

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA

JEFFERSON DOS SANTOS SANTANA

**VISUALIZAÇÃO E MANIPULAÇÃO DAS NUVENS DE PONTOS EXTRAÍDAS NOS
PROCESSAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS A PARTIR DA COMPARAÇÃO
ENTRE SOFTWARES**

MONTE CARMELO

2022

JEFFERSON DOS SANTOS SANTANA

**VISUALIZAÇÃO E MANIPULAÇÃO DAS NUVENS DE PONTOS EXTRAÍDAS NOS
PROCESSAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS A PARTIR DA COMPARAÇÃO
ENTRE SOFTWARES**

Projeto apresentado como requisito para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II no curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica na Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis.

Coorientador: MSc. Guilherme Zavatti Ceccato.

MONTE CARMELO

2022

JEFFERSON DOS SANTOS SANTANA

**VISUALIZAÇÃO E MANIPULAÇÃO DAS NUVENS DE PONTOS EXTRAÍDAS NOS
PROCESSAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS A PARTIR DA COMPARAÇÃO
ENTRE SOFTWARES**

Projeto apresentado como requisito para a aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II no curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica na Universidade Federal de Uberlândia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis.

Coorientador: MSc. Guilherme Zavatti Ceccato.

Aprovado em: ____/____/____

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis (Orientador)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

MSc. Guilherme Zavatti Ceccato (Coorientador)

Msc. Marcelo Araújo Faria (Técnico laboratório)
Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

MONTE CARMELO

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por está comigo em todos os momentos, mesmo naqueles mais difíceis, concedendo saúde e sabedoria pra guiar em todas fases até aqui.

Aos meus pais Paulo e Izabel, por todo apoio e educação que me deram, por toda preocupação que tiveram comigo nesse tempo longe de casa.

Agradecer ao meu tio Eudaldo, por sempre me apoio durante todo processo de graduação, sempre me incentivando a estudar.

Ao meu avô Mário por todos os conselhos e educação para se tornar uma pessoa melhor.

Ao meu orientador Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis por todo apoio durante esse processo de conclusão do TCC.

Ao meu coorientador MSc. Guilherme Zavatti Ceccato, por sempre está disposto a ajudar, incentivar a fazer o melhor e também pela amizade construída durante a graduação.

Agradecer os amigos que estiveram comigo em todo processo de graduação em especial ao José Carlos por toda ajuda, todos contribuíram um pouco com essa realização.

A empresa Sergell por fornecer o apoio e equipamentos necessários para execução do trabalho.

Agradecer também a todos que diretamente ou indiretamente participaram da minha formação, aos professores e ao PET EAC, por toda contribuição.

RESUMO

Nos últimos anos a Fotogrametria evoluiu muito em relação aos seus custos e principalmente a sua precisão e com o avanço constante da tecnologia, surgiram novas ferramentas e métodos computacionais que propiciaram a obtenção de novos produtos, sendo um desses a obtenção de nuvens de pontos 3D através do processo fotogramétrico graças a novos algoritmos e métodos cada vez melhores. Desse modo o presente trabalho propõe apresentar uma solução para manipular e visualizar nuvem de pontos no formato .las/.laz em uma plataforma web, sendo realizado o processamento de um conjunto de imagens, assim obtendo como produto final uma nuvem de pontos 3D, sendo essa utilizada para manipulação e visualização em plataforma web. Posteriormente foi realizado um comparativo entre o potree e o global mapper, para validar ou não a sua utilização na fotogrametria. Os resultados mostraram que o potree é um excelente renderizador e visualizador de nuvem de pontos 3D open source e que pode ser aplicado na fotogrametria, levando em consideração o comparativo realizado entre ele o global mapper, um software comercial renomado na área.

Palavras-chave: Potree. Código Aberto. Nuvem de Pontos. WebGL. Renderizador de Nuvem de Pontos. BIM.

