas, referentes ao desempenho do sistema laser estão dispostos na TABELA 2:

TABELA 2 - DADOS VARREDURA LASER SCANNER BLK 360

Unidade Laser		
Laser de escaneamento	Valor	
Classificação	sensor de cor, distância focal fixa	
Comprimento da onda	2592 x 1944 pixels, 60° x 45° (V x Hz)	
Intervalo:		
Dados de escaneamento	Valor	
Divergência do raio	0,4 mrad (FWHM, ângulo completo)	
Diâmetro do raio em frente à janela	2,25 mm (FWHM)	
Alcance mínimo	0,6 m	
Alcance máximo	60 m 78% albedo	
Acurácia do intervalo	4 mm a 10 m e 7 mm a 20 m	
Campo de visão (por escaneamento):		
Campo de visão	Valor	
Seleção	Sempre domo completo.	
Horizontal	360 °	
Vertical	300°	
Ótica de escaneamento	Espelho rotativo vertical em base rotativa horizontal.	
Duração do escaneamento para 3 configurações:		
Modo de densidade de ponto	Resolução [mm 10m]	Duração estimada do escaneamento [MM:SS] para escaneamento de domo completa
Rápido	20	00:40
Padrão	10	01:50
Alta densidade	5	03:40
Tempo de captura da imagem:		
Tipo de câmera	Duração estimada da imagem [MM:SS]	
Não HDR	01:00	
HDR	02:30	
Térmica *	00:30	
Tamanho do escaneamento para 3 configurações:		
Resolução [mm @ 10m]	Tempo de escaneamento aproximado [milhões de pontos]	
Rápido	3	
Padrão	18	
Alta densidade	65	

FONTE: Adaptado de Leica (2022)

Conforme o item de alcance mínimo da TABELA 2, o raio de alcance de varredura do laser em questão é de 60 metros e mesmo com campo de visão (FoV) de 360 graus no sentido horizontal e vertical existe a impossibilidade de realizar a varredura de toda a mina, (FIGURA 35). Tendo em vista tal situação optou-se por realizar o levantamento do talude (FIGURA 36) cujo acesso para a varredura do mesmo estava desimpedido de obstruções.

FIGURA 35 - ÁREA INACESSÍVEL



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 36 - ÁREA DE VARREDURA LASER



FONTE: O Autor (2022).

Considerando os elementos necessários para a representação de uma superfície através da varredura laser scanner, inicialmente foram implantados 6 alvos, com dimensão de 30cm x 30cm no talude inicial em relação a base da mina. (FIGURA 37) A disposição de tais alvos ocorreu de forma que fossem identificados em duas ou mais nuvens de pontos e servirão de referência na etapa de registro.

FIGURA 37 - ALVOS POSICIONADOS



FONTE: O Autor (2022).

Dada a implantação dos alvos de apoio do registro, foram escolhidas as posições de ocupação do laser considerando as características técnicas do mesmo aplicadas a área de estudo. O equipamento foi posicionado ao solo de forma manual em 11 posições pela extensão do talude, e como critério, garantindo que houvesse a sobreposição entre as nuvens e a identificação de um mesmo alvo de forma homologa entre duas ou mais nuvens, garantido também a redução das áreas de oclusão e a perda de informação.

O Laser BLK360 possui 3 modos de varredura conforme informado na TABELA 2. Neste estudo foi adotado o modo rápido de varredura com o intuito de otimizar o tempo de rastreio e posteriormente o tempo de processamento.

Em cada ocupação, de forma paralela à varredura, foram tomadas fotos em 360 graus em relação ao ponto ocupado com a câmera acoplada ao laser, esta com características expostas na TABELA 3.

TABELA 3 - ESPECIFICAÇÕES CAMERA LEICA BLK 360

O Leica BLK360 conta com três câmeras digitais HDR integradas.

Dados da câmera	Valor
Tipo	Sensor de cor, distância focal fixa
Imagem individual	2592 x 1944 pixels, 60° x 45° (V x Hz)
Domo completo	30 imagens, retificadas espacialmente de forma automática, 150 Mpx, 360° x 300°
Balanço de branco	Automático
HDR	Automático
Flash	LED para iluminação contínua
Alcance mínimo	0,6 m
O Leica BLK360 possui uma câmera térmica integrada	
Dados da câmera	Valor
Tipo	Infravermelho
Imagem individual	160 x 120 pixels, 71° x 56° (V x Hz)
Domo completo	10 imagens, 360° x 70°
Balanço de branco	-10 °C to 65 °C
HDR	<0,05 °C
Flash	8 a 14 µm
Alcance mínimo	0.6 m

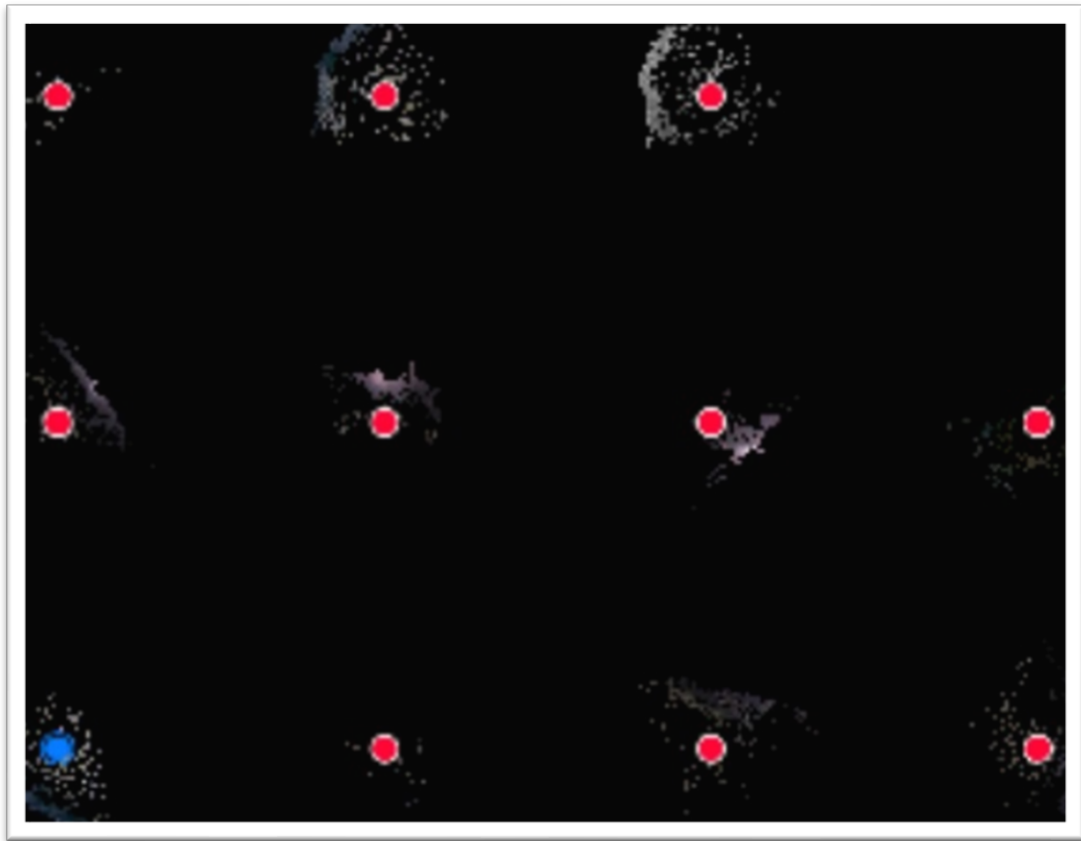
Fonte: Adaptado Leica (2022).

O imageamento, posteriormente é utilizado para auxílio do registro e para a confecção do tour virtual sobre a área de estudo.

Os dados brutos provenientes da varredura laser são de alta complexibilidade, exigindo alto desempenho de hardware e de *software*. Para viabilizar o processamento e posteriormente as devidas comparações, foi utilizado o GEENG da Universidade Federal do Paraná. É necessário um conjunto de procedimentos até obter efetivamente a nuvem de pontos.

É necessário descarregar os dados no *software* BLK 360, para posteriormente tratá-los no *software Cyclone*. Em posse dos arquivos é possível abri-los de forma simultânea no *software Cyclone*, ao realizar a primeira imersão dos dados no *software* é possível visualizar as nuvens de pontos. Cada nuvem possui seu próprio sistema de referência, conforme pode ser visualizado na FIGURA 38.

FIGURA 38 - NUVENS DE PONTOS NO SISTEMA LOCAL



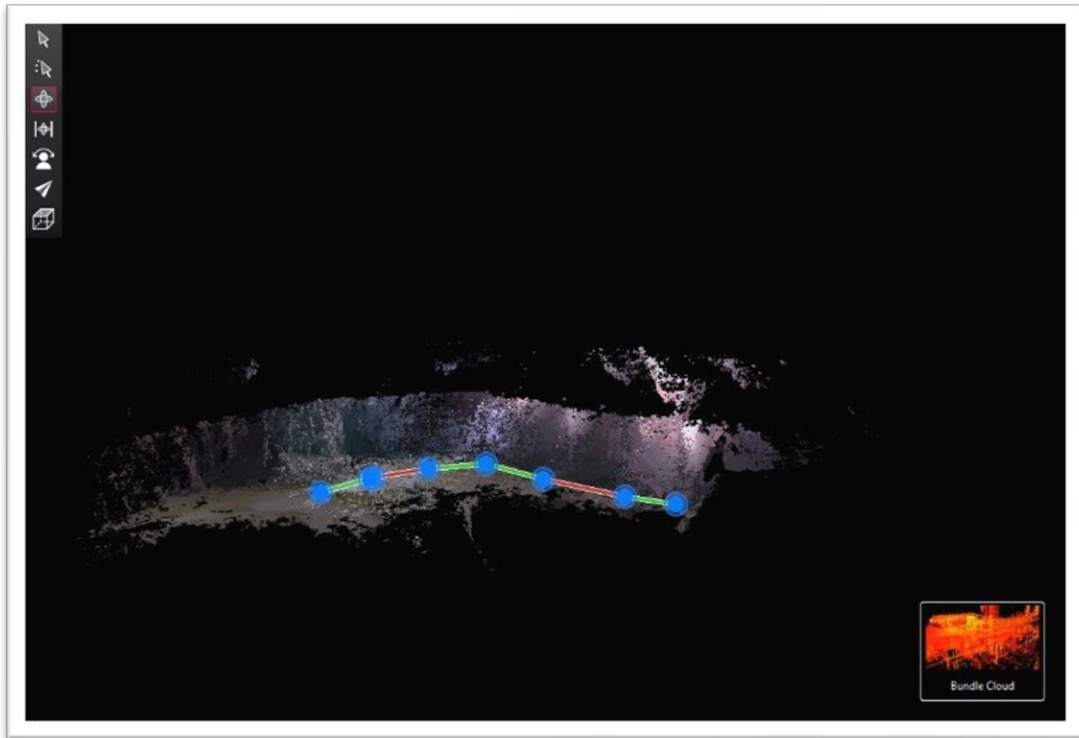
FONTE: O Autor (2022).

Para realizar a transformação do sistema de referência das nuvens em relação a uma única nuvem é necessário aplicar o processo de registro. Segundo Miola et al, (2018) o registro de nuvens de pontos 3D é tarefa essencial na reconstrução 3D de ambientes, cujo objetivo é estimar os parâmetros de transformação (3 rotações e 3 translações) entre pares de nuvens de pontos. Isto pode ser feito usando uma transformação de corpo rígido 3D que relaciona funcionalmente primitivas pontuais extraídas de alvos pré-sinalizados.

Existem diferentes formas de realizar o registro da nuvem de pontos. Neste trabalho o registro foi realizado de forma manual identificando o centro e a borda dos alvos escaneados, visto que eles possuem uma superfície plana e homóloga em diferentes varreduras Laser com diferenciação de tons de forma clara. A utilização dos alvos se foi importante uma vez que a superfície de estudo na área de mineração de brita é homogênea, dificultando assim a identificação de elementos naturais em comum. Tomando como referencial local o posicionamento da primeira nuvem tomada

na entrada da área de extração de brita, realizou-se o registro das demais nuvens a ela gerando uma única nuvem de pontos com todos os elementos (FIGURA 39).

