



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE PAU DOS FERROS
BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E
TECNOLOGIA**

LEONARDO DE ARAÚJO SILVA

**LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS REALIZADOS POR MEIO
AEROFOTOGRAMÉTRICO: UM ESTUDO MULTICASO**

**PAU DOS FERROS/RN
2019**

LEONARDO DE ARAÚJO SILVA

**LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS REALIZADOS POR MEIO
AEROFOTOGRAMÉTRICO: UM ESTUDO MULTICASO**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.**

**Orientador: Prof. - Bel. William Vieira
Gomes**

**PAU DOS FERROS/RN
2019**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Biblioteca Central Orlando Teixeira (BCOT)

Setor de Informação e Referência (SIR)

S(568)I Silva, Leonardo de Araújo.
LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS REALIZADOS POR MEIO
AEROFOTOGRAFÉTICO: UM ESTUDO MULTICASO /
Leonardo de Araújo Silva. - 2019. 52 f.
Orientador: William Vieira Gomes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-Árido, Curso de Ciência e Tecnologia, 2019.

1. Veículo Aéreo Não Tripulado. 2. Fotogrametria. 3.
Topografia. 4. Altimetria. 5.
Volumetria. I. Gomes, William Vieira, orient. II.
Título.

Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Erlanda Maria Lopes da Silva

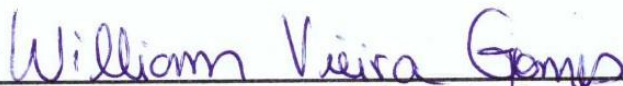
LEONARDO DE ARAÚJO SILVA

**LEVANTAMENTOS ALTIMÉTRICOS REALIZADOS POR MEIO
AEROFOTOGRAMÉTRICO: UM ESTUDO MULTICASO**

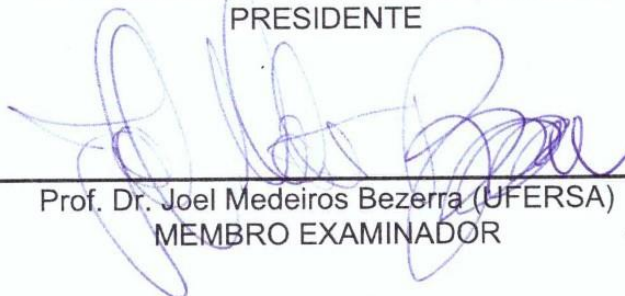
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal
Rural do Semi-Árido, como parte das
exigências para a obtenção do título
de Bacharel em Ciência e
Tecnologia.

APROVADO EM: 22/03/2019

BANCA EXAMINADORA



Prof. Bel. William Vieira Gomes (UFERSA)
PRESIDENTE



Prof. Dr. Joel Medeiros Bezerra (UFERSA)
MEMBRO EXAMINADOR



Prof. Dr. Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho (UFERSA)
MEMBRO EXAMINADOR

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por toda sabedoria e graças derramadas sobre mim e por me proporcionar forças para realização deste estudo.

Aos meus pais, Domingos Carneiro da Silva e Edileuza Araújo do Carmo, por depositarem muita confiança em mim além de me incentivarem na busca dos meus objetivos com muito amor, paciência e carinho.

A minha namorada, Saskya Uchôa, que está sempre ao meu lado me incentivando na busca dos sonhos almejados também sendo uma companheira assídua na nossa jornada de universidade.

Agradecer a toda minha família, em nome do meu primo, Daniel Araújo e meu irmão Levir Araújo, pelo incentivo e apoio nessa jornada.

Ao meu Orientador William Vieira Gomes, pela orientação na elaboração e constante auxílio na construção desse trabalho. Agradeço por todos esses ensinamentos compreendidos os quais levarei em toda a minha jornada profissional.

Em nome de Pedro Neto e Caio Queiroz, agradeço a empresa Pirâmides e todos seus membros de forma geral que tem contribuído bastante na minha trajetória de universidade alinhada com o mercado de trabalho.

Agradeço a todos meus amigos que sempre estão ao meu lado, Ruan Sampaio, Tayson Matheus, Wesley Luan, Nilberto Arrais, Daguimario Leite, Jorge Diego, Guilherme Mendes, Diego Queiroz, Pedro Saulo, Davi Lacerda, Vicente Dantas, Pedro Sousa, Danielle Alves, Lara Maria, Wanessa França e Thalia Rocha.

No mais, agradeço a todos que colaboraram na minha trajetória diretamente ou indiretamente. A todos meu muito obrigado.

RESUMO

A inovação em mapeamentos aéreos por meio fotogramétrico vem crescendo exponencialmente nos últimos anos, devido aos Veículos aéreos Não Tripulados (VANT) proporcionarem uma eficácia na elaboração de estudos e projetos seja proporcionando um menor tempo na obtenção de dados, tal como reduzir os custos de execução. Diversos produtos podem ser obtidos no ramo da engenharia com o uso dessa tecnologia, seja no âmbito topográfico, como levantamentos planialtimétrico, na obtenção de informações da superfície terrestre, e também em projetos altimétrico, na obtenção do relevo do terreno. Com base nisso, objetivou-se comparar os resultados obtidos por levantamentos altimétricos realizados por meio aerofotogramétrico, mediante variação de sobreposição e emprego de ajustes por meio de ponto de controles. Para tais levantamentos empregou-se etapas para o fluxo de trabalho: escolha da área de estudo, planejamento de voo para coleta dos dados aerofotogramétricos, levantamento dos dados e imagens para processamento e obtenção dos produtos finais que é necessário para análises e efeitos comparativos. A partir da geração de relatórios fornecidos pelo software, comparou-se os resultados obtidos entre os três levantamentos. O objetivo do estudo direciona-se para o cálculo da volumetria, notou-se que a sobreposição influencia de forma significativa nos resultados sem pontos de controle para correção das coordenadas no cálculo do volume, logo, para o voo sem uso de pontos de controle indica-se a sobreposição longitudinal e lateral de 65% e de 85%, respectivamente. Entretanto os pontos de controles são necessários para uma boa qualidade final dos produtos gerados.

PALAVRAS-CHAVE: mapeamento aéreo, topografia, relevo do terreno, cartografia digital, aerolevantamento.

ABSTRACT

The innovation in photogrammetric aerial mapping has been growing exponentially in recent years, because Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) provide an efficiency in the preparation of studies and projects, thus providing less time to obtain data, such as reducing execution costs . Several products can be obtained in the field of engineering with the use of this technology, either in the topographic field, as a planialtimetric survey, in the obtaining of information of the terrestrial surface, and also in altimetric projects, in obtaining relief of the terrain. Based on this, the objective was to compare the results obtained by altimetric surveys carried out by aerophotogrammetric method, by means of variation of overlap and use of adjustments through point of controls. For these surveys, steps were taken for the workflow: choice of study area, flight planning for aerophotogrammetric data collection, data collection and images for processing and obtaining the final products that is necessary for comparative analysis and effects. From the generation of reports provided by the software, the results obtained between the three surveys were compared. The objective of the study is directed to the calculation of the volumetry, it was noticed that the overlap influences significantly in the results without control points to correct the coordinates in the calculation of the volume, so for the flight without use of control points indicates the lateral and longitudinal overlap of 65% and 85%, respectively. However the control points are necessary for a good final quality of the products generated.

KEY WORDS: aerial mapping, topography, terrain relief, digital cartography, aerial surveying.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação das curvas de nível de um terreno.....	15
Figura 2 – a) Local a se levantar; b) Resultado de um levantamento planialtimétrico.....	1
Figura 3 – Algumas das principais utilizações do VANT.....	17
Figura 4 - Apresenta os períodos de desenvolvimento.....	19
Figura 5 – Equipamento utilizado para coleta de dados.....	24
Figura 6 – Equipamento utilizado para obtenção das coordenadas.....	24
Figura 7 – Fluxograma das etapas de processamento e voo do VANT.....	26
Figura 8 – Localização do lixão de Pau dos Ferros/RN.....	27
Figura 9 – Representação da localidade do ambiente de estudo.....	28
Figura 10 – Delimitação da área sobrevoada.....	29
Figura 11 – Confeção dos alvos artificiais.....	31
Figura 12 – Alvos no terreno.....	32
Figura 13 – Localização dos alvos no terreno.....	32
Figura 14 – Aquisição das coordenadas.....	33
Figura 15 – Nuvem de pontos espaçados do voo 2.....	35
Figura 16 – Nuvem de Pontos Densa do voo 2.....	36
Figura 17 – Filtragem do terreno do a) voo 1 b) voo 2.....	37
Figura 18: a) Sobreposição das imagens do voo 1 b) Sobreposição das imagens do voo 2 c) Sobreposição das imagens do voo 3.....	39
Figura 19: a) Erro por ponto do voo 1 b) Erro por ponto do voo 2 c) Erro por ponto do voo 3.....	39

Figura 20 – Delimitação do polígono para o cálculo do volume de lixo no voo 1 (a), voo 2 (b) e voo 3 (c).....	42
Figura 21 – a) Elevação do voo 1 b) Elevação do voo 2 c) Elevação do voo 3.....	43
Figura 22: a) Linha de Corte Horizontal do voo 1; b) Perfil de Corte Horizontal do voo 1.....	45
Figura 23: a) Linha de Corte Vertical do voo 1; b) Perfil de Corte Vertical do voo 1.....	45
Figura 24: a) Linha de Corte Horizontal do voo 2; b) Perfil de Corte Horizontal do voo 2.....	46
Figura 25: a) Linha de Corte Vertical do voo 2; b) Perfil de Corte Vertical do voo 2.....	46
Figura 26: a) Linha de Corte Horizontal do voo 3; b) Perfil de Corte Horizontal do voo 3.....	47
Figura 25: a) Linha de Corte Vertical do voo 3; b) Perfil de Corte Vertical do voo 3.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características do computador utilizado para processamento dos dados.....	25
Tabela 2 – Características básicas para utilização do Agisoft <i>Photoscan</i>	25
Tabela 3 – Dados do planejamento de voo 1.....	29
Tabela 4 – Dados do planejamento de voo 2.....	30
Tabela 5 – Dados do planejamento de voo 3.....	30
Tabela 6 – Coordenadas coletadas com o GPS.....	34
Tabela 7 – Erros de coordenadas do GPS do VANT.....	40
Tabela 8 – Média dos erros com os pontos de apoio.....	41
Tabela 9 – Volume do terreno do estudo para cada voo.....	43
Tabela 10 – Cálculo do erro relativo e absoluto em relação ao voo mais preciso.....	43
Tabela 11 – Altitude Máxima e Mínima obtida em cada voo.....	44

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil

MDT – Modelo Digital de Terreno

MDS – Modelo Digital de Superfície

MDE – Modelo Digital de Elevação

GPS – *Global Positioning System*

CPU - Unidade Central de Processamento

GPU - Unidade de Processamento Gráfico

NBR - Norma Brasileira Regulamentadora

VANT - Veículos Aéreos Não Tripulados

GNSS - *Global Navigation Satellite System*

SIG – Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 OBJETIVOS	13
1.1.1 Geral	13
1.1.2 Específicos	13
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	14
2.1.1 Levantamento Planimétrico	14
2.1.2 Altimetria	15
2.1.3 Planialtimetria	16
2.2 VANT	17
2.3 FOTOGRAMETRIA.....	19
2.4 ESTADO DA ARTE	20
3 METODOLOGIA	23
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	23
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.2.1 Materiais utilizados.....	23
3.2.2 Processamento dos dados fotogramétricos	25
3.2.3 Características do local de estudo.....	26
3.2.4 Altura, velocidade de voo e sobreposição de imagens.....	28
3.2.5 Pontos de controle	30
3.2.6 Materialização dos pontos de controle	31
3.2.7 Obtenção das coordenadas com o gps	33
3.2.8 Execução do voo realizado com o vant	34
3.2.9 Processamento dos dados.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS VOOS	38
4.1.1 Sobreposição das imagens e análise de erros	38
4.1.2 Volumetria.....	42
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de conhecer, mapear e identificar os espaços que o rodeiam, incentivou o homem a usar práticas de mapeamentos terrestre, sejam elas aplicadas para reconhecimento do relevo ou para demarcar propriedades no intuito de realizar levantamentos cadastrais.

Uma das formas de fazer esses levantamentos é por meio da topografia, onde são utilizados cordas, fio-de-prumo e instrumentos ópticos que fornecem a leitura de distâncias e ângulos. Entretanto, com o passar dos anos e com o surgimento e popularização da fotogrametria, balões e aviões com câmeras embarcadas, por exemplo, passaram a ser empregados para obtenção de dados da superfície terrestre (TOMMASELLI, 2009).

De acordo com Santos (2016), a partir da evolução eletrônica e da informática, as técnicas até então empregadas foram aprimoradas, tanto no âmbito da topografia, com surgimento do teodolito eletrônico e da estação total, bem como na fotogrametria, quando as câmeras analógicas foram substituídas pelas digitais e meios mais baratos de veículos aéreos se popularizaram.

Foi nesse contexto que os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) utilizados inicialmente por militares como ferramenta de monitoramento e que posteriormente ganharam espaços nas mais diversas áreas, tornaram-se uma opção rentável para realizar mapeamentos terrestres (SANTOS, 2016).

A partir do desenvolvimento das geotecnologias o uso dessa ferramenta por parte de órgãos públicos e privados cresce consideravelmente para dimensionar terras, dividir terrenos, monitoramento de áreas degradadas no âmbito ambiental.

A Geotecnologia é um conjunto de tecnologias as quais são necessárias para realização de estudos, para coleta de dados, processamentos e análises, são elas: sensoriamento remoto, Sistemas de Navegação por Satélite (GNSS), fotogrametria, Sistema de Informação Geográfica (SIG).

Atualmente, tanto o levantamento topográfico convencional como o realizado por VANTs por meio da fotogrametria são utilizados no mercado da engenharia civil e na agricultura, por exemplo. Nesse sentido, o uso e a aplicabilidade da fotogrametria vem crescendo cada vez mais devido a sua

facilidade de manuseio, agilidade na coleta dos dados de campo, entre outras vantagens se comparado com a topografia convencional (TOMMASELLI, 2009).

No entanto, devido as suas múltiplas formas de coleta de dados, a aerofotogrametria é uma área que ainda carece de normas técnicas e estudos mais aprofundados, sejam eles baseados em levantamentos planimétricos ou altimétricos, de modo que possa obter uma maior base de comparação para se alcançar uma maior precisão e uma maior fidelidade na representação cartográfica.

A fotogrametria proporciona com o uso do VANT a obtenção de produtos como: Modelo Digital de Elevação (MDE), Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Superfície (MDS), mensuração de área, volumetria, perfis de corte do terreno.

Dessa forma, a importância dessa pesquisa se justifica ao passo em que ela tenta comparar formas de levantamento altimétrico que poderá servir como balizadora para trabalhos futuros inseridos na mesma temática.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Comparar resultados obtidos por levantamentos altimétricos realizados por meio aerofotogramétrico, mediante variação de taxas de sobreposição e a presença de pontos de controle entre eles.

1.1.2 Específicos

- ✓ Apresentar um roteiro de aquisição de dados de campo e cartográficos;
- ✓ Comparar os métodos utilizados quanto ao tempo de aquisição e processamento de dados;
- ✓ Comparar a variação do volume acima de nível de terreno calculado em duas datas distintas.
- ✓ Validar valores de fatores recomendados para determinação de procedimentos fotogramétricos mais precisos para determinação de volume.

2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Conforme a ABNT NBR 13.333 (1994), o levantamento topográfico é caracterizado como um conjunto de técnicas e processos que a partir da realização de medidas angulares e distâncias horizontais e verticais, materializa e introduz pontos no terreno com auxílio de equipamentos e métodos específicos, no intuito de que as coordenadas obtidas *in situ* possam ser manipuladas para fins de estudos e projetos.

As medidas lineares e angulares trabalhadas na topografia e realizadas na superfície terrestre são usadas para calcular coordenadas, volumes e áreas. Para a coleta de tais medidas são necessários alguns instrumentos topográficos e um conhecimento técnico para efetuar as medições. Esses cálculos e projetos podem ser representados por mapas e plantas cartográficas (KAHMEN & FAIG, 1988 *Apud* VEIGA, ZANETTI & FAGGION, 2012).

Segundo Ribeiro (2016), a topografia tem duas subdivisões, a topologia e a topometria. A primeira tem como intuito o estudo de formas exteriores do terreno. Já a topometria tem o objetivo de estudar os procedimentos de medidas de distâncias, angulações e curvas de nível.

Existem três tipos de levantamentos topográficos, são eles: planimétrico, que trabalha apenas com coordenadas X e Y, ou seja coordenadas planas, o altimétrico, que aplica-se para cálculo de altitudes representadas por de curvas de nível e, por fim, o levantamento planialtimétrico que representa a unificação dos outros dois tipos mencionados anteriormente (DEWES, OLIVEIRA & BRISOTTO, 2013).

2.1.1 Levantamento Planimétrico

O levantamento planimétrico tem a finalidade de retratar elementos naturais e artificiais que existem em um terreno por meio de forma gráfica e posicional. São eles: muros, cercas, edificações, vegetação, sistema viário, postes, entre outros. Vale ressaltar que nesse tipo de levantamento não é necessária a diferença de altitude do terreno (DEWES, OLIVEIRA & BRISOTTO, 2013).

De acordo com Tuler (2014), o cálculo de área, definição de limites, cadastramento entre outros serviços topográficos necessitam apenas levar em conta o plano horizontal. Logo, despreza-se a diferença de nível entre os pontos coletados.

A planimetria é definida pela ABNT NBR 13.333 (1994), como levantamento topográfico dos limites que confrontam uma propriedade através do perímetro, abrangendo alinhamentos com vias e logradouros que estão nas imediações, retratando pontos materializados e que tenha como pontos de apoio estáveis na sua adjacência.

2.1.2 Altimetria

De acordo com a ABNT NBR 13.333 (1994, p. 3), a altimetria pode ser definida como:

[..] o levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência, dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada.

Na altimetria realiza-se medições de distâncias e ângulos verticais no terreno. Os projetos altimétrico devem serem representados em vistas laterais, perfil ou corte, exceto as curvas de nível que podem ser representadas em plantas (BORGES, 2013).

A curva de nível é uma forma tradicional de representar o relevo em projetos e mapas. As mesmas são definidas por linhas que ligam pontos com mesma cota ou altitude de forma a representar as variações no relevo como elevações e inclinações, por exemplo (BORGES, 2013; VEIGA, ZANETTI & FAGGION, 2012).

Nesse sentido, a Figura 1 ilustra a variação de cota de terreno em relação a um dado referencial que pode ou não ser o nível do mar.

Figura 1 – Representação das curvas de nível de um terreno



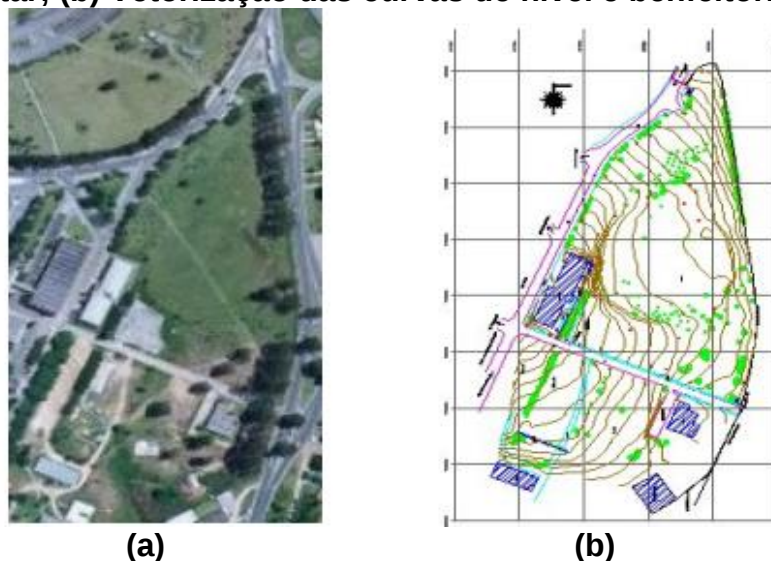
Fonte: ZIMMERMANN, 2017.

2.1.3 Planialtimetria

Quando o levantamento altimétrico é executado de forma simultânea com o planimétrico trata-se, portanto, do levantamento planialtimétrico. O mesmo objetiva representar as coordenadas X, Y e Z, bem como apresentar as curvas de nível com todas as variações de altitude do terreno em um único processo (RIBEIRO, 2016).

A Figura 2 apresenta o resultado de um levantamento planialtimétrico cadastral na forma de uma carta topográfica.

Figura 2 – Resultado de um levantamento planialtimétrico cadastral: (a) Local a se levantar; (b) Vetorização das curvas de nível e benfeitorias na área



(a)

(b)

Fonte: VEIGA, ZANETTI & FAGGION, 2012.

Todas as formas de levantamento mencionadas anteriormente podem ser realizadas tanto por meio de teodolitos ou estações totais, como também por formas alternativas, como escâneres à laser ou por meio de VANTs que utilizam a fotogrametria como fonte teórica. Vale ressaltar que a escolha da metodologia aplicada por muitas vezes não se restringe apenas à precisão, mas também ao custo, eficiência de levantamento, além da segurança e saúde dos operadores dos equipamentos.

2.2 VANT

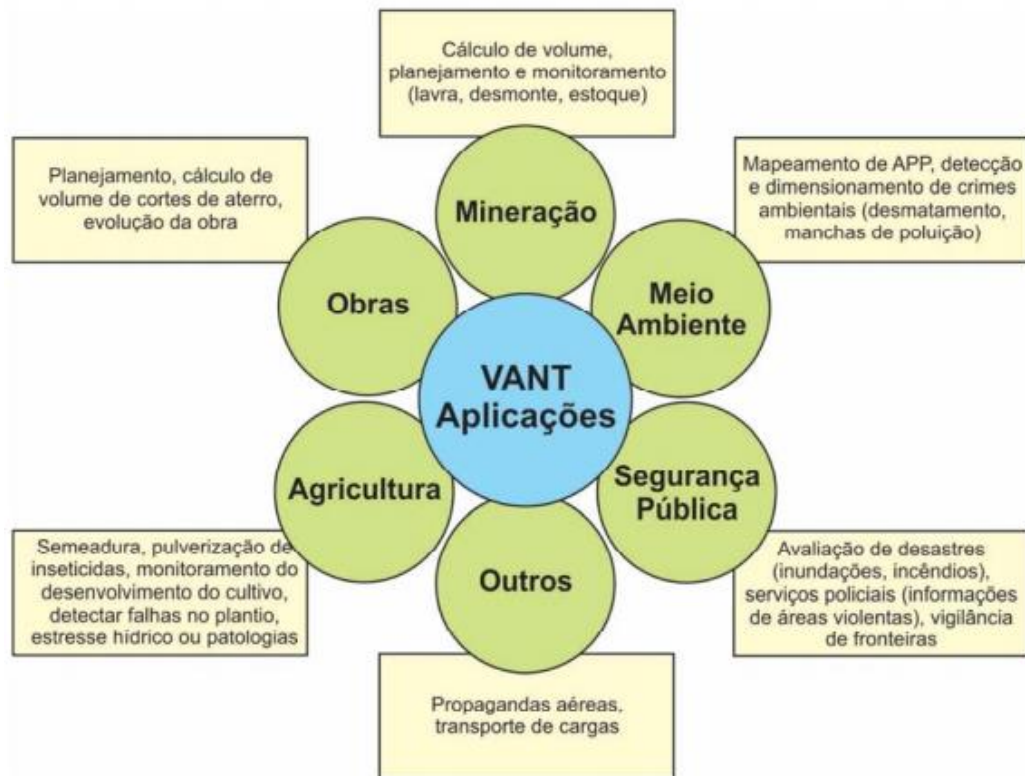
A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) define os VANTs como uma aeronave em que o piloto não está a bordo, ou seja, criada para operar sem piloto, incluído aviões e helicópteros controlados em três eixos, excluindo os balões e aeromodelos (ANAC, 2012).

Os VANT's foram idealizados inicialmente para uso militar durante as operações de guerra para reconhecimento de áreas de difícil acesso (VENTURINI, 2015). Entretanto, segundo Vidal (2013), com a modernização das tecnologias de câmeras fotográficas e de equipamentos de navegação aliado às necessidades de otimizar tempo e custos surgiram alternativas para captura de imagens aéreas.

Conforme Venturini (2015), o VANT aparece como uma ferramenta de baixo custo e que consegue realizar capturas de imagens com boa resolução em um menor tempo de aquisição. Logo, essas características fizeram com que o uso dos VANTs se popularizasse, possibilitando assim a sua utilização para diversas aplicações, seja ela na área cartográfica, nas telecomunicações, na agricultura ou na segurança.

A Figura 2 apresenta algumas das principais utilizações dos VANTs, comprovando a ideia de Venturini (2015) relatada anteriormente.

Figura 3 – Algumas das principais utilizações do VANT



Fonte: SILVA, 2015.

Em relação ao uso do avião tripulado, o VANT tem algumas vantagens, seja pela possibilidade de sobrevoar em baixas altitudes, como também, mesmo o avião tendo uma boa abrangência de visão os níveis de resolução do pixel da imagem são inferiores, o que torna inviável o uso para aplicações que necessitam de um bom nível de detalhe (CASSEMIRO & PINTO, 2014).

Conforme Silva (2015), os VANTs podem ser operados remotamente por um operador que pode estar até mesmo a vários quilômetros de distância. Além disso, eles podem se apresentar em um pequeno porte, necessitando apenas de uma pessoa para realizar o voo, ou de grande porte, requerendo duas pessoas, uma para pilotar e outra para operar as cargas embarcadas na aeronave, como câmeras, radares, etc.

No caso do emprego de VANTs no âmbito de obras, agricultura, mineração e meio ambiente, por exemplo, as imagens são utilizadas juntamente com os sensores do equipamento no intuito de obter dados do terreno de análise. Nessas circunstâncias, todas essas informações são processadas por softwares específicos que utilizam como base de cálculo os parâmetros da fotogrametria digital.

2.3 FOTOGRAMETRIA

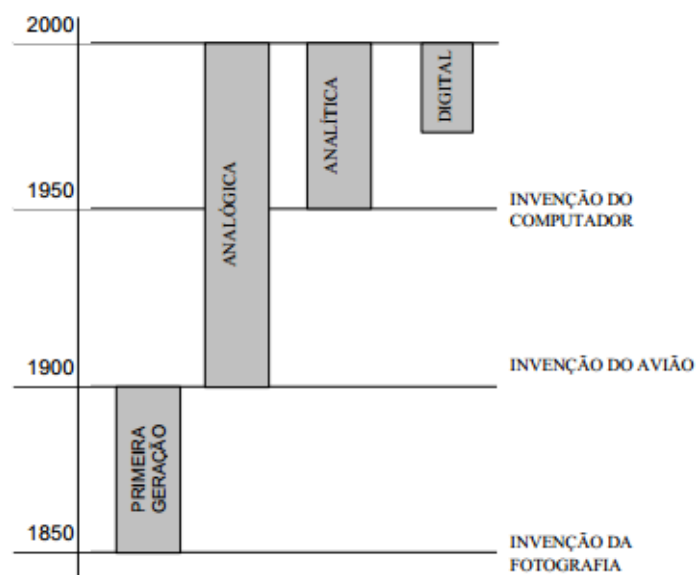
Segundo a *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ISPRS) Apud Venturini (2015, p. 33), fotogrametria é definida como sendo

[...] a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informações confiáveis sobre os objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões da energia eletromagnética radiante e outros

De acordo Silva (1998) Apud Souza (2001), a fotogrametria pode ser dividida em três períodos de desenvolvimento. Primeiramente surgiu a fotogrametria analógica com o uso dos aviões para captura das imagens, logo em seguida a analítica que a partir da invenção do computador possibilitou uma melhora para a fotogrametria e, por último, a digital que utiliza câmeras digitais para obtenção das imagens.

A Figura 4 ilustra a citação de Souza (2001) em uma ordem cronológica de desenvolvimento e empregabilidade em relação aos três tipos de fotogrametria existentes.

Figura 4 – Evolução dos períodos de desenvolvimento da fotogrametria



Fonte: SCHENK, 1999 Apud SOUZA, 2001.

Nesse sentido, no que se refere à forma mais recente dessa ciência, Tomasselli (2009) relata que os dados obtidos são coletados eletronicamente e que são convertidos em uma representação digital que pode ir desde um Mosaíco de Ortofotos a Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS). Segundo o mesmo autor, a fotogrametria digital ainda se divide em: terrestre, espacial e a curta distância.

Na fotogrametria terrestre as fotografias são obtidas em uma posição fixa no terreno; já na espacial as imagens obtidas em dimensões extraterrestres; a fotogrametria a curta distância promove uma proximidade entre o objeto e a câmera, sendo essa é empregada para produção cartográfica, sendo também denominada de aerofotogrametria (TOMASSELLI, 2009).

Além dos relatos apresentados em relação à fotogrametria e aerofotogrametria, com os avanços tecnológicos essas ciências puderam exercer uma função semelhante as dos satélites, coletando dados através de imageamento de vídeo a partir dispositivos de digitalização e câmeras digitais (SILVA & COSTA, 2010).

Silva e Costa (2010) ainda relatam como vantagens da aerofotogrametria a grande quantidade de informações que se obtém com a fotointerpretação. Essas informações são necessárias para a composição dos projetos e estudos. Outra vantagem é conseguir informações rápidas de áreas de grande extensão ou até mesmo áreas perigosas e inacessíveis. Porém os mesmos autores elencam como as desvantagens da fotogrametria a falta de precisão em relação a topografia além de ser uma ferramenta que necessita de condições atmosféricas ideais para o uso.

2.4 ESTADO DA ARTE

Para uma discussão mais aprofundada da temática em questão foram selecionados trabalhos tendo como critério de inclusão o contexto da mensuração de volume de pilhas de resíduos ou a realização de cálculos no âmbito topográfico por meio aerofotogramétrico. Estes são:

1- AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DOS ORTOMOSAICOS E MODELOS DIGITAIS DO TERRENO GERADOS POR VANT E SUA APLICAÇÃO NO CÁLCULO DE VOLUME DE PILHAS DE REJEITO DA PEDRA CARIRI.

O trabalho teve como iniciativa calcular o volume de uma pilha de rejeitos com o auxílio da fotogrametria gerando um MDT. Para o processo de captura das imagens foi utilizado um VANT-UnB/DNPM o qual foi classificado nos resultados como eficiente, de alta resolução espacial e com bom desempenho na geração de ortomosaicos e dos demais modelos cartográficos.

Além disso, Silva (2015) verificou que é necessário que pontos de apoio estejam devidamente orientados no solo para que apresentem uma melhor acurácia no cálculo do volume.

2- LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO CADASTRAL E ELABORAÇÃO DE PLANTA DE VALORES GENÉRICOS DO MUNÍCIPIO DE PRESIDENTE LUCENA/RS.

Foi utilizado de ferramentas topográficas para gerar uma base cartográfica no intuito de planejar o espaço urbano e gerir atividades de tributação. Segundo Dewes, Oliveira & Brisotto (2013) para geração de uma Planta de Valores Genéricos (PVG) que é uma ferramenta para cálculo de tributos como IPTU e ITBI, foi realizado levantamento planialtimétrico e cadastral. Por fim, concluíram que o projeto beneficiou a sociedade com os projetos cadastrais.

3- IMAGENS DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS APLICADOS PARA DIMENSIONAMENTO DE REDES DE MICRODRENAGEM PLUVIAL.

Avaliou-se o uso de informações obtidas na geração de imagens por VANTs para dimensionar uma rede de microdrenagem pluvial e determinar um coeficiente de escoamento. O estudo foi direcionado para redes de microdrenagem pluvial de um condomínio. Na conclusão obteve-se um valor que estava dentro do intervalo tolerado (VENTURINI, 2015).

4- EXTRAÇÃO E AVALIAÇÃO DE GEOINFORMAÇÃO PELO USO DE IMAGENS ADQUIRIDAS POR VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS.

Vidal (2013) utilizou-se da fotogrametria para aquisição de dados através do uso do VANT. Sendo utilizado das imagens obtidas para produzir geoinformação com qualidade para cartografia, isto é, Modelo Digital de Terreno e de Superfície que podem ser obtidas de forma automática por meio de

software específicos e manual por meio de uma estação fotogramétrica. Os resultados obtidos foram viáveis em termo de qualidade.

5- ANÁLISE DE METODOLOGIA NO LEVANTAMENTO DE DADOS ESPACIAIS PARA CADASTRO URBANO.

Atualizar os métodos de obtenção de dados espaciais para elaboração de plantas cadastrais utilizando a fotogrametria, GPS e topografia como procedimento para execução do cadastramento. Os resultados trouxeram a exatidão da fotogrametria digital para o cadastro técnico, o GPS mostrou produtividade quando não houve perda de sinal e por fim o uso de estação total na topografia foi fundamental para uma boa produtividade (SOUZA, 2001).

6- INTEGRAÇÃO DE LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO AÉREO COM USO DE VANT E LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO TERRESTRE PARA O MAPEAMENTO TRIDIMENSIONAL DAS RUÍNAS DE SÃO MIGUEL DAS MISSÕES.

Foram empregadas técnicas fotogramétricas com o objetivo de gerar produtos que pudessem apoiar as atividades de conservação, gerenciamento e avaliação de condições em relação ao patrimônio arquitetônico. Três tipos de levantamentos foram realizados nesse projeto, um geodésico, um fotogramétrico aéreo com auxílio do VANT e um fotogramétrico terrestre. Foram obtidos como resultado os produtos cartográficos de modelo tridimensional das ruínas da igreja (PALERMO & LEITE, 2013).

7- CÁLCULO DE VOLUME EM MINERAÇÃO COM LEVANTAMENTOS FOTOGRAMÉTRICO (VANT) E GEODÉSICO (GNSS).

Gerar uma base de dados que auxiliam no cálculo do volume de pilhas de rejeitos. Para isso usou-se técnicas fotogramétricas com auxílio do VANT e GNSS. Foram gerados nesse trabalho produtos como curvas de nível, MDT, ortomosaico, entre outros. Os resultados apresentaram uma diferença de 3,2% de diferença entre o cálculo do volume com o VANT e o GNSS.

3 METODOLOGIA

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Esse estudo se classifica como exploratório por conter procedimentos em campo na coleta de dados e o desenvolvimento de modificações nas técnicas topográficas com o auxílio de um equipamento pouco usado para tal finalidade, pois conforme Gil (2008), as pesquisas exploratórias têm como finalidade o desenvolvimento de hipóteses e formulações de problemas sem uma grande familiaridade com o tema. Além disso, o mesmo ainda relata que esse tipo de classificação se emprega quando existe procedimentos de campo, tal como aconteceu no presente trabalho.

Podendo ser caracterizado como uma pesquisa mista, isto é, quantitativo, ao passo em que faz mensuração de volumes e áreas, e qualitativo, quando compara os dados obtidos a fim de realizar e formular hipóteses. Conforme Creswell (2007), os métodos mistos se concebem em duas fases, coletar resultados quantitativos com intenção de utilizar essas informações para desenvolver, explorar, comparar e convergir para dados qualitativos.

No que se refere aos procedimentos utilizados na coleta de dados, a pesquisa tem a característica de um levantamento, pois é coletado dados de acordo com a problemática e, a partir de análises, são obtidos resultados e conclusões do tema proposto (GIL, 2008). Vale ressaltar que o levantamento desse estudo se caracteriza na coleta de imagens para o processamento dos dados e obtenção dos produtos, dados topográficos, para que se obtenha dados para cálculo da volumetria dos terrenos.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

3.2.1 Materiais utilizados

Para obtenção de todos dados necessários para desenvolvimento do trabalho foram empregados alguns equipamentos, tais como: VANT, computador para processamento e um receptor GNSS.

O VANT empregado foi do tipo quadricóptero da marca DJI do tipo *Phantom 3 Advanced*, equipado com câmera de 12,4 Megapixels e com um receptor GPS do tipo *Glonass*. Além disso, como a maioria dos quadricóptero, a autonomia de voo média é de 24 minutos.

O Veículo Aéreo Não Tripulado utilizado no levantamento e aquisição dos dados de campo encontra-se ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – VANT do tipo Phantom *Advanced* utilizado para coleta de dados.



Fonte: AUTOR, 2019.

Para fim de otimizar a qualidade de precisão dos dados obtidos do levantamento com o VANT, processou-se mediante a utilização base de dados de pontos de controle georreferenciado por levantamento de dados de superfície. A obtenção das coordenadas dos pontos de controle foi realizada a partir da utilização de um receptor GPS geodésico da marca TecGeo do tipo ZENIT 2 com operação em modo cinemático. A Figura 6 apresenta o modelo do equipamento especificado acima.

Figura 6 – Receptor de GPS geodésico da marca TecGeo do tipo ZENIT 2 utilizado para obtenção das coordenadas.



Fonte: <http://site.techgeo.com.br/produtos/zenite2/>.

Para processar todos os dados coletados utilizou-se um computador cuja as características estão descritas na Tabela 1. É importante o uso de um equipamento qualificado para processamento dos dados, pois os softwares de processamento de imagens exigem muito do *hardware* da máquina, tanto na característica de CPU quanto de GPU.

Tabela 1 – Características do computador utilizado para processamento dos dados

Componente	Características
Processador	Intel Core™ i7 3º Geração
Placa de Vídeo	Intel HD Graphics 4000
Placa Mãe	Intel Corp. Emerald Lake 2
Memória	DDR3 - 8 GB

Fonte: AUTOR, 2019.

As características elencadas na Tabela 1 estão abaixo da configuração mínima de utilização do *software Agisoft Photoscan*, responsável por realizar os processamentos das imagens e dados de campo coletados pelo VANT. Por esse motivo, os resultados desta pesquisa tiveram maior demanda de tempo para serem processados, podendo possuir também algumas distorções que não foram corrigidas por insuficiência de *hardware*.