ABSTRACT

In recent years, Photogrammetry has evolved a lot in relation to its costs and especially its precision and with the constant advancement of technology, new tools and computational methods have emerged that have led to the achievement of new products, one of which is obtaining 3D point clouds through of the photogrammetric process thanks to new and better algorithms and methods. In this way, the present work proposes to present a solution to manipulate and visualize point clouds in .las/.laz format in a web platform, being carried out the processing of a set of images, thus obtaining a 3D point cloud as a final product, being this used for manipulation and visualization in web platform. Subsequently, a comparison was made between the potree and the global mapper, to validate or not its use in photogrammetry. The results showed that potree is an excellent open source 3D point cloud renderer and viewer that can be applied in photogrammetry, taking into account the comparison made between it and the global mapper, a renowned commercial software in the area.

Keywords: Potree. Open Source. Point Cloud. WebGL. Point Cloud Renderer. BIM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Nadar obtendo fotografia de um balão	14
Figura 2 – Tomada de um par estereoscópico de um monumento (Solar da Imperatriz) e produto final – restituição digital sobre ortoimagem	16
Figura 3 – Configuração das câmeras	17
Figura 4 – Sistema de Mapeamento utilizado	17
Figura 5 – Curiosity NASA	18
Figura 6 - Coleta da nuvem de pontos com sistema de varredura	20
Figura 7 – Mapa de localização do aterro sanitário de Patos de Minas - MG	21
Figura 8 - <i>Phantom 4 pro V2</i>	22
Figura 9 - <i>Gnss RTK Hi-Target V60</i>	23
Figura 10 – Fluxograma dos procedimentos metodológico	24
Figura 11 – Plano de voo <i>DroneDeploy</i>	25
Figura 12 – Ponto de apoio em campo	26
Figura 13 - Alinhamento das fotos	27
Figura 14 - Processo de conversão da nuvem de pontos .las no prompt com o Potree convert	28
Figura 15 – Servidor local com Python	28
Figura 16 – Servidor local com XAMPP	29
Figura 17 – Servidor local criado com Python	29
Figura 18 – Visualização de nuvens de pontos utilizando o Potree	30
Figura 19 – Nuvem 3D gerada no Agisoft	31
Figura 20 – Medição de distância no Potree	32
Figura 21 – Medição de distância no Global Mapper	32
Figura 22 – Visualização com Zoom utilizando o Potree	34
Figura 23 – Visualização com Zoom utilizando o Global Mapper	34
Figura 24 – Ferramentas de Mensuração e visualização Potree	35
Figura 25 – Ferramenta de classes Potree	36
Figura 26 - Ferramenta Global Mapper	36
Figura 27 – Recorte da nuvem 3D no Potree	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Erro dos pontos de controle utilizados	31
Tabela 2 – Distâncias extraídas dos softwares	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicação
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSD	<i>Ground Sampling Distance</i>
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MDT	Modelo Digital do Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
3 JUSTIFICATIVA.....	12
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4.1 Fotogrametria	12
4.1.1 Fotogrametria aérea.....	14
4.1.2 Fotogrametria terrestre	15
4.1.3 Fotogrametria espacial ou extraterrestre.....	17
4.2 Aeronave Remotamente Pilotada (ARP).....	18
4.3 Sistema LIDAR e nuvem de pontos	19
4.4 Visualizador e renderizador de nuvem de pontos 3D Open Source.....	20
5 MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1 Localização da área de estudo	21
5.2 MATERIAIS	22
5.2.1 Phantom 4 Pro v2	22
5.2.2 GNSS RTK Hi-Target V60	23
5.2.3 Software <i>Agisoft Metashape</i>	23
5.2.4 Software Open Source.....	24
5.3 Metodologia	24
5.3.1 Planejamento de voo	25
5.3.2 Pontos de apoio	25
5.3.3 Processamento dos dados	27
5.3.4 Conversão de arquivos de dados	27
5.3.5 Criação de um servidor Local.....	28
5.3.6 Visualização e manipulação de dados na WEB	29
5.3.7 Análise de dados.....	30
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
6.1 Geração da nuvem 3D	30
6.2 Mensuração da nuvem de pontos.....	32
6.3 Visualização e qualidade da nuvem 3D.....	33
6.4 Ferramentas para manipular nuvem de pontos 3D.....	35
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A Fotogrametria é definida pela American Society of Photogrammetry como “a ciência ou arte de obter medições confiáveis por meio da fotografia” (MILLER, 1957). Ela propicia a obtenção de medidas tridimensionais de objetos por meio da utilização de fotografias tiradas destes objetos, sendo eles aéreos ou terrestres, e já possui uma história destacada como ferramenta para levantamentos com fins de mapeamento. Dentre as técnicas cartográficas utilizadas para a obtenção de dados e medidas, a Fotogrametria é a que mais se destaca, pois tem a vantagem de possibilitar a aquisição de um grande volume de feições da cena por meio das fotografias. É por isso que é a técnica mais utilizada no mapeamento sistemático (REISS, 2008).