FIGURA 39 - REGISTRO TOTAL DA NUVEM DE PONTOS

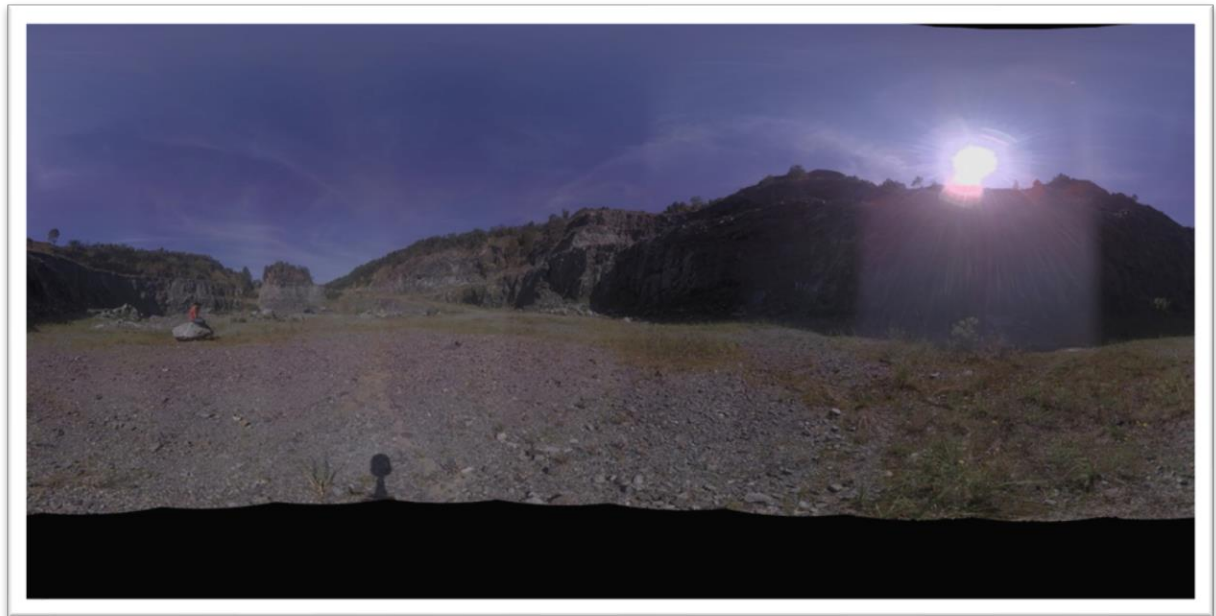


FONTE: O Autor (2022).

Com a nuvem completa, tem-se a necessidade de tratá-la para reduzir a necessidade de espaço de armazenamento e agilidade no manuseio da mesma. Então, foram excluídos pontos que não impactavam no estudo de interesse, e exportada a nuvem para o formato “PCD”, possibilitando assim o manuseio da mesma no *software CloudCompare*.

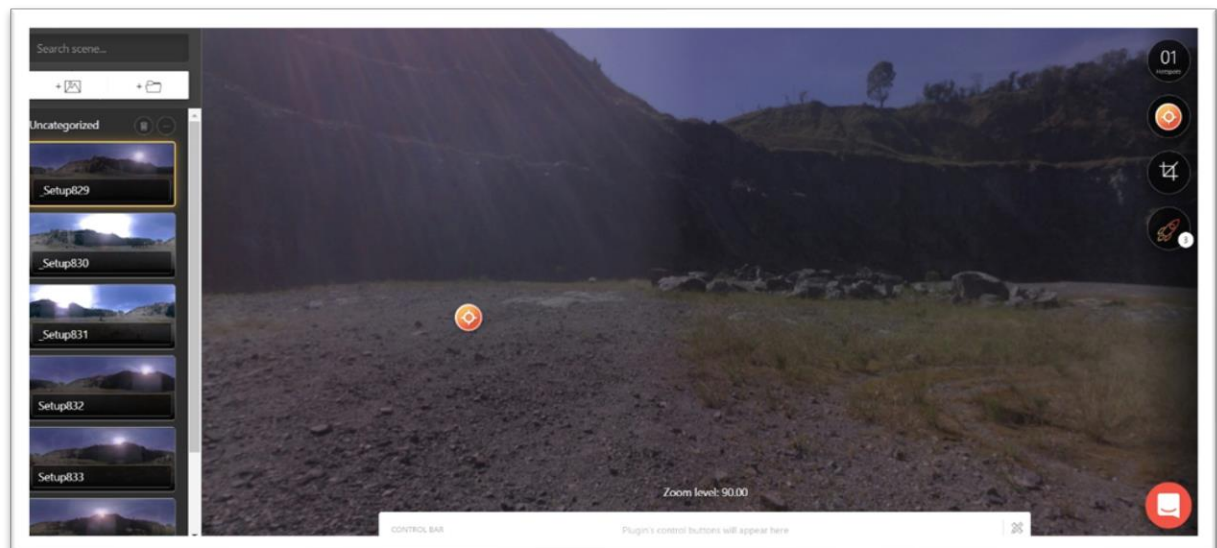
Para a imersão virtual, conhecida como tour 360° foram utilizadas as imagens esféricas obtidas a partir da câmera acoplada ao BLK 360 (FIGURA 40), o passeio virtual pela área de estudo é realizado a partir do *Software Lapentor*, onde é possível carregar as imagens e associá-las a partir da ligação de pontual de uma à outra. Para alcançar a sensação real de caminhar é necessária a análise da localização dos pontos de ligação induzindo ao usuário tal caminhar. Como pode ser visto na FIGURA 41.

FIGURA 40 - IMAGEM 360°



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 41 - CAMINHAMENTO LAPENTOR



FONTE: O Autor (2022).

2.3.4 Determinação dos volumes

Mensurar a quantidade volumétrica de material na mineração é o item primordial, pois determinará a viabilidade de todas as operações ali presentes. Conforme Agra, (2014) o sucesso ou fracasso de um empreendimento mineral estará

diretamente ligado a gestão de cada projeto. Logo tem-se a necessidade de conhecer o ambiente de extração e quantificá-lo. Tratando do ramo que movimenta 3,1 % do PIB, evidencia-se a necessidade de se obter dados cada vez mais precisos.

Para a determinação do volume de extração na presente aplicação de estudo foram tratados os dados provenientes das técnicas utilizadas e posteriormente realizou-se o cálculo do volume de uma mesma área em comum para os aerolevantamentos processados de diferentes métodos e posteriormente uma área homologa entre o aerolevantamento e a varredura laser scanner.

A primeira análise foi aplicada aos aerolevantamentos processados em duas formas distintas, para isto foram definidas duas regiões homologas interesse no *software* Agisoft multiscan, contemplando a mesma área. No *software*, a partir da nuvem de pontos gerada na etapa de processamento, é possível criar um polígono sobre a área de interesse, que é responsável por limitar a área e entregar o valor numérico de volume. Visto que as áreas possuem um deslocamento posicional, uma em relação a outra, devido a técnica de posicionamento utilizada para obter a geolocalização de cada modelo, tem-se a impossibilidade de criar o polígono em um modelo e exportá-lo o outro mantendo as coordenadas tridimensionais. Considerando o fato exposto, tem-se a necessidade de gerar dois polígonos de forma manual e visual. Para garantir a similaridade entre os recortes, a materialização da área se deu posicionando os vértices dos polígonos em pontos homólogos, como o centro dos alvos e resíduos da extração que se ressaltavam no ambiente de estudo (FIGURA 42).

FIGURA 42 - RECORTE PARA CÁLCULO DE VOLUME



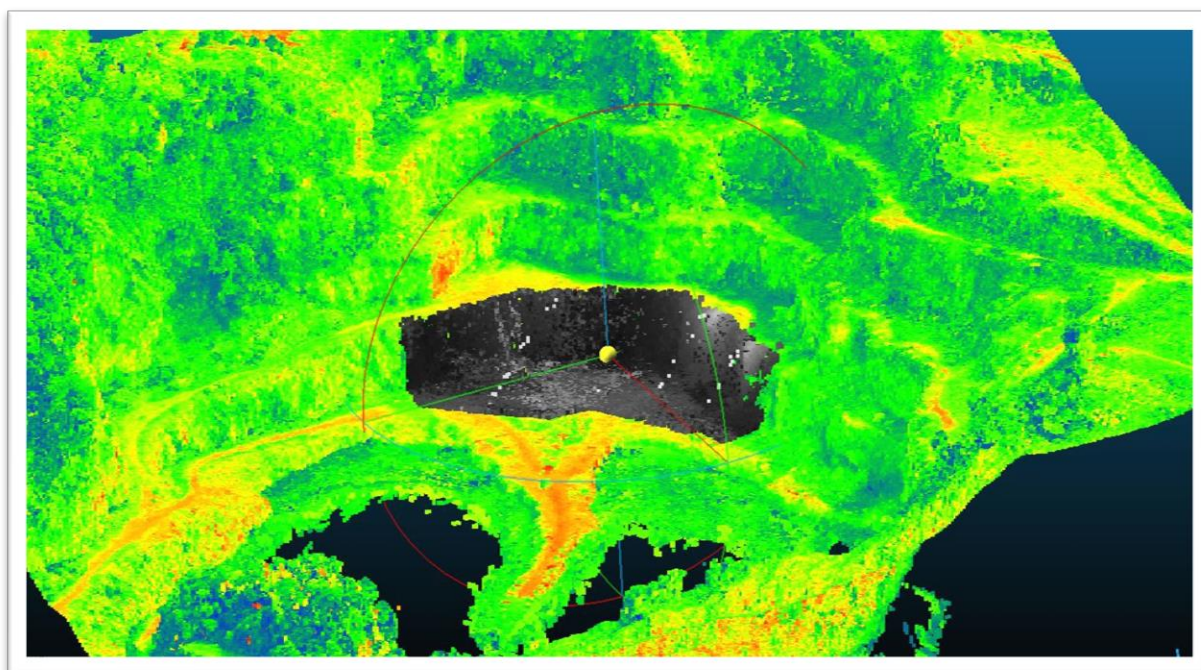
FONTE: O Autor (2022).

Com base na diferença volumétrica entre os produtos comparados, e considerando as características do voo não apoiado, cujo a precisão de seus POES estão na ordem métrica, provenientes do GNSS integrado de navegação, optou-se por realizar as comparações seguintes com o produto proveniente do voo apoiado e o obtido pelo laser scanner. Para realizar a comparação seguinte, foi necessário utilizar da nuvem de pontos proveniente de cada método de levantamento. Com o *software* Cloud Compare é possível realizar a visualização das nuvens para o planejamento da melhor forma para manipulá-las.

As nuvens foram retrabalhadas, com o intuito de otimizar o tempo de processamento para cada operação, com isto tem-se novas nuvens com a região de

interesse. No ambiente do *software* foi realizado um novo registro manual por áreas homologas, trazendo a nuvem proveniente do laser para o sistema referencial da nuvem gerada a partir do aerolevantamento apoiado e posteriormente definiu-se um polígono em comum nas duas áreas para o cálculo volumétrico (FIGURA 43).

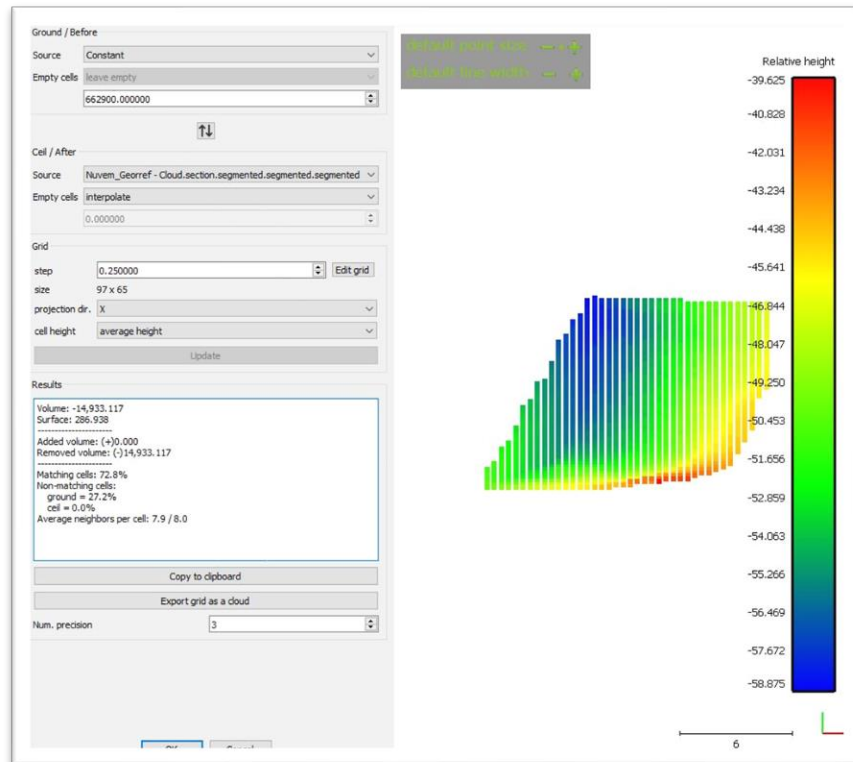
FIGURA 43 - VISUALIZAÇÃO E ÁREA DE CÁLCULO



FONTE: O Autor (2022).

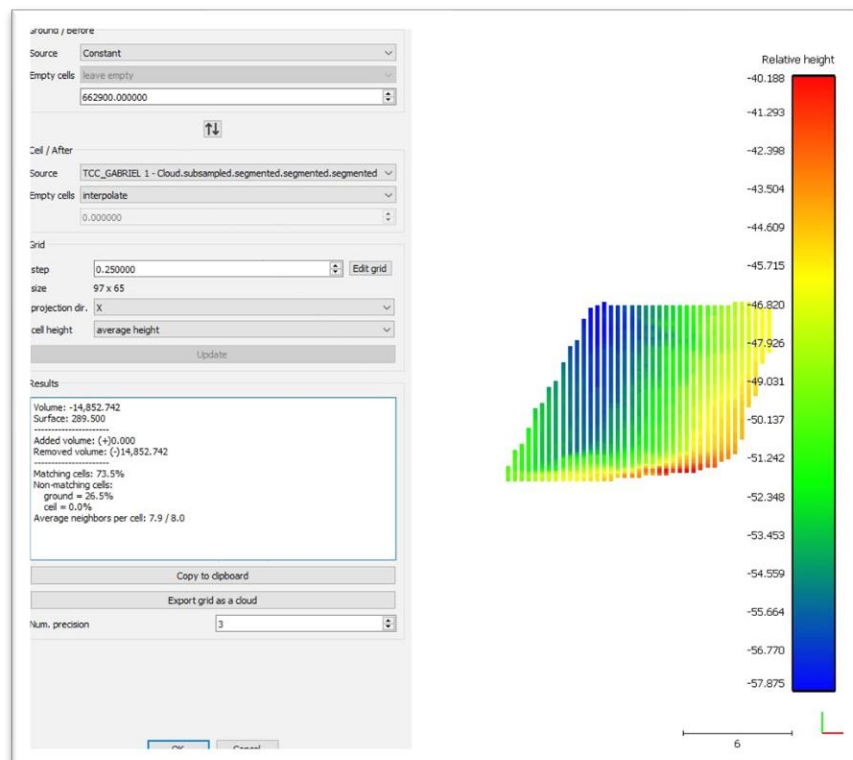
Devido ao fato de a área de escolha ser um talude vertical, para evitar qualquer tipo de interferência, foi analisado o maior e o menor valor numérico do eixo, a partir disto foi possível determinar o início da superfície de corte para o cálculo e aplicando um valor de 100 metros em relação ao eixo X para a delimitação do final da superfície foi possível obter o valor sem a perda de nenhum elemento conforme demonstra a figura abaixo, onde o valor ficou negativo considerando apenas um volume de corte conforme demonstrado na FIGURA 44 e na FIGURA 45

FIGURA 44 – VOLUME DA ÁREA PROVENIENTE DO AEROLEVANTAMENTO



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 45 - VOLUME DA ÁREA ATRAVÉS DA VARREDURA LASER SCANNER



FONTE: O Autor (2022).

3 RESULTADOS

A partir da metodologia de coleta e processamento dos dados exposta no capítulo 2, o capítulo 3 se propõe a apresentar e discutir os resultados obtidos para a região de interesse. Inicialmente, na seção 3.1, são analisados os resultados do posicionamento GNSS e aerolevantamento fotogramétrico. Em seguida, na seção 3.2, são discutidos os resultados referente ao cálculo de volume de rocha da área de estudo. Por fim, na seção 3.3, são tratados os custos estimados deste projeto relacionando cada.

3.1 Modelos tridimensionais e nuvens de pontos

A base utilizada no levantamento GNSS foi pós-processada no portal IBGE- PPP, no qual foram obtidas as coordenadas tridimensionais ajustadas e as respectivas precisões (TABELA 4) considerando as informações obtidas, a precisão alcançada foi considerada satisfatória, ponderando-se o planejamento realizado para o levantamento aerofotogramétrico, no qual foram aplicadas as coordenadas pós-processadas dos pontos de apoio.

TABELA 4 - BASE PROCESSADA

Ponto	E (m)	N (m)	H (m)	Precisão Planimétrica (m)	Precisão Altimétrica (m)
BASE_LEV	662738,954	7188786,109	960,10	0,003	0,005

FONTE: O Autor (2022).

Além das coordenadas possuírem precisões dentro do esperado, cabe destacar que, conforme o preconizado pelo IBGE (FIGURA 46), a precisão para o levantamento estático de dupla frequências foram inferiores ao limiar esperado de 0,9 cm e 1,0 cm para as coordenadas planimétricas e altimétrica, respectivamente.

FIGURA 46 - PRECISÃO ESPERADA PARA O LEVANTAMENTO

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)				
Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

A partir da aplicação da nova coordenada da base no Landstar7, foi possível obter as coordenadas dos pontos de apoio já corrigidas com suas precisões na TABELA 5. **5Erro! Fonte de referência não encontrada..**

TABELA 5 – COORDENADAS DOS PONTOS DE APOIO E RESPECTIVAS PRECISÕES

N_ID	Tipo	N	E	H	Precisão horizontal	Precisão vertical
1	Apoio	7188829,036	662777,113	952,295	0,006	0,012
2	Apoio	7188872,955	662827,995	950,846	0,007	0,015
3	Apoio	7188875,042	662926,189	932,429	0,010	0,021
4	Verificação	7188846,698	662918,220	933,847	0,010	0,022
5	Apoio	7188838,801	662992,204	916,645	0,008	0,020
6	Verificação	7188781,703	663013,705	902,349	0,010	0,024
7	Apoio	7188692,925	663066,314	901,841	0,012	0,024
8	Apoio	7188502,161	662971,752	896,542	0,019	0,037
9	Apoio	7188580,812	662898,609	882,023	0,019	0,039
10	Apoio	7188655,494	662841,044	869,450	0,034	0,034
11	Apoio	7188708,749	662856,577	867,303	0,025	0,035
12	Apoio	7188700,201	662894,182	867,230	0,011	0,016
13	Apoio	7188703,594	662889,227	867,218	0,010	0,015
14	Apoio	7188713,637	662892,103	867,223	0,011	0,016
15	Apoio	7188725,700	662893,005	867,641	0,010	0,015
16	Apoio	7188737,016	662883,310	867,797	0,022	0,032
17	Verificação	7188723,439	662861,229	867,973	0,021	0,032
18	Apoio	7188702,830	662931,227	867,497	0,007	0,011
19	Verificação	7188688,283	662945,147	867,434	0,007	0,012
21	Apoio	7188669,278	662960,851	864,542	0,010	0,015

FONTE: O Autor (2022).

Como mencionado no capítulo anterior, o acesso a determinadas regiões para a implantação dos alvos estava impedido. Desta forma, não foi possível realizar o levantamento dos pontos conforme o prévio planejamento, resultando na redução da quantidade de pontos efetivamente implantados e rastreados. A rastreio dos pontos foi realizada com o tempo de ocupação de 5 segundos. Porém, no deslocamento entre

os alvos implantados ocorreu a perda de comunicação entre o rover e a base devido a obstáculos, como vegetação e rochas com altura elevada. Com isso, em alguns pontos foi necessário o rastreo por alguns minutos, viabilizando a obtenção da solução fixa para o rastreo. Desta forma, toda a coleta levou 01 horas e 48 minutos.

De posse dos resultados, as coordenadas dos alvos levantadas e as respectivas precisões alcançadas foram consideradas satisfatórias. Destes, o ponto 10 apresentou pior precisão. Ponderando-se que o GSD planejado para a maior altura de voo foi de 5,12 centímetros, observa-se que o valor de 0,034 metros da precisão do ponto 10 é menor. Logo, decidiu-se mantê-lo como ponto de apoio para as etapas seguintes do processamento dos dados adquiridos no levantamento aerofotogramétrico.

Conforme destacado anteriormente, devido ao “*Geo fence error*” foram realizados dois voos de forma manual com VANT para o levantamento aerofotogramétrico da área de estudo. Na TABELA 6 são apresentados os dados na aquisição das fotografias, como o número de fotos e o tempo de voo por aeronave que foi superior ao planejado.

TABELA 6- INFORMAÇÕES REFERENTES A REALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS AEROFOTOGRAFAMÉTRICOS

Aeronave	Fotografias	Tempo de voo	Fotografias excluídas
DJI MAVIC II	363	00:28:17	4
DJI PHANTOM 3	301	00:38:20	7

FONTE: O Autor (2022).

Ambos os voos foram processados simultaneamente no *software* Agisoft Metashape. Com o processamento inicial, é possível visualizar as linhas de voo executadas que se diferem do planejamento exposto no capítulo anterior. As limitações ocasionadas pelo vento e a dificuldade na orientação acarretam a diferença diretamente na trajetória de voo, aumentando significativamente o tempo de execução do voo. Houve a necessidade de exclusão de algumas imagens, devido a influência do vento no momento da tomada da fotografia, que pode ser visualizado na FIGURA 47.

FIGURA 47 - OBSTRUÇÃO DO IMAGEAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO OCASIONADA PELA ESTRUTURA DA AERONAVE

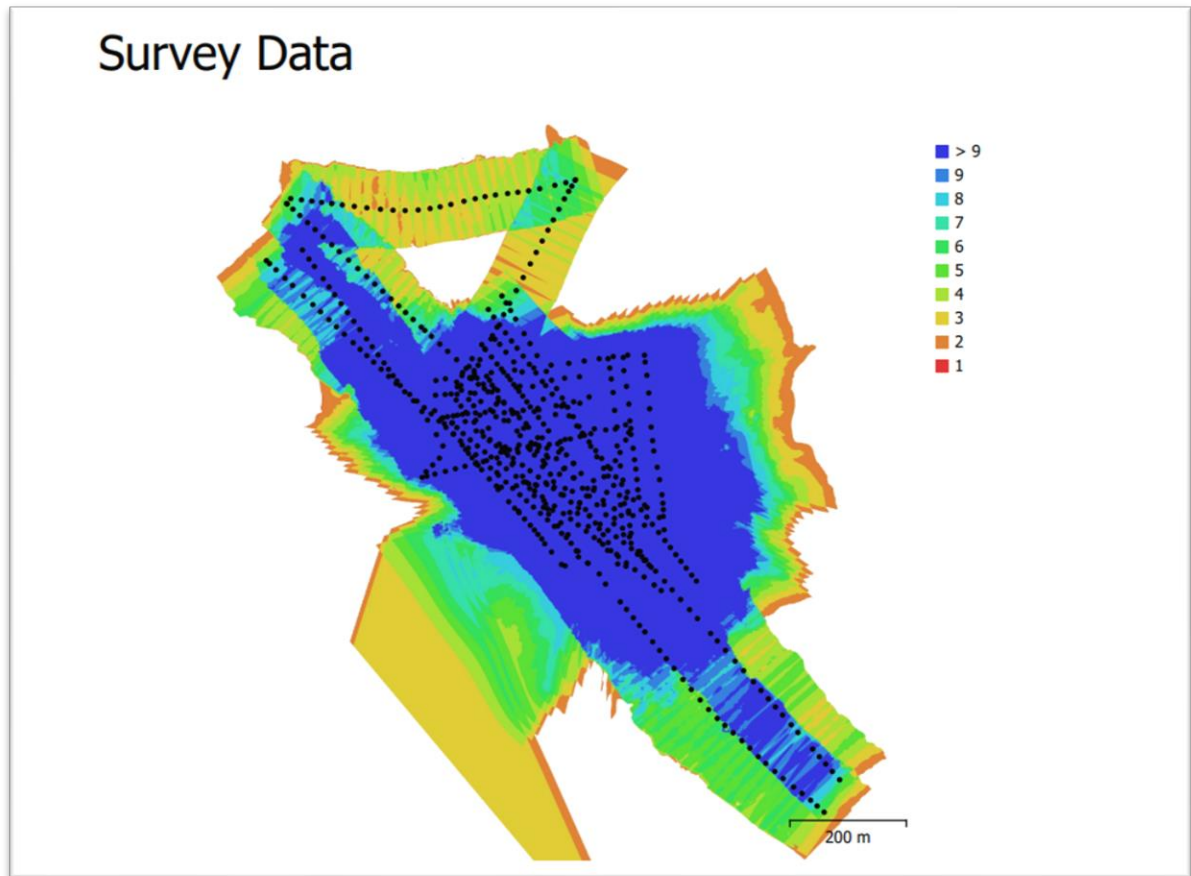


FONTE: O Autor (2022).

Conforme a TABELA 6, é possível observar que o voo livre tem duração e número de fotos superior ao voo planejado, fato que não pode ser alterado no momento da captura das imagens e só pode ser visualizado na etapa de processamento que também é afetada pois utiliza dados que em alguns casos são redundantes.

Na FIGURA 48 pode ser analisada a sobreposição alcançada entre as imagens. Observa-se que na área de interesse a sobreposição resultou na ocorrência de pelo menos 9 fotos em um mesmo pixel. Ou seja, mesmo realizando o voo de forma livre foi garantido que não houvesse buracos, garantindo a obtenção de pontos de ligação para a aerotriangulação e viabilizando a geração do modelo tridimensional da área de estudo para o cálculo do volume.

FIGURA 48 - LOCALIZAÇÃO E NÚMERO DE IMAGENS SOBREPOSTAS EM CADA PIXEL



FONTE: O Autor (2022).

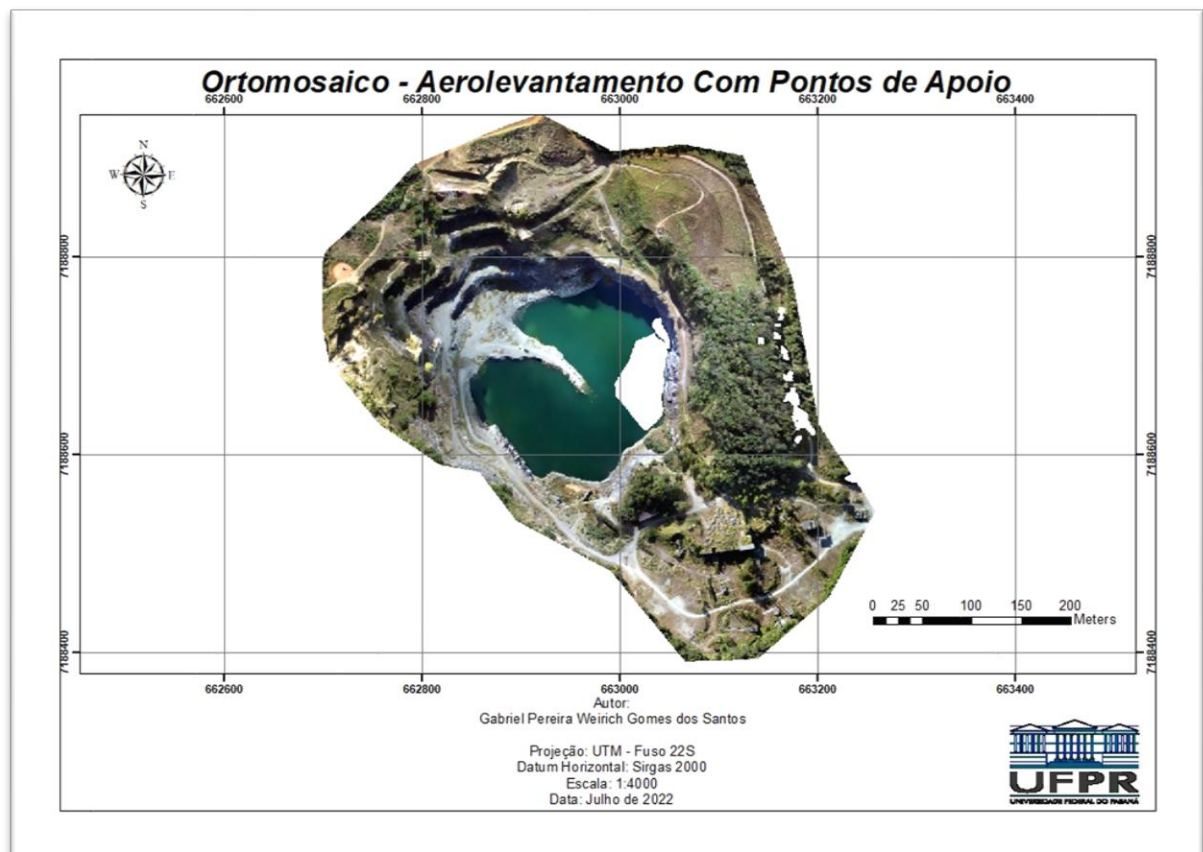
Dando continuidade aos dois processamentos, o primeiro foi caracterizado pela utilização de pontos de apoio, permitindo a materialização do sistema de referência. A partir do georreferenciamento indireto para definição dos POE, com base nos 15 pontos de controle, foi realizada a fototriangulação. Como resultado, obteve-se a altura de voo média de 115 metros, o GSD de 4,41 centímetros e a área total de levantamento de 0,771 km². Quanto a esses dados obtidos, pode se afirmar que se encontram dentro dos parâmetros calculados na etapa de planejamento, visto que GSD obtido é menor que o GSD estimado. Os produtos gerados foram: a nuvem de pontos com 30.268,452 milhões de pontos (FIGURA 49), o ortomosaico (FIGURA 50) e o modelo 3D (FIGURA 51).

FIGURA 49 - NUVEM DE PONTOS A PARTIR DO GEORREFERENCIAMENTO INDIRETO



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 50 - ORTOMOSAICO - AEROLEVANTAMENTO COM PONTOS DE APOIO



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 51 - MODELO TRIDIMENSIONAL GEORREFERENCIADO INDIRETAMENTE



FONTE: O Autor (2022).

Para verificar o resultado do processo, a TABELA 7 apresenta os 5 pontos de verificação, com as discrepâncias das coordenadas X, Y e Z e discrepância resultante 3D.

TABELA 7 - DISCREPÂNCIAS OBTIDOS NOS PONTOS DE VERIFICAÇÃO

Ponto	Discrepâncias				
	X (cm)	Y (cm)	2D (cm)	Z (cm)	3D (cm)
4	-3,073	-2,107	3,726	2,715	4,610
6	-1,513	0,794	1,708	0,817	1,894
14	0,678	-0,984	1,195	0,275	1,226
17	1,085	-0,184	1,100	2,423	2,661
19	1,710	-0,715	1,854	3,131	3,638
Total	1,805	1,148	2,139	2,181	3,055

FONTE: O Autor (2022).

Como observado, o ponto 4 possui maior discrepância planimétrica entre o ponto de verificação levantado com GNSS e o ponto homólogos na imagem georreferenciada, com resultante 2D igual a 3,726 cm. Levando-se em conta que GSD alcançado no ortomosaico foi de 4,41 cm, os valores das discrepâncias planimétricas foram considerados aceitáveis para todos os pontos por serem inferiores a dimensão do pixel.

Paralelamente, os pontos 4 e 19 possuem a maior discrepância na coordenada Z. Porém, a maior discrepância 3D foi obtido no ponto 4. De modo geral,

considerando a distribuição dos pontos de apoio e de verificação, o ponto 4 tende a apresentar maior discrepância por estar em uma região como menos pontos de apoio, ou seja, de menor rigor geométrico, além de estar na borda da área levantada, com número menor de observações (número de imagens em que o ponto 4 aparece).

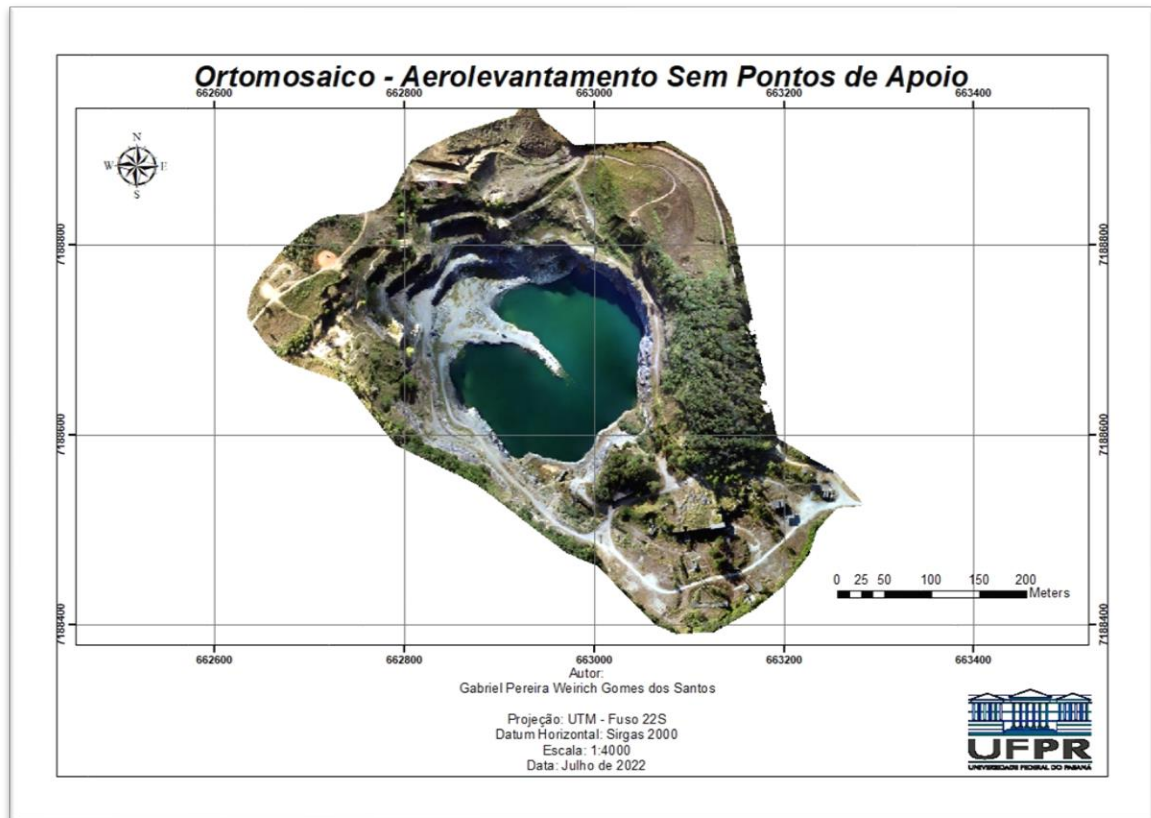
Para o segundo processamento não foram utilizados os pontos de apoio. Conforme mencionado na metodologia, as coordenadas da posição da tomada das imagens foram realizadas pelo georreferenciamento direto, ou seja, determinadas a partir do receptor GNSS de navegação embarcado na aeronave. Tais dados possuem acurácia posicional inferior aos dados levantados para os pontos de apoio, resultando em coordenadas para os POE das imagens menos acurados, reduzindo a rigidez geométrica da aerotriangulação realizada no processamento. A partir desta metodologia, a altura de voo média obtida foi de 116 metros, o GSD de 4,44 centímetros e a área total de levantamento de 0,798 km², visto que utiliza dos mesmos dados do aerolevanteamento. Também foi possível gerar a nuvem de pontos mais de 30.626,301 milhões de pontos (FIGURA 52), o ortomosaico (FIGURA 53) e o modelo 3D (FIGURA 54).

FIGURA 52 - NUVEM DE PONTOS A PARTIR DO GEORREFERENCIAMENTO DIRETO



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 53 - ORTOMOSAICO - AEROLEVANTAMENTO SEM PONTOS DE APOIO



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 54 - MODELO TRIDIMENSIONAL GEORREFERENCIADO DIRETAMENTE



FONTE: O Autor (2022).

Na TABELA 8 observa-se que há diferenças em todos os dados obtidos para cada processamento. Esta diferença está ligada às diferentes metodologias utilizadas na materialização do referencial, tornando o produto proveniente do processamento com pontos de apoio mais acurado. Consequentemente, as informações métricas extraídas do primeiro processamento são consideradas mais confiáveis em relação ao não apoiado, em relação a área sobrevoada, temos a mesma superior à área planejada devido as interferências do voo livre que já foram exploradas.

TABELA 8 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS OBTIDOS
AEROLEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

	Com pontos de apoio	Sem pontos de apoio
Área (km²)	0,771	0,798
Alt. Voo (m)	115	116
GSD (cm)	4.41	4.44
Quant. De Pontos	30.268,452	30.626,301

FONTE: O Autor (2022).

A partir da técnica de varredura por laser scanner terrestre, foram obtidas 11 nuvens de pontos levantando uma área total de 5.848 m². Porém, no registro das nuvens apenas 8 varreduras foram utilizadas, considerando que as demais nuvens apresentavam dados que não impactavam na área de estudo. A sobreposição média entre nuvens de pontos foi de 31%, com o erro médio de 0,6 cm. Para este estudo tal sobreposição atende a necessidade considerando a formação do talude. Após o registro, a região de estudo foi segmentada e os pontos fora do polígono delimitado foram excluídos, resultando em uma única nuvem de pontos final com 71 milhões de pontos.

Na FIGURA 55 é possível observar que a nuvem de pontos registrada representa, de forma detalhada, os fragmentos de rocha. A partir de uma avaliação visual prévia é evidenciado a redundância de dados na representação da superfície de estudos, o que pode favorecer a extração de informação da região, destacando a potencialidade da técnica quando comparado aos levantamentos topográficos de representação de terreno.

FIGURA 55 - NUVEM REGISTRADA



FONTE: O Autor (2022).

A nuvem exportada do *software Cyclone* tem sua manipulação limitada devido a capacidade do hardware. Assim, efetuou-se a compressão dos dados no *CloudCompare*, reduzindo o número de pontos para 35 milhões de pontos. Porém, devido continuidade na dificuldade de manipulação dos dados, a área de estudo definida para o cálculo do volume foi reduzida. Com isso, apenas os dados derivados das nuvens 2 e 3 foram mantidos, uma vez que estas apresentaram melhor sobreposição, totalizando 53% de região de coincidência entre as nuvens e 0,5 cm de erro para o registro, oferecendo maior confiabilidade para extração de informação.

A partir das fotografias tomadas no momento da varredura, também foi possível elaborar a imersão virtual, possibilitando a navegação na área de estudo. No QR CODE apresentado na FIGURA 56 é possível acessar a imersão virtual e na FIGURA

57 o vídeo demonstrando a nuvem de pontos obtida a partir da varredura laser scanner.

FIGURA 56 - QR CODE IMERSÃO VIRTUAL



FONTE: O Autor (2022).

FIGURA 57 - QR CODE VISUALIZAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS



FONTE: O Autor (2022).

3.2 Cálculo de volume

O cálculo de volume foi realizado primeiramente com os produtos do aerolevantamento georreferenciado diretamente e indiretamente. Em uma mesma área foi obtido os valores de volume descritos na TABELA 9.

TABELA 9 - VOLUME ENTRE OBTIDO PARA CADA PROCESSAMENTO

COM PONTOS DE APOIO	VOO SEM PONTOS DE APOIO
21.106,50 M ³	22.184,90 M ³

Fonte: O Autor (2022).

Para esta análise, o modelo tridimensional gerado pelo aerolevantamento com pontos de apoio foi tomado como base, visto que o outro processamento não fornece produtos com a mesma qualidade métrica por utilizar o sensor GNSS de navegação, o qual possui baixa precisão posicional. Logo, o primeiro modelo representa melhor as características presentes na superfície de estudo, possibilitando a extração do volume com maior rigor métrico. O volume derivado do modelo gerado sem pontos de apoio apresentou valor 5,11% acima do modelo utilizado com referência. Este valor reflete a importância em se realizar o aerolevantamento com pontos de apoio, visto os possíveis impactos financeiros que a determinação equivocada do volume poderia causar durante o tempo de operação da mina.

Estimando-se uma extração de 125 mil metros cúbicos mensais e o valor médio de venda final praticado de R\$ 30,00 m³, por exemplo, a empresa teria uma receita anual de R\$ 45.000.000. A diferença de 5,11% caracterizaria em uma perda de 18 dias de operação e R\$ 2.250.000 milhões de reais.

Com base na justificativa apresentada anteriormente, na intenção de se obter uma melhor caracterização da área e, conseqüentemente, um volume que represente melhor a realidade da mina, o cálculo de volume seguinte foi efetuado entre a nuvem de pontos derivada do processamento com pontos de apoio e a nuvem proveniente da varredura por laser scanner terrestre.

Para esta comparação o valor proveniente da varredura laser scanner foi adotado como parâmetro base, devido ao maior detalhamento que está relacionado a maior densidade na obtenção dos pontos, que por sua vez caracteriza a área detalhadamente, reduzindo a perda de informações e garantindo um volume mais preciso. Na TABELA 9 é possível visualizar os volumes obtidos para cada técnica.

TABELA 10 - VOLUMES DERIVADOS DAS NUENS DE PONTOS

Varredura laser scanner	Voo com pontos de apoio
14.852,742 m ³	14.933,17 m ³

Fonte: O Autor (2022).

Considerando o modo de varredura utilizado, percentual que difere os cálculos de volume é de 0,54%. Tal percentual poderia ser ainda maior, visto que o equipamento utilizado possui modos de varredura mais precisos e densos, porém para este estudo não se viu necessidade de utilizar os modos que apresentam um

detalhamento ainda maior, considerando o curto prazo de tempo para processamento e análises.

Com base no cálculo da estimativa da receita de uma mineradora utilizando os mesmos valores adotados anteriormente e o valor do laser como referência de quantificação de volume, temos para uma produção anual que impacta na perda de 2 dias meses ou R\$243.000,00 mil reais.

3.3 CUSTOS

A TABELA 11 representa os custos para aplicação da técnica de levantamento a partir da varredura com laser scanner.

TABELA 11 - CUSTO DO LEVANTAMENTO POR VARREDURA LASER TERRESTRE

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	UNITÁRIO	TOTAL
1	LOCAÇÃO LASERSCANNER	DIA	2,00	910,00	1.820,00
2	ENGENHEIRO - CAMPO	DIA	1,00	644,88	644,88
3	ENGENHEIRO - ESCRITÓRIO	DIA	20,00	644,88	12.897,56
4	AUXILIAR - CAMPO	DIA	1,00	141,55	141,55
5	AUXILIAR - ESCRITÓRIO	DIA	1,00	141,55	141,55
6	ALVOS	UD	6,00	30,00	180,00
7	LOCAÇÃO VEÍCULO	DIA	1,00	450,00	450,00
8	COMBUSTÍVEL	L	20,00	5,40	108,00
TOTAL CUSTO					16.383,55
Benefícios e Despesas Indiretas		26,39%			4.323,62
TOTAL					20.707,16

Fonte: O Autor (2022).

A TABELA 11 representa os custos para aplicação da técnica de levantamento a partir do aerolevantamento com pontos de apoio.

TABELA 12- CUSTO DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO COM PONTOS DE APOIO

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QTD.	UNITÁRIO	TOTAL
1	Locação Drone Djimavic li	DIA	1,00	600,00	600,00
2	Locação Kit Receptor Gnss Chc	DIA	1,00	300,00	300,00
3	Agisoft Photoscan (Licença Anual) Brasil Softs	GB	1,00	623,90	623,90
4	Engenheiro - Campo	DIA	1,00	644,88	644,88
5	Engenheiro - Escritório	DIA	20,00	644,88	12.897,56
6	Auxiliar - Campo	DIA	2,00	141,55	283,10
7	Auxiliar - Escritório	DIA	2,00	141,55	283,10
8	Alvos	UD	29,00	30,00	870,00
9	Locação Veículo	DIA	1,00	450,00	450,00
10	Combustível	L	20,00	5,40	108,00
TOTAL CUSTO					17.060,55
Benefícios e Despesas Indiretas		26,39%			4.502,28
TOTAL					21.562,83

FONTE: O Autor (2022).

A TABELA 13 representa os custos para aplicação da técnica de levantamento a partir do aerolevante sem pontos de apoio.

TABELA 13 - CUSTO DO LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO SEM PONTOS DE APOIO

ITEM	DESCRIÇÃO	UNID.	QTD.	UNITÁRIO	TOTAL
1	Locação Drone Djimavic li	DIA	1,00	600,00	600,00
2	Agisoft Photoscan (Licença Anual) Brasil Softs	GB	1,00	623,90	623,90
3	Engenheiro - Campo	DIA	1,00	644,88	644,88
4	Engenheiro - Escritório	DIA	15,00	644,88	9.673,17
5	Auxiliar - Campo	DIA	1,00	141,55	141,55
6	Auxiliar - Escritório	DIA	2,00	141,55	283,10
7	Locação Veículo	DIA	1,00	450,00	450,00
8	Combustível	L	20,00	5,40	108,00
TOTAL CUSTO					12.524,61
Benefícios e Despesas Indiretas		26,39%			3.305,24
TOTAL					15.829,85

FONTE: O Autor (2022).

Com base nos dados apresentados e da análise realizada nos tópicos anteriores, é possível estudar a viabilidade e o impacto de cada técnica neste estudo. Tratando da comparação do custo financeiro entre o aerolevante com e sem pontos de apoio, tem-se uma diferença de R\$ 5.732,98 entre a aplicação das duas técnicas. Esta diferença é inferior ao valor de prejuízo calculado na seção 3.2. Mesmo considerando que a técnica apoiada demanda a necessidade de mais mão de obra,

materiais e equipamentos, estima-se uma grande perda financeira a longo prazo com a utilização da técnica de voo não apoiado, considerando que a economia dos R\$ 5.732,98 acarreta um prejuízo na ordem do milhão.

A nuvem de pontos com a caracterização da superfície foi obtida abrangendo toda área a partir do aerolevanteamento, enquanto no mesmo tempo de trabalho o laser permitiu o levantamento de apenas um talude vertical que simboliza em apenas 0,07 % da área total levantada com o VANT. Logo tem-se a necessidade de realizar mais campanhas de levantamento, impactando diretamente no custo do levantamento. Deve se levar em consideração também a impossibilidade da varredura de determinadas áreas e a demanda de hardware e *software* que seriam exigidas posteriormente na etapa de processamento, impactando também no custo, pois no item anterior a estimativa foi realizada com base em uma única área, logo ao considerar toda a pedreira a técnica de varredura laser scanner tem seu custo aumentado significativamente. Portanto, pela comparação apresentada, afirma-se que a utilização do aerolevanteamento com pontos de apoio para o georreferenciamento indireto é mais adequando para o estudo proposto.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Para este trabalho foi abordado a aplicação de técnicas modernas de aquisição de dados a partir de nuvem de pontos oriundas do aerolevantamento com VANT e varredura laser scanner para realizar o cálculo de volume na mineração.

A aplicação das metodologias permitiu avaliar a possibilidade da utilização do aerolevantamento sem pontos de apoio com VANT utilizando o posicionamento de forma direta com GNSS de baixa precisão, que quando comparado ao voo com posicionamento indireto permitiu a determinação da diferença de volume de 5,11%.

Ao relacionar a diferença apresentada com o custo das técnicas é possível determinar a inviabilidade do aerolevantamento sem apoio nesta aplicação, considerando que a economia na realização da técnica gera um enorme prejuízo financeiro na operação da mina.

Em relação ao desempenho da varredura laser scanner, a mesma se mostra superior aos dados provenientes do aerolevantamento, porém possui limitações ao aplicá-la no estudo em questão, tais limitações demandam mais tempo e acaba acarretando altos custos e ainda assim determinadas regiões não são passíveis de varredura, impedindo a obtenção dos dados.

De forma geral, tem-se a varredura com laser scanner como a técnica que representa a geometria dos elementos de interesse com maior riqueza de detalhes, porém no estudo em questão, a técnica que melhor atende as necessidades e permitiu a obtenção de dados de toda a área de estudo gerando e por fim o reconhecimento de toda a área de forma precisa, foi o aerolevantamento com a utilização de pontos de apoio.

Tal fato ressalta a importância de um profissional qualificado para a execução das etapas necessárias, pois com o domínio e familiaridade com o conjunto de materiais e métodos aqui apresentados irá resultar em diferentes alternativas com fim de suprir a demanda necessária, entregando um produto preciso e de qualidade.

Por fim, tem-se as seguintes recomendações que permitem a continuidade deste estudo:

- A obtenção de dados a partir de VANT com sistema GNSS de melhor precisão;
- O estudo que as diferenças em altimetria causam nos processos de obtenção de dados;

- Os estudos em relação a metodologia de posicionamento dos alvos de forma que abranja mais pontos da área de estudo; e
- A utilização de laser scanner aerotransportado para a verificação do produto que pode ser obtido.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. B. Fotogrametria. 2.ed. ABNT. NBR 13133: Execução de Levantamento. Curitiba, PR: SBEE, 2003. 255 p.

BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B., **Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros**. Petrobras Asfaltos, ABEDA, Rio de Janeiro, 2010.

Conceitos gerais, o que é cartografia? GNSS Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/sistema-global-de-navegac-a-o-por-sate-litess.html> Acesso em: 27 ago. 2022.

Dji Mavic Mini 2. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mavic-2>. Acesso em: 01 set. 2022.

Dji Phantom 3. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-3-standard>. Acesso em: 01 set. 2022.

DRONENG. Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com Drone?. 2015. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quando-utilizar/> Acesso em: 23 ago. 2022

DNPM. **Legislação na mineração**. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=182620>. Acesso em 05 set.2022.

IBGE-PPP - Serviço online para pós-processamento de dados GNSS. Disponível em: <https://ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 25 ago. 2022.

GALO, M. 1993. **Calibração e Aplicação de Câmaras Digitais**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Geodésicas.

GEMAEL, C.; MACHADO, A. M. de L.; WANDRESEN, R. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba, Editora da UFPR, 2015.

Ground sampling distance (GSD) in photogrammetry. Disponível em: <https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD-in-photogrammetry>. Acesso em: 22 ago . 2022.

LEICA GEOSYSTEMS AG. LEICA BLK360: Manual do usuário. Suíça: Leica Geosystems AG, 2021. Disponível em: <https://shop.leica-geosystems.com/sites/def>

[ault/files/2022-01/867884_Leica_BLK360_UM_v4.0.0_pt_br.pdf](#). Acesso em: 25 ago. 2022.

LICCARDO, A. et al. **Boletim Paranaense de Geociências** Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/4251/3431>, n. 54, p. 41-49, 2004. Editora UFPR. Acesso em: 25 ago. 2022.

SANTOS, D. R., **Fotogrametria I (1ª. Edição 2009) última atualização 2014**. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~danielsantos/FS-capII_A5.pdf. Departamento de Geomática UFPR. Acesso em: 26 ago. 2022.

SILVA, J. A. P. **A mineração de brita na região metropolitana do Rio de Janeiro**. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/3161>. Acesso em: 27 ago. 2022.

KRUEGER, C. P. et al. Posicionamento GNSS em Tempo Real: Evolução, Aplicações Práticas e Perspectivas para o Futuro. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/56620/30764> Acesso em: 27 ago. 2022.