As configurações básicas de utilização do *Agisoft Photoscan* estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características básicas para utilização do Agisoft Photoscan

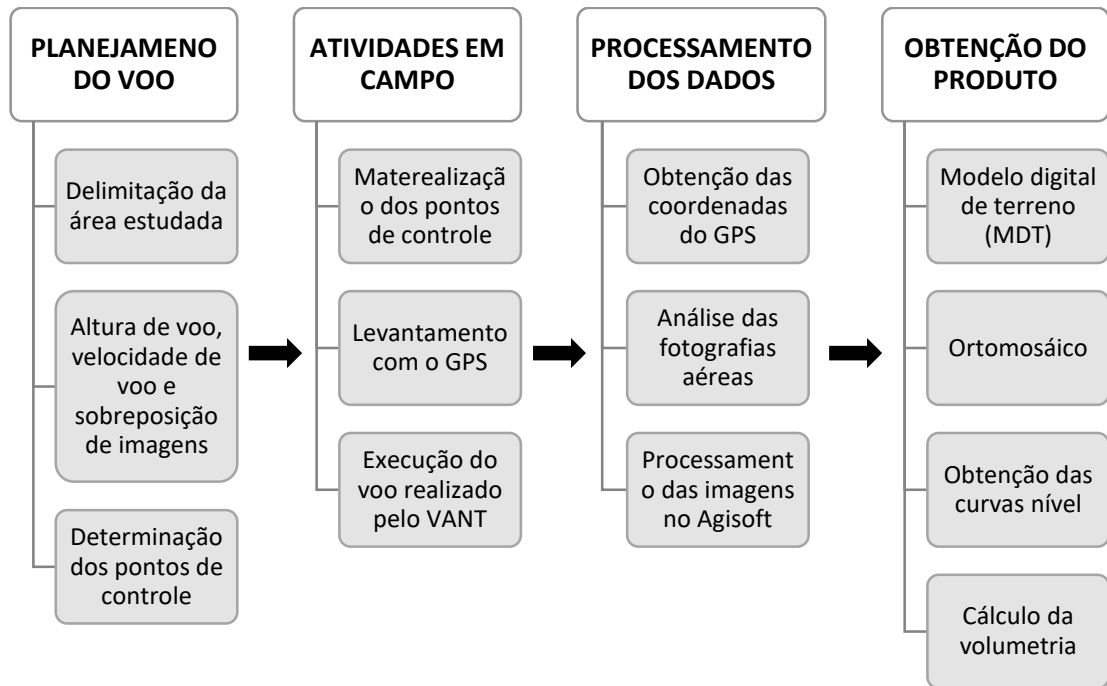
Componente	Características
Processador	Intel Core™ i7 8º Geração
Placa de Vídeo	Nvidia GeForce GTX 980 ou GeForce GTX 1080
Memória	DDR 3 - 16 GB

Fonte: AGISOFT, 2019.

3.2.2 Processamento dos dados fotogramétricos

O fluxograma apresentado na Figura 7 esclarece as etapas de processamento utilizados, abrangendo inicialmente desde o planejamento de voo até a obtenção do produto final e dos dados que serão analisados.

Figura 7 – Fluxograma das etapas de processamento e voo do VANT



Fonte: AUTOR, 2019.

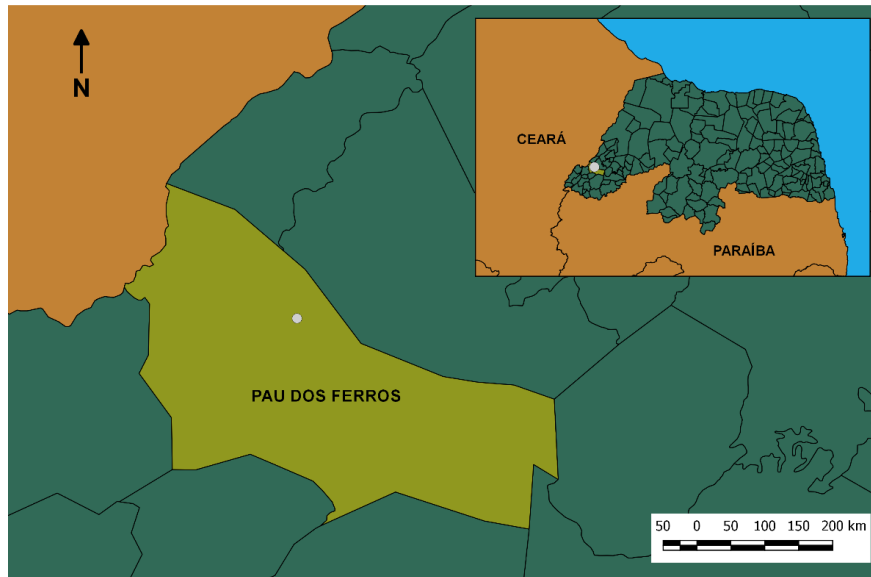
3.2.3 Características do local de estudo

O local escolhido para realizar o estudo em questão foi o vazadouro a céu aberto (Lixão) localizado no município de Pau dos Ferros/RN, situado na Mesorregião do Oeste Potiguar, distante 389 da capital Natal, nas proximidades das coordenadas 590.508 m Leste 9.327.595 m Sul, zona 24 S, a uma altura média de 220 m acima do nível do mar.

A cidade potiguar tem uma dimensão territorial de aproximadamente 260 km² e segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) tem uma população estimada de 30183 habitantes em 2018.

Nesse sentido, a Figura 8 ilustra a localização de Pau dos Ferros/RN com a marcação do local escolhido para estudo bem como suas cidades fronteiriças, evidenciando seus limites geográficos entre municípios e estados.

Figura 8 – Localização do lixão de Pau dos Ferros/RN

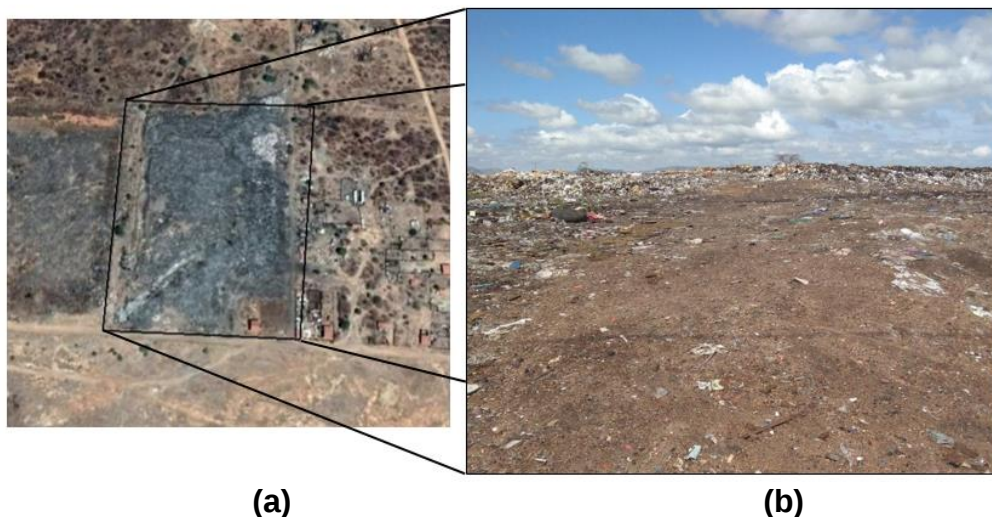


Fonte: AUTOR, 2019.

O local em que o estudo se passa é de extrema importância para o município, visto que o lixão se encontra em constante acúmulo de volume de resíduos sólidos. Dessa forma, mensurar e monitorar o volume de resíduos acima do solo pode fornecer ao município dados sobre a taxa de variação dessas variáveis com o tempo para que medidas de controle ambiental possam ser tomadas.

A Figura 9 apresenta uma vista aérea e uma fotografia do ambiente na qual esse estudo se passa.

Figura 9 – Representação da localidade do ambiente de estudo: (a) vista aérea e (b) registro fotográfico da área



(a)

(b)

Fonte: AUTOR, 2019.

Além dos fatos citados, alguns critérios foram utilizados para escolha desse local, são eles:

- ✓ O terreno possui declividades acima do solo que configuram um volume a ser calculado;
- ✓ O local de análise também não possui altos obstáculos nem proporciona grandes interferências que atrapalhariam no voo autônomo.

3.2.4 Altura, velocidade de voo e sobreposição de imagens

O planejamento de voo é a delimitação da área que deve ser sobrevoada pelo VANT para obtenção das imagens, entretanto para elaboração de todo esse percurso foi utilizado o software *Dronedeploy*, o mesmo possibilita a automação de todo voo além de fornecer previamente dados como, altura, velocidade, sobreposição e tempo de voo.

Neste estudo para fins de comparação dos resultados obtidos mediante distintas configurações de planejamentos foram realizados três voos para coleta de dados, sendo dois deles em uma mesma data e o último em um dia distinto. Além disso, todos foram diferenciados quanto a característica para que de forma comparativa os dados fossem ressaltados neste trabalho. Dessa forma, eles foram denominados de: de voo 1, voo 2 e voo 3.

A Figura 10 ilustra a interface do software *Dronedeploy* e delimitação da área sobrevoada.

Figura 10 – Delimitação da área sobrevoada e interface do Dronedeploy



Fonte: AUTOR, 2019.

Para o voo 1 utilizou-se uma sobreposição de imagens que fornecesse uma boa qualidade aos produtos gerados, mas que não gerasse uma quantidade elevada de imagens, o que implica na lentidão do processamento no *Agisoft*. Logo, adotou-se para esse voo as sobreposições longitudinal e lateral de 50% e de 80%, respectivamente. A Tabela 3 indica os parâmetros utilizados no planejamento do voo 1.

Tabela 3 – Dados do planejamento de voo 1

Dados	Valores
Data	20/12/2018
Área	5 hectares
Velocidade de voo	6 m/s
Altura de voo	63,5 m
Tempo de voo	9,51 min
Resolução das fotos	2.56 cm/px
Quantidade de fotos	134 imagens

Fonte: AUTOR, 2019.

Já para o voo 2, adotou-se outra sobreposição de imagens, com isso implicando na alteração dos parâmetros de voo para comparar qualidade final do produto. A sobreposição longitudinal foi de 65% e a lateral adotada foi de 85%. A Tabela 4 apresenta os parâmetros do voo 2.

Tabela 4 – Dados do planejamento de voo 2

Dados	Valores
Data	20/12/2018
Área	5 hectares
Velocidade de voo	6 m/s
Altura de voo	90,8 m
Tempo de voo	9,49 min
Resolução das fotos	2.56 cm/px
Quantidade de fotos	239 imagens

Fonte: AUTOR, 2019.

O voo 3 foi realizado com a mesma sobreposição do voo 1, entretanto, em uma data diferente, 27 de fevereiro de 2019, o que pode implicar num acúmulo maior na pilha de resíduos. Outra diferenciação do voo 3 para com o voo 1 foi o uso de pontos de controle. A Tabela 5 apresenta os parâmetros do voo 3.

Tabela 5 – Dados do planejamento de voo 3

Dados	Valores
Data	27/02/2019
Área	5 hectares
Velocidade de voo	6 m/s
Altura de voo	78.1 m
Tempo de voo	8,30 min
Resolução das fotos	2.6 cm/px
Quantidade de fotos	134 imagens

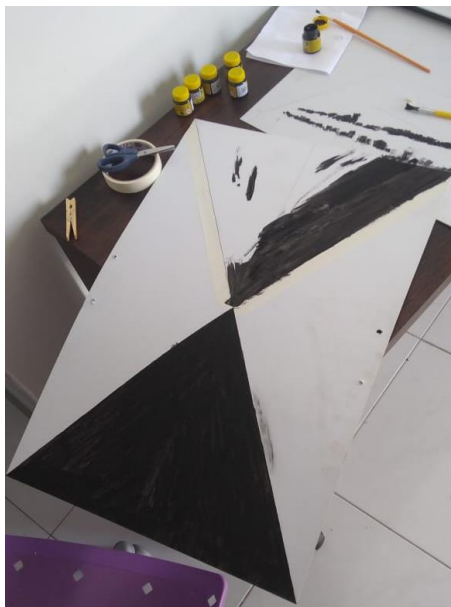
Fonte: AUTOR, 2019.

3.2.5 Pontos de controle

Os pontos de controle são alvos identificáveis no terreno que irão aparecer nas imagens aéreas, de modo que eles podem ser naturais ou artificiais. O uso de pontos de controle tem como objetivo, segundo Silva Neto (2015), aumentar a acurácia do mapeamento aéreo.

Nesse estudo foram utilizados alvos artificiais confeccionados em uma folha de plástico demarcada com tinta preta. Eles possuíam um tamanho de 40 cm de largura e 60 cm de comprimento, dimensões que possibilitam uma boa visualização dos mesmos nas imagens aéreas. A Figura 11 mostra a confecção dos alvos artificiais.

Figura 11 – Confeção dos alvos artificiais



Fonte: AUTOR, 2019.

3.2.6 Materialização dos pontos de controle

Nessa etapa do processo os alvos artificiais foram alocados no terreno em pontos de altitudes diferentes, essa determinação se deu por conta da necessidade de coletar coordenadas em pontos estratégicos do terreno. No entanto, alguns locais era de difícil acesso devido as condições do terreno e ao depósito de lixo. A Figura 12 ilustra os alvos no terreno.

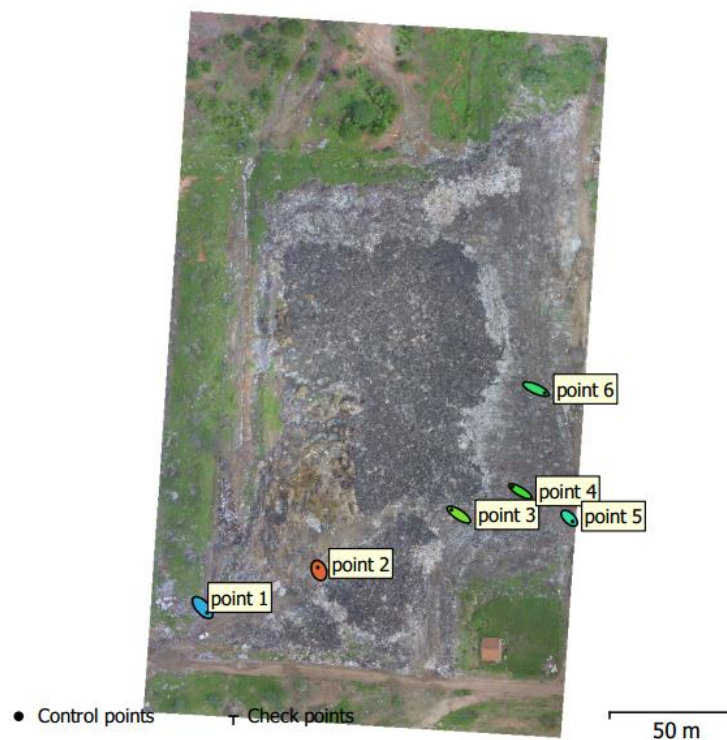
Figura 12 – Alvos no terreno



Fonte: AUTOR, 2019.

A Figura 13 apresenta a localização exata dos alvos no terreno de estudo representando seu possível erro após a etapa de processamento.

Figura 13 – Localização dos alvos no terreno



Fonte: AUTOR, 2019.

3.2.7 Obtenção das coordenadas com o gps

A obtenção das coordenadas dos pontos de controle se deu com o uso do GPS geodésico com sua operação em modo cinemático. O levantamento iniciou com o posicionamento do equipamento no centro do alvo precisamente, logo após o aparelho foi ligado e iniciou-se a coleta de dados que durou em média 15 minutos para cada ponto de controle. A Figura 14 mostra a estrutura utilizada para aquisição das coordenadas.

Figura 14 – Aquisição das coordenadas



Fonte: AUTOR, 2019.

A Tabela 6 apresenta todas as coordenadas coletadas por GPS que foram utilizadas no processamento das imagens obtidas com o VANT.

Tabela 6 – Coordenadas coletadas com o GPS

Pontos	Longitude	Latitude	Altitude
1	-38.182804953	-6.083314552	210.868
2	-38.182406542	-6.083155118	211.402
3	-38.181924914	-6.082949225	211.472
4	-38.181706458	-6.082866430	209.790
5	-38.181494364	-6.082988286	208.565
6	-38.181596868	-6.082527463	208.950

Fonte: AUTOR, 2019.

3.2.8 Execução do voo realizado com o vant

Essa fase das atividades em campo se constitui na captura das imagens com execução do voo com o uso do VANT a partir do plano de voo traçado no *DroneDeploy*. As imagens coletadas foram usadas para processamento e obtenção do produto final.

Para iniciar o voo foi necessário a montagem do VANT iniciando com a inserção da bateria e das hélices. É imprescindível atentar-se ao colocar as hélices para que estejam de acordo com o sentido correto de rotação. Em seguida, realiza-se a calibragem e checagem do VANT para que posteriormente ele possa decolar.

Após a decolagem, o aplicativo DJI Go é usado para corrigir as possíveis configurações da câmera acoplada e do voo. O VANT é colocado em modo piloto automático para que possa realizar todo o trajeto, porém antes do pouso é colocado em modo manual para um pouso seguro.

3.2.9 Processamento dos dados

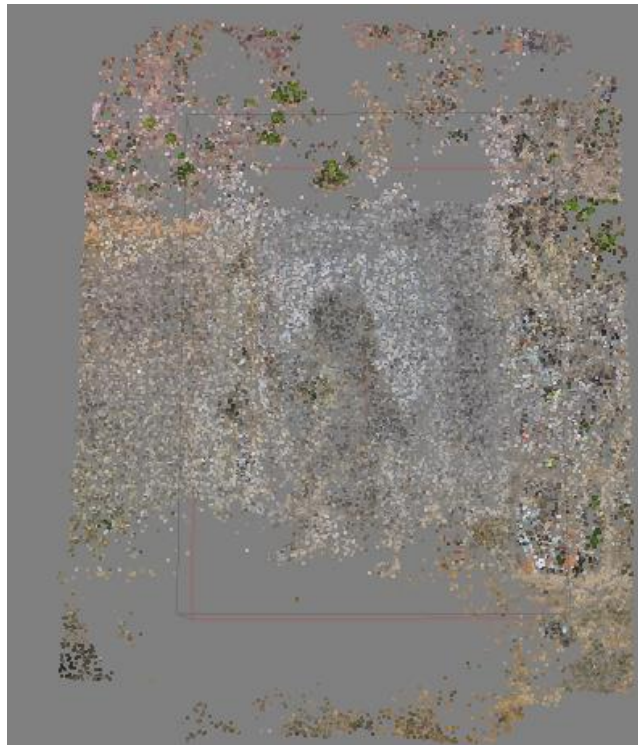
Posteriormente a obtenção das aerofotografias da região de estudo por meio dos procedimentos anteriormente citados as imagens foram processadas através do software *Agisoft Photoscan Professional*, o qual foi utilizado para obtenção de boa parte dos produtos obtidos nesse estudo.

Antes de iniciar o processamento foi necessário verificar todas as imagens obtidas no voo. Esse procedimento foi crucial para retirar do processamento imagens que continham falha.

Para início do processamento importou-se as imagens para o software *Agisoft Photoscan*. Em seguida seguiu todas as etapas descritas a seguir:

- 1º Etapa – A primeira etapa se constitui na calibração automática da câmera e para o processamento das imagens do voo. Além disso, para o voo que foi usado alvos artificiais é necessário inserir todas as coordenadas de cada alvo alocado no terreno obtidas com o GPS.
- 2º Etapa – Em seguida deve-se usar a ferramenta de alinhar fotos para criação da nuvem de pontos espaçadas (*Tie Points*) apresentada na Figura 15. Essa etapa se constitui na geração do produto básico para as demais etapas, como exemplo a nuvem de pontos densa.

Figura 15 – Nuvem de pontos espaçados do voo 2



Fonte: AUTOR, 2019.

- 3º Etapa – Esta etapa está associada ao processamento do voo 3, isto é, o levantamento realizado com pontos de controle, o qual é necessário centralizar as coordenadas dos pontos de controle com o alvo produzido.
- 4º Etapa – Gera-se a nuvem densa de pontos (*Dense Cloud*) a partir da nuvem de pontos espaçados gerada na 2º etapa diminuindo os espaços vazios proporcionando uma melhor representação do terreno como apresentado na Figura 16. Este produto é usado para geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Terreno (MDT).

Figura 16 – Nuvem de Pontos Densa do voo 2

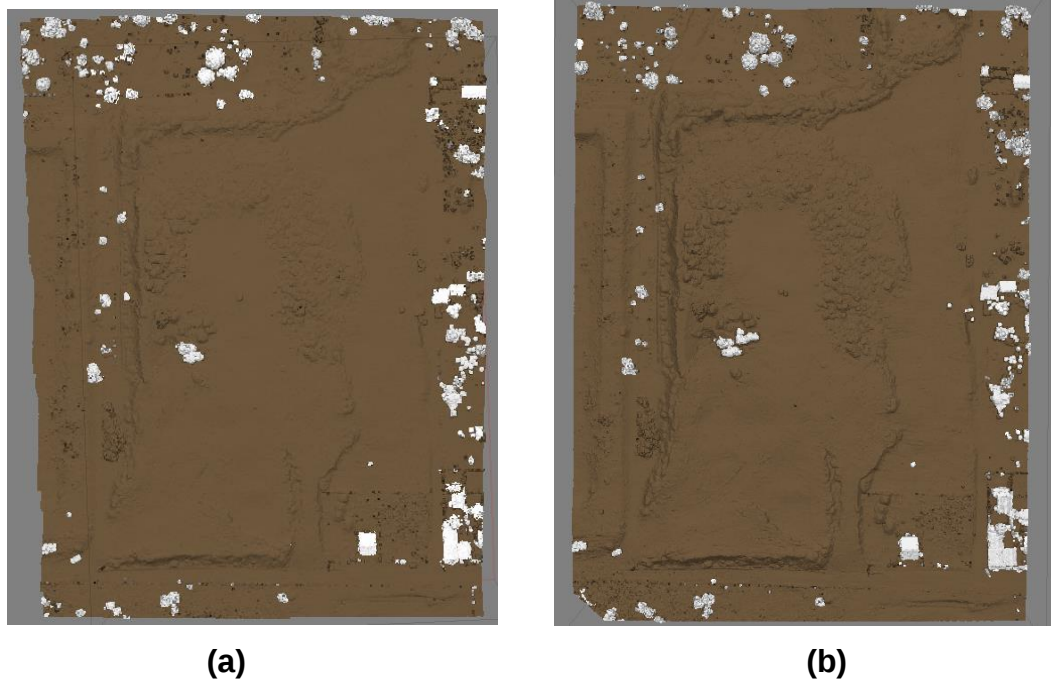


Fonte: AUTOR, 2019.

- 5º Etapa – Criação da Textura, a qual proporciona uma melhor qualidade visual da imagem.

- 6º Etapa – Filtragem a partir da nuvem de pontos necessária para classificação de pontos no terreno, ou seja, excluir do terreno vegetação, edificações, veículos, deixando apenas o terreno estudado. A Figura 17 apresenta a filtragem do terreno, na 17 (a) tem-se o voo 1, (b) voo 2, onde a cor marrom representa o terreno e a cor branca o que foi filtrado. É importante notar que a filtragem de ambos voos devem ser a mais próxima possível para não conferir diferenças significativas no MDT.

Figura 17 – Filtragem do terreno: (a) voo 1 e (b) voo 2



Fonte: AUTOR, 2019.

- 7º Etapa – Construção do Modelo Digital de Superfície (MDS), viabilizando uma melhor representação da superfície do terreno e possibilitando uma visualização das elevações, como exemplo, vegetações e construções.
- 8º Etapa – Construção do Modelo Digital de Terreno (MDT). Nessa etapa, é viável que a filtragem, descrita na etapa 7, esteja classificando o terreno pois assim obtém-se um produto final que se aproxima da realidade do terreno em questão. Além disso, o MDT possibilita a geração das curvas de nível do terreno.
- 9º Etapa – Criação do Modelo Digital de Elevação (DEM).
- 10º Etapa – A criação do Ortomosaico concebe-se na geração de uma imagem com base no MDT ou no MDS. A partir dele pode-se delimitar a área que se deseja obter o volume, dentre outras mensurações do terreno, assim como mostra a Figura 18.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COMPARAÇÃO ENTRE OS VOOS

Após o processamento dos três voos realizados com diferentes características gerou-se um relatório de cada processamento com o auxílio do software *Agisoft Photoscan*. Esses relatórios contêm informações importantes para verificar a acurácia de cada produto gerado.