Nos últimos anos a Fotogrametria evoluiu muito em relação aos seus custos e principalmente a sua precisão e com o avanço constante da tecnologia, surgiram novas ferramentas e métodos computacionais que propiciaram a obtenção de novos produtos, sendo um desses a obtenção de nuvens de pontos 3D através do processo fotogramétrico graças a novos algoritmos e métodos cada vez melhores.

O termo LiDAR emergiu como uma ferramenta poderosa para investigação da paisagem, incluindo estruturas de engenharia como edifícios, eventos geológicos, incluindo terremotos e deslizamentos de terra. Um conjunto de dados Lidar, comumente denominado como nuvem de pontos, é representado por um conjunto de pontos 3D - às vezes atribuídos com valores de cor ou intensidade RGB. Os dados LiDAR podem ser categorizados em duas classes principais: LiDAR aerotransportado que é coletado pela montagem de um laser de varredura em um voo com aeronaves, e LiDAR terrestre, pela montagem de um scanner portátil em um tripé ou um veículo automotor. O LiDAR é frequentemente usado para gerar modelos de elevação digital ou de superfície. O processo de levantamento cria um produto 2.5D em que a verdadeira natureza 3D dos dados é negligenciada para facilitar o processamento (KREYLOS; BAWDEN; KELLOGG, 2008).

Outra forma de obtenção de nuvens de pontos através da Fotogrametria é pelo processo fotogramétrico. É possível realizar a reconstrução tridimensional utilizando um conjunto de imagens bidimensionais. Por meio de pares de fotografias simultâneas, com cobertura longitudinal maior que 60%, é possível obter visão tridimensional do espaço, principalmente com o advento de algoritmos como o SFM (Structure From Motion).

Uma vantagem que pode ser citada deste processo em relação ao LiDAR é o custo, visto que sua obtenção é menos onerosa, contudo, uma desvantagem é que o processo convencional

é dependente de um sensor passivo, logo não é possível coleta de dados em ambientes escuros ou com chuva.

Mesmo com todo esse avanço os processos fotogramétricos ainda têm custos elevados, devido a necessidade sistemas computacionais mais potentes, softwares mais robustos, que na maioria das vezes são pagos e isso acaba elevando os custos no geral. Os arquivos .Las/.Laz, são arquivos de dados muito grande e isso dificulta o processamento e manipulação desses dados, exigindo uma máquina mais robusta e potente, e isso são custos muita das vezes altos, levando em consideração que a maioria dos softwares utilizados na Fotogrametria são pagos. Segundo Calle et al. (2011, p.135), a exibição de nuvens de pontos ainda era um problema pendente de software livre. O problema gerado pelo tamanho do conjunto de dados torna o gerenciamento muito complexo, dificultando a sua manipulação.

Devido à grande necessidade em processar, manipular e visualizar arquivos de nuvens de pontos 3D, começaram a surgir softwares e ferramentas computacionais de código livre a fim de atender a comunidade de usuários de softwares e soluções fotogramétricas que não dispõe de recursos financeