

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA

UILGNER HENRIQUE SCHWUCHOW

**CÁLCULO DE VOLUME EM MINERAÇÃO COM LEVANTAMENTOS
FOTOGAMÉTRICO (VANT) E GEODÉSICO (GNSS)**

PORTO ALEGRE

2018

UILGNER HENRIQUE SCHWUCHOW

**CÁLCULO DE VOLUME EM MINERAÇÃO COM LEVANTAMENTOS
FOTOGRAMÉTRICO (VANT) E GEODÉSICO (GNSS)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro Cartógrafo
pelo Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Geremia
Nievinski

PORTO ALEGRE

2018

UILGNER HENRIQUE SCHWUCHOW

**CÁLCULO DE VOLUME EM MINERAÇÃO COM LEVANTAMENTOS
FOTOGRAMÉTRICO (VANT) E GEODÉSICO (GNSS)**

Aprovada em: _____ de _____ de _____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Felipe Geremia Nievinski – Orientador

Prof. Dr. Claudio Wilson Mendes Jr. – Examinador 1

Prof. Dr. Roosevelt de Lara Santos Jr. – Examinador 2

PORTO ALEGRE

2018

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Instituto de Geociências (IGEO), pela disponibilização dos equipamentos e recursos para a execução deste trabalho.

Ao professor Felipe Geremia Nievinski pela orientação, incentivo e oportunidades de aprendizado no âmbito acadêmico e nas atividades de campo.

Ao professor Mário Luiz Lopes Reiss pela aquisição dos dados fotogramétricos e auxílio para o processamento dos mesmos.

À COPELMI, pela gentileza e disposição ao permitir a realização do trabalho em sua unidade de Arroio dos Ratos, além do apoio técnico fornecido durante o trabalho de campo.

Aos professores, amigos e colegas de curso que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho e para a formação acadêmica.

Aos familiares pelo apoio e incentivo durante esta árdua trajetória.

RESUMO

A mineração é uma atividade de grande importância para a economia do país, sendo responsável por quase 5% do PIB (Produto Interno Bruto) gerado. Dentre as diversas etapas envolvidas, há o cálculo de volumes, essencial para obter estimativas de reserva, controle sobre operações de mina e quantidade produzida. Baseado nessa necessidade, o presente trabalho tem por objetivo a geração de uma base de dados a fim de calcular volumes em pilhas/montes de rejeitos, minérios e etc. Para tanto, aplicou-se técnicas fotogramétricas através de imagens obtidas com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e geodésicas com a coleta de dados com receptores GNSS (Global Navigation Satellite System). A área de estudo fica localizada na Mina do Calombo, em Arroio dos Ratos, distando 55 km de Porto Alegre, capital do Estado do Rio Grande do Sul. Conseguiu-se produzir o trueortofotomosaico, curvas de nível e Modelo Digital do Terreno (MDT). Baseado nessas informações, foram geradas duas ortofotocartas, uma de toda a área e outra com detalhe do monte de areia sobre o qual foi calculado o volume. Obteve-se 0,069 m de exatidão planimétrica e 0,230 m de exatidão altimétrica, testados em controle de qualidade segundo a lei vigente para análise de exatidão cartográfica. Com relação aos volumes, obteve-se uma diferença de 3,2% entre o calculado através da base de dados obtida com VANT e a de rastreamento GNSS.

Palavras-chave: VANT, Fotogrametria, Geodésia, GNSS, Volume de Pilhas/Montes, Mineração.

ABSTRACT

Mining is an activity of great importance to the country's economy, accounting for almost 5% of GDP (Gross Domestic Product) generated. Among the several steps involved, there is the calculation of volumes, essential to obtain reserve estimates, control over mine operations and quantity produced. Based on this need, the present work aims to generate a database to calculate volumes in piles /stacks of tailings, minerals and so on. For this, photogrammetric techniques were applied through images obtained with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and geodesics with data collection with GNSS (Global Navigation Satellite System) receivers. The study area is located at Calombo Mine, in Arroio dos Ratos, 55 km away from Porto Alegre, capital of the State of Rio Grande do Sul. It was possible to produce true orthophotomosaic, contour lines and Digital Terrain Model (TDM). Based on this information, two orthophotographs were generated, one of the whole area and another with detail of the sandbank on which the volume was calculated. It was obtained 0.069 m of planimetric precision and 0.230 m of altimetric precision, tested in quality control according to the current law for analysis of cartographic precision. With respect to the volumes, a difference of 3.2% between the calculated through the database obtained with VANT and the GNSS trace was obtained.

Keywords: VANT, Photogrammetry, Geodesy, GNSS, Piles/Stacks Volume, Mining.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ÁREA DE ESTUDO (DETALHE).....	17
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DE ARROIO DOS RATOS.	17
FIGURA 3 – DADOS DO PROCESSO.	18
FIGURA 4 - MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL – MAPGEO 2015.	20
FIGURA 5 - RELAÇÃO ENTRE ALTITUDE ELIPSOIDAL (H), ALTITUDE ORTOMÉTRICA (H) E ALTURA GEOIDAL (N).....	21
FIGURA 6 - ESPAÇO-IMAGEM E ESPAÇO-OBJETO, CONDIÇÃO DE COLINEARIDADE E ELEMENTOS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR.....	27
FIGURA 7 - DIFERENÇA ENTRE MDT E MDS.....	29
FIGURA 8 - GERAÇÃO DE ORTOFOTO.....	30
FIGURA 9 – VANT EBEE E SUAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS EXTERNAS.	32
FIGURA 10– RECEPTOR GNSS.....	34
FIGURA 11 - FLUXOGRAMA COM OS PROCEDIMENTOS ADOTADOS.....	36
FIGURA 12 – PRÉ-SINALIZAÇÃO DE PONTO DE APOIO NO TERRENO.....	38
FIGURA 13 - PONTOS DAS BASES E LINHAS BASE EM RELAÇÃO COM AS ESTAÇÕES DA RBMC.	40
FIGURA 14 - DETALHE DOS PONTOS BASE.....	40
FIGURA 15 - PONTOS BASE E DE APOIO DO LEVANTAMENTO.....	41
FIGURA 16 - PONTOS BASE E DO MONTE DE AREIA LEVANTADO.	42
FIGURA 17 - FOTOTRIANGULAÇÃO INICIAL.....	44
FIGURA 18 - MEDIÇÃO DOS PONTOS DE APOIO NAS IMAGENS.	45
FIGURA 19 - NUVEM DE PONTOS ESPARSA.....	46
FIGURA 20 - NUVEM DE PONTOS DENSA.	47
FIGURA 21 - REDE DE TRIÂNGULOS.	48
FIGURA 22 - TRUE-ORTOFOTO.	49
FIGURA 23 - CLASSIFICAÇÃO DE PONTOS.....	50
FIGURA 24 - RECORTE DO MDT GERADO.....	51
FIGURA 25 - MONTE DE AREIA E SEU LIMITE DEMARCADO.....	52
FIGURA 26 - TIN GERADO PELOS DADOS OBTIDOS COM GNSS.	53
FIGURA 27 - TIN GERADO PELOS DADOS OBTIDOS COM VANT.....	54
FIGURA 28 - RECORTE COM QUALIDADE VISUAL BOA.....	56

FIGURA 29 - RECORTE COM QUALIDADE VISUAL RUIM.	57
FIGURA 30 - CURVAS DE NÍVEL.	58
FIGURA 31 - POSIÇÃO DOS PONTOS SELECIONADOS PARA O CONTROLE DE QUALIDADE.....	60
FIGURA 32 - DETALHE DO TOPO DO MONTE DE AREIA (PODE-SE NOTAR AS PEGADAS CRIADAS DURANTE O CAMINHAMENTO COM GNSS).	66

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - COORDENADAS AJUSTADAS DAS BASES E SUAS PRECISÕES ...	42
TABELA 2 - COORDENADAS AJUSTADAS DOS PONTOS DE APOIO E SUAS PRECISÕES	43
TABELA 3 - CÁLCULO DE VOLUMES	59
TABELA 4 - ANÁLISE DA QUALIDADE HORIZONTAL DO TRABALHO	61
TABELA 5 - ANÁLISE DA QUALIDADE VERTICAL DO TRABALHO.....	62
TABELA 6 - CUSTOS COM MÃO-DE-OBRA.....	63
TABELA 7 - CUSTO TOTAL	64

LISTA DE SIGLAS

CP	Centro Perspectivo
DD	Dupla Diferença
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
FGDC	Federal Geographic Data Comitee
GNSS	Global Navigations Satellite System
GPS	Global Positioning System
GSD	Ground Sample Distance
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS	International GPS Service for Geodynamics
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMQ	Método dos Mínimos Quadrados
OE	Orientação Exterior
OI	Orientação Interior
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
POE	Parâmetros de Orientação Exterior
POI	Parâmetros de Orientação Interior
ppm	Partes Por Milhão
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RRNN	Referências de Nível
RTK	Real Time Kinematic
SGB	Sistema Geodésico Brasileiro
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TIN	Triangular Irregular Network
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
WGS	World Geodetic System

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2	OBJETIVOS	16
1.3	JUSTIFICATIVA.....	16
1.4	ÁREA DE ESTUDO	16
2	REVISÃO TEÓRICA.....	19
2.1	GEODÉSIA.....	19
2.1.1	SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO.....	19
2.1.2	MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL.....	20
2.1.3	GNSS	21
2.1.4	POSICIONAMENTO RELATIVO	22
2.1.4.1	POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO	22
2.1.4.2	POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO EM TEMPO REAL	23
2.1.5	AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES.....	23
2.2	FOTOGRAMETRIA	24
2.2.1	FOTOGRAMETRIA DIGITAL	25
2.2.2	ORIENTAÇÃO DA CÂMARA.....	25
2.2.2.1	ORIENTAÇÃO INTERIOR.....	25
2.2.2.2	ORIENTAÇÃO EXTERIOR.....	26
2.2.3	FOTOTRIANGULAÇÃO	26
2.2.4	MODELO DIGITAL DE TERRENO.....	28
2.2.5	ORTOFOTO E ORTOFOTOCARTA.....	30
2.2.6	CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS.....	31
3	MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	32
3.1	MATERIAIS	32
3.1.1	VANT.....	32
3.1.2	RECEPTOR GNSS.....	33
3.1.3	SOFTWARE GNSS	34
3.1.4	SOFTWARES FOTOGRAMÉTRICOS	34
3.1.5	SOFTWARE DE SIG	35
3.1.6	COMPUTADOR.....	35
3.2	PROCEDIMENTOS	35

3.2.1	PROCEDIMENTOS DE CAMPO	36
3.2.1.1	PLANEJAMENTO	36
3.2.1.2	PRÉ-SINALIZAÇÃO DE PONTOS DE APOIO	37
3.2.1.3	REALIZAÇÃO DO VOO E TOMADA DAS FOTOGRAFIAS	38
3.2.1.4	LEVANTAMENTO GEODÉSICO	39
3.2.2	PROCEDIMENTOS EM ESCRITÓRIO	39
3.2.2.1	PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS	39
3.2.2.2	PROCESSAMENTO DAS FOTOGRAFIAS	44
3.2.2.3	ALINHAMENTO E FOTOTRIANGULAÇÃO	44
3.2.2.4	DENSIFICAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS	45
3.2.2.5	REDE DE TRIÂNGULOS	47
3.2.2.6	ORTOFOTO	48
3.2.2.7	GERAÇÃO DE CURVAS DE NÍVEL	49
3.2.2.8	CÁLCULO DE VOLUMES	51
4	RESULTADOS	55
4.1	PRODUTOS GERADOS	55
4.1.1	TRUEORTOFOTOMOSAICO	55
4.1.2	CURVAS DE NÍVEL	57
4.1.3	CÁLCULO DE VOLUMES	58
4.1.4	ORTOFOTOCARTA NA ESCALA 1:6.000	59
4.1.5	ORTOFOTOCARTA NA ESCALA 1:500	59
4.2	CONTROLE DE QUALIDADE INTERNO	59
4.3	ORÇAMENTO	63
5	CONCLUSÕES	65
5.1	DIFICULDADES PARA A REALIZAÇÃO DO TRABALHO	65
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS	67
5.3	RECOMENDAÇÕES	67
	REFERÊNCIAS	69
	APÊNDICE A – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS NO SOFTWARE PHOTOSCAN	72
	APÊNDICE B – ORTOFOTOCARTA DA ÁREA DA MINA DO CALOMBO EM ARROIO DOS RATOS NA ESCALA 1:6.000	77
	APÊNDICE C – ORTOFOTOCARTA DO MONTE DE AREIA NA MINA DO	

CALOMBO EM ARROIO DOS RATOS NA ESCALA 1:500	79
---	----

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A mineração de carvão é uma atividade econômica de grande importância para o Brasil e com destaque para a produção no Rio Grande do Sul, conforme destacado no endereço eletrônico do Museu Estadual do Carvão:

“No Brasil a mineração do carvão concentra-se praticamente na Região Sul do país, com algumas minas pouco produtivas na Região Sudeste. Porém o carvão brasileiro, em sua maior parte, possui baixa qualidade devido às condições geográficas responsáveis pela sua formação. Há reservas de carvão em grande quantidade nos estados do RS, SC e PR, mas também, em quantidade economicamente irrelevante, em MG, SP, BA, PE, PI, MA, PA, AM e AC; motivo pelo qual se considera apenas a Região Sul na produção de carvão brasileiro. Além disso, o carvão desta região particulariza-se também pela qualidade que, mesmo que baixa para padrões mundiais, é melhor que no restante do país.

Atualmente, o estado do Rio Grande do Sul é o maior produtor do país, com 52,3% da produção, ficando Santa Catarina com 46,3% e o Paraná com 1,4%. Em termos de faturamento, porém, o carvão catarinense, com um poder calorífico superior, garante a Santa Catarina uma participação maior. A maior jazida de carvão mineral do país é a de Candiota (RS) que corresponde a cerca de 23% das reservas oficiais do país (que chegam a 8,5 bilhões de toneladas) e também é a melhor em rentabilidade, uma vez que suas reservas apresentam-se em camadas bastante espessas e de grande continuidade. Em seguida estão as jazidas do Baixo Jacuí, a oeste de Porto Alegre: Capané, São Sepé, Iruí, Leão, Sul do Leão, Pântano Grande, Água Boa, Faxinal, Arroio dos Ratos e Charqueadas.” (Museu Estadual do Carvão, 2017).

A entidade regulamentadora com relação a mineração no Brasil é o DNPM, conforme segue:

O Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM, é uma autarquia federal criada pela Lei número 8.876, de 2 de maio de 1994, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, dotada de personalidade jurídica de direito público, com autonomia patrimonial, administrativa e

financeira, tem sede e foro em Brasília, Distrito Federal, e circunscrição em todo o território nacional.

O DNPM tem por finalidade promover o planejamento e o fomento da exploração mineral e do aproveitamento dos recursos minerais e superintender as pesquisas geológicas, minerais e de tecnologia mineral, bem como assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o território nacional, na forma do que dispõem o Código de Mineração, o Código de Águas Minerais, os respectivos regulamentos e a legislação que os complementa.” (DNPM, 2017).

Na plataforma online do DNPM pode-se realizar diversas pesquisas relacionadas aos processos cadastrados, onde é possível obter uma série de informações, como: número do processo, município, vértices da poligonal cadastrada, área, tipo de requerimento, fase atual, pessoas relacionadas e etc.

Em contrapartida à mineração, que é uma atividade datada de séculos, surgiram no início dos anos 60 os primeiros VANTs (Veículo Aéreo Não Tripulado, popularmente conhecido como drone). O equipamento está em ampla evolução e tem seu uso cada vez mais difundido entre os diversos setores da sociedade, seja para fins de lazer ou comercial. Pode possuir diversos tamanhos, pesos, formas, modo de propulsão, tipo de asa, câmeras, sensores integrados, e etc.

Na mesma época, ocorreu o surgimento do GNSS (Global Navigation Satellite System) com o lançamento nos Estados Unidos do primeiro satélite Transit, em 1960. Com o passar de cinco décadas, ocorreu uma grande evolução e foram lançados outros satélites, sendo os mais conhecidos atualmente o GPS (Estados Unidos) e o GLONASS (Rússia). Basicamente, é um sistema que permite a localização geográfica de um ponto em qualquer lugar no mundo e possui aplicações nas mais diversas áreas.

Então, o presente trabalho trata de uma etapa muito importante, pois conforme Ribeiro Júnior (2011), a determinação de volumes na mineração se faz necessária desde a fase de pesquisa, no dimensionamento de corpos mineralizados, passando pelas operações de mina, como nos desmontes e disposições de materiais, até a fase final de produção com a medição dos produtos gerados, para isso, utilizar-se-á um conjunto de técnicas fotogramétricas (por meio de dados obtidos com VANT) e geodésicas (posicionamento por GNSS) a fim de obter uma base de dados que

permita a realização dos cálculos volumétricos.

1.2 OBJETIVOS

Empregar técnicas fotogramétricas e geodésicas para geração de uma base cartográfica que possibilite o cálculo do volume de pilhas de minério, areia e afins.

Produtos que serão gerados:

- A) Ortofotomosaico;
- B) MDT;
- C) Curvas de nível;
- D) Ortofotocarta;
- E) Cálculo de volumes.

1.3 JUSTIFICATIVA

Uma das áreas que atualmente está em maior crescimento é a dos VANTs. A cada dia surgem equipamentos mais modernos e com novas funcionalidades e tecnologias, que permitem uma gama de possibilidades e usos, que vão desde o recreativo, passando pelo profissional e chegando até a área militar.

Então, pretende-se aplicar essa tecnologia, aliado ao GNSS como suporte para diversas finalidades na área da mineração, que é um dos pilares da economia do país.

1.4 ÁREA DE ESTUDO

Arroio dos Ratos localiza-se a 55 km da capital gaúcha, leste do Rio Grande do Sul, fazendo parte da Região Metropolitana de Porto Alegre. Possui uma área total de 425,9 km² e uma população de pouco mais de 14.000 habitantes. A economia da cidade se baseia principalmente na agricultura, especialmente na produção de madeira e melancia.

Figura 1 - Área de Estudo (Detalhe).



Fonte: O autor, com base em imagem do *software Google Earth* e limite de lavra do DNPM.

Figura 2 - Localização de Arroio dos Ratos.



Fonte: O autor.

Uma área de interesse específico é o monte de areia indicado na Figura 01, na Mina do Calombo, que pertence e está sendo minerada pela COPELMI Mineração Ltda. e fica localizada às margens da BR-290, a cerca de 1,5 km do perímetro urbano de Arroio dos Ratos. Está inserida no processo DNPM nº 000.847/1942 (principais informações descritas na Figura 03) e seu uso é para extração de carvão e areia.

Figura 3 – Dados do processo.

Dados básicos		Poligonal					
Dados básicos do processo							
Número do processo:	000.847/1942	Nova Consulta					
NUP:							
Área (ha):	463,75						
Tipo de requerimento:	Requerimento de Autorização de Pesquisa						
Fase atual:	Concessão de Lavra						
Ativo:	Sim						
Superintendência:	Superintendência / RS						
UF:	RS						
Unidade protocolizadora:	Unid. Protocolizadora Desc 99						
Data Protocolo:	29/01/1942 00:00:00						
Data Prioridade:	29/01/1942 00:00:00						
Pessoas relacionadas:	Tipo de Relação	CPF/CNPJ	Nome	Responsabilidade/Representação	Prazo de Arrendamento	Data de Início	Data Final
	Titular/Requerente	33.059.528/0001-95	Copelmi Mineração Ltda			22/02/2006	
	Arrendatário	33.059.528/0002-76	Copelmi Mineração Ltda			29/01/1942	
	Titular/Requerente	31.046.279/0001-78	Mineradora Santa Heloisa Ltda Incorporada Pela Copelmi Mineração Ltda.			29/01/1942	22/02/2006
Número do processo de Cadastro da Empresa:	005.659/1947						
Títulos:	Número	Descrição	Tipo do Título	Situação do Título	Data de publicação	Data Vencimento	
	56	CLAR CONCESSÃO DE LAVRA RETIFICADA	Portaria de Lavra	Retificado	04/03/1991		
	733	CLAR CONCESSÃO DE LAVRA RETIFICADA	Portaria de Lavra	Retificado	21/06/1983		
	1466	CLAV CONCESSÃO DE LAVRA	Portaria de Lavra	Concedido (anterior à carga)	19/10/1981		
	66708	CADU CONCESSÃO CADUCADA/SEM EFEITO/REVOGADA	Portaria de Lavra	Caduco/Sem efeito/Revogado	16/06/1970		
17778	CLAV CONCESSÃO DE LAVRA	Portaria de Lavra	Concedido (anterior à carga)	09/02/1945			
Substâncias:	Nome	Tipo de uso	Data de início	Data final	Motivo de encerramento		
	AREIA	Construção civil	13/04/2012				
	CARVÃO	Não informado	29/01/1942				
Municípios:	Nome						
	ARROIO DOS RATOS /RS						

Fonte: DNPM, 2017.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 GEODÉSIA

Segundo Gemael (1999), Geodésia é a ciência que tem por objeto determinar a forma e as dimensões da Terra, os parâmetros definidores do campo da gravidade e suas variações temporais. Pode ser dividida em três principais áreas: Geodésia Geométrica, Geodésia Física e Geodésia Celeste.

2.1.1 SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

Segundo o IBGE (2017), o desenvolvimento do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), que é composto pelas redes altimétrica, planimétrica e gravimétrica, pode ser dividido em duas fases distintas, separadas pelo advento da tecnologia de observação de satélites artificiais com fins de posicionamento (GNSS). Uma grande vantagem da utilização desse recurso é que possibilitou a expansão do SGB à região amazônica, servindo de apoio ao mapeamento sistemático da área.

A RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) é um conjunto de estações geodésicas equipadas com receptores GNSS (captam, em sua maioria, dados dos sistemas GPS e GLONASS) de alto desempenho, cujas coordenadas finais têm precisão na ordem de $\pm 5\text{mm}$, configurando-a como uma das redes mais precisas do mundo, ainda, possui grande vantagem por fazer parte da Rede de Referência SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Está distribuída por várias regiões do país e seu monitoramento é contínuo. Há de se destacar também o fato de que suas observações vêm contribuindo, desde 1997, para a densificação regional da rede do IGS (International GPS Service for Geodynamics), garantindo uma melhor precisão sobre o território brasileiro.

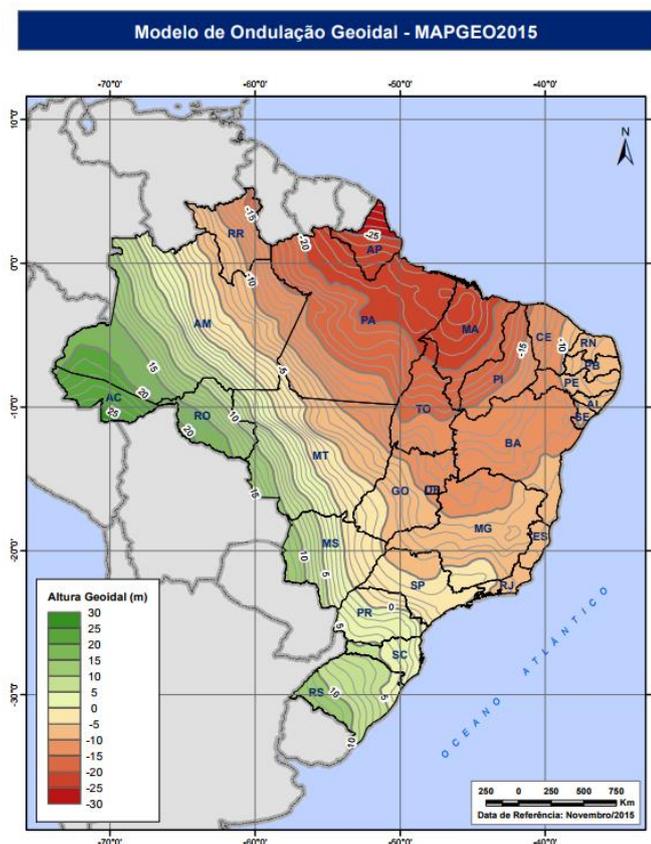
O sistema altimétrico do Brasil é referenciado ao geóide, que é uma representação da superfície equipotencial não perturbada dos mares. O Datum altimétrico que abrange grande parte do território brasileiro está localizado em Imbituba – SC e as atividades de densificação são realizadas pela monumentação de Referências de Nível (RRNN) utilizando-se somente nivelamento geométrico ou, também, nivelamento geométrico somado ao levantamento gravimétrico (IBGE, 2017).

2.1.2 MODELO DE ONDULAÇÃO GEOIDAL

A altitude determinada utilizando um receptor GNSS não está relacionada ao nível médio do mar (ou, de forma mais rigorosa, ao geóide), mas a um elipsoide de referência com dimensões específicas. Portanto, torna-se necessário conhecer a diferença entre as superfícies do geóide e do elipsoide, isto é, a altura (ou ondulação) geoidal, para que se possa obter a altitude acima do nível médio do mar (denominada ortométrica) (IBGE, 2017).

É com este objetivo que o MAPGEO2015 foi criado, assim como os modelos anteriores (MAPGEO2010, MAPGEO2004, MAPGEO92). O novo modelo foi calculado com uma resolução de 5' de arco, e o Sistema de Interpolação de Ondulações Geoidais foi atualizado. Através deste sistema, os usuários podem obter a ondulação geoidal em um ponto ou conjunto de pontos, cujas coordenadas referiram-se ao SIRGAS2000 e compreendidas entre as latitudes de 6°N e 35°S e entre as longitudes de 75°W e 30°W, dentro do território brasileiro (IBGE, 2017).

Figura 4 - Modelo de Ondulação Geoidal – MAPGEO 2015.



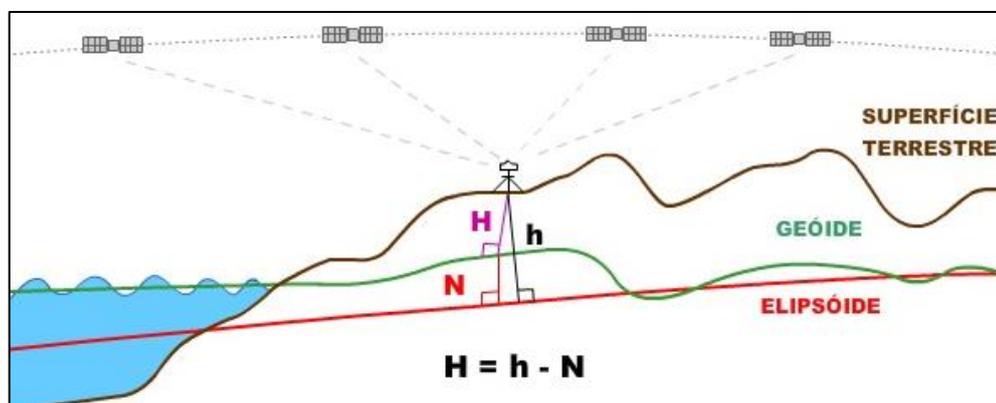
Fonte: IBGE, 2017.

Segundo o IBGE, para converter a altitude elipsoidal (h), obtida através de receptores GNSS, em altitude ortométrica (H), é necessário utilizar o valor da altura geoidal (N) fornecida por um modelo de ondulação geoidal, utilizando a seguinte expressão:

$$H = h - N \quad (1)$$

A Figura 05 ilustra a obtenção da altitude ortométrica.

Figura 5 - Relação entre altitude elipsoidal (h), altitude ortométrica (H) e altura geoidal (N).



Fonte: IBGE, 2017.

2.1.3 GNSS

Os GNSS (*Global Navigation Satellite System*) são sistemas de navegação compostos por satélites artificiais que orbitam a terra, transmitindo neste processo sinais de rádio contendo observáveis como as efemérides de suas posições e o tempo de transmissão destas. Estes sinais chegam ao observador que, munido de um receptor com tecnologia específica, recebe e processa estes dados para a determinação de sua posição espacial.

O princípio de funcionamento do GNSS é a trilateração. Nesta, é transmitida a um observador a posição de um número de satélites, em relação a um referencial inercial, bem como a posição relativa do observador em relação a estes satélites. Com estas informações, o usuário deriva sua posição no sistema de referência.

Embora geometricamente sejam necessárias apenas observações de três satélites para a solução do sistema com três incógnitas de posição, é necessária uma

quarta observação devido à defasagem entre o relógio de precisão atômica embarcado no satélite, que gera o sinal, e o relógio do receptor (MONICO, 2008). Os dois principais GNSS disponíveis atualmente são o americano NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Time and Ranging – Global Positioning System*) e o russo GLONASS (*Global Navigation Satellite System*). Há ainda os sistemas GALILEO (União Européia) e BEIDOU/COMPASS (China).

Cada satélite GNSS transmite duas ondas portadoras simultaneamente: L1 e L2. Essas duas frequências permitem aos usuários corrigir grande parte dos efeitos provocados pela ionosfera. Os receptores GNSS podem ser classificados, segundo sua utilização, como de navegação, topográfico e geodésico. Os receptores geodésicos são capazes de captar as duas frequências emitidas pelos satélites (L1 e L2) e, dessa forma, minimizar os erros de posicionamento (MONICO, 2008).

2.1.4 POSICIONAMENTO RELATIVO

Posicionamento relativo é aquele em que a posição de um ponto é determinada com relação à de outro(s), cujas coordenadas são conhecidas. As coordenadas do(s) ponto(s) conhecido(s) devem estar referenciadas ao WGS 84, ou em um sistema compatível com esse, SIRGAS2000, por exemplo. Nesse caso, os elementos que compõem a linha-base, ou seja, ΔX , ΔY e ΔZ , são estimados e, ao serem acrescentados às coordenadas da estação-base ou de referência (estação com coordenadas conhecidas), proporcionam as coordenadas da estação desejada (MONICO, 2008).

2.1.4.1 POSICIONAMENTO RELATIVO ESTÁTICO

A observável normalmente adotada no posicionamento relativo estático é a dupla diferença (DD) da fase de batimento da onda portadora, muito embora possa também se utilizar a DD da pseudodistância, ou ambas. Nesse tipo de posicionamento, dois ou mais receptores rastreiam, simultaneamente, os satélites visíveis por um período de tempo que pode variar de dezenas de minutos (20 minutos no mínimo) até algumas horas. O posicionamento relativo estático permite obter precisão da ordem de 1,0 a 0,1 ppm, ou mesmo melhor do que isso. Em casos em que as linhas-base envolvidas forem longas (maiores que 15 km) e a precisão

requerida for melhor que 1 ppm, é imprescindível o uso de receptores de dupla frequência (L1 e L2) (MONICO, 2008).

2.1.4.2 POSICIONAMENTO RELATIVO CINEMÁTICO EM TEMPO REAL

No posicionamento relativo cinemático um receptor é mantido fixo (dito base) enquanto outro é móvel. Adota-se uma rápida taxa de coleta de dados usada, como por exemplo, um segundo. O emprego de processamento em tempo real na técnica de posicionamento relativo cinemático é chamado de *Real Time Kinematic* – RTK. O uso em tempo real é possível através da utilização de um link de comunicação, como um sistema de rádio, que transmita as correções da estação base para a estação móvel.

O método cinemático traz consigo algumas peculiaridades. As ambiguidades devem ser definidas no processo, sendo assim necessário um tempo mínimo total de rastreamento da base. Os sinais de base e móvel devem ser continuamente rastreados e não devem sofrer obstrução no seu percurso, para que as ambiguidades determinadas permaneçam válidas para a totalidade do levantamento. Perdas de ciclo degradam a acurácia do método, sendo necessário no receptor móvel um algoritmo para corrigir estes, bem como a solução em tempo real das ambiguidades. Há ainda uma restrição quanto à distância entre a base e o receptor, que depende do alcance do sinal de rádio do equipamento utilizado (MONICO, 2008).

2.1.5 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES

“O ajustamento é um ramo da matemática aplicada. Tem por objetivo solução única para problemas onde o número de observações é superabundante e o sistema de equações lineares é inconsistente. Objetiva ainda a estimativa da qualidade da solução. Consiste numa expansão do método dos mínimos quadrados desenvolvidos independentemente por Gauss (1795) e Legendre (1805). O ajustamento, nas últimas décadas, beneficiou-se do desenvolvimento ocorrido na computação eletrônica, no cálculo matricial e nas técnicas estatísticas. Também, deve-se lembrar que, não faz sentido falar em ajustamento para problemas onde os dados (observações ou medidas) não excedam o mínimo requerido para sua solução.” (DALMOLIN, 2002).

Ainda, segundo Gemael (1994), a partir de observações redundantes sujeitas a flutuações probabilísticas e de uma estimativa de sua precisão, o ajustamento tem por objetivo:

- A) Estimar, mediante a aplicação de modelos matemáticos adequados e do M.M.Q., um valor único para cada uma das incógnitas do problema;
- B) Estimar a precisão de tais incógnitas e a eventual correlação entre elas.

2.2 FOTOGRAMETRIA

O termo Fotogrametria deriva das palavras gregas “photos”, que significa luz, “*gramma*”, que significa algo desenhado ou escrito e “*metron*”, que significa medir. Portanto, fotogrametria, de acordo com suas origens, significaria medir graficamente medindo a luz (ASP, 1979).

Existem diversas definições e de diferentes épocas a respeito de Fotogrametria, sendo algumas delas transcritas a seguir:

“Fotogrametria é a ciência e tecnologia de obter informações confiáveis através de processos de registro, interpretação e mensuração de imagens” (ANDRADE, 1998).

“Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes” (ASP, 1979).

“Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de se obter informação confiável de imagens de sensores imageadores e outros, sobre a Terra e seu meio ambiente, e outros objetos físicos e processos através de gravação, medição, análise e representação” (ISPRS, 2017).

De acordo com Andrade (1998), com relação a sua aplicabilidade, a Fotogrametria tem destaque na elaboração de mapas em colaboração com outras ciências, como a Geodésia e Cartografia, sendo que as imagens são utilizadas para o posicionamento de pontos na superfície terrestre e para mapear temas do objeto fotografado, tais como: rede de drenagem, florestas, culturas, redes viárias, feições geológicas, tipos de solo, etc.

2.2.1 FOTOGRAMETRIA DIGITAL

Segundo Brito e Coelho (2007), a fotogrametria digital tem como objetivo principal a reconstrução automática do espaço tridimensional (espaço-objeto), a partir de imagens bidimensionais (espaço-imagem).

A fotogrametria digital tem como fonte primária de dados a utilização de imagens digitais, que estão no formato matricial, onde cada elemento da matriz é chamado de pixel. A imagem pode ser adquirida diretamente de uma câmara digital, ou mesmo através da digitalização matricial de uma imagem analógica, submetendo-a a um *scanner*. Nos anos 90, esse ramo da fotogrametria realmente pôde ser usado de maneira extensiva, graças ao desenvolvimento de computadores com capacidade suficiente para o processamento interativo de imagens digitais, gerando elevados volumes de dados (BRITO e COELHO, 2007).

2.2.2 ORIENTAÇÃO DA CÂMARA

A fim de possibilitar a obtenção de medidas precisas da área recoberta pelo levantamento fotogramétrico faz-se necessária a orientação das imagens para a obtenção dos parâmetros com o objetivo de determinar a geometria em que foram tomadas as fotografias. Para isso, realizam-se duas orientações de imagem: a Orientação Interior (OI) e a Orientação Exterior (OE) (BARBOSA e PEREIRA, 2017).

2.2.2.1 ORIENTAÇÃO INTERIOR

É a operação de recuperação da posição da fotografia em relação a câmara, sendo assim, permite a reconstrução do feixe perspectivo que gerou as perspectivas (fotografias) (ANDRADE, 1998).

Segundo Brito e Coelho (2007), para a reconstrução do sistema interno da câmara no instante da tomada das fotografias usam-se as informações das coordenadas das imagens apenas em pixels, pois as fotografias obtidas não possuem informações métricas.

2.2.2.2 ORIENTAÇÃO EXTERIOR

Através da orientação exterior (OE) determina-se a posição e altitude (ou orientação) do sensor em relação ao referencial do objeto no instante de tomada de cada fotografia. Para isso devem ser determinadas as coordenadas tridimensionais do centro perspectivo e os ângulos de rotação do sensor para cada fotografia, então, temos seis parâmetros para cada estação de tomada de imagem: três translações do CP (X_{cp} , Y_{cp} e Z_{cp}) e três rotações (ω , ϕ e κ) (ANDRADE, 1998).

Para realizar a OE faz-se necessária a aquisição de pontos de apoio no sistema de coordenadas do objeto. Os mesmos devem ser visíveis nas imagens, possibilitando que as coordenadas sejam obtidas no sistema fotogramétrico. Atualmente as plataformas possuem sistema inercial composto de um giroscópio, um acelerômetro e um receptor GNSS, o que possibilita que as fotos sejam orientadas em relação ao espaço objeto sem a necessidade de pontos de apoio. No caso de a qualidade dos parâmetros de orientação exterior advindos do sistema inercial ser centimétrica, a necessidade de pontos de apoio é eliminada. Se esses parâmetros forem de baixa qualidade, como quando as translações do CP são determinadas por meio de receptores GNSS de navegação, podem ser utilizados como parâmetros iniciais das fotografias no processo de fototriangulação (MATIAS, GUZZATTO e SILVEIRA, 2015).

2.2.3 FOTOTRIANGULAÇÃO

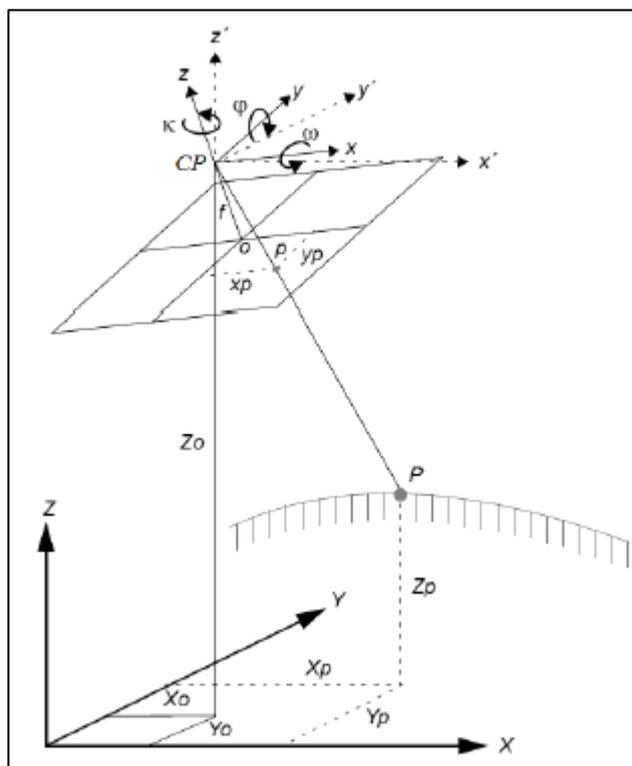
Segundo Lugnani (1987), fototriangulação é o método fotogramétrico para determinação eficiente de coordenadas precisas de pontos no espaço objeto através da relação geométrica de fotografias adjacentes devidamente tomadas, necessitando de um esparso controle de campo e com um conjunto de valores aproximados de parâmetros.

Na fototriangulação são utilizados os pontos de apoio, geralmente referenciados a um sistema de coordenadas usual propiciando a compatibilidade com outras fontes de dados, e os pontos de ligação. A localização dos pontos de ligação deve ser na região de sobreposição entre as imagens. Quando se trata de um bloco de fotografias, os pontos de apoio devem estar dispostos nas extremidades do bloco e nas junções das faixas. A quantidade de pontos de apoio pode variar a cada três a cinco bases, entendendo-se base como a distância média entre os centros

perspectivos de duas imagens consecutivas em uma mesma faixa de aquisição (ANDRADE, 1998).

A fototriangulação pelo método dos feixes perspectivos permite a reconstrução ótima da geometria dos feixes de raios luminosos formadores do espaço-imagem no momento da aquisição das imagens fotográficas. O processo se vale do Método dos Mínimos Quadrados (MMQ) para minimizar a função que quantifica os resíduos do ajustamento, de forma que cada raio ajustado, originando-se em uma posição qualquer do espaço-objeto, passe o mais próximo possível de seu homólogo no espaço-imagem e do centro de perspectiva da imagem (BRITO e COELHO, 2007).

Figura 6 - Espaço-imagem e espaço-objeto, condição de colinearidade e elementos de orientação exterior.



Fonte: Palermo e Leite, 2013 (adaptado de ERDAS, 2010).

A condição de colinearidade pode ser expressa pelas equações a seguir:

$$x_p = -f \frac{r_{11}(X_P - X_{CP}) + r_{12}(Y_P - Y_{CP}) + r_{13}(Z_P - Z_{CP})}{r_{31}(X_P - X_{CP}) + r_{32}(Y_P - Y_{CP}) + r_{33}(Z_P - Z_{CP})} \quad (2)$$

$$y_p = -f \left[\frac{r_{21}(X_P - X_{CP}) + r_{22}(Y_P - Y_{CP}) + r_{23}(Z_P - Z_{CP})}{r_{31}(X_P - X_{CP}) + r_{32}(Y_P - Y_{CP}) + r_{33}(Z_P - Z_{CP})} \right] \quad (3)$$

onde:

f : Distância focal da câmara;

x_p, y_p : Coordenadas do ponto p medidas no sistema fotogramétrico;

X_P, Y_P e Z_P : Coordenadas tridimensionais de terreno no ponto P medidas no espaço-objeto;

X_{CP}, Y_{CP} e Z_{CP} : Coordenadas do centro perspectivo medidas no espaço-objeto;

$r_{11}, r_{12}, r_{13}, r_{21}, r_{22}, r_{23}, r_{31}, r_{32}$ e r_{33} : Elementos da matriz de rotações formados pelos ângulos de Euler.

2.2.4 MODELO DIGITAL DE TERRENO

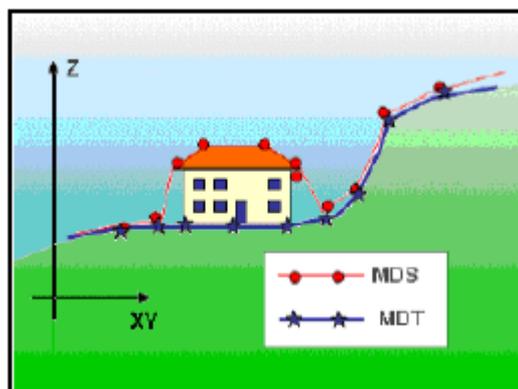
Um Modelo Digital de Terreno (MDT) é um modelo matemático (ou digital) da superfície do terreno. Emprega-se uma ou várias funções matemáticas para representar a superfície de acordo com métodos específicos e em função do conjunto de dados existentes. Essas funções matemáticas são referidas, geralmente, como funções de interpolação.

A representação do relevo ou terreno, em formato digital, é uma componente fundamental em um processo cartográfico e consiste em um conjunto de dados que explicitam as coordenadas (X, Y, Z) do terreno e a forma como os mesmos estão relacionados.

Devido ao avanço tecnológico com relação aos recursos computacionais e aparelhagem utilizada para a coleta de dados terrestres (mais rápido e representação mais fidedigna), o uso de MDT vem crescendo, pois está diretamente associado a esses fatores.

Ao representar a variável altimetria por meio de modelos digitais 3D, construídos com base em nuvens de pontos obtidas pelo método direto, utilizando GNSS geodésico, e indireto, por meio de equipamentos de fotogrametria digital com VANT (por correlação de imagens), surge a necessidade de distinguir Modelo Digital do Terreno (MDT) de Modelo Digital de Superfície (MDS). De acordo com Baltsavias et al. (1995), MDT corresponde ao modelo do terreno e MDS ao modelo da superfície dos objetos 3D existentes sobre o terreno (vegetação, edificações, etc.).

Figura 7 - Diferença entre MDT e MDS.



Fonte: Centeno e Mitishita, 2007.

Algumas utilizações do MDT apontados por Felgueiras e Câmara (2006):

- A) Armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos;
- B) Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- C) Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio e análise de geomorfologia e erodibilidade;
- D) Determinação de volumes;
- E) Planejamento urbano;
- F) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- G) Apresentação tridimensional.

Segundo Brito e Coelho (2007), os dois principais tipos de grade utilizados em MDT:

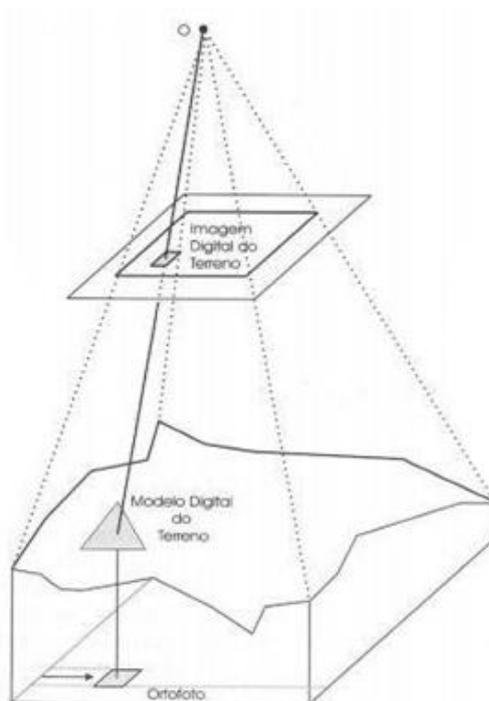
- A) Grade regular: pode ser obtida por aquisição regular ou interpolação. Tem como principal vantagem, poder ser representada e armazenada sem maior esforço computacional. Entretanto, como em geral advém da interpolação, perde a precisão dos pontos originais. A grade regular também não permite a inserção de linhas de quebra (*breaklines*), o que impede que certas feições descontínuas (como rios, estradas e etc.) sejam representadas fielmente;
- B) Rede de triangulação irregular (*Triangular Irregular Network – TIN*): é composta pelos pontos originais, ligados três a três, formando triângulos irregulares, mas com propriedades matemáticas bem definidas.

2.2.5 ORTOFOTO E ORTOFOTOCARTA

Ortofoto é uma fotografia ou imagem, representando as feições de forma ortogonal, sempre na mesma escala, onde são corrigidos o deslocamento devido ao relevo, e possíveis rotações na câmara, gerando um produto equivalente a um mapa, resultando em “fotos com perspectiva ortogonal”. As imagens adquiridas por câmaras convencionais encontram-se em perspectiva central, com os inúmeros raios de luz advindos de diferentes pontos imageados, passando por um só ponto (centro perspectivo), localizado no sistema óptico da câmara. O conjunto desses raios é chamado de feixe perspectivo (NÓBREGA e MOURA, 2013).

De acordo com Jensen (2009) as ortofotos podem ser classificadas em tradicionais ou verdadeiras. As ortofotos tradicionais não apresentam projeção ortográfica em elementos com elevação acima do solo, utilizando-se o modelo digital de terreno como base para sua geração, sendo desconsiderados edificações ou feições naturais que cobrem o solo. Por outro lado, as ortofotos verdadeiras (true-ortofotos) apresentam a projeção ortográfica em toda a área mapeada, pois utiliza o MDS, considerando o solo e todos os elementos sobre o solo.

Figura 8 - Geração de ortofoto.



Fonte: Andrade (1998).

Ortofotocarta é um conjunto de duas ou mais ortofotos digitais (mosaico) da mesma região aliado a uma base cartográfica e alguns elementos essenciais, tais como escala, grade de coordenadas e etc.

2.2.6 CALIBRAÇÃO DE CÂMARAS

Segundo Andrade (1998), é de suma importância, para garantir exatidão e confiabilidade nos trabalhos fotogramétricos, o conhecimento do grupo de parâmetros necessários à reconstrução do feixe perspectivo gerador da imagem fotográfica, no instante da exposição do filme à luz refletida no objeto fotografado. A determinação de tais parâmetros se faz por um processo de calibração.

Ao utilizar imagens convergentes, a fim de separar os coeficientes de distorção radial simétrica daqueles de distorção descentrada, torna-se necessário ao menos uma foto girada em torno do eixo z da câmara em 90° . Logo, as condições mínimas para calibrar uma câmara por este método exigem três fotos: duas convergentes entre si de 90° e uma com giro no eixo z de 90° com relação as outras. O método exige a fixação arbitrária de um referencial (ANDRADE, 1998).

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

3.1 MATERIAIS

Foram utilizados diversos materiais, entre equipamentos para aquisição dos dados em campo (Receptor GNSS, VANT, alvos, e etc.) e softwares para processar os mesmos e gerar os produtos finais. A seguir são tratados com maior detalhamento.

3.1.1 VANT

Para a realização do voo e aquisição das fotografias, foi utilizado o VANT eBee (figura 09), produzido pela empresa suíça SenseFly, a maior fabricante de drones de mapeamento no mundo, garantindo segurança, devido a decolagem e pouso serem executados de maneira autônoma e um melhor desempenho e qualidade dos produtos finais devido a seu sistema e software próprio que executa a cobertura fotogramétrica.

Figura 9 – VANT eBee e suas principais características externas.



Fonte: Land INFOTECH, 2017.

Dentre suas características, eis as principais (SANTIAGO & CINTRA, 2017):

- A) Dotado de sistema inercial e GNSS;
- B) 96 cm de envergadura;
- C) Raio de alcance de 3 km;
- D) Câmera RGB ou NIR de 16 MP, eletronicamente integrada e controlada

- automaticamente;
- E) Resolução de 3 a 30 centímetros;
 - F) Autonomia de aproximadamente 30 minutos de voo;
 - G) Bateria de Lithium Polímero;
 - H) Velocidade de cruzeiro de 36-57 km/h (10-16m/s);
 - I) Resistência a ventos de até 45 km/h (12 m/s);
 - J) 630g (1.5 lbs) quando pronto para decolagem;
 - K) Software de controle eMotion 2;
 - L) Sensor de altura e reverso para pousos lineares.

Para a aquisição das fotografias foi utilizada a câmara Canon PowerShot ELPH 110 HS. Principais configurações: tamanho do pixel no sensor de 1,339 μm , focal nominal de 4,37 mm, tamanho do quadro de 6,172 x 4,629 mm e resolução de 4608 x 3456 pixels.

3.1.2 RECEPTOR GNSS

Para obtenção das coordenadas planialtimétricas em campo utilizou-se o receptor Topcon Hiper Lite+ (Figura 10). Suas principais características são descritas a seguir:

- A) Sistema GPS para Levantamentos Cinemáticos em Tempo Real (RTK) estáticos e cinemáticos pós-processados;
- B) Receptores de dupla frequência Hiper L1/L2 (receptor, antena, rádio, carregador e bateria), com 40 canais universais;
- C) Capaz de rastrear sinais de satélites GPS e GLONASS;
- D) Taxa de atualização de 1 Hz;
- E) 8 Mb de memória interna para armazenar mais de 40 horas de dados CA+L1+L2;
- F) CoOp Tracking System (melhor recepção dos sinais em condições desfavoráveis);
- G) Rádio com alcance de até 2,5 km em RTK;
- H) Bateria interna com autonomia de 10 h;
- I) Tecnologia Bluetooth integrada (comunicação sem cabo com o coletor);
- J) Precisão horizontal de ± 5 mm + 5ppm e vertical de ± 5 mm + 1ppm para

levantamentos estáticos e rápido-estáticos e horizontal de ± 10 mm + 1ppm e vertical de ± 20 mm + 1ppm para levantamentos cinemáticos e RTK;
K) 2 portas seriais para dados, 1 porta USB e 1 porta para alimentação.

Figura 10– Receptor GNSS.



Fonte: Embratop, 2017.

3.1.3 SOFTWARE GNSS

As coordenadas brutas obtidas com o receptor GNSS são tratadas e corrigidas através do *software Topcon Tools*.

3.1.4 SOFTWARES FOTOGRAFÉTICOS

O planejamento de voo é feito através do *software eMotion 2*, onde é possível determinar uma série de informações, como: área a ser levantada, tamanho do píxel no terreno, sobreposições lateral e longitudinal, direção das linhas de voo e etc. Ainda, é com ele que ocorre o acompanhamento em tempo real da aquisição dos dados

através de um link de rádio e a possibilidade de efetuar alguns comandos, como terminar o voo e carregar um planejamento prévio diferente do atual.

Para efetuar os processamentos nas imagens (descritos na seção 3.2.2) utilizou-se o *software Agisoft PhotoScan Professional*. Dentre suas principais funcionalidades, destacam-se (GEODRONES, 2017):

- A) Densa geração de nuvem de pontos e classificação;
- B) Ortomosaico, Geração de Modelo Digital de Terreno e Modelo Digital de Superfície;
- C) Altimetria e geração de curvas de nível;
- D) Georreferenciamento usando log de voo e pontos de controle;
- E) Calcular distâncias, áreas e volumes;
- F) Processamento de imagens;
- G) Multispectral e cálculo do índice de vegetação;
- H) Reconstrução modelo poligonal e texturização.

3.1.5 SOFTWARE DE SIG

O *software ArcMap* tem como principais funções: criação e utilização de mapas, compilação de dados geográficos, análise de informações mapeadas e gestão de informações geográficas em bancos de dados.