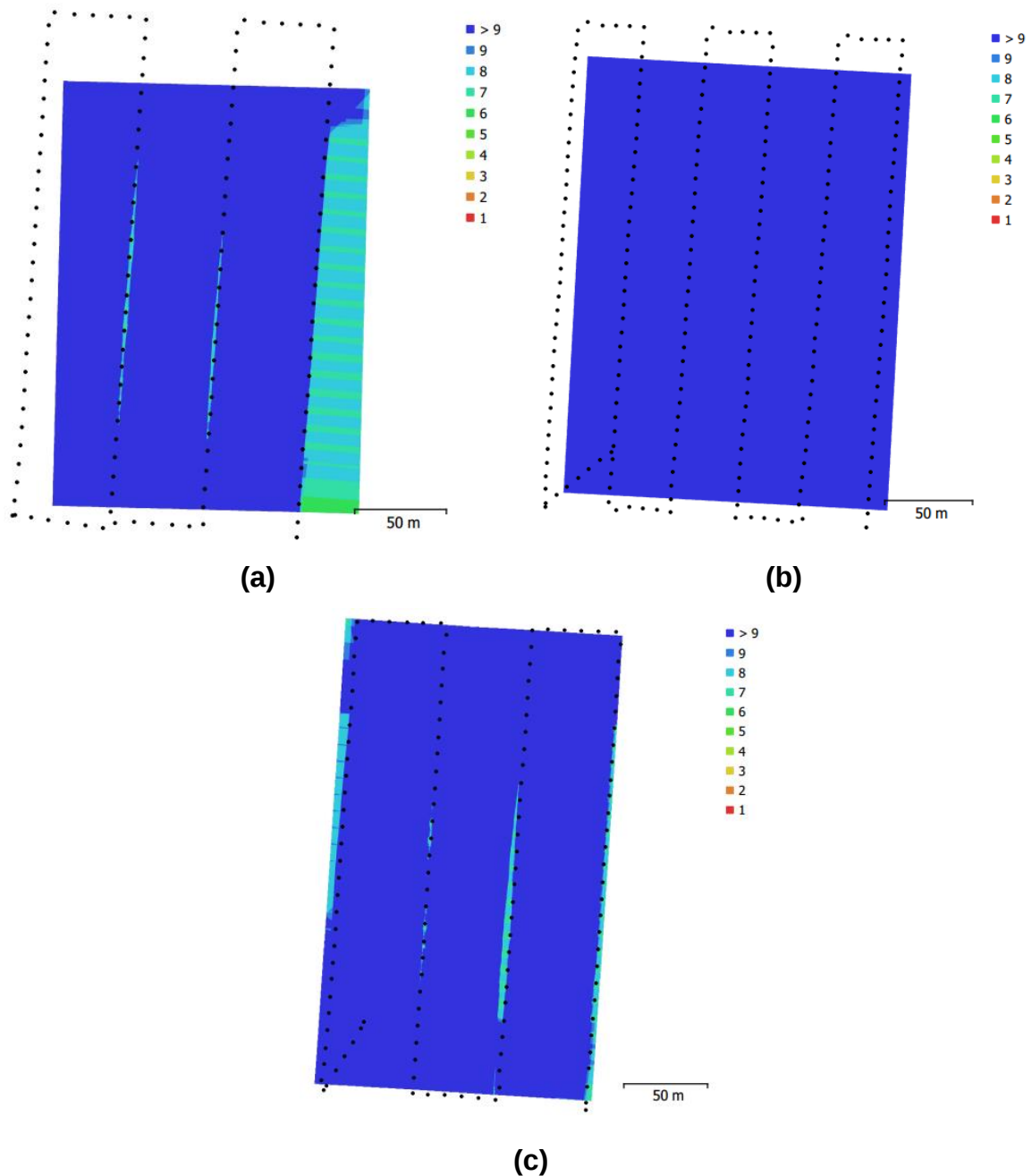
Dessa forma, as informações fornecidas pelo relatório servirão como hipóteses balizadoras das diferenças entre os produtos gerados, sobretudo no que se diz respeito a sobreposição das imagens, os erros posicionais, modelos digitais de elevação, entre outros.

4.1.1 Sobreposição das imagens e análise de erros

No caso do voo 1 com a sobreposição longitudinal de 50% e de 80% para lateral, obteve-se uma totalidade de imagens superior a 9 em boa parte do ambiente de estudo, enquanto somente na lateral esquerda teve um total de 8 imagens. Já no voo 2 com sobreposição longitudinal de 65% e lateral de 85% obteve-se um valor de mais de 9 imagens por ponto em todo o local, o que melhora consideravelmente a qualidade do produto final.

O Voo 3, com sobreposição igual à do voo 1, notou-se pequenas regiões centrais tiveram uma sobreposição de 8 imagens por ponto e no restante da área a sobreposição era superior a 9 imagens. Na Figura 18 tem-se a ilustração das sobreposições das imagens para os três voos realizados.

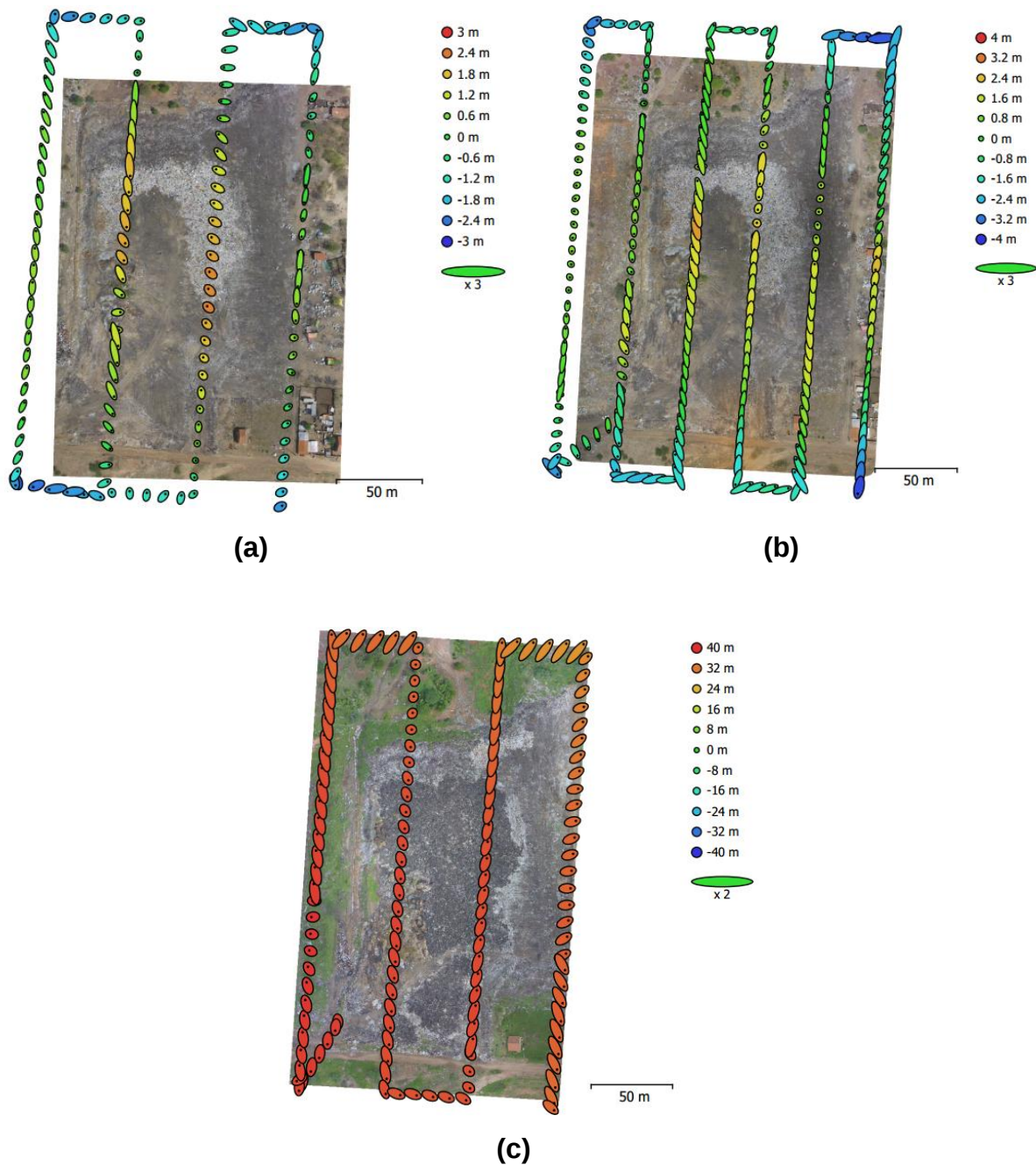
Figura 18 – Taxa de sobreposição das imagens dos levantamentos: (a) voo 1, (b) voo 2 e (c) voo 3



Fonte: AUTOR, 2019.

A Figura 19, por outro lado, apresenta os erros planimétricos em X e Y, onde a elipse de erro demonstrada funciona de forma gráfica analisando as tendências de erros. Os pontos pretos dentro da elipse representam o local de centroide do pixel obtido com a câmera do VANT.

Figura 19 - Erros obtidos por ponto mediante levantamento de VANT: (a) voo 1, (b) voo 2 e (c) voo 3



Fonte: AUTOR, 2019.

Percebe-se que sem a devida correção das coordenadas, ilustradas pelas Figuras 19(a) e 19(b), os erros apresentados no modelo é aparentemente baixo se comparado com da Figura 19(c), onde o produto gerado foi corrigido pelos pontos de apoio.

A Tabela 7, com o mesmo sentido da Figura 19, apresenta-se os erros X, Y e Z de forma quantitativa. Os erros do voo 1 e 2 são relativos apenas ao GPS

embarcado no VANT, enquanto o do voo 3 é referente à correlação dos pontos do GPS embarcado com o geodésico posicionado em terra.

Tabela 7– Erros médios de coordenadas do GPS do VANT

Voo	Erro em X (m)	Erro em Y (m)	Erro em z (m)	Erro em XY (m)	Total de erros (m)
1	0.931222	1.58993	1.25027	1.84256	2.22671
2	0.967126	2.15494	1.46712	2.36201	2.78056
3	1.52739	3.15186	35.6929	3.50244	35.8644

Fonte: AUTOR, 2019.

Nota-se, portanto, que existe uma diferença considerável na coordenada Z. Essa discrepância pode ser atribuída à imprecisão do barômetro, sensor que registra a altitude do VANT em relação ao solo, bem como a própria imprecisão do GPS de navegação do equipamento.

Dessa forma, vale ressaltar que a realização da volumetria sem a correção das coordenadas pode gerar imprecisões grandes na altitude, passando a ser a variável mais importante nesta análise. Logo, o cálculo do volume nos voos 1 e 2 podem se diferir consideravelmente representativo da situação real.

Sabendo dessa premissa, os pontos de apoio utilizados devem conferir ao modelo uma precisão centimétrica para as coordenadas, corrigindo, sobretudo, o erro em Z. Com base nisso, a Tabela 8 apresenta o erro de correlação entre as coordenadas da ortofoto gerada e os 6 pontos de apoio utilizados.

Tabela 8 – Média dos erros com os pontos de apoio

Número de Alvos	Erro em X (cm)	Erro em Y (cm)	Erro em Z (cm)	Erro em XY (cm)	Total (cm)
6	0.243395	0.166988	0.470142	0.295172	0.555121

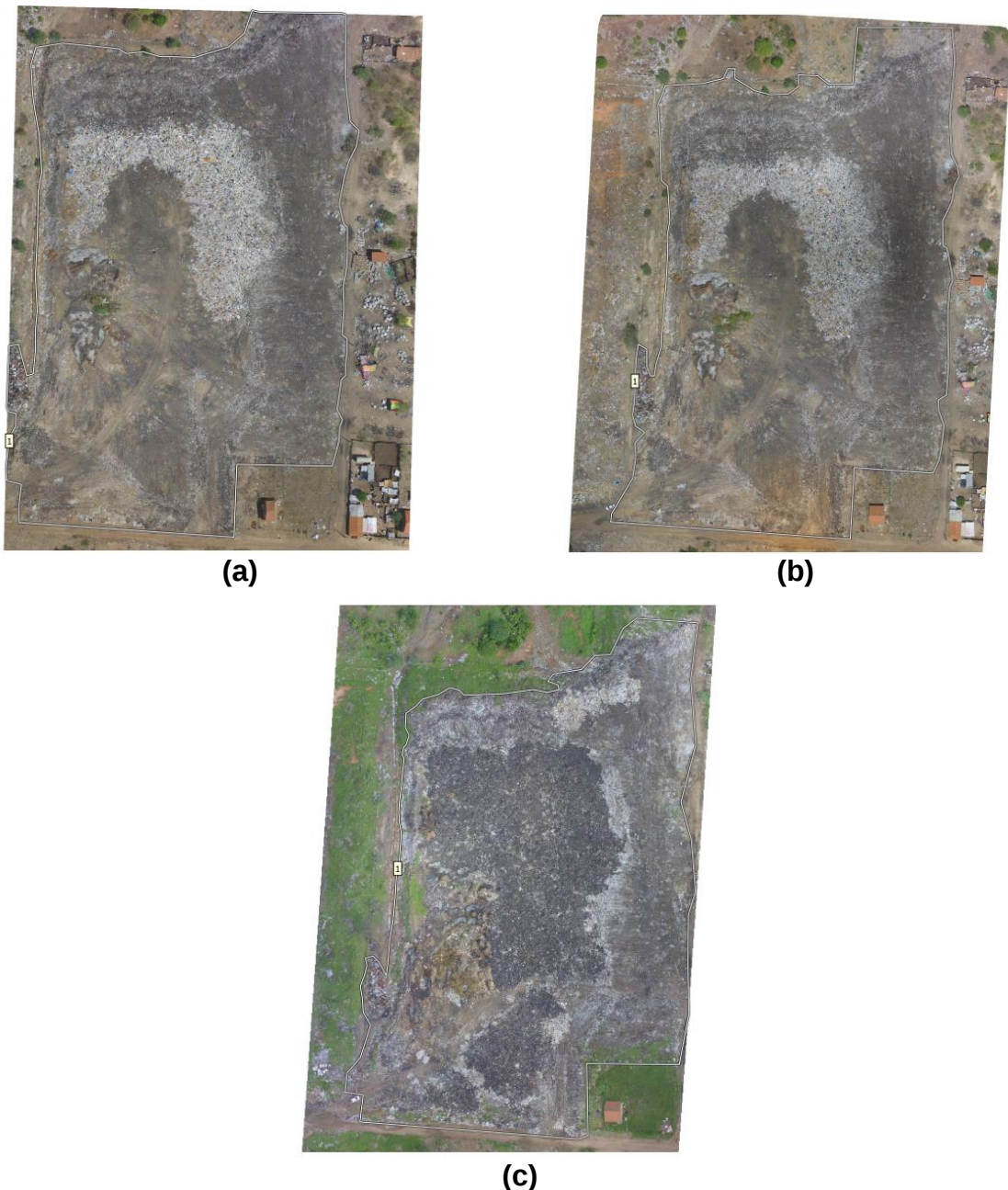
Fonte: AUTOR, 2019.