ANEXO 1 – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO COM PONTOS DE APOIO**Processamento Com Pontos de Apoio**

Processing Report
21 August 2022



Survey Data

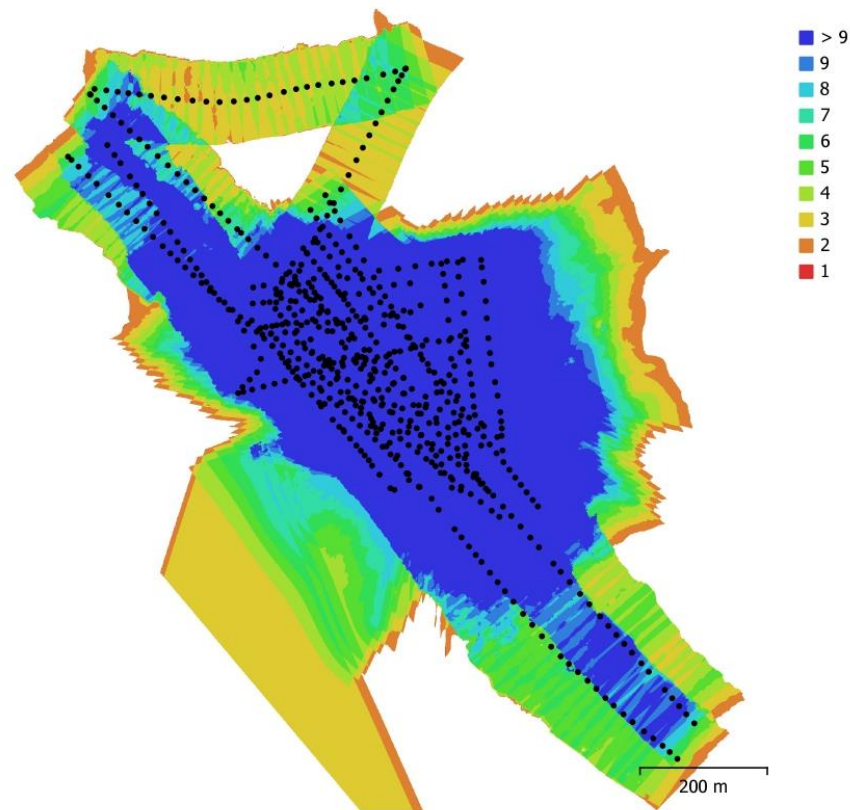


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	642	Camera stations:	642
Flying altitude:	115 m	Tie points:	442,446
Ground resolution:	4.41 cm/pix	Projections:	1,853,420
Coverage area:	0.771 km ²	Reprojection error:	1.52 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC300C (3.61mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 μ m	No
FC7303 (4.49mm)	4000 x 2250	4.49 mm	1.76 x 1.76 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

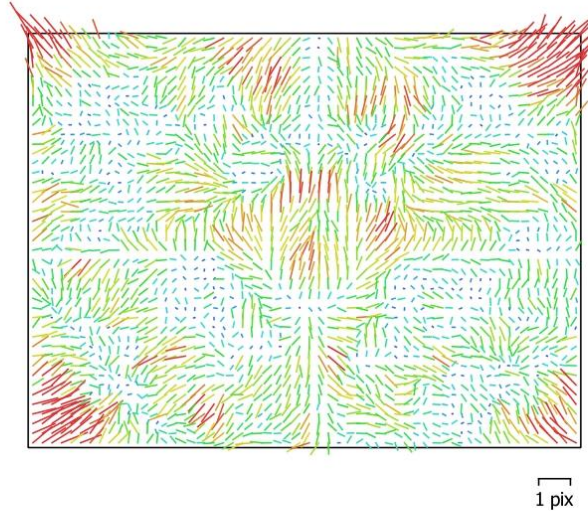


Fig. 2. Image residuals for FC300C (3.61mm).

FC300C (3.61mm)

287 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2697.11	0.13	1.00	-0.09	-0.63	-0.08	0.13	-0.09	0.01	-0.25
Cx	83.3196	0.06		1.00	0.02	-0.02	0.02	-0.03	0.76	-0.02
Cy	11.7105	0.065			1.00	-0.05	-0.01	-0.01	0.00	0.67
K1	-0.00164712	7e-05				1.00	-0.96	0.91	-0.01	-0.04
K2	-0.00668681	0.00019					1.00	-0.98	0.01	-0.00
K3	0.0181341	0.00016						1.00	-0.01	-0.01
P1	0.000231483	6.2e-06							1.00	0.01
P2	-0.00142337	5.6e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

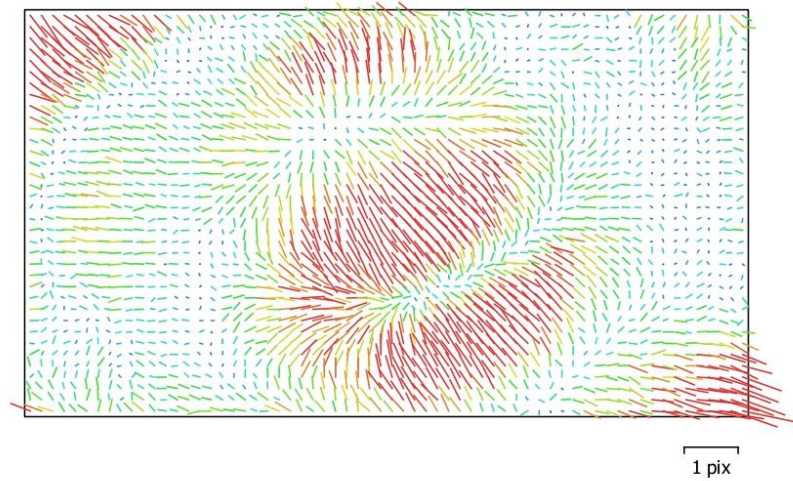


Fig. 3. Image residuals for FC7303 (4.49mm).

FC7303 (4.49mm)

355 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 2250	4.49 mm	1.76 x 1.76 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3031.69	0.074	1.00	0.03	-0.24	-0.26	0.29	-0.26	-0.02	-0.02
Cx	-13.9542	0.069		1.00	-0.01	-0.02	0.02	-0.02	0.91	-0.00
Cy	-27.6529	0.055			1.00	-0.03	0.00	0.00	-0.01	0.75
K1	0.00657806	0.00011				1.00	-0.96	0.90	-0.03	-0.04
K2	-0.0266961	0.00043					1.00	-0.98	0.02	0.01
K3	0.0255499	0.00052						1.00	-0.02	-0.01
P1	-0.000214011	7.6e-06							1.00	-0.01
P2	0.000101997	5.9e-06								1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

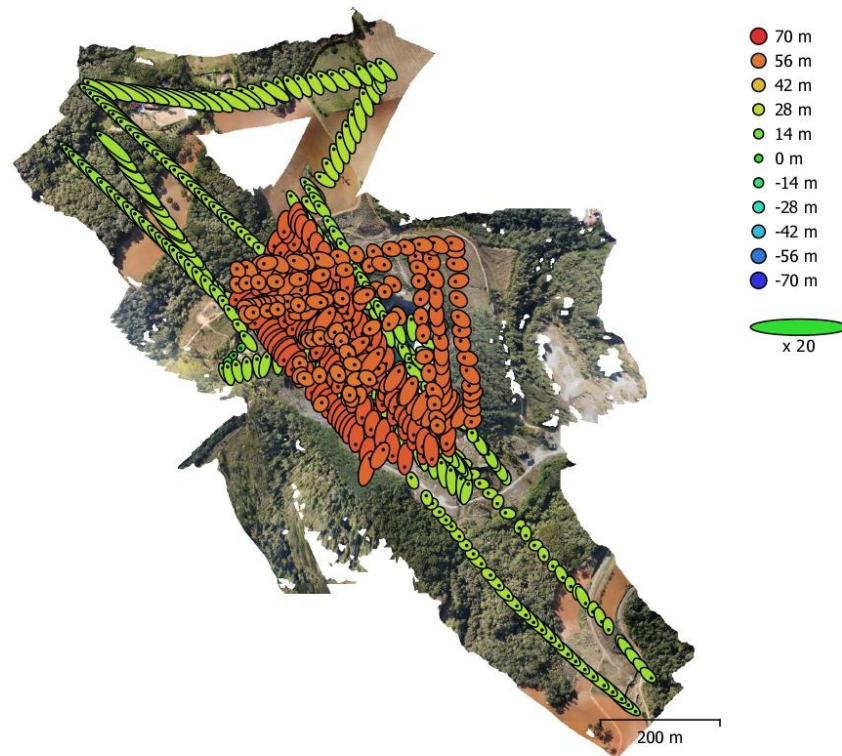


Fig. 4. Camera locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.773756	0.971849	43.5471	1.24225	43.5648

Table 4. Average camera location error.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points

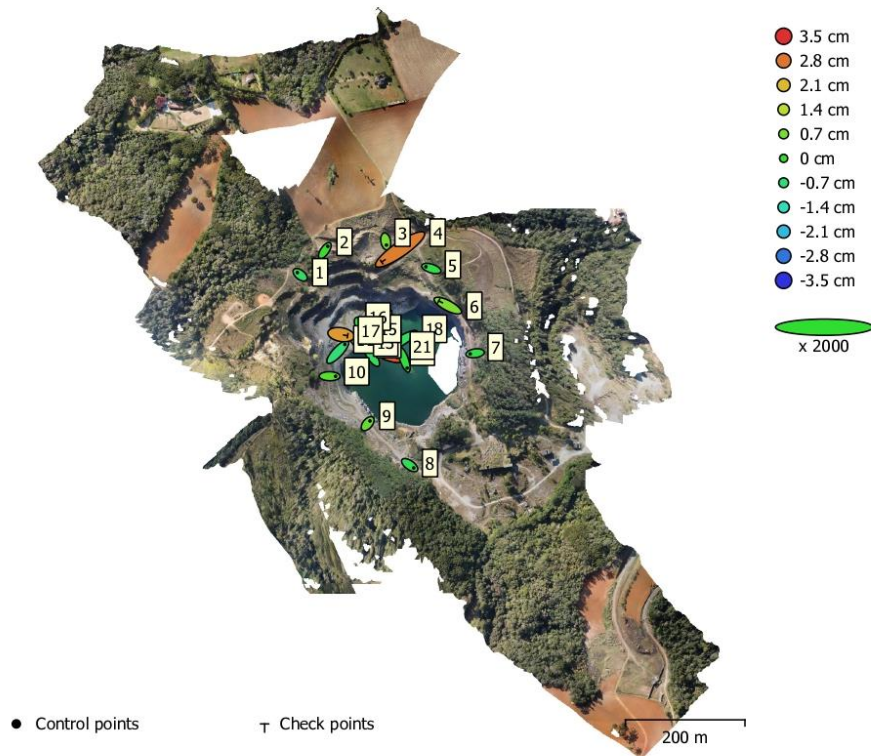


Fig. 5. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
15	0.842991	0.776572	0.458702	1.14617	1.23455

Table 5. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
5	1.80509	1.14764	2.18115	2.13902	3.05497

Table 6. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
1	-0.474707	0.370591	-0.506128	0.78667	1.027 (25)
2	0.489478	0.709423	0.0957788	0.867205	0.828 (16)
3	0.119963	-0.611471	0.69219	0.931351	1.114 (16)
5	-0.908566	0.293406	-0.225797	0.981104	1.082 (19)
7	-0.813087	-0.106601	-0.265282	0.861887	0.632 (19)
8	0.672701	-0.475086	-0.371409	0.903426	0.797 (18)
9	0.382788	0.456347	0.555368	0.814379	0.879 (45)
10	0.99294	-0.016666	0.391174	1.06734	0.926 (63)
11	1.17542	1.24842	-0.735615	1.86582	0.742 (95)
12	-0.722242	1.06331	-0.441405	1.35908	0.813 (142)
13	0.843635	-0.612021	0.359972	1.10266	0.817 (153)
15	-0.532761	0.822545	0.701806	1.20538	0.831 (115)
16	0.236979	-0.510418	-0.213636	0.601935	0.762 (118)
18	-1.97188	-1.20873	-0.510026	2.36843	1.188 (65)
21	0.51509	-1.42754	-0.164455	1.52651	1.133 (120)
Total	0.842991	0.776572	0.458702	1.23455	0.898

Table 7. Control points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
4	-3.07274	-2.10745	2.71542	4.61049	0.819 (9)
6	-1.51279	0.793875	0.816904	1.8937	0.990 (21)
14	0.67802	-0.984285	0.274618	1.22635	0.710 (150)
17	1.08477	-0.183959	2.42264	2.66078	0.837 (136)
19	1.71027	-0.714921	3.13075	3.63837	1.088 (90)
Total	1.80509	1.14764	2.18115	3.05497	0.865

Table 8. Check points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

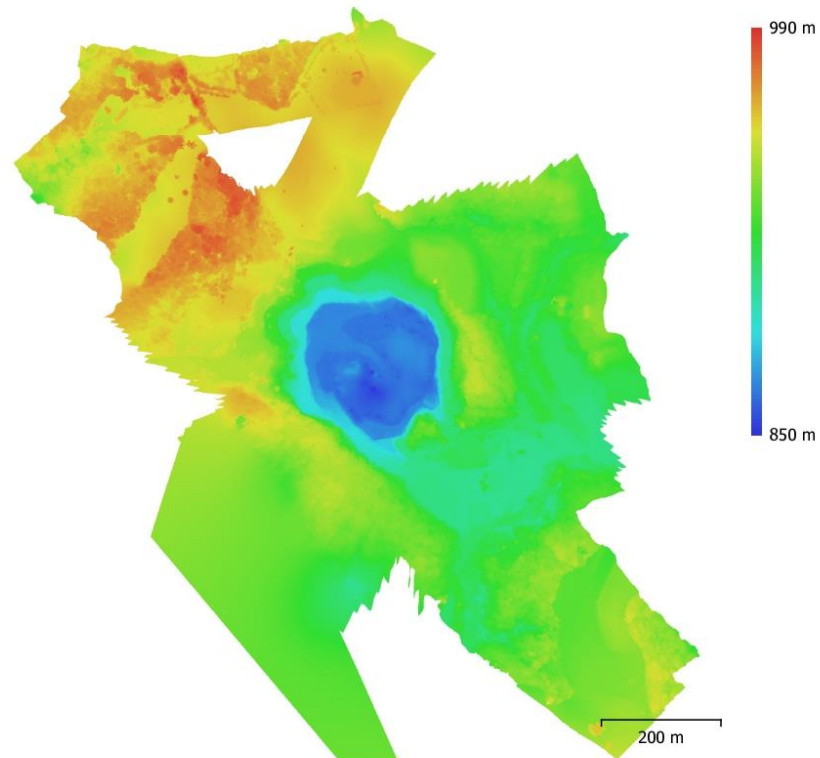


Fig. 6. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 17.6 cm/pix
Point density: 32.1 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	642
Aligned cameras	642
Markers	20
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	442,446 of 504,710
RMS reprojection error	0.187113 (1.52249 pix)
Max reprojection error	0.672037 (59.1089 pix)
Mean key point size	7.35852 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.17724

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	3 minutes 38 seconds
Matching memory usage	364.16 MB
Alignment time	9 minutes 25 seconds
Alignment memory usage	283.21 MB

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	37 seconds
Date created	2022:08:18 22:34:48
Software version	1.8.4.14671
File size	51.53 MB

Depth Maps

Count	642
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	12 minutes 17 seconds
Memory usage	1.02 GB
Date created	2022:08:19 01:51:14
Software version	1.8.4.14671
File size	643.77 MB

Dense Point Cloud

Points	30,268,452
Point colors	3 bands, uint8

Depth maps generation parameters

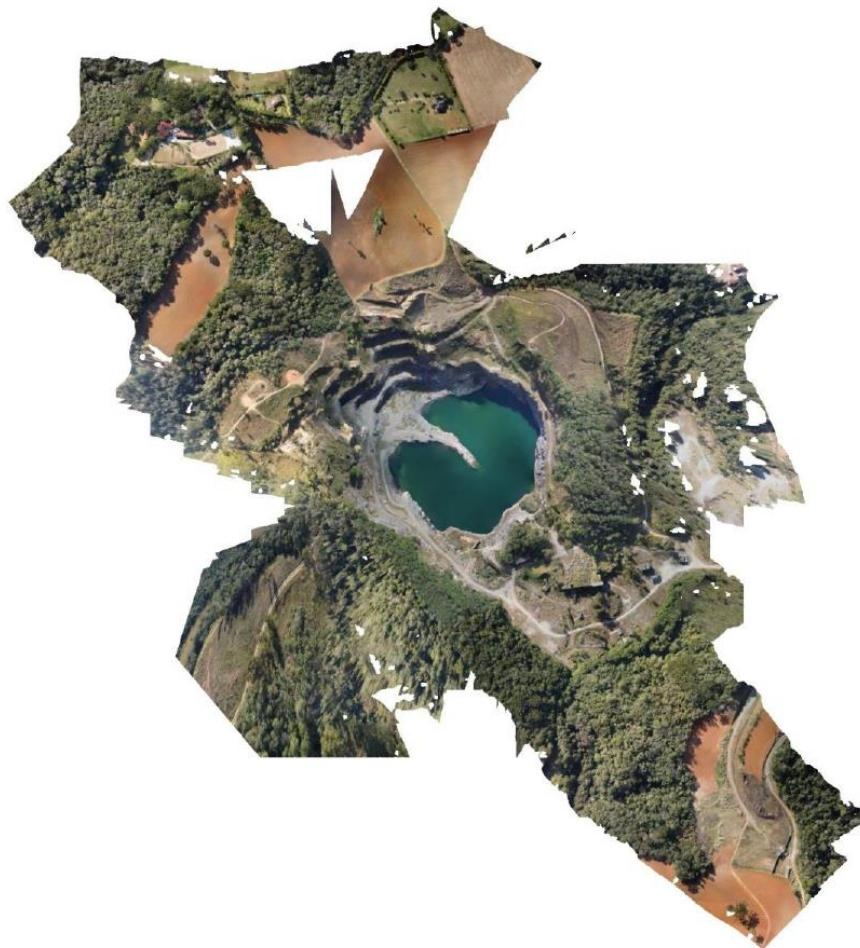
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	12 minutes 17 seconds
Memory usage	1.02 GB
Dense cloud generation parameters	
Processing time	24 minutes 44 seconds
Memory usage	2.73 GB
Date created	2022:08:21 17:54:10
Software version	1.8.4.14671
File size	429.16 MB
Model	
Faces	5,868,328
Vertices	2,935,946
Vertex colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	12 minutes 17 seconds
Memory usage	1.02 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	6 minutes 55 seconds
Memory usage	3.01 GB
Date created	2022:08:21 18:30:11
Software version	1.8.4.14671
File size	134.34 MB
DEM	
Size	12,335 x 13,023
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	1 minutes 4 seconds
Memory usage	307.09 MB
Date created	2022:08:21 18:49:54
Software version	1.8.4.14671
File size	103.25 MB
Orthomosaic	
Size	25,988 x 28,569
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
Processing time	10 minutes 52 seconds
Memory usage	1.52 GB
Date created	2022:08:21 18:57:21
Software version	1.8.4.14671
File size	7.22 GB

System

Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.4 build 14671
OS	Windows 64 bit
RAM	7.87 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1650

ANEXO 2 – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO SEM PONTOS DE APOIO**SEM APOIO**

Processing Report
05 September 2022



Survey Data

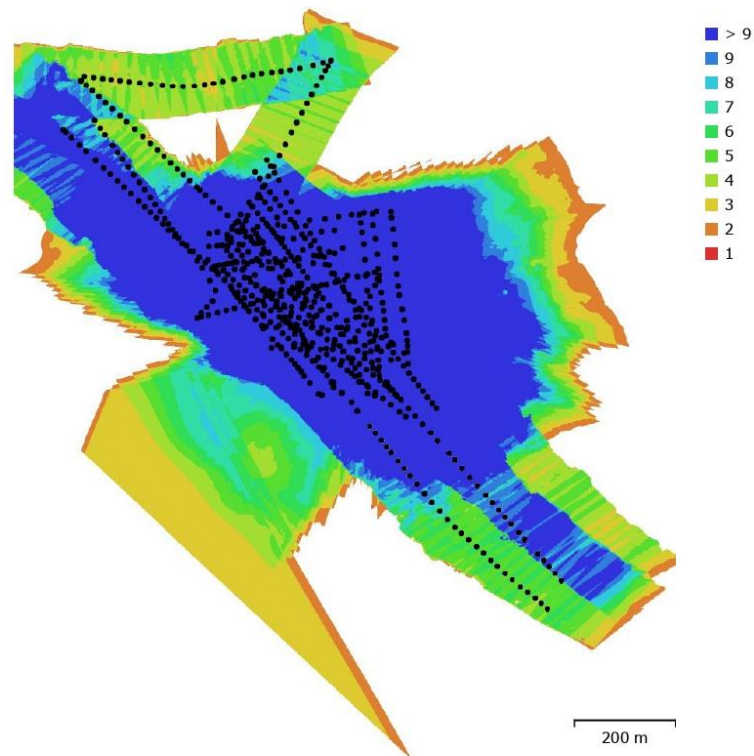


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	658	Camera stations:	658
Flying altitude:	116 m	Tie points:	444,101
Ground resolution:	4.44 cm/pix	Projections:	1,882,761
Coverage area:	0.798 km ²	Reprojection error:	1.52 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC300C (3.61mm)	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 μm	No
FC7303 (4.49mm)	4000 x 2250	4.49 mm	1.76 x 1.76 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

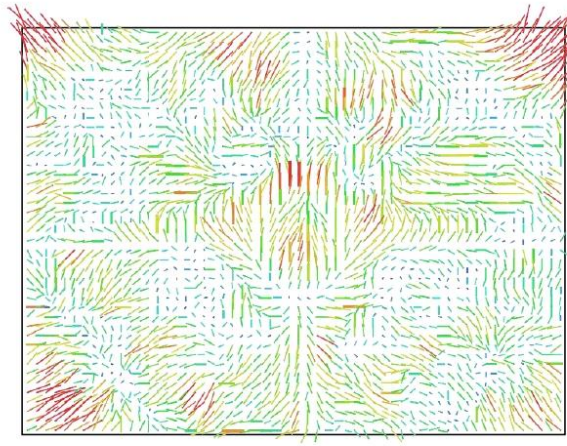


Fig. 2. Image residuals for FC300C (3.61mm). $\sqrt{1 \text{ pix}}$

FC300C (3.61mm)

301 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 3000	3.61 mm	1.56 x 1.56 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2701.3	0.14	1.00	-0.20	-0.54	-0.05	0.12	-0.07	0.01	-0.18
Cx	83.9772	0.068		1.00	0.09	-0.03	0.03	-0.04	0.74	-0.00
Cy	12.6097	0.07			1.00	-0.06	-0.00	-0.01	0.03	0.71
K1	-0.000420034	7.1e-05				1.00	-0.96	0.90	-0.02	-0.05
K2	-0.0112736	0.00019					1.00	-0.98	0.01	-0.00
K3	0.02267	0.00016						1.00	-0.01	-0.00
P1	0.000281782	6.9e-06							1.00	0.06
P2	-0.00143939	6.5e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Calibration

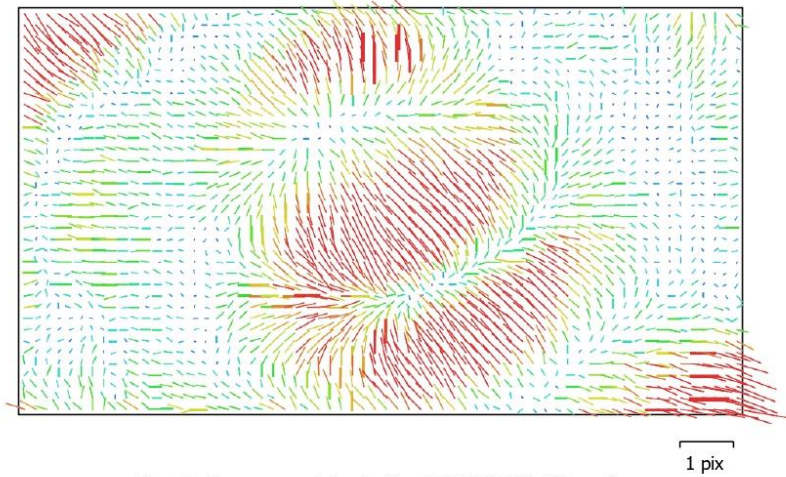


Fig. 3. Image residuals for FC7303 (4.49mm).

FC7303 (4.49mm)

357 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 2250	4.49 mm	1.76 x 1.76 μm

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3032.83	0.089	1.00	-0.00	-0.30	-0.16	0.23	-0.20	-0.06	-0.10
Cx	-14.3189	0.066		1.00	0.01	-0.02	0.02	-0.03	0.90	0.00
Cy	-27.7611	0.051			1.00	-0.04	-0.00	0.01	0.00	0.74
K1	0.005239	0.0001				1.00	-0.95	0.89	-0.03	-0.04
K2	-0.0225829	0.0004					1.00	-0.98	0.02	0.01
K3	0.0205229	0.00048						1.00	-0.02	-0.01
P1	-0.000232912	7.2e-06							1.00	-0.01
P2	0.000100556	5.5e-06								1.00

Table 3. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

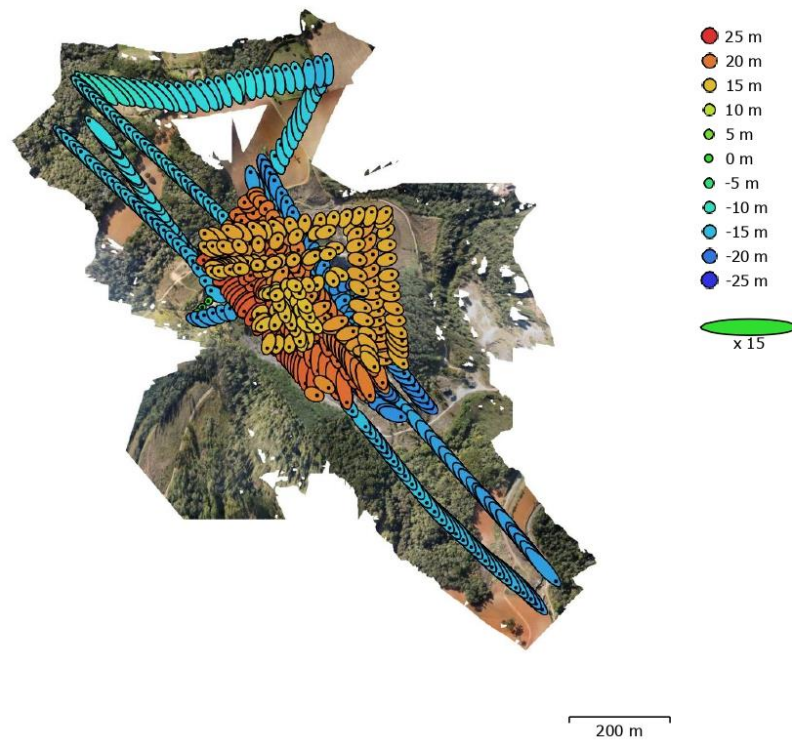


Fig. 4. Camera locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.29346	1.65749	17.09	2.10246	17.2189

Table 4. Average camera location error.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

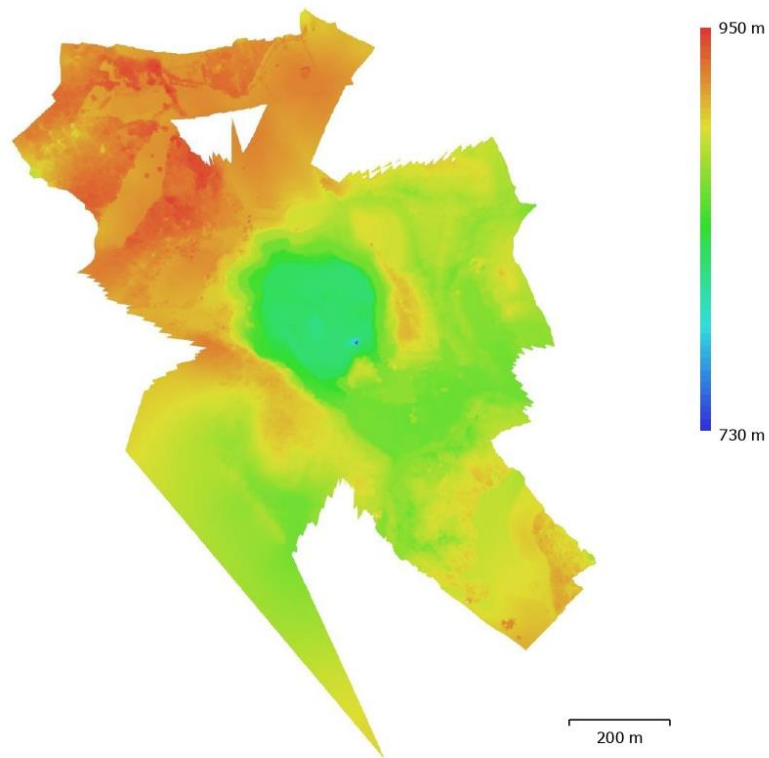


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 17.8 cm/pix
Point density: 31.6 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	642
Aligned cameras	642

Shapes

Polygon	1
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	444,101 of 507,157
RMS reprojection error	0.18617 (1.52056 pix)
Max reprojection error	0.641004 (58.9849 pix)
Mean key point size	7.37192 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	5.3116

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	3 minutes 21 seconds
Matching memory usage	417.04 MB
Alignment time	9 minutes 54 seconds
Alignment memory usage	513.31 MB

Optimization parameters

Parameters	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	19 seconds
Date created	2022:08:21 19:31:28
Software version	1.8.4.14671
File size	52.81 MB

Depth Maps

Count	642
-------	-----

Depth maps generation parameters

Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	14 minutes 1 seconds
Memory usage	1.05 GB
Date created	2022:08:21 19:57:37
Software version	1.8.4.14671
File size	658.11 MB

Dense Point Cloud

Points	30,626,301
Point colors	3 bands, uint8

Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	14 minutes 1 seconds
Memory usage	1.05 GB
Dense cloud generation parameters	
Processing time	25 minutes 0 seconds
Memory usage	4.13 GB
Date created	2022:08:21 20:22:37
Software version	1.8.4.14671
File size	428.73 MB
Model	
Faces	5,871,873
Vertices	2,937,717
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	8,192 x 8,192, 4 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	14 minutes 1 seconds
Memory usage	1.05 GB
Reconstruction parameters	
Surface type	Arbitrary
Source data	Depth maps
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	6 minutes 31 seconds
Memory usage	4.17 GB
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	8,192
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	2 minutes 50 seconds
UV mapping memory usage	2.83 GB
Blending time	9 minutes 44 seconds
Blending memory usage	3.15 GB
Blending GPU memory usage	2.19 GB
Date created	2022:08:21 20:29:53
Software version	1.8.4.14671
File size	361.65 MB
Tiled Model	
Texture	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	14 minutes 1 seconds
Memory usage	1.05 GB
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Tile size	256
Face count	Medium

Enable ghosting filter	No
Processing time	33 minutes 45 seconds
Memory usage	3.12 GB
Date created	2022:08:21 21:25:41
Software version	1.8.4.14671
File size	459.02 MB
DEM	
Size	12,234 x 12,944
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	1 minutes 5 seconds
Memory usage	307.97 MB
Date created	2022:08:21 21:30:27
Software version	1.8.4.14671
File size	104.54 MB
Orthomosaic	
Size	26,128 x 33,628
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S (EPSG::31982)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
Processing time	10 minutes 33 seconds
Memory usage	1.25 GB
Date created	2022:08:21 21:38:08
Software version	1.8.4.14671
File size	7.43 GB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.4 build 14671
OS	Windows 64 bit
RAM	7.87 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-10750H CPU @ 2.60GHz
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1650

ANEXO 3 – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO - REGISTRO NUVENS DAS NUVENS DA VARREDURA LASER SCANNER

Cyclone REGISTER 360 Registration Report

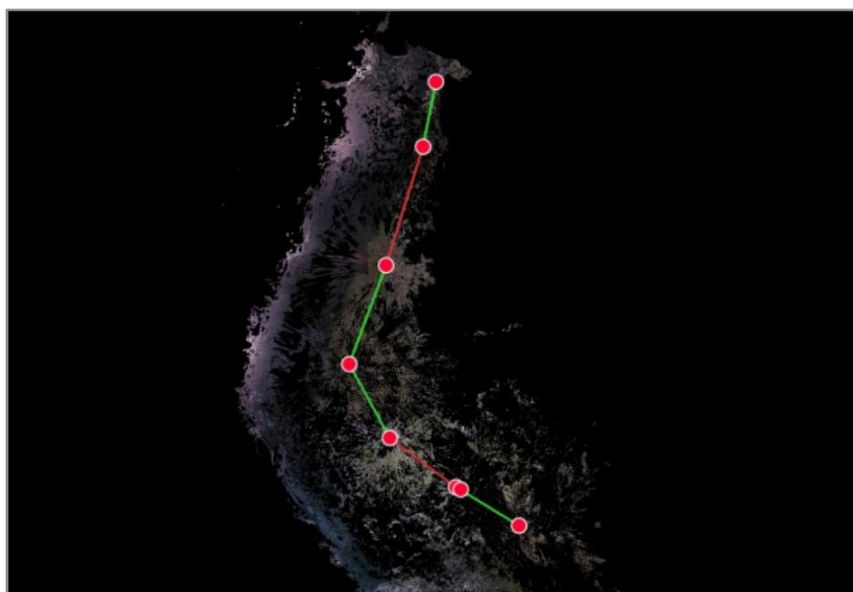


ago 10, 2022

Certified by:

Gabriel Weirich

Levantamento Pedreira do Orleans



SiteMap 1

Overall Quality

Error Results for Bundle 1

Setup Count: 8
Link Count: 7

Strength: 40 %
Overlap: 31 %

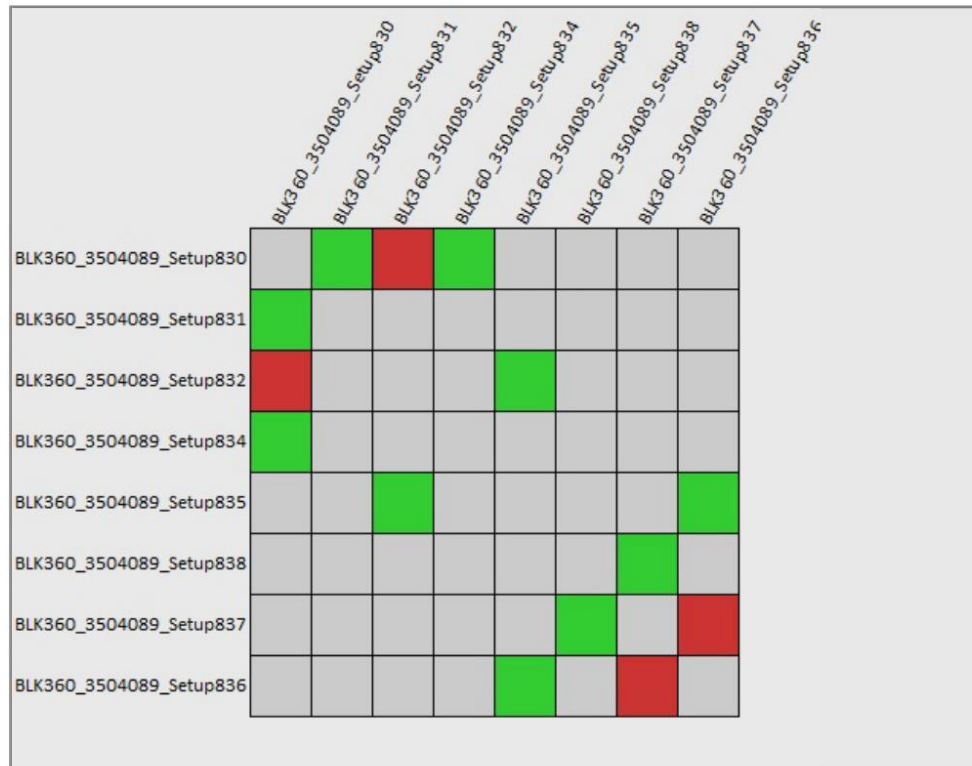
Bundle Error 0.006 m ✓	
Overlap 31 % ✓	Strength 40 %
Cloud-to-Cloud 0.006 m ✓	Target Error --

Max error of 0.015 m.

Max error of 0.020 m.

Error greater than 0.020 m.

Link-Quality Matrix (1 of 1) -



Link Error Results

1 Overview

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	BLK360_3504089_Setup830	BLK360_3504089_Setup831	53 %	0.005 m
Link 3	BLK360_3504089_Setup832	BLK360_3504089_Setup830	14 %	0.009 m
Link 9	BLK360_3504089_Setup834	BLK360_3504089_Setup830	33 %	0.005 m
Link 11	BLK360_3504089_Setup835	BLK360_3504089_Setup832	28 %	0.007 m
Link 12	BLK360_3504089_Setup836	BLK360_3504089_Setup835	23 %	0.006 m
Link 7	BLK360_3504089_Setup838	BLK360_3504089_Setup837	52 %	0.005 m
Link 8	BLK360_3504089_Setup837	BLK360_3504089_Setup836	15 %	0.006 m

2 Details

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 1	BLK360_3504089_Setup830	BLK360_3504089_Setup831	53 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 3	BLK360_3504089_Setup832	BLK360_3504089_Setup830	14 %	0.009 m
		Cloud to Cloud		0.009 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 9	BLK360_3504089_Setup834	BLK360_3504089_Setup830	33 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

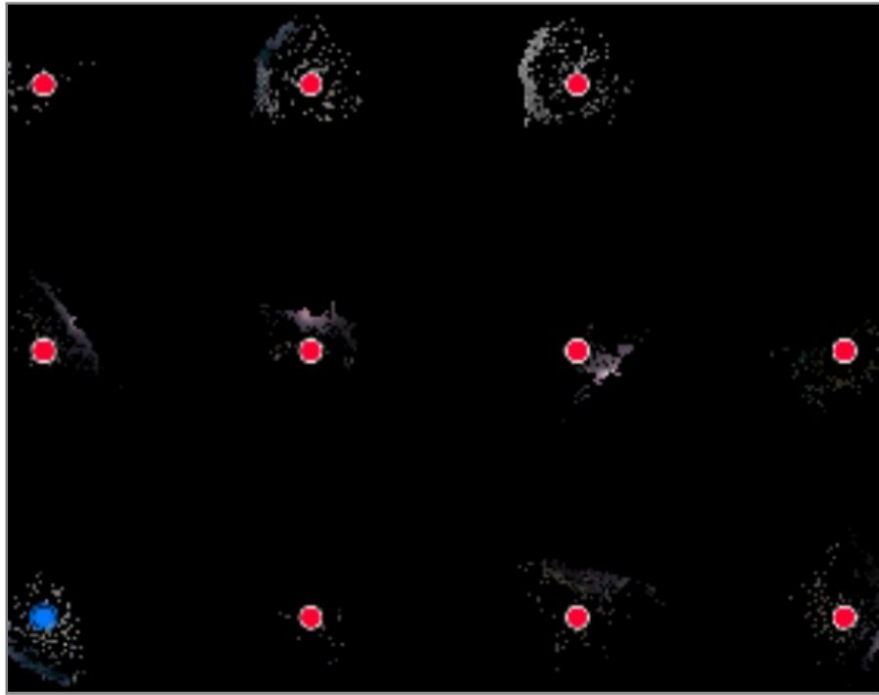
Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 11	BLK360_3504089_Setup835	BLK360_3504089_Setup832	28 %	0.007 m
		Cloud to Cloud		0.007 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 12	BLK360_3504089_Setup836	BLK360_3504089_Setup835	23 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 7	BLK360_3504089_Setup838	BLK360_3504089_Setup837	52 %	0.005 m
		Cloud to Cloud		0.005 m
		Target	Mean Target Error:	--

Link Name	Setup 1	Setup 2	Overlap	Abs. Mean Error
Link 8	BLK360_3504089_Setup837	BLK360_3504089_Setup836	15 %	0.006 m
		Cloud to Cloud		0.006 m
		Target	Mean Target Error:	--

Graphics



ProjectIcon