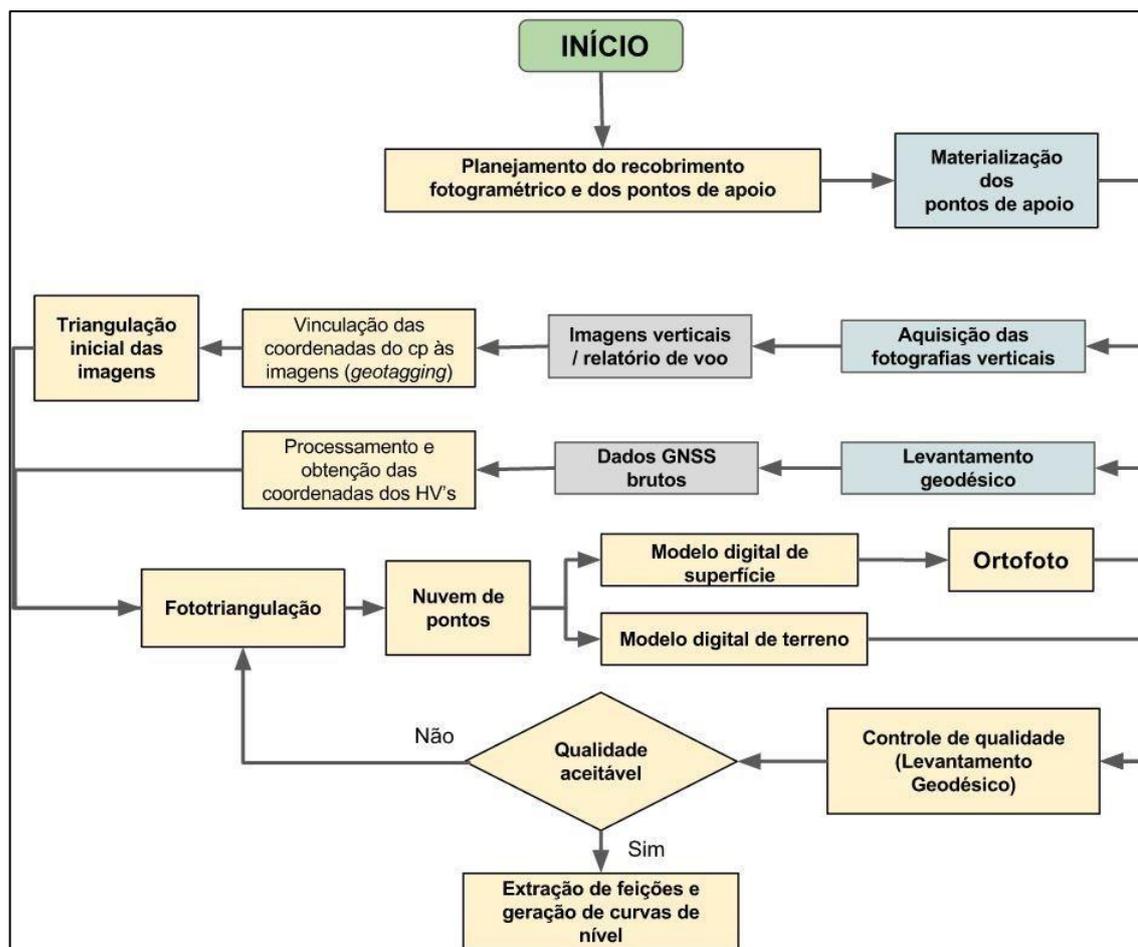
3.1.6 COMPUTADOR

O hardware utilizado tem como seus principais componentes: processador AMD FX8350 - oito núcleos – 4,00GHz, memória RAM de 16GB e placa gráfica AMD R9 280X de 3GB).

3.2 PROCEDIMENTOS

A realização do presente trabalho ocorreu em duas etapas distintas, a primeira é a parte de execução em campo, que tem por finalidade adquirir os dados, e a segunda é o processamento desses dados brutos de maneira a refina-los e compatibiliza-los, possibilitando gerar os produtos finais propostos. A Figura 11 mostra resumidamente a ordem dos procedimentos.

Figura 11 - Fluxograma com os procedimentos adotados.



Fonte: Barbosa e Pereira (2017).

3.2.1 PROCEDIMENTOS DE CAMPO

3.2.1.1 PLANEJAMENTO

Inicialmente foi feita uma visita para reconhecimento do local e fazer a checagem e constatação de alguns pontos cruciais, tais como:

- A) Local limpo, sem obstrução num raio médio de 50 metros e com vegetação rasteira, de maneira que possa ser montada a base de operações para realizar o voo com o VANT e garantir condições seguras de decolagem e pouso do mesmo, garantindo sua integridade, principalmente devido ao seu elevado custo;
- B) Determinar áreas inacessíveis e/ou de difícil acesso para efetuar uma distribuição adequada dos pontos de controle/apoio que serão colocados no

- terreno;
- C) Checar as condições de acesso e estrutura física do monte de areia sobre o qual será necessário realizar o levantamento com o receptor GNSS, pois será necessário caminhar sobre suas extremidades laterais e em seu topo;
 - D) Local para instalar a base com o receptor GNSS.

Munido dessas informações, foi possível realizar o planejamento de campo, no qual foi definido a área para operação com o VANT, determinação dos locais onde serão fixados os pontos de apoio, lugar para colocar a base de rastreamento GNSS e o dia para efetuar essas operações, para isso foi checada a previsão do tempo de maneira a escolher uma data em que houvesse condições meteorológicas mais próximas do ideal (céu aberto e baixa velocidade do vento), dentro da disponibilidade da equipe de trabalho e autorização da COPELMI para acessar a área.

3.2.1.2 PRÉ-SINALIZAÇÃO DE PONTOS DE APOIO

Os pontos de apoio foram materializados através de alvos de papelão quadrados pintados de preto e branco e com dimensões aproximadas de 35 x 35 cm. Os mesmos foram fixados no solo com pregos, sendo quatro em suas extremidades e um no centro. Esses pontos são necessários para a etapa de aerotriangulação, e tem suas coordenadas horizontais (H) e verticais (V) conhecidas, assim, sendo denominados HV.

A localização desses pontos foi determinada baseada na visita feita e com o auxílio do *software Google Earth*. Procurou-se realizar a distribuição de maneira que ocupasse a área de forma mais simétrica possível e pegando seus limites, considerando as restrições impostas com relação ao relevo e áreas inacessíveis.

Figura 12 – Pré-sinalização de ponto de apoio no terreno.



Fonte: o autor.

3.2.1.3 REALIZAÇÃO DO VOO E TOMADA DAS FOTOGRAFIAS

Primeiramente é realizado o planejamento de voo através do *software Emotion2*, no qual define-se uma série de informações e parâmetros, como a área/local de realização do voo, altitude, GSD (medida equivalente do pixel no terreno), sobreposição lateral e longitudinal entre as imagens e etc. É por meio desse mesmo programa que é realizado o voo e feito o seu controle e acompanhamento.

Ao chegar no local previamente determinado, monta-se a estação (composta por um computador e rádio comunicador) e o VANT. Em seguida, o plano de voo previamente determinado é transmitido ao VANT, então, ocorre a decolagem para a aquisição das fotografias, que possuem duração máxima de 30 minutos, após esse tempo, é realizado o pouso, troca de bateria e é lançado novamente, isso é feito sucessivamente até que seja feito todo o recobrimento planejado. O relatório do voo

fica armazenado no computador e as imagens obtidas no cartão de memória acoplado no eBee.

3.2.1.4 LEVANTAMENTO GEODÉSICO

Para efetuar essa etapa, foi utilizado um par de receptores GNSS, em que um foi estacionado (base) e o outro foi utilizado para coletar as coordenadas dos pontos de apoio e do monte de areia de interesse.

A primeira base foi instalada no ponto mais alto possível e de fácil acesso, ela foi rastreada por 04h55m24s e teve que ser interrompida devido à alta precipitação que ocorreu, sendo necessário recolher o equipamento. Quando cessou a chuva, foi instalada novamente a base, sendo rastreada por mais 02h55m29s. Importante ressaltar que as bases não foram instaladas na mesma posição, pois não se partiu de um ponto com coordenadas conhecidas.

Após a base estar apta a transmitir as correções para o receptor via link de comunicação, partiu-se para coletar as coordenadas HV dos pontos de apoio. A técnica utilizada foi o RTK, em que cada ocupação durou cerca de 10 segundos, de maneira que atendeu aos parâmetros definidos (obter 10 leituras diferentes e precisão melhor que $\pm 1\text{cm}$).

Outro procedimento realizado foi a obtenção das coordenadas do monte de areia de interesse. A metodologia utilizada foi semelhante a anterior, diferenciando-se pela técnica utilizada, que nesse caso foi cinemático. Utilizou-se intervalo de 1 segundo para coleta de dados. O levantamento ocorreu em duas partes, uma para passar sobre o topo do monte e outra para percorrer a base, sendo que no total foram coletados 2.887 pontos.

3.2.2 PROCEDIMENTOS EM ESCRITÓRIO

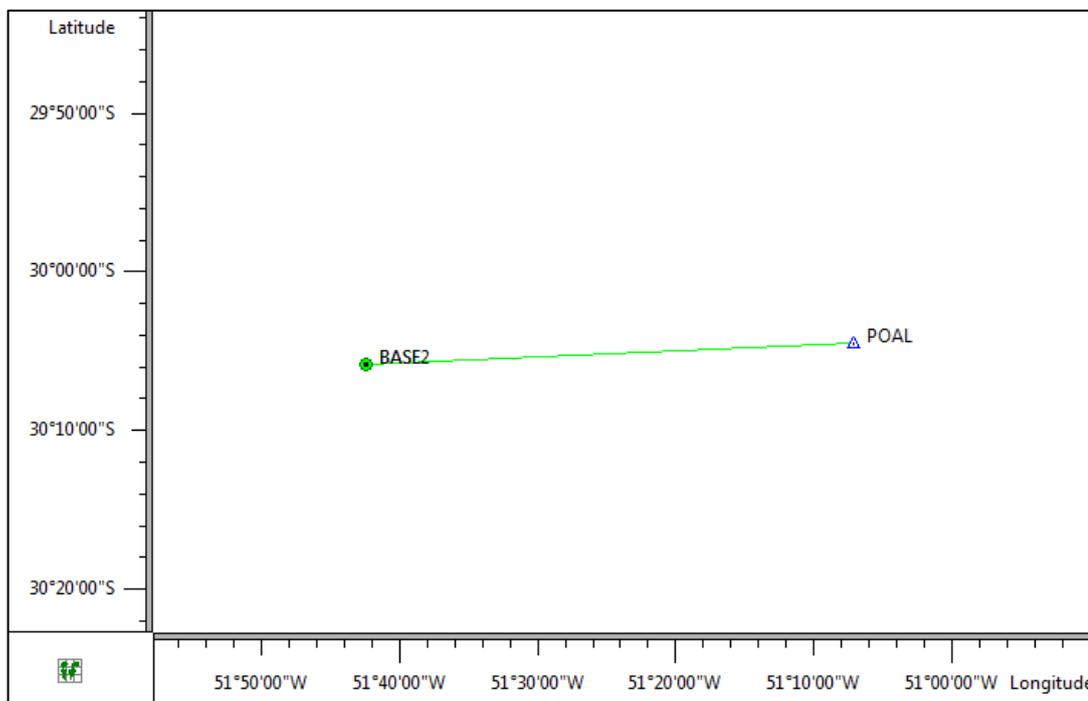
3.2.2.1 PROCESSAMENTO DOS DADOS GNSS

O processamento dos dados GNSS (rastreamento dos pontos base, de apoio e do monte de areia) foi feito utilizando o *software Topcon Tools*. Foram realizados três procedimentos distintos, um para cada tipo de dado rastreado.

Primeiro foram corrigidas as bases com relação a estação da RBMC de Porto

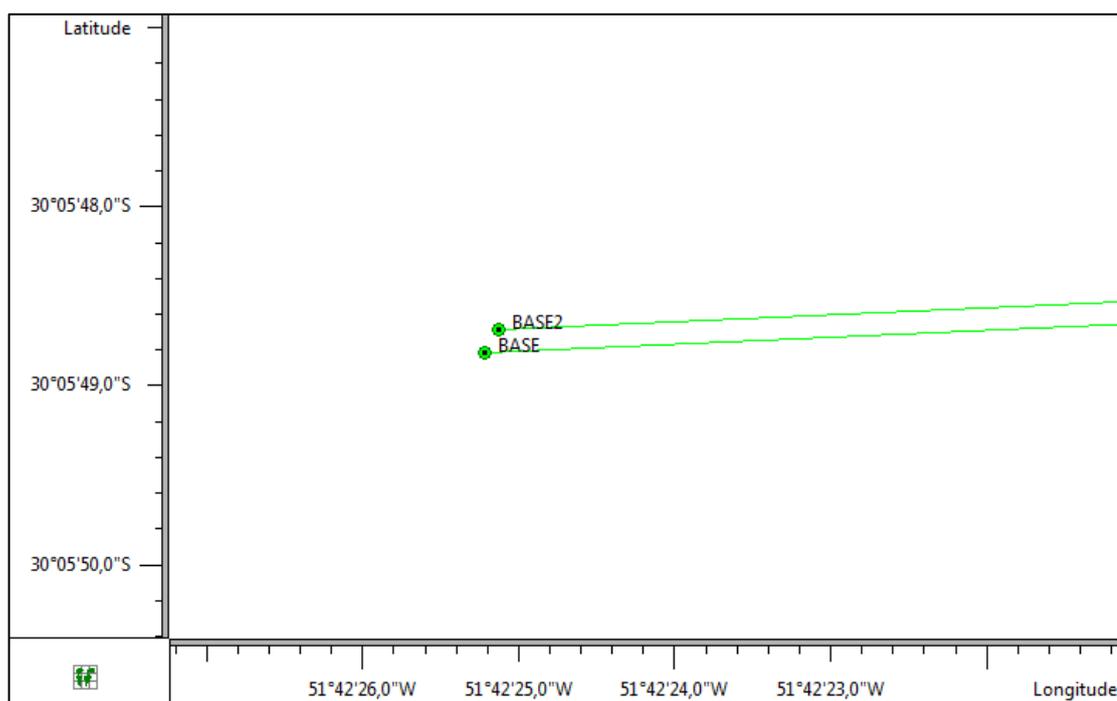
Alegre - RS (POAL). A Figura 13 mostra as linhas base ajustadas e os pontos referentes a estação POAL (triângulo azul) e às bases (círculo verde).

Figura 13 - Pontos das bases e linhas base em relação com as estações da RBMC.



Fonte: O autor.

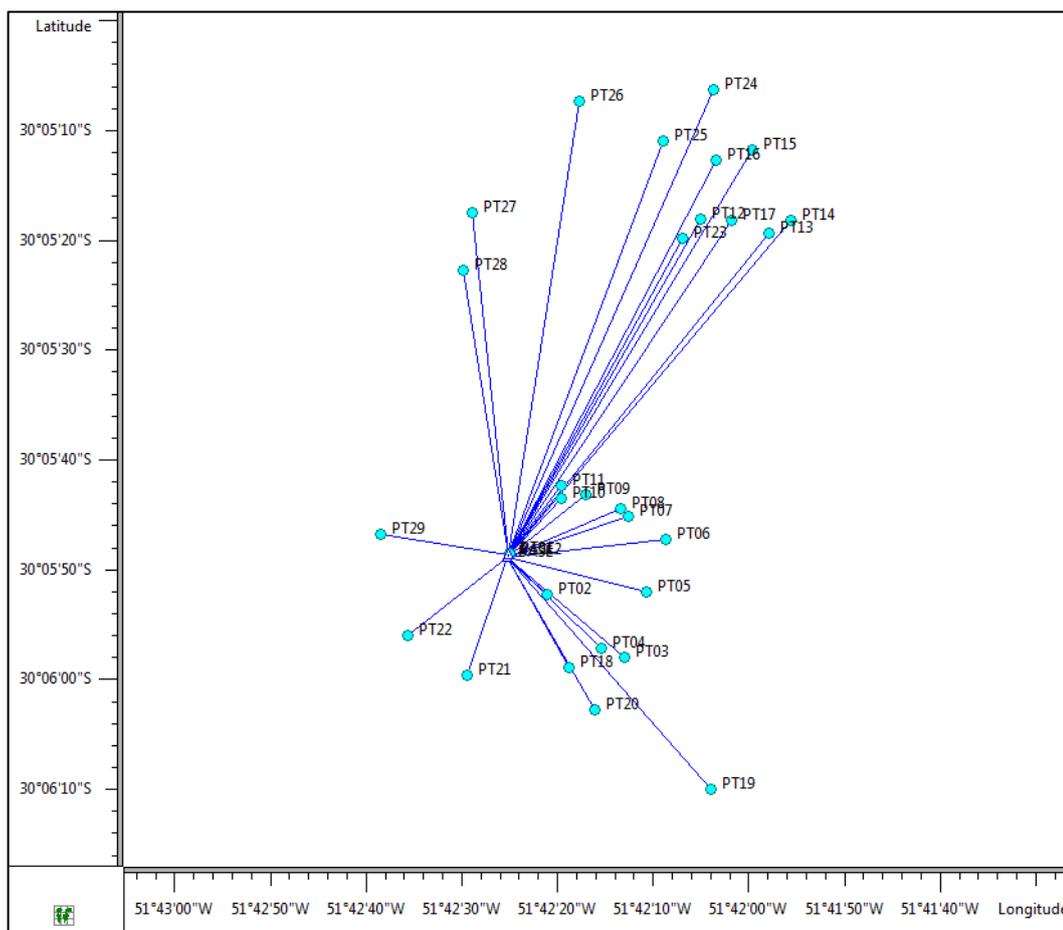
Figura 14 - Detalhe dos pontos base.



Fonte: O autor

Em seguida foram processados os pontos de controle, que foram referenciados com relação as coordenadas das bases determinadas anteriormente. A Figura 15 mostra o resultado obtido, com os pontos base representados por um triângulo azul e os pontos de apoio por um círculo azul.

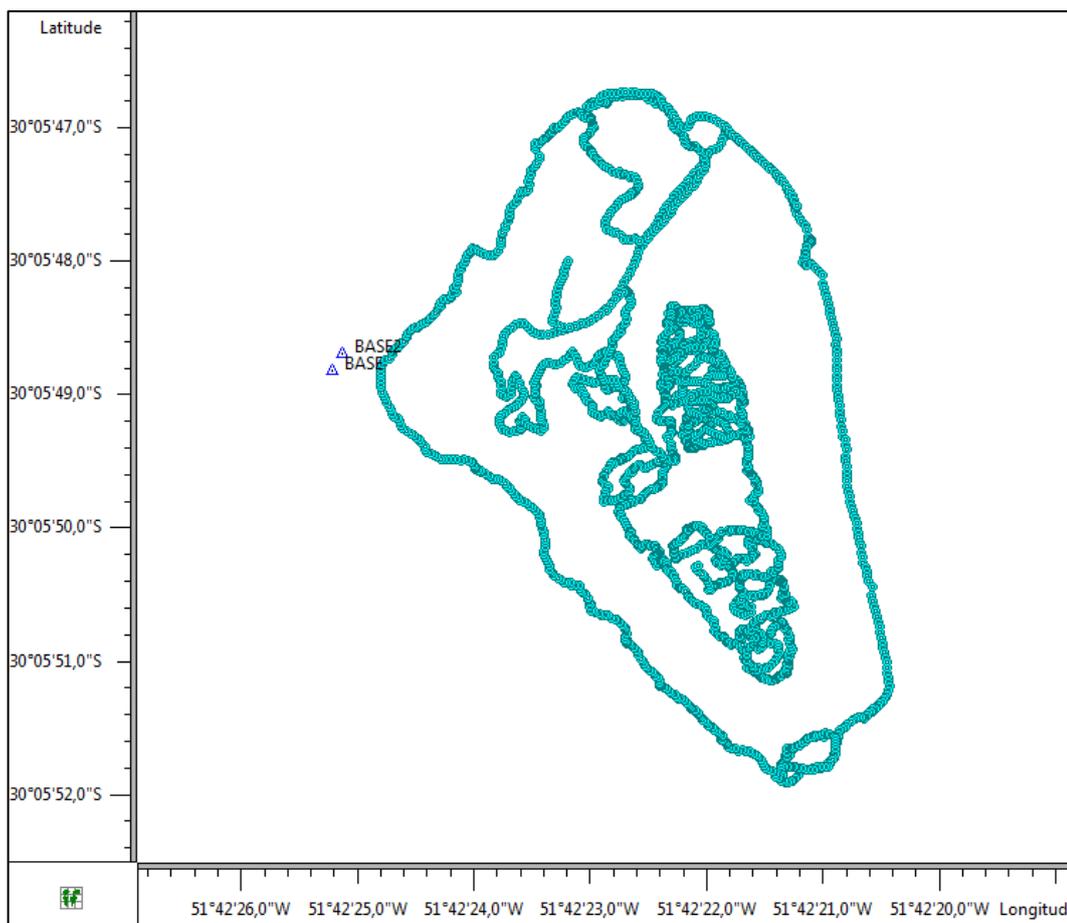
Figura 15 - Pontos base e de apoio do levantamento.



Fonte: O autor.

Por último, foi realizado o processamento dos pontos do monte com relação as mesmas bases. A Figura 16 mostra a situação com o processamento já realizado, onde as bases estão representadas por um triângulo azul e os pontos do caminhamento cinemático por círculos azuis.

Figura 16 - Pontos base e do monte de areia levantado.



Fonte: O autor.

Após obter todas as coordenadas dos pontos de campo, foi feita a compatibilização com o sistema altimétrico oficial brasileiro. Então, utilizou-se o software MAPGEO2015, disponibilizado pelo IBGE, para obter a ondulação geoidal em cada ponto e realizar a conversão das altitudes elipsoidais para ortométricas. As Tabelas 1 e 2 apresentam as coordenadas das bases e dos pontos de controle, respectivamente, no datum SIRGAS 2000 e projetadas no sistema UTM 22S, além de suas respectivas precisões.

Tabela 1 - Coordenadas ajustadas das bases e suas precisões

PONTO	N (m)	E (m)	h (m)	N (m)	H (m)	Precisão Horizontal (m)	Precisão Vertical (m)
BASE	431876,600	6670267,308	43,719	6,07	37,649	0,017	0,032
BASE2	431878,819	6670271,212	43,994	6,07	37,924	0,016	0,032

Fonte: O autor.

Tabela 2 - Coordenadas ajustadas dos pontos de apoio e suas precisões

PONTO	N (m)	E (m)	h (m)	N (m)	H (m)	Precisão	
						Horizontal (m)	Vertical (m)
PT01	431883,007	6670275,961	42,535	6,07	36,465	0,002	0,005
PT02	431988,150	6670162,760	40,789	6,07	34,719	0,002	0,006
PT03	432204,861	6669987,027	34,362	6,07	28,292	0,004	0,006
PT04	432139,626	6670013,907	34,149	6,07	28,079	0,003	0,005
PT05	432263,707	6670171,695	34,949	6,06	28,889	0,025	0,035
PT06	432317,250	6670319,038	35,035	6,06	28,975	0,003	0,005
PT07	432213,410	6670382,937	35,316	6,06	29,256	0,007	0,011
PT08	432191,824	6670402,949	35,038	6,06	28,978	0,004	0,005
PT09	432093,850	6670444,592	38,726	6,06	32,666	0,003	0,004
PT10	432024,964	6670432,972	39,540	6,06	33,480	0,005	0,005
PT11	432025,106	6670467,527	39,579	6,06	33,519	0,005	0,005
PT12	432410,463	6671216,372	33,918	6,03	27,888	0,004	0,006
PT13	432601,683	6671178,700	54,554	6,03	48,524	0,003	0,004
PT14	432662,252	6671216,462	55,199	6,02	49,179	0,006	0,007
PT15	432555,081	6671411,655	38,481	6,02	32,461	0,004	0,006
PT16	432452,918	6671383,500	41,541	6,02	35,521	0,005	0,006
PT17	432495,854	6671212,457	40,357	6,03	34,327	0,005	0,007
PT18	432050,354	6669956,817	33,967	6,07	27,897	0,004	0,006
PT19	432449,390	6669620,660	37,156	6,08	31,076	0,003	0,005
PT20	432122,478	6669839,540	34,582	6,08	28,502	0,003	0,004
PT21	431765,423	6669934,299	31,141	6,08	25,061	0,004	0,005
PT22	431597,031	6670044,130	32,527	6,08	26,447	0,003	0,004
PT23	432360,685	6671161,684	33,367	6,03	27,337	0,005	0,005
PT24	432443,922	6671578,402	29,318	6,01	23,308	0,003	0,004
PT25	432303,069	6671435,599	32,246	6,02	26,226	0,006	0,006
PT26	432068,346	6671544,750	33,493	6,02	27,473	0,007	0,009
PT27	431772,353	6671230,704	32,531	6,04	26,491	0,003	0,004
PT28	431748,677	6671069,971	29,159	6,04	23,119	0,003	0,004
PT29	431520,402	6670327,724	27,178	6,07	21,108	0,003	0,004

Fonte: O autor.

Não serão listadas as coordenadas dos pontos do levantamento cinemático coletados sobre o monte devido ao seu elevado número (2.887).

3.2.2.2 PROCESSAMENTO DAS FOTOGRAFIAS

Nessa etapa inicia-se o processamento fotogramétrico, o que possibilitará a geração de MDS, MDT, ortofoto, ortofotocarta, curvas de nível e efetuar cálculos de volume.

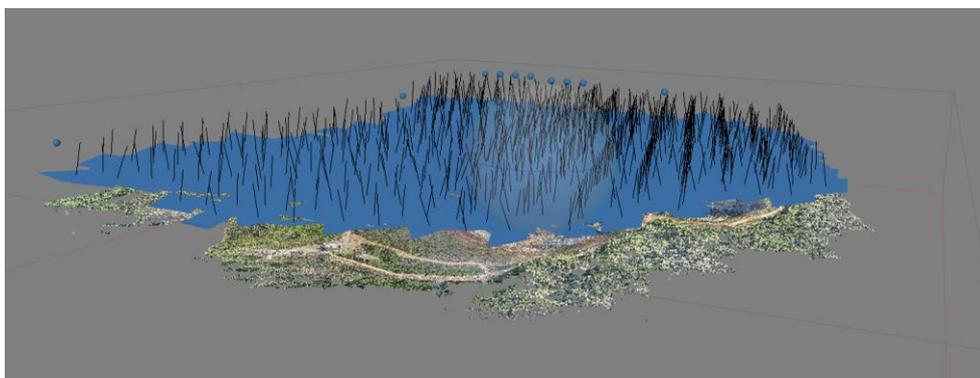
Começa-se com a associação das coordenadas e orientações obtidas pelo sistema de navegação do VANT (inercial e GNSS) às imagens. Esse processo é executado pelo *software Emotion2* e é denominado de *geotagging*.

3.2.2.3 ALINHAMENTO E FOTOTRIANGULAÇÃO

Após as imagens estarem devidamente posicionadas e orientadas, é possível executar o alinhamento das fotografias, obtendo-se um posicionamento inicial. Tal tarefa é executada pelo *software PhotoScan*, trabalhando com a correspondência de pontos homólogos entre as imagens e com as coordenadas de cada cena. Vale ressaltar que nessa etapa o programa avalia os parâmetros internos e externos da orientação da câmera, incluindo distorções radiais não-lineares.

A obtenção desse posicionamento inicial, possibilita a fototriangulação ajustando apenas a posição das fotografias em relação aos pontos de apoio fotogramétricos rastreados anteriormente, como mostra a Figura 17.

Figura 17 - Fototriangulação inicial.



Fonte: O autor.

Em seguida, é feita a introdução das coordenadas dos pontos de apoio no projeto medindo-as nas imagens, de maneira a melhorar a qualidade do georeferenciamento. A Figura 18 mostra um exemplo.

Figura 18 - Medição dos pontos de apoio nas imagens.



Fonte: O autor.

3.2.2.4 DENSIFICAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS

Após o processo de medição dos pontos de apoio nas fotografias, realizou-se novamente o processo de correlação das imagens, onde um algoritmo determina pontos de correlação entre as cenas para a utilização como pontos de ligação (Figura 19) na fototriangulação. As coordenadas desses pontos são associadas e processadas no referencial do terreno juntamente com a determinação dos parâmetros de orientação exterior (POE) e interior (POI) das imagens.

Figura 19 - Nuvem de pontos esparsa.



Fonte: O autor.

Em seguida, é realizada uma nova fototriangulação com base no processo anterior, em que é gerada uma nuvem de pontos densa (Figura 20), preenchendo melhor a área. Exemplificando, a nuvem de pontos esparsa possui 596.215 pontos, enquanto a densa, 78.481.344 pontos de referência.

Figura 20 - Nuvem de pontos densa.

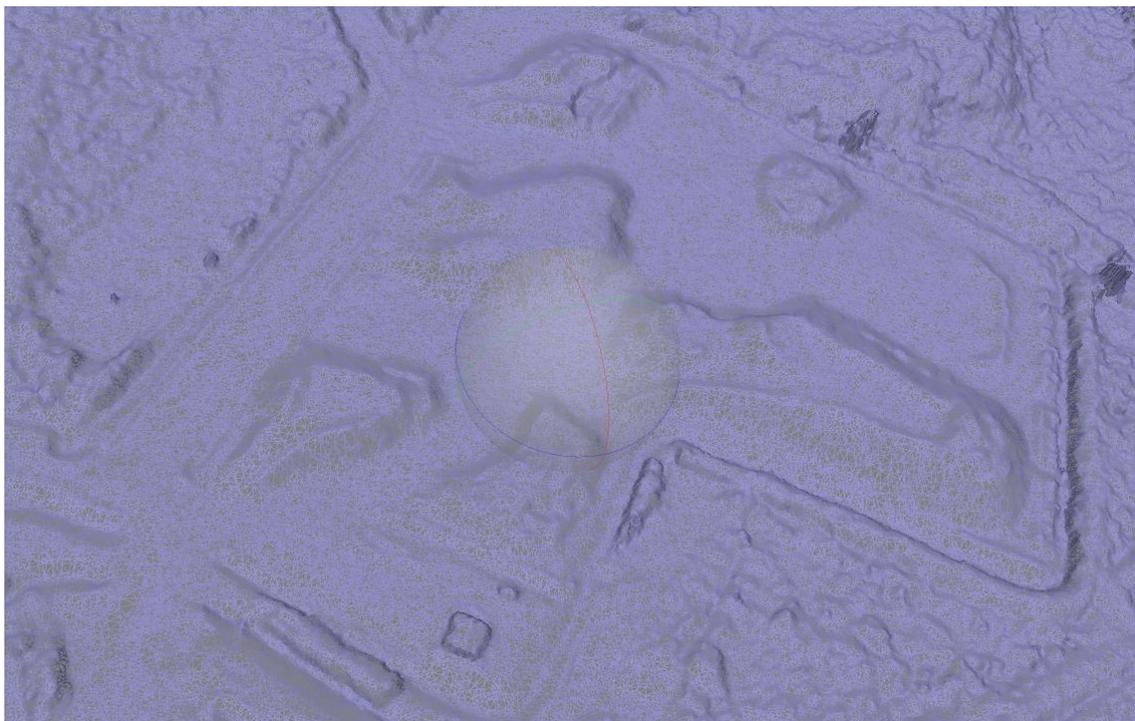


Fonte: O autor.

3.2.2.5 REDE DE TRIÂNGULOS

A partir da geração da nuvem de pontos densa, se torna possível a construção da malha triangular. Essa malha é uma forma de organizar os pontos para permitir a construção do MDT e MDS, que é requisito para o processo de geração de ortofotos. A representação da rede de triângulos é demonstrada na Figura 21.

Figura 21 - Rede de triângulos.



Fonte: O autor.

3.2.2.6 ORTOFOTO

A construção da true-ortofoto se deu a partir da rede de triângulos criada. O produto pode ser denominado dessa maneira pois a base de dados representa o modelo de superfície, englobando terreno e feições acima dele com um GSD de 5,2 cm. A Figura 22 mostra uma parte do produto final.

Figura 22 - True-ortofoto.

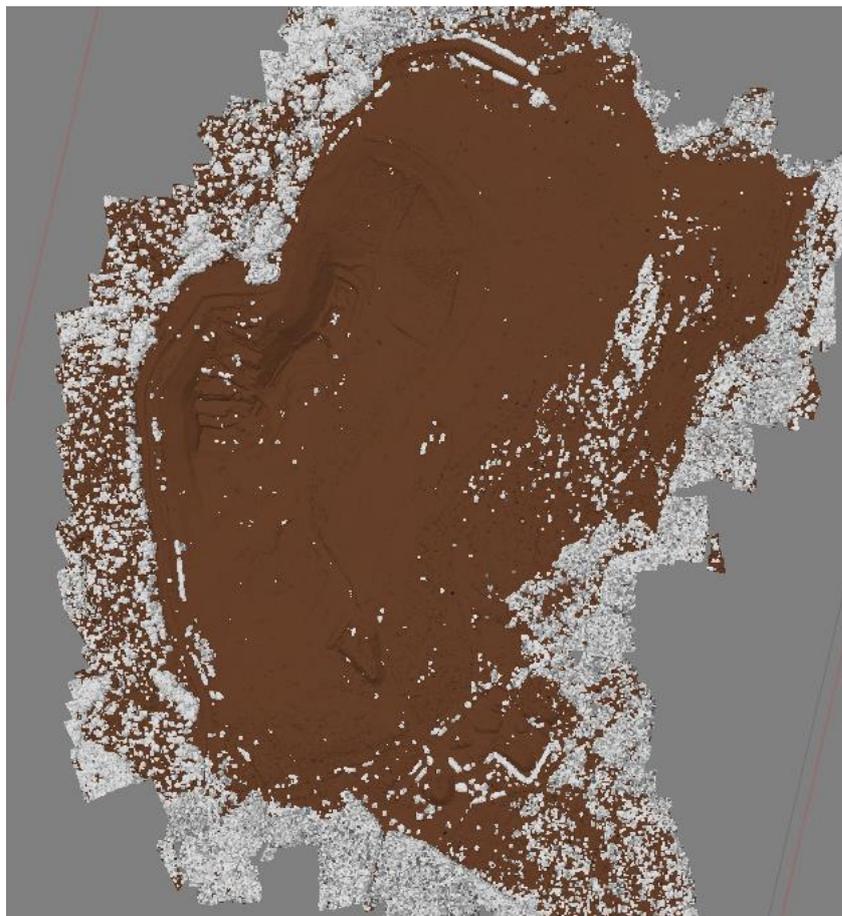


Fonte: O autor.

3.2.2.7 GERAÇÃO DE CURVAS DE NÍVEL

Os dados base para a geração das curvas de nível foram os provenientes da nuvem de pontos densa, em que foram filtrados e separados os pontos que representavam prédios, árvores, veículos e todos que não fossem referentes ao terreno natural. Isso é feito através de um procedimento no software, em que é realizada essa distinção. A Figura 23 mostra o resultado obtido, em que os pontos marrons são do terreno e os brancos são os demais.

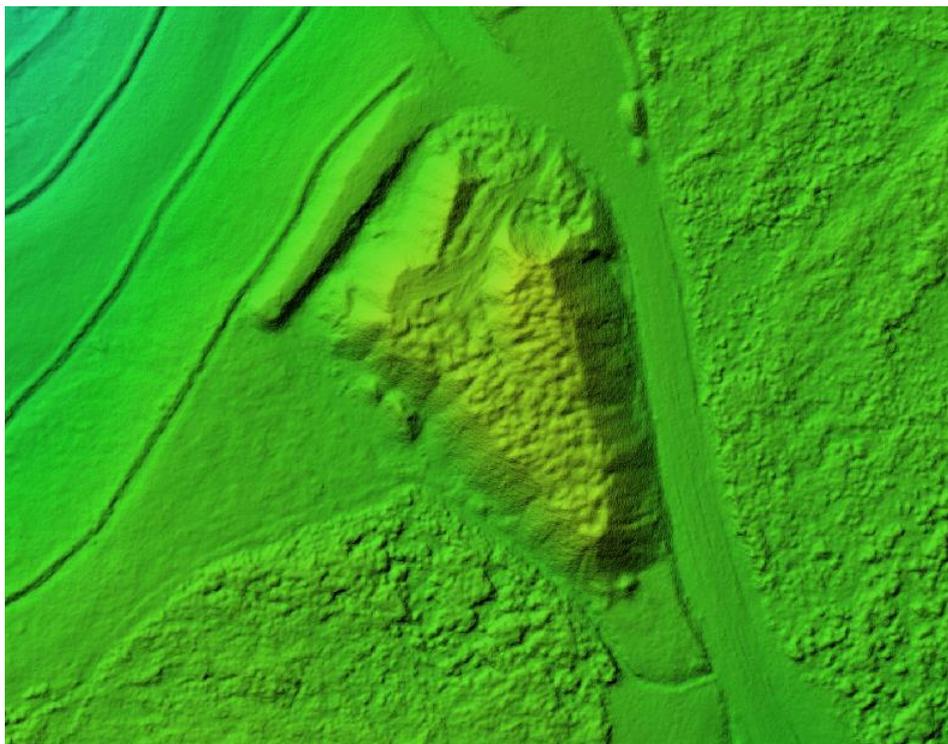
Figura 23 - Classificação de pontos.



Fonte: O autor.

Então, foi criado no *software PhotoScan* um MDT (Figura 24) baseado somente nos pontos de terreno. É perceptível que houve uma confusão do sistema que fez a classificação, pois considerou muitas árvores que estão nas extremidades como terreno, por isso, optou-se por manter a classificação e excluir a área nas bordas, pois não está diretamente na região de interesse e não afetará os resultados a que se propõe o presente trabalho.

Figura 24 - Recorte do MDT gerado.



Fonte: O autor.

Esse arquivo gerado foi exportado em formato shp para poder ser trabalhado no *software ArcMap*, onde foi realizada a criação e edição das curvas de nível para compor o produto final.

3.2.2.8 CÁLCULO DE VOLUMES

Para o cálculo volumétrico do monte de areia, foram utilizadas duas bases de dados distintas, uma gerada através dos processos fotogramétricos e a outra referente aos dados levantados com GNSS (posicionamento relativo cinemático). O processamento desses dados e cálculo do volume é idêntico para as duas bases.

Inicialmente é criado em escritório o polígono limítrofe do monte de areia (Figura 25), área referência para os cálculos. Importante ressaltar que nesse polígono devemos indicar a altitude da base do monte de areia, pois é a partir desse valor que será efetuado o cálculo da componente altimétrica do volume.

Figura 25 - Monte de areia e seu limite demarcado.

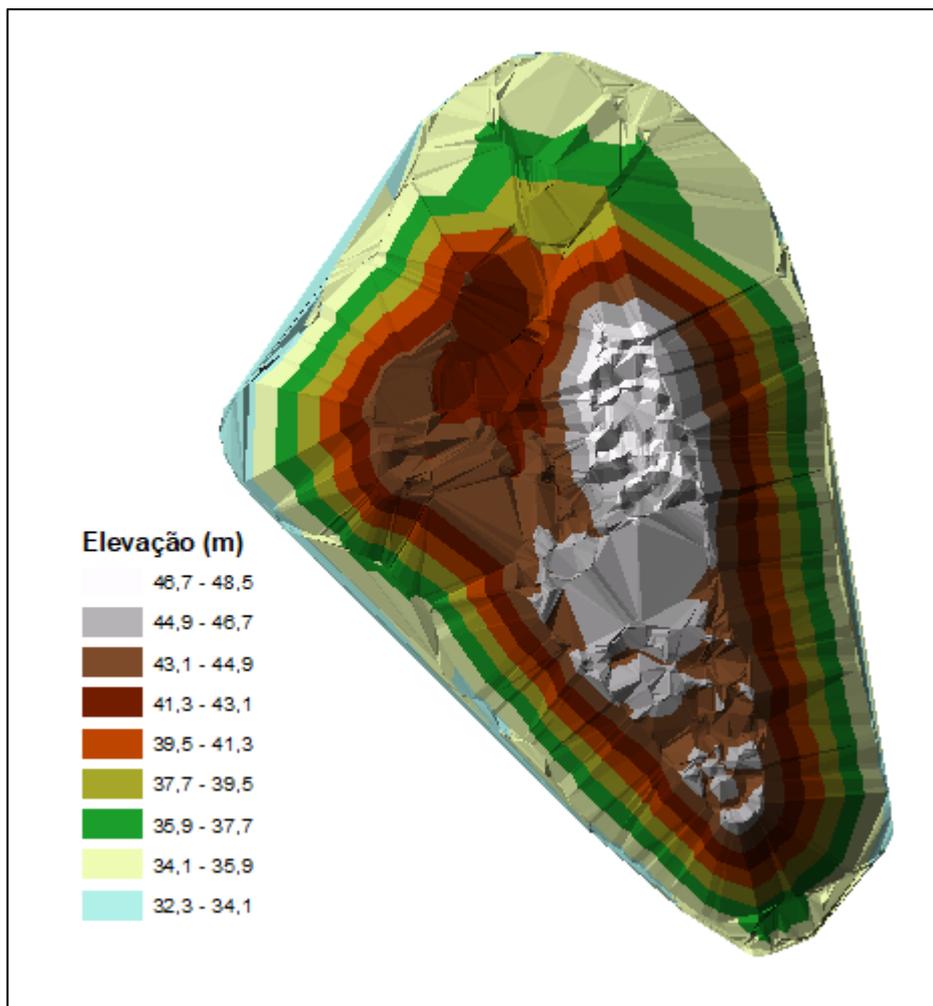


Fonte: O autor.

A partir das curvas de nível, é gerado o TIN (Triangulated Irregular Network), que é um modelo digital criado a partir de curvas de nível, onde ocorre a interpolação dos valores de altitude por meio da criação de triângulos entre uma linha e outra e cria um modelo matemático com valores de altitude.

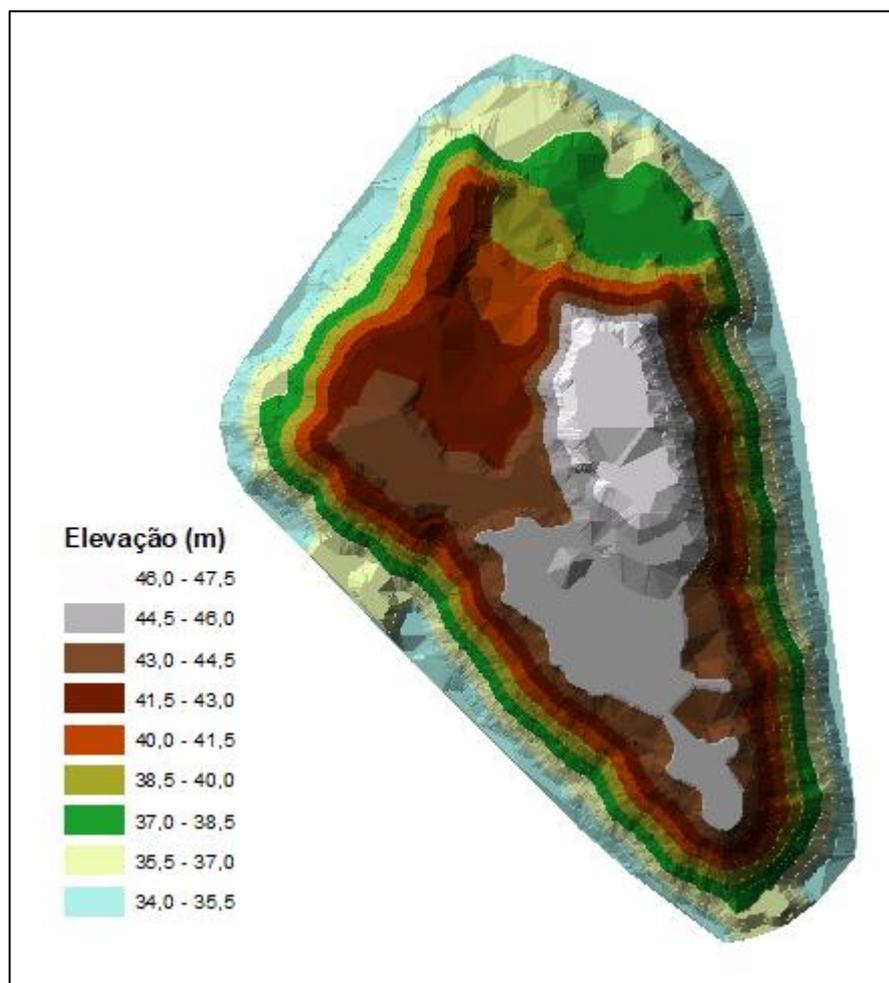
As Figuras 26 e 27 mostram os modelos TIN obtidos com GNSS e VANT, respectivamente.

Figura 26 - TIN gerado pelos dados obtidos com GNSS.



Fonte: O autor.

Figura 27 - TIN gerado pelos dados obtidos com VANT.



Fonte: O autor.

Baseado nessas informações, é calculado o volume da superfície entre o polígono e terreno (TIN). Cada limite de polígono é primeiro interceptado com a zona de interpolação da superfície. Isso identifica a área em comum entre os dois. Então, o volume é calculado para todos os triângulos e suas porções que se enquadram no polígono interceptado.

4 RESULTADOS

4.1 PRODUTOS GERADOS

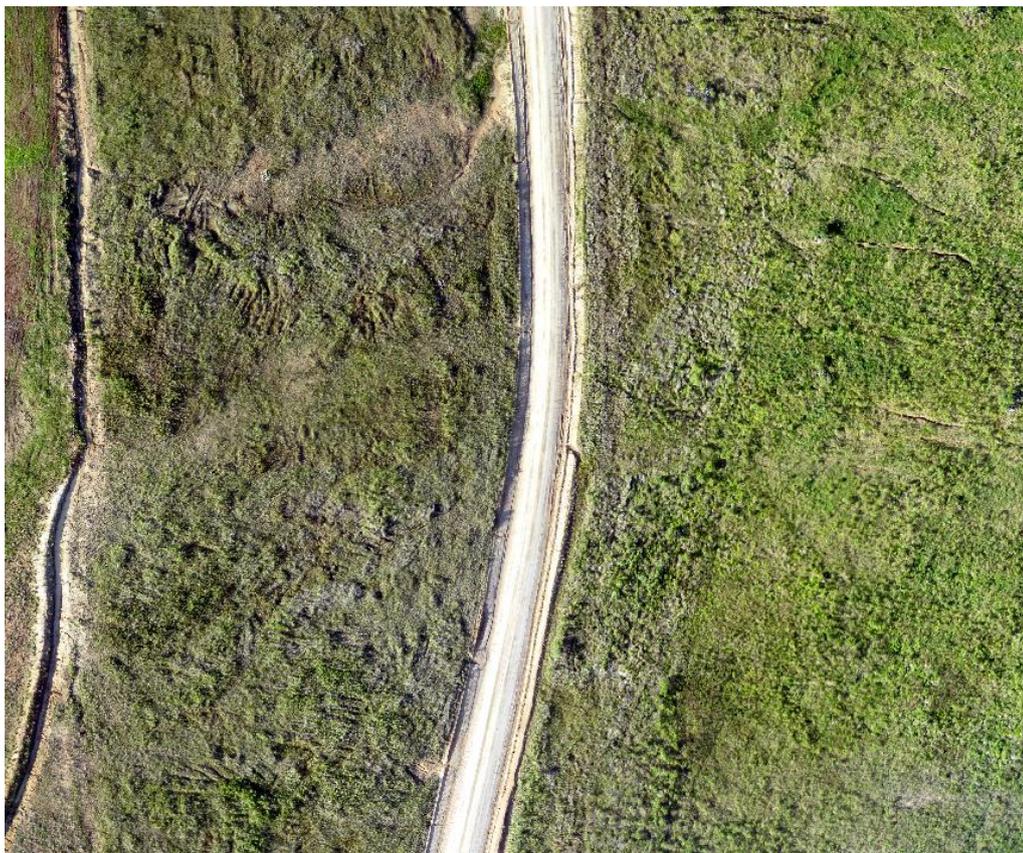
A base de dados utilizada no presente trabalho foi obtida por levantamento fotogramétrico por meio de VANT e geodésico com GNSS no dia 07 de dezembro de 2017. Com o processamento dessa base de dados, foi possível gerar alguns produtos, conforme descritos resumidamente a seguir:

4.1.1 TRUEORTOFOTOMOSAICO

Possui pixel final no terreno de 5,2 cm e foi obtido através da seleção das melhores fotos. No geral, a qualidade foi satisfatória, porém ocorreram zonas em que houve perda de nitidez na imagem devido a baixa qualidade das fotos que sobrepunham a região, tendo como provável causa, a força exercida pelo vento sobre o VANT durante seu voo.

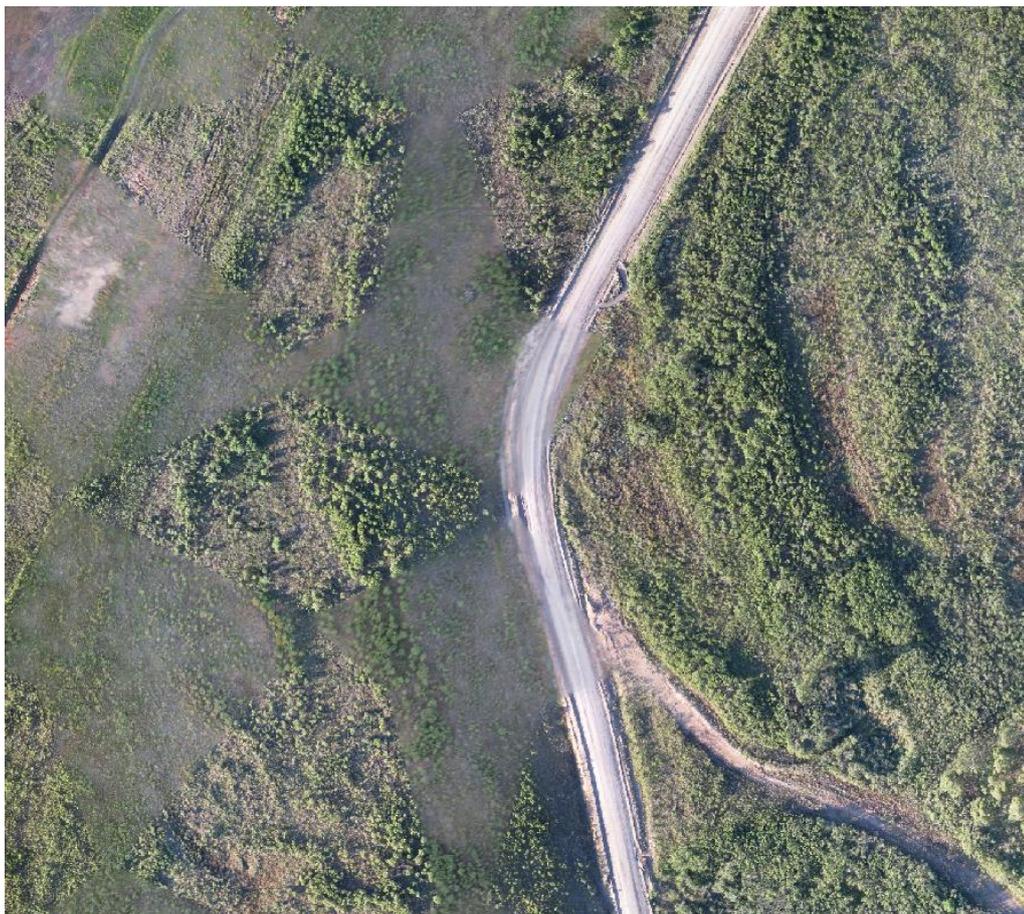
As Figuras 28 e 29 mostram recortes de áreas com maior e menor qualidade visual, respectivamente.

Figura 28 - Recorte com qualidade visual boa.



Fonte: O autor.

Figura 29 - Recorte com qualidade visual ruim.

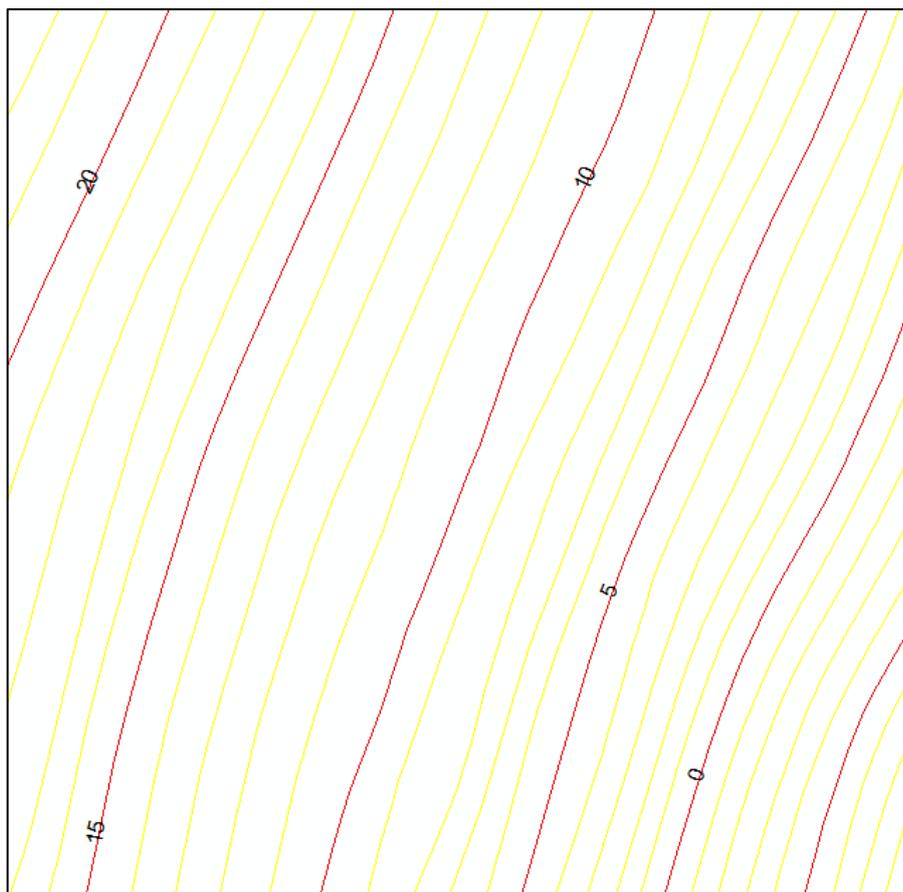


Fonte: O autor.

4.1.2 CURVAS DE NÍVEL

As curvas de nível foram geradas a partir da nuvem de pontos, sua altitude ortométrica foi calculada utilizando o MAPGEO2015 (IBGE), após a realização da edição e suavização, chegou-se, no resultado final, com equidistância de 1 metro. A figura 30 mostra a configuração final das curvas.

Figura 30 - Curvas de nível.



Fonte: O autor.

4.1.3 CÁLCULO DE VOLUMES

Foi calculado o volume obtido com os dados GNSS, coletados com técnica de posicionamento relativo cinemático sobre o monte de areia, e dados fotogramétricos, obtidos através do processamento das imagens coletadas com VANT.

A Tabela 3 apresenta os valores calculados e a diferença obtida entre os métodos utilizados. Para o cálculo da massa, foi considerado o peso específico da areia como sendo 1.600 kg/m^3 , conforme o SCO (Sistema de Custos de Obras e Serviços de Engenharia) da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro.

Tabela 3 - Cálculo de volumes

Fonte de dados	Área (m ²)	Volume (m ³)	Massa(kg)	Massa (ton)	
GNSS	10.927,48	77.328,13	123.725.008,00	123.725,01	
VANT	10.927,48	74.859,76	119.775.616,00	119.775,62	
Diferença total	0	2.468,37	3.949.392,00	3.949,39	3,2%

Fonte: O autor.

Convém ressaltar que a diferença obtida entre os métodos utilizados foi de apenas 3,2%, o que pode ser considerado um resultado muito bom devido a maneira distinta como foi obtida cada fonte de dados.

4.1.4 ORTOFOTOCARTA NA ESCALA 1:6.000

Constituída pela ortofoto, curvas de nível e os elementos cartográficos necessários. Visualização no Apêndice B.

4.1.5 ORTOFOTOCARTA NA ESCALA 1:500

Constituída pela ortofoto, curvas de nível e os elementos cartográficos necessários. Representa a área do monte de areia sobre o qual foi calculado o volume. Visualização no Apêndice C.

4.2 CONTROLE DE QUALIDADE INTERNO

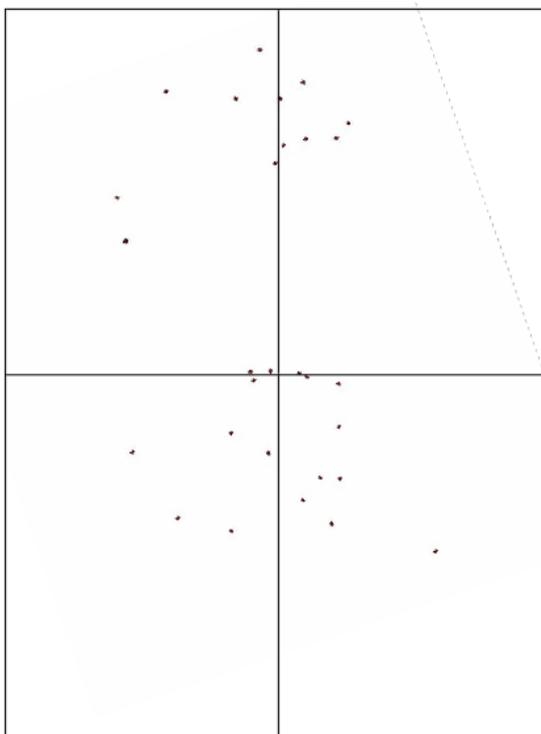
Segundo o decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as instruções reguladoras das normas técnicas da Cartografia nacional, o padrão de exatidão cartográfica (PEC) classe A planimétrico é de 0,5mm na escala da carta, e altimétrico é metade da equidistância das curvas de nível. Sendo que para assegurar tais valores é necessário que 90% dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não apresentem erro superior ao PEC planimétrico e que 90% dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não apresentem erro superior ao PEC altimétrico.

Para realizar o controle de qualidade e, posteriormente, o cálculo da PEC,

foram escolhidos 29 pontos, que serão usados tanto para o controle de qualidade horizontal quanto para o vertical. Esse número foi definido conforme recomendado pelo FGDC (*Federal Geographic Data Committee*), em que um mínimo de 20 pontos de verificação deve ser testado, distribuído para refletir a área geográfica de interesse e a distribuição de erro no conjunto de dados.

Os pontos foram selecionados visando fazer o recobrimento da área mapeada da maneira mais homogênea possível, então, a área foi dividida em quatro quadrantes, sendo que cada um deveria conter pelo menos 20% do total de pontos, conforme Figura 31.

Figura 31 - Posição dos pontos selecionados para o controle de qualidade.



Fonte: O autor.

As coordenadas dos pontos selecionados para fazer o cálculo do PEC horizontal estão na Tabela 4, assim como os cálculos realizados. Ao fazer a análise dos valores resultantes das diferenças entre as coordenadas N e E, é possível afirmar que o PEC é 0,069 m, pois 90% da amostra não apresenta erro maior que tal valor. Sabendo que o PEC planimétrico classe A é igual a 0,5 mm vezes a escala da carta, a escala de referência obtida é 1/138.

Tabela 4 - Análise da qualidade horizontal do trabalho

Ponto	NGNSS (m)	EGNSS (m)	NVANT (m)	EVANT (m)	NGNSS - NVANT (m)	EGNSS - EVANT (m)	Resultante (m)
H01	431883,007	6670275,961	431883,042	6670275,959	-0,035	0,002	0,035
H02	431988,150	6670162,760	431988,169	6670162,758	-0,019	0,002	0,019
H03	432204,861	6669987,027	432204,883	6669987,035	-0,022	-0,008	0,023
H04	432139,626	6670013,907	432139,633	6670013,981	-0,007	-0,073	0,074
H05	432263,707	6670171,695	432263,720	6670171,723	-0,013	-0,029	0,031
H06	432317,250	6670319,038	432317,288	6670319,079	-0,038	-0,042	0,056
H07	432213,410	6670382,937	432213,444	6670382,932	-0,034	0,004	0,035
H08	432191,824	6670402,949	432191,841	6670402,954	-0,017	-0,006	0,018
H09	432093,850	6670444,592	432093,914	6670444,621	-0,063	-0,029	0,069
H10	432024,964	6670432,972	432024,995	6670432,918	-0,031	0,054	0,062
H11	432025,106	6670467,527	432025,146	6670467,530	-0,040	-0,002	0,040
H12	432410,463	6671216,372	432410,487	6671216,333	-0,024	0,039	0,046
H13	432601,683	6671178,700	432601,675	6671178,692	0,008	0,008	0,012
H14	432662,252	6671216,462	432662,276	6671216,430	-0,024	0,031	0,039
H15	432555,081	6671411,655	432555,136	6671411,564	-0,055	0,091	0,107
H16	432452,918	6671383,500	432452,973	6671383,471	-0,055	0,030	0,063
H17	432495,854	6671212,457	432495,881	6671212,464	-0,027	-0,007	0,028
H18	432050,354	6669956,817	432050,416	6669956,834	-0,062	-0,016	0,064
H19	432449,390	6669620,660	432449,335	6669620,632	0,055	0,028	0,062
H20	432122,478	6669839,540	432122,424	6669839,564	0,054	-0,024	0,059
H21	431765,423	6669934,299	431765,454	6669934,304	-0,031	-0,005	0,031
H22	431597,031	6670044,130	431597,050	6670044,103	-0,019	0,026	0,033
H23	432360,685	6671161,684	432360,696	6671161,703	-0,010	-0,019	0,021
H24	432443,922	6671578,402	432443,882	6671578,352	0,040	0,050	0,064
H25	432303,069	6671435,599	432303,090	6671435,610	-0,021	-0,011	0,024
H26	432068,346	6671544,750	432068,347	6671544,755	-0,001	-0,005	0,006
H27	431772,353	6671230,704	431772,348	6671230,641	0,006	0,063	0,064
H28	431748,677	6671069,971	431748,709	6671070,013	-0,031	-0,042	0,053
H29	431520,402	6670327,724	431520,435	6670327,713	-0,033	0,011	0,035
Desvio padrão					0,030	0,035	0,046
Média					-0,019	0,004	0,019

Fonte: O autor.

As coordenadas dos pontos selecionados para fazer o cálculo do PEC vertical estão na Tabela 5, assim como os cálculos realizados. Ao fazer a análise dos valores resultantes das diferenças entre as coordenadas H, é possível afirmar que o PEC é 0,230 m, pois 90% da amostra não apresenta erro maior que tal valor. Sabendo que o PEC altimétrico classe A é igual a metade da equidistância das curvas, a equidistância de referência entre curvas de nível é de 0,460 m.

Tabela 5 - Análise da qualidade vertical do trabalho

Ponto	H _{GNSS} (m)	H _{VANT} (m)	H _{GNSS} - H _{VANT} (m)
V01	36,465	36,514	-0,049
V02	34,719	34,714	0,005
V03	28,292	28,279	0,013
V04	28,079	28,090	-0,011
V05	28,889	28,898	-0,009
V06	28,975	29,044	-0,069
V07	29,256	29,295	-0,039
V08	28,978	28,989	-0,011
V09	32,666	32,982	-0,316
V10	33,480	33,627	-0,147
V11	33,519	33,679	-0,160
V12	27,888	27,928	-0,040
V13	48,524	48,548	-0,024
V14	49,179	49,284	-0,105
V15	32,461	32,617	-0,156
V16	35,521	35,535	-0,014
V17	34,327	34,349	-0,022
V18	27,897	27,949	-0,052
V19	31,076	31,306	-0,230
V20	28,502	28,529	-0,027
V21	25,061	25,189	-0,128
V22	26,447	26,508	-0,061
V23	27,337	27,373	-0,036
V24	23,308	23,590	-0,282
V25	26,226	26,289	-0,063
V26	27,473	27,587	-0,114
V27	26,491	26,632	-0,141
V28	23,119	23,168	-0,049
V29	21,108	21,137	-0,029
Desvio padrão			0,084
Média			-0,081
EMQ			0,116

Fonte: O autor.

Com relação ao cálculo dos volumes, não foi possível fazer a checagem com nenhum dado oficial, pois a Copelmi não tem nenhuma estimativa do volume do monte devido a ser uma área que não está em uso no momento, somente serve como depósito da areia retirada para a extração do carvão.

4.3 ORÇAMENTO

Para o cálculo do custo, foram adotados valores que uma empresa cobraria. Os custos foram calculados com relação a dia (8 horas trabalhadas) de serviço/uso e foram utilizados valores de mercado para dezembro de 2017.

Itens inclusos: mão-de-obra, softwares, hardware, equipamentos e materiais de campo e escritório, meio de locomoção, gastos com infraestrutura, administração, impostos e lucro, totalizando um valor de R\$ 21.199,38.

Tabela 6 - Custos com mão-de-obra.

Função	Qtd	Salário Base	Salário/dia	Dias Trabalhados	Total
Engenheiro Cartógrafo	1	R\$ 7.000,00	R\$ 333,33	12	R\$ 4.000,00
Topógrafo	1	R\$ 3.000,00	R\$ 142,86	3	R\$ 428,57
Auxiliar Técnico	1	R\$ 1.500,00	R\$ 71,43	3	R\$ 214,29
Secretária	1	R\$ 1.500,00	R\$ 71,43	12	R\$ 857,14
Encargos Sociais	105%				R\$ 5.775,00
TOTAL					R\$ 11.275,00

Fonte: O autor.

Tabela 7 - Custo total

Descrição	Qtd	Preço unitário (R\$)	Vida útil (anos)	Depreciação diária (R\$)	Dias de utilização	Total (R\$)
Par GNSS L1/L2 - TOPCON	1	75.000,00	5	41,096	2	82,19
Topcon Tools	1	5.000,00	5	2,740	3	8,22
EBEE	1	150.000,00	5	82,192	2	164,38
Agisoft PhotoScan	1	15.000,00	5	8,219	8	65,75
Computador	1	6.500,00	5	3,562	12	42,74
ARCGIS	1	40.000,00	5	21,918	3	65,75
Veículo	1	30.000,00	5	16,438	2	32,88
Alvos	30	3,50				105,00
Pregos (Kg)	1	9,00				9,00
Combustível (litros)	40	4,10				164,00
Alimentação	18	20,00				360,00
Material de escritório	1	250,00				250,00
Aluguel sala (mês)	1	2.000,00			15	1.000,00
Energia elétrica (mês)	1	250,00			15	125,00
Água (mês)	1	150,00			15	75,00
Internet (mês)	1	200,00			15	100,00
Telefone (mês)	1	150,00			15	75,00
Contábil	1	500,00				500,00
Jurídico	1	500,00				500,00
Tabela 6						11.275,00
Total dos custos						14.999,92
Impostos (16,33%)						2.449,49
Lucro (25%)						3.749,98
Total						21.199,38

Fonte: O autor.

5 CONCLUSÕES

5.1 DIFICULDADES PARA A REALIZAÇÃO DO TRABALHO

Na realização do trabalho de campo, houve diversas dificuldades e complicações, como:

- A) O número de integrantes da equipe de trabalho que deveria ter sido maior (somente 1 pessoa para colocar e rastrear os pontos de apoio), pois isso atrasou o horário planejado para o início do voo, então o mesmo não foi realizado no horário ideal (por volta do meio-dia), o que acaba gerando uma perda de qualidade no produto final devido à sombra dos elementos do terreno;
- B) O tamanho dos alvos poderia ser um pouco maior, pelo menos 50 x 50 cm, de maneira que facilitasse a visualização e identificação nas fotografias;
- C) Esperava-se que o topo do monte de areia fosse de estrutura cônica e tivesse uma certa uniformidade, porém o que se encontrou foi bem diferente, era uma série de pequenos montes (Figura 32), em que, do ponto de sua base até o topo chegavam a ter mais de 3 metros de altura, o que acarretou em um caminhamento mais demorado para coletar os dados GNSS, além do fato da areia estar extremamente fofa, dificultando ainda mais o trabalho;

Figura 32 - Detalhe do topo do monte de areia (pode-se notar as pegadas criadas durante o caminhamento com GNSS).



Fonte: O autor.

D) Quando foi realizado o planejamento (10 dias antes da saída de campo) a previsão do tempo indicava dia ensolarado, mas isso foi alterando e marcou chuva conforme foi chegando a data, porém optou-se por manter a realização do trabalho, pois havia indicações de “janelas” de tempo limpo, e ensolarado a partir das 17 horas.

Com relação aos procedimentos de escritório, o maior empecilho foi o tempo de processamento em algumas etapas devido ao elevado número de fotos (mais de 600), o que acabou gerando uma grande quantidade de dados. Somando o tempo de realização de algumas etapas em que não havia interferência constante do usuário, ou seja, era só definir a operação, dados, parâmetros e aguardar o computador finalizar o processamento, somou-se mais de 2 dias.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi gerada uma base de dados planialtimétricos que possibilitou realizar o cálculo do volume do monte de areia, então, foi alcançado o objetivo proposto no trabalho. Os produtos gerados podem servir de base para planejamentos na área pela Copelmi, conforme houver necessidade.

Um dos pontos que havia intenção de mostrar e obteve-se êxito, é uma parte da gama de possibilidades que existe com a utilização do VANT.

Com relação ao cálculo de volumes, foram avaliadas as diferenças do valor obtido dependendo da base de dados utilizada, chegando a um resultado de 3,2% de variação. O que pode-se afirmar é que ambas as técnicas utilizadas tem muito potencial de melhoria com relação a precisão obtida, pois com GNSS houve problema para percorrer todo o seu topo devido a irregularidade e a areia ser muito fofa, enquanto com o VANT, não foi utilizado nenhum ponto de controle sobre o monte.

A realização do trabalho foi de grande valia em acréscimo de conhecimento, solidificação de áreas em que já havia um domínio maior, aplicação prática de diversas técnicas e metodologias vistas durante o curso e ganho de experiência profissional por realizar todas as etapas de um projeto cartográfico, gerando mais confiança para a inserção no mercado de trabalho.

5.3 RECOMENDAÇÕES

Foram constatados diversos pontos na metodologia/execução que poderiam ser melhorados ou realizados de maneira diferente, conforme descritos a seguir:

- A) Fazer um reconhecimento da área detalhadamente, de maneira que evite contratemplos ou haja necessidade de refazer o planejamento no momento de execução do mesmo;
- B) Deixar em aberto mais de uma data como possibilidade para realização do trabalho de campo, de maneira que caso ocorra algum problema ou o tempo meteorológico não esteja propício, possa haver o adiamento;
- C) Realizar o cálculo de volume em pilha ou monte de algum material mais firme, de maneira que se possa colocar pontos de controle para o voo fotogramétrico, aumentando a qualidade e precisão dos resultados obtidos;
- D) Utilizar outros métodos para calcular o volume, como Laser Scanner (Lidar) e

técnica de topografia convencional, utilizando estação total, por exemplo, assim como outros softwares, de maneira a gerar comparativos;

- E) Avaliar corretamente o número de pessoas necessárias para realizar o trabalho de campo, considerando as etapas envolvidas e o tempo disponível;
- F) Verificar a confiabilidade e viés das bases GNSS utilizadas, realizando Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) ou posicionamento relativo com relação a outra base da RBMC que não a utilizada (POAL);
- G) Empregar as Normas da Especificação Técnica da DSG, as quais especificam classes de PEC altimétricas para MDT/MDS, independente de curvas de nível: DSG (2016a), Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (EB80-N-72.004), 1ª Edição - 2016. Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia, Diretoria de Serviço Geográfico;
DSG (2016b), Norma da Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (EB80-N-72.003) – 1ª Parte – 2ª Edição – 2016. Ministério da Defesa, Exército Brasileiro, Departamento de Ciência e Tecnologia, Diretoria de Serviço Geográfico;
- H) Verificar correlação dos erros verticais com cobertura do solo; por exemplo, poderia-se fazer mapa dos erros verticais, codificados pela cor ou tamanho do símbolo, tendo o ortofotomosaico de fundo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, J. B. *Fotogrametria*. Curitiba: SBEE. 1998.
- BARBOSA, B. J. B. L; PEREIRA, T. S. Geração de Base Cartográfica para Área de Interesse Histórico/Cultural por Meio de Levantamento Fotogramétrico Adquirido com VANT (RPAS). UFRGS, Porto Alegre. 2017.
- BRASIL, Decreto 89917 de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, n120, 22 de junho de 1984. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Acesso em 20 de dezembro de 2017.
- BURROUGH, P. A. *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University. 1998.
- CAMARGO, P. d. *Ajustamentos de Observações*. Notas de aula. Presidente Prudente: UNESP. 2000.
- COELHO, I. A. *Avaliação da qualidade posicional de dados oriundos de VANT para mapeamento fotogramétrico aplicado em projetos rodoviários*. UFRGS, 2015.
- COELHO, L.; BRITO, J. N. *Fotogrametria Digital*. Rio de Janeiro: UERJ. 2007.
- DALMOLIN, Q.. *Ajustamento por Mínimos Quadrados*. 175. Curitiba: Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas/ UFPR. 2002.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL – DNPM. Consultar processo. Disponível em: <<https://sistemas.dnpm.gov.br/SCM/Extra/site/admin/>>. Acesso em 22 de novembro de 2017.
- EMBRATOP. Topcon GPS Hiper Lite. Disponível em: <<http://www.embratop.com.br/produto/topcon-gps-hiper-lite/>>. Acesso em 20 de novembro de 2017.

FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMITTEE, Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy (1998). Disponível em: <<https://www.fgdc.gov/standards/projects/accuracy/part3/chapter3>>. Acesso em 14 de dezembro de 2017.

GEMAEL, C. *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas*. Curitiba: UFPR. 1994.

GEMAEL, C. *Introdução à Geodésia Física*. Curitiba: UFPR. 1999.

GEMAEI, C.; MACHADO, A. L.; WANDRESEN, R. *Introdução ao Ajustamento de Observações - Aplicações Geodésicas*. Curitiba: UFPR. 2015.

GEO DRONES. Agisoft Photoscan – Saiba tudo sobre este software. Disponível em: <<http://geodrones.com.br/blog/agisoft-photoscan-saiba-tudo-sobre-este-software/>>. Acesso em 12 de dezembro de 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/rbmc/rbmc.shtm?c=7>>. Acesso em 02 de dezembro de 2017.

ISPRS. *Internacional Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Disponível em: <<http://www.isprs.org/society/>>. Acesso em 03 de dezembro de 2017.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. (J. C. Epiphanyo, Ed.) São José Dos Campos. 2009.

LAND INFOTECH. EBEE. Disponível em: <<http://www.land-infotech.com/abee.html>>. Acesso em 21 de novembro de 2017.

LUGNANI, J. B. *Introdução a Fototriangulação*. Curitiba: UFPR. 1987

MATIAS, G. R. M; GUZATTO, M. P; SILVEIRA, P. M. Mapeamento Topográfico Cadastral por Integração de Imagens Adquiridas com VANT a Técnicas Tradicionais. UFRGS, Porto Alegre. 2015.

MILLER, S. B. *Photogrametric Products in Manual of Photogrametry*. 2004.

MONICO, J. F. *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamento e aplicações* (2 ed.). São Paulo: Unesp. 2008.

MUSEU ESTADUAL DO CARVÃO. Histórico da Mineração. Disponível em:

<<http://museucarvao.blogspot.com.br/p/historico-da-mineracao>>. Acesso em 25 de novembro de 2017.

NÓBREGA, D. G; MOURA, S. R. Mapeamento Planialtimétrico para Estudo de Viabilidade na Implantação de Reservatórios de Água na Zona Sul de Porto Alegre Utilizando Métodos Fotogramétricos. UFRGS, Porto Alegre. 2013.

PALERMO, R. D; LEITE, T. C. *Integração de Levantamento Fotogramétrico Aéreo com o uso de VANT e Levantamento Fotogramétrico Terrestre para Mapeamento Tridimensional das Ruínas de São Miguel das Missões*. UFRGS Porto Alegre. 2013.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO, Sistema de Custos de Obras e Serviços de Engenharia. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/7219844/4197840/TabelasO.pdf>>. Acesso em 27 de dezembro de 2017.

RIBEIRO JÚNIOR, S. Determinação de Volumes em Área de Mineração Utilizando ferramentas do Sensoriamento Remoto. UFV, Viçosa. 2011.

SILVA, C. A; DUARTE, C. R; SOUTO, M. V. S; SANTOS, A. L. S; AMARO, V. E; BICHO, C. P; SABADIA, J. A. B. Avaliação de Acurácia do Cálculo de Volume de Pilhas de Rejeito Utilizando VANT, GNSS e LiDAR. Boletim de Ciências Geodésicas, pg. 73 – 94. Curitiba. 2006.

TOMMASELLI, A. M. *Fotogrametria Básica*. Notas de Aula 2004.

TOMMASELLI, A. M. *Fotogrametria Básica*. Notas de Aula. 2012.

APÊNDICE A – Relatório do Processamento das Imagens no Software Photoscan

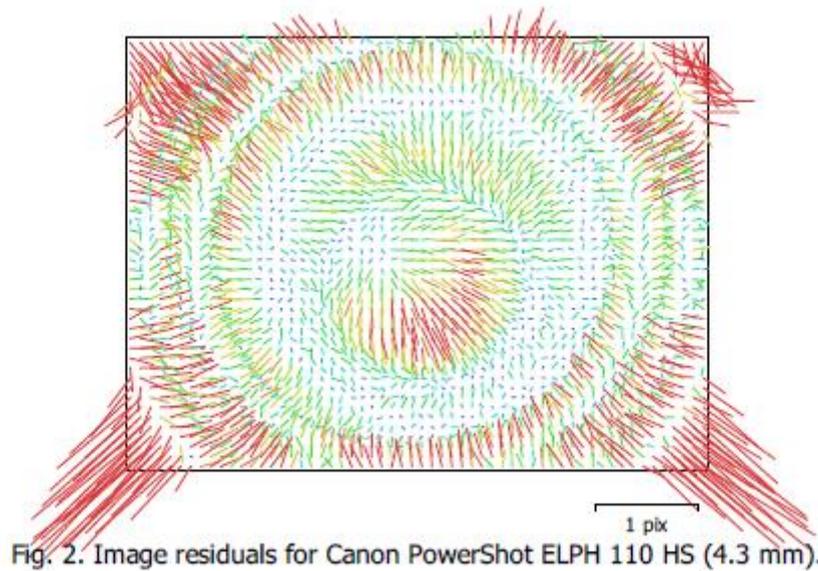
Survey Data

Number of images:	749	Camera stations:	739
Flying altitude:	188 m	Tie points:	596,215
Ground resolution:	5.35 cm/pix	Projections:	2,346,571
Coverage area:	0 m ²	Reprojection error:	1.32 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Canon PowerShot ELPH 110 HS (4.3 mm)	4608 x 3456	4.3 mm	1.34 x 1.34 µm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration



Canon PowerShot ELPH 110 HS (4.3 mm)

749 images

Type Resolution Focal Length Pixel Size
Frame 4608 x 3456 4.3 mm 1.34 x 1.34 μ m

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	3246.92	0.11	1.00	0.10	-0.71	0.50	0.06	-0.18	0.13	-0.11	-0.00	0.27
Cx	15.9661	0.026		1.00	-0.06	0.04	0.58	-0.01	0.00	-0.00	0.49	0.05
Cy	91.6794	0.035			1.00	-0.73	-0.05	0.06	-0.02	0.01	0.01	0.04
B1	-0.975929	0.0056				1.00	0.04	-0.03	-0.01	0.03	0.04	0.07
B2	0.700514	0.0048					1.00	-0.02	0.01	-0.01	0.14	0.08
K1	-0.0477839	2.8e-05						1.00	-0.97	0.92	0.01	-0.01
K2	0.0405074	8.2e-05							1.00	-0.98	-0.01	-0.01
K3	-0.0186426	7.1e-05								1.00	0.01	0.01
P1	0.00112444	1.7e-06									1.00	0.01
P2	0.00588482	1.5e-06										1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Ground Control Points

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
28	1.19022	1.75074	1.22101	2.11701	2.44389

Table 3. Control points RMSE.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
PT01	0.432205	0.358918	0.0167217	0.562052	0.172 (16)
PT26	-0.150216	-1.22272	-0.624178	1.38101	0.179 (15)
PT24	0.595834	-0.312619	-0.143987	0.6881	0.721 (7)
PT25	-2.46367	-3.00702	1.33563	4.11044	0.177 (10)
PT15	2.43241	-2.8533	2.04065	4.26875	0.430 (8)
PT27	-1.38251	-1.38302	0.252717	1.97179	0.140 (16)
PT17	1.23918	2.17167	3.2127	4.07101	0.440 (5)
PT14	1.07289	0.919859	0.900622	1.67581	0.108 (7)
PT13	-0.53225	0.639833	-2.06588	2.22722	0.102 (7)
PT23	-0.0398978	0.233495	0.748843	0.785416	0.107 (9)
PT28	-0.145056	1.61839	0.00528863	1.62489	0.120 (19)
PT09	-0.023521	1.43972	2.01466	2.47633	0.168 (18)
PT11	-1.21771	-0.145882	-1.54485	1.97248	0.184 (17)
PT07	1.46637	-2.10451	-0.666124	2.65008	0.241 (10)
PT08	-0.177163	0.894612	-0.222733	0.938791	0.228 (11)
PT29	1.22922	-0.420523	-0.0801101	1.30163	0.093 (17)
PT06	0.127007	1.06284	0.120487	1.07716	0.111 (9)
PT22	-0.503727	-0.31048	0.157691	0.612376	0.085 (17)
PT21	-0.112171	-0.491525	-0.0585296	0.507548	0.076 (16)
PT02	0.0948773	-0.0510889	-0.228884	0.252981	0.084 (18)
PT19	0.0487362	0.0057924	0.000844596	0.0490865	0.012 (9)
PT18	0.459696	0.673144	0.851102	1.17848	0.112 (16)
PT20	1.11537	0.814217	-0.285591	1.41017	0.097 (13)
PT04	-1.6905	1.6526	-0.99517	2.565	0.156 (16)
PT05	-0.935305	2.4036	0.100065	2.5811	0.102 (12)
PT03	-0.587954	-5.53835	0.0975794	5.57033	0.172 (13)
PT16	2.43876	0.293706	-3.11828	3.96957	0.314 (8)
PT12	-2.29347	2.64674	-0.8834	3.61188	0.209 (9)
ID					
Total	1.19022	1.75074	1.22101	2.44389	0.197

Table 4. Control points.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

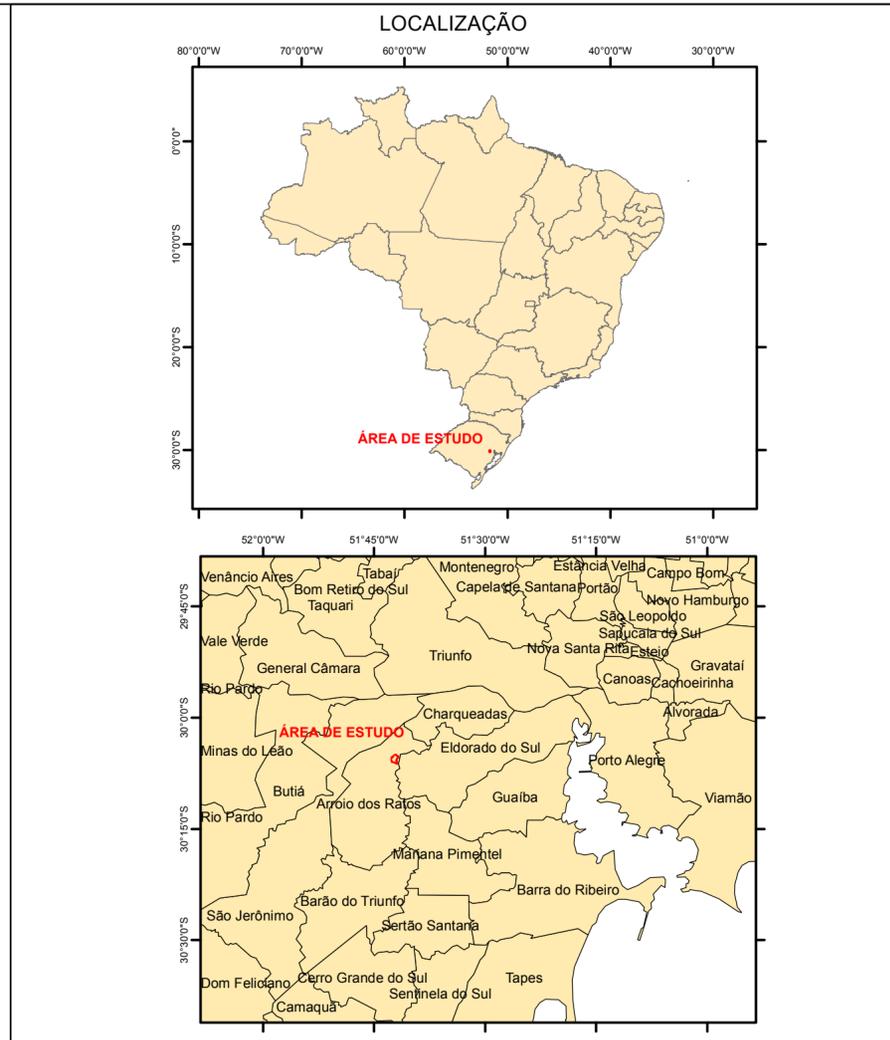
Processing Parameters

General	
Cameras	749
Aligned cameras	739
Markers	29
Shapes	
Polylines	661
Polygons	107430
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	596,215 of 649,268
RMS reprojection error	0.168444 (1.32463 pix)
Max reprojection error	1.98889 (38.2956 pix)
Mean key point size	7.33034 pix
Effective overlap	4.28681
Alignment parameters	
Accuracy	Medium
Generic preselection	No
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	1 hours 50 minutes
Alignment time	12 minutes 3 seconds
Optimization parameters	
Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k3, p1, p2
Fit rolling shutter	No
Optimization time	30 seconds
Dense Point Cloud	
Points	78,481,344
Reconstruction parameters	
Quality	Medium
Depth filtering	Aggressive
Depth maps generation time	1 days 3 hours
Dense cloud generation time	45 minutes 52 seconds
Model	
Faces	15,532,383
Vertices	7,774,823
Texture	4,096 x 4,096, uint8
Reconstruction parameters	
Surface type	Height field
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Quality	Medium
Depth filtering	Aggressive
Face count	15,696,268
Processing time	6 minutes 33 seconds
Texturing parameters	
Mapping mode	Generic
Blending mode	Mosaic
Texture size	4,096 x 4,096
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
UV mapping time	3 hours 24 minutes
Blending time	35 minutes 54 seconds
DEM	

Size	12,379 x 15,020
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	2 minutes 37 seconds
Orthomosaic	
Size	34,743 x 47,755
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Channels	3, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	Mesh
Enable color correction	No
Enable hole filling	Yes
Processing time	8 hours 26 minutes
Software	
Version	1.3.2 build 4164
Platform	Windows 64

APÊNDICE B – Ortofotocarta da Área da Mina do Calombo em Arroio dos Ratos na
Escala 1:6.000

APÊNDICE C – Ortofotocarta do Monte de Areia na Mina do Calombo em Arroio dos Ratos na Escala 1:500



LEGENDA

- CURVAS DE NÍVEL MESTRAS
- CURVAS DE NÍVEL INTERMEDIÁRIAS

INFORMAÇÕES CARTOGRÁFICAS

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERÊNCIA: SIRGAS2000
 SISTEMA DE PROJEÇÃO : UTM
 FUSO: 22S (MC=51°)
 CONVERGÊNCIA MERIDIANA: 0° 21' 55" E
 DECLINAÇÃO MAGNÉTICA: 16,47° W
 VARIAÇÃO ANUAL DA DECLINAÇÃO MAGNÉTICA: 0,15° W
 TAMANHO DO GSD: 5,2 cm
 DATA DE AQUISIÇÃO DAS IMAGENS: DEZ./2017

 UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL <small>UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL</small>	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS ENGENHARIA CARTOGRÁFICA	
PRODUTO: ORTOFOTOCARTA DA MINA DO CALOMBO - DETALHE NO MONTE DE AREIA		
MUNICÍPIO: ARROIO DOS RATOS - RS	DATA: DEZ./2017	ESCALA: 1:500
EQUIPE TÉCNICA: UILGNER HENRIQUE SCHWUCHOW (ACADÊMICO) DR. FELIPE GEREMIA NIEVINSKI (ORIENTADOR)		