Portanto, evidencia-se, que a representação mais precisa do terreno, pode ser obtida mediante o uso de pontos de apoio para levantamentos se considera imprescindível, pois diminui os erros médios de forma drástica em cada coordenada, gerando uma qualidade melhor ao produto final.

4.1.2 Volumetria

Para o cálculo do volume delimitou-se com devido cuidado os polígonos apresentados na Figura 20 para que esses tivessem a forma mais aproximada possível a fim de não gerar erros consideráveis no cálculo do volume pelo *Agisoft* devido às diferenças de demarcação da área de interesse.

Figura 20 – Delimitação do polígono para o cálculo do volume de lixo: (a) voo 1, (b) voo 2 e (c) voo 3



Fonte: AUTOR, 2019.

Com base nas delimitações apresentadas na figura 20, obteve-se os valores, através do software em questão, para o volume de lixo acima da cota de base do polígono. Esse resultado está apresentado na Tabela 9 onde foi possível observar o volume obtido em cada voo após o processamento.

Tabela 9 – Volume da pilha sobre o terreno de estudo para cada voo

Voo	Volume (m ³)
1	43154
2	60862
3	59976

Fonte: AUTOR, 2019.

Considerando que o levantamento mais preciso foi o realizado com os pontos de controle, isto é, o voo 3, em virtude do emprego dos pontos de controle para otimização do georreferenciamento pode-se calcular o erro absoluto e o relativo para analisar as diferenças entre os voos. Sendo assim, o resultado deste procedimento é apresentado na Tabela 10.

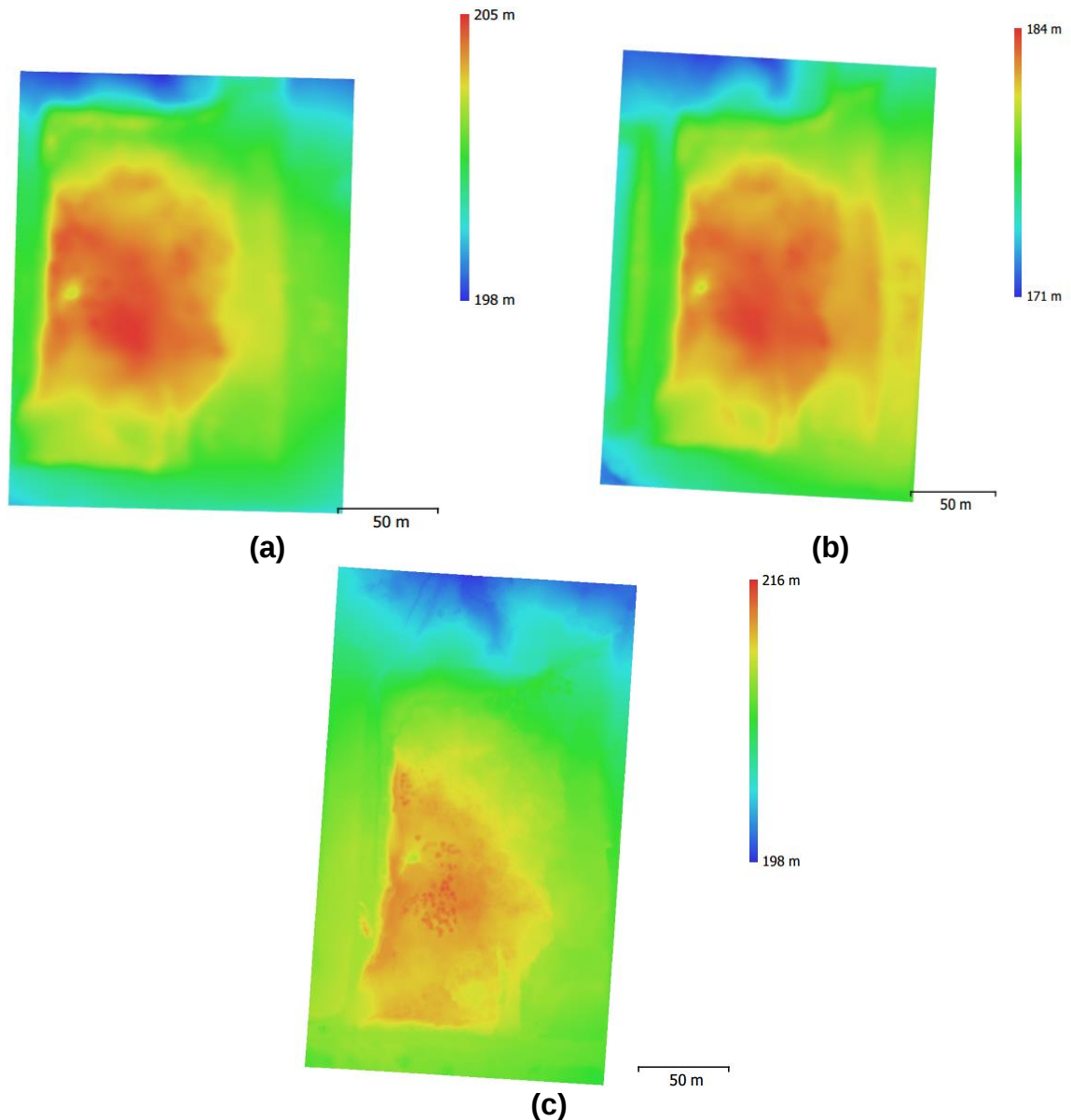
Tabela 10 – Cálculo do erro relativo e absoluto em relação ao voo mais preciso

Voo	Erro Absoluto (m ³)	Erro Relativo
Entre voo 3 e 1	16822	28,04%
Entre voo 3 e 2	886	1,47%

Fonte: AUTOR, 2019.

Para efeito de comparação, gerou-se também o Modelo Digital de Elevação (MDE) para análise das cotas máximas e mínimas do terreno em todas as situações (Figura 21). Além disso, é a partir do MDE, isto é, das informações de altitude do terreno, que se constrói as curvas de nível de todo o terreno.

Figura 21 – MDE determinados pelos levantamentos com o VANT a) voo 1 b) voo 2 c) voo 3



Fonte: AUTOR, 2019.

A partir da análise das Figuras 21 pode-se extrair as altura máximas e mínimas do terreno segundo cada método de análise. O resultado deste procedimento está apresentado na Tabela 11.

Tabela 11 – Altitude Máxima e Mínima obtida em cada voo

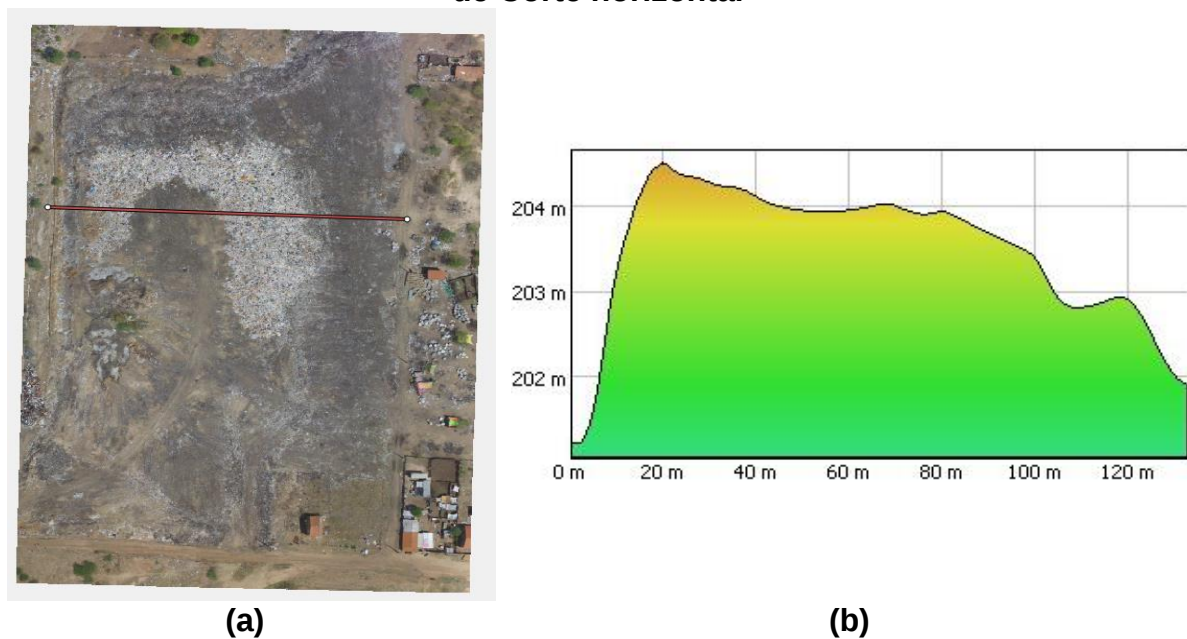
Voo	Altitude Mínima (m)	Altitude Máxima (m)	Diferença (m)
1	198	205	7
2	171	184	13
3	198	216	18

Fonte: AUTOR, 2019.

Nesta discussão foi possível notar que as discrepâncias em termos de altura máxima e mínima dos voos 1 e 2 em relação ao voo 3 deve-se, novamente, ao erro interno do equipamento (GPS embarcado e barômetro). No entanto, verifica-se também que o voo com maior nível de sobreposição conseguiu chegar numa diferença menor entre a altura máxima e mínima do MDE, conforme Tabela 11, quando comparado com a situação mais precisa (voo 3). Tal fato também justifica o resultado do menor erro absoluto e relativo do voo 2 em relação 3, conferindo nesta situação 886 m³ e 1,47%, respectivamente.

Para uma análise mais detalhada das altitudes e do comportamento do terreno, delimitou-se 2 cortes, sendo um vertical e outro horizontal, no sentido de verificar a forma do perfil do terreno. O resultado desse procedimento é ilustrado nas de Figuras 22 até 27.

Figura 22 – Perfil de Elevação do voo 1 (a) Linha de Corte Horizontal; (b) Perfil de Corte horizontal

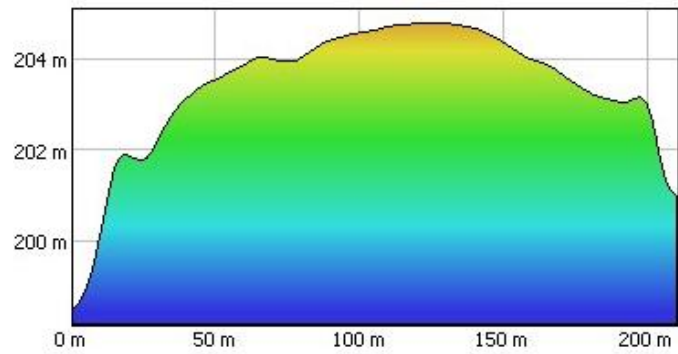


Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 23 – Perfil de Elevação do voo 1: (a) Linha de Corte Vertical; (b) Perfil de Corte Vertical



(a)



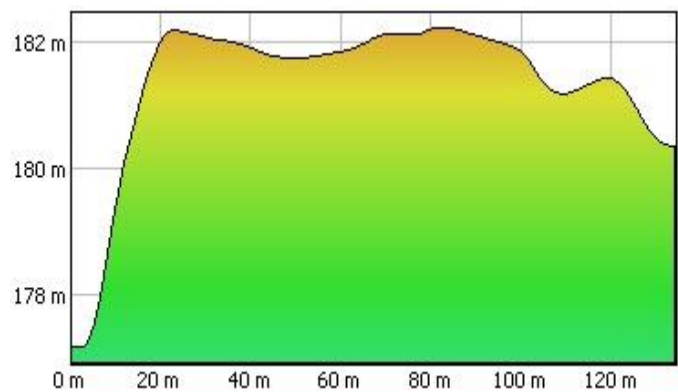
(b)

Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 24 – Perfil de Elevação do voo 2: (a) Linha de Corte Horizontal; (b) Perfil de Corte horizontal



(a)



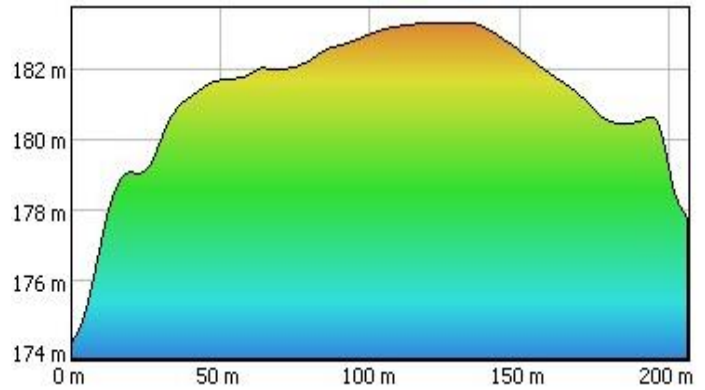
(b)

Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 25 – Perfil de Elevação do voo 2: (a) Linha de Corte Vertical; (b) Perfil de Corte Vertical



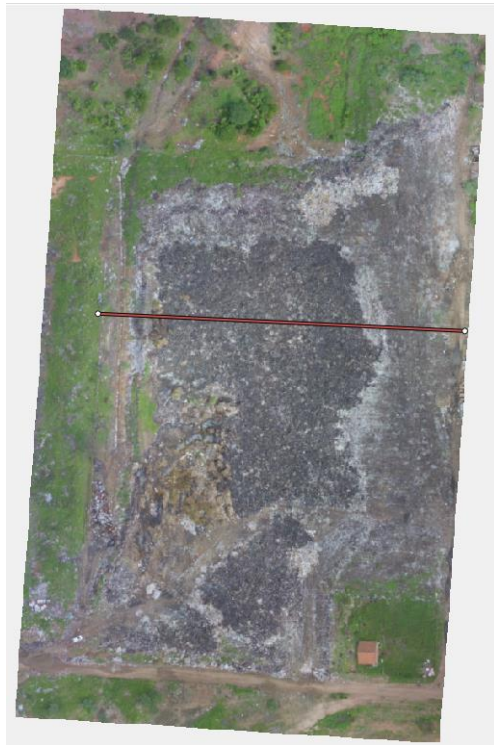
(a)



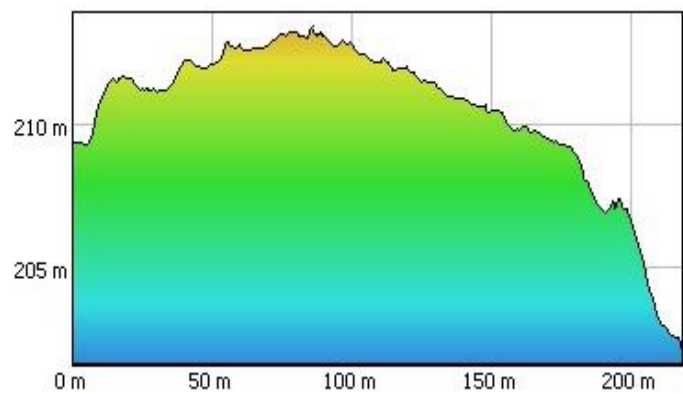
(b)

Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 26 – Perfil de Elevação do voo 3: (a) Linha de Corte Horizontal; (b) Perfil de Corte horizontal



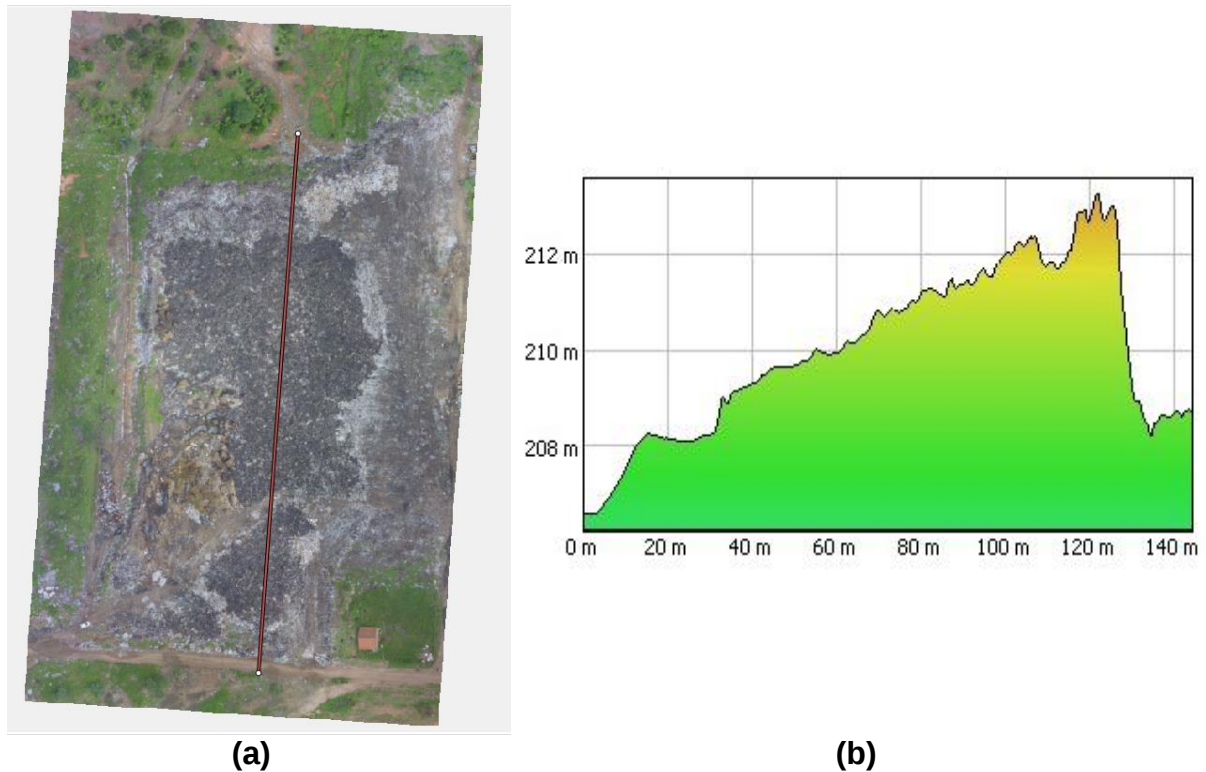
(a)



(b)

Fonte: AUTOR, 2019.

Figura 27 – Perfil de Elevação do voo 3: (a) Linha de Corte Vertical; (b) Perfil de Corte Vertical



Fonte: AUTOR, 2019.

É notório que os perfis formados nas situações sem os pontos de controle são muito similares, diferindo apenas nas mínimas e máximas, fato que provavelmente corroborou em uma diferença de 17.708 m^3 entre a volumetria do voo 1 e 2.

Os perfis gerados pelo voo 3, por outro lado, se mostraram bem diferentes da situação anterior. Nesta ocasião levantam-se as seguintes hipóteses:

- ✓ O terreno pode realmente possuir, assim como mostrado na Figura 26, esta forma desde o primeiro levantamento (dia 20/12) e o processamento sem os pontos de controle não conseguiu gerar sua forma real.
- ✓ O terreno foi modificado pelo depósito de mais resíduos sólidos devido à diferença de datas de levantamento, isto é, o primeiro realizado no dia 22/12 e o segundo no dia 27/02, colaborando na diferença entre as figuras apresentadas.

Mesmo com posse de tais hipóteses, é notável que a sobreposição confere ao produto uma maior aproximação entre os resultados do voo 3, o que

se determinou como mais preciso devido à presença de pontos de controle. Logo, infere-se que para volumetria, caso não sejam utilizados pontos de GNSS para correção é imprescindível utilizar uma alta sobreposição entre as imagens no momento do planejamento de voo. Sem tal hipótese bem coerente, tem em vista a recepção diária de grande quantidade de material de Pau dos Ferros, tal como a queima periódica deste, além do espalhamento do material na superfície do solo, mediante a uso maquinário.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mensuração de pilhas de resíduos sólidos é de extrema importância, pois dessa forma é possível mensurar o montante despejado para que os órgãos gestores possam planejar medidas de controle. Além disso, caso essa mensuração seja realizada com frequência pode-se também determinar as taxas de variação desse volume no tempo (acúmulo ou decréscimo). Nesse sentido, os VANTs apresentam-se como importantes nesse cenário, visto que conseguem obter dados altimétrico por meio de fotografias em um processo mais eficiente que a topografia convencional.

A utilização de VANTs para mensuração de volume mostrou-se como uma ferramenta viável desde que o nível de sobreposição das imagens seja elevado (da ordem de 60% lateral e 85% frontal);

A imprecisão do barômetro e do GPS integrado do instrumento fica evidente sem os pontos de controle, pois a diferença da altitude máxima e mínima foi muito discrepante em ambos os casos.

Os pontos de controle conferem ao produto final uma maior precisão e proximidade com a realidade. Entretanto, é indispensável que estes estejam bem distribuídos ao longo dos terrenos a fim de abranger diferentes alturas.

Além das considerações apresentadas, visa-se em perspectivas futuras realizar avaliações de mais parâmetros de comparação, como mais combinações entre sobreposição e pontos de controle a fim de gerar uma superfície de resposta estatística. Objetiva-se também realizar um levantamento topográfico com estação total no terreno em questão para a obtenção de parâmetros de comparação fotogramétrico com topográfico.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. IS N° 21-002: Instrução Suplementar - IS. Brasília: Diário Oficial da União, 2012. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13133: Execução de levantamento topográfico*. Rio de Janeiro, 1994. 35 p.

BORGES, A. C. *Topografia aplicada à engenharia*. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2013.

CASSEMIRO, G. H. M.; PINTO, H. B.. *COMPOSIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS AÉREAS EM ALTA RESOLUÇÃO OBTIDAS COM DRONE*. 2014. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Eletrônica, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

CRESWELL, John W. *Projeto de Pesquisa*. 2. ed. São Paulo: Artmed, 2007.

DEWES, E.; OLIVEIRA, F. A. de; BRISOTTO, G. S. *Levantamento Planialtimétrico Cadastro e Elaboração de Planta de Valores Genéricos do Município de Presidente Lucena / RS*. 2013. 194 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartográfica, Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

ISPRS. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*. Disponível em: < <http://www.isprs.org/>>. Acesso em: 2018.

PALERMO, R. A.; LEITE, T. C. *Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com uso de vant e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de São Miguel das Missões*. 2013. 125 f. Projeto Cartográfico – Curso de Engenharia Cartográfica, Departamento de Geodésia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

RIBEIRO, C. F. D. A. *Topografia*. p.11. 2016

SANTOS, L. F. B. dos. *Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de VANT em planícies pantaneiras*. 2016. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2016.

SILVA, C. A. da. *Avaliação da Acurácia dos Ortomosaicos e Modelos Digitais do Terreno Gerados por VANT e sua Aplicação no Cálculo de Volume de Pilhas de Rejeito da Pedra Cariri*. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geologia, Departamento de Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SILVA, D. C. da; COSTA, G. C. Aerofotogrametria em Projetos de Estradas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIA GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 3., 2010, Recife. p. 1-12.

SILVA NETO, Manoel. Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com Drone? 2015. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quandoutilizar-no-mapeamento-aereo-com-drone-2/>>. Acesso em: 25 fev. 2019.

SOUZA, G. C. de. Análise de metodologia no levantamento de dados espaciais para cadastro urbano. 2001. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia, Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

TOMMASELLI, A. M. G. Fotogrametria Básica - Introdução. p.1-14. 2009.

TULER, M.; SARAIVA, S. Fundamentos de Geodesia e Cartografia. Porto Alegre: Bookman, 2016.

VEIGA, L. A. K.; ZANETTI, M. A. Z.; FAGGION, P. L.. *FUNDAMENTOS DE TOPOGRAFIA*. Paraná, 2012. 288 p. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura Universidade Federal do Paraná.

VENTURINI, A. B. Imagens de veículos aéreos não tripulados aplicados para dimensionamento de redes de macrodrenagem pluvial. 2015. 80 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

VIDAL, A. M. F. Extração e avaliação de geo-informações pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Geográfica, Departamento de Geociência, Faculdade de Ciências Universidade do Porto, Portugal, 2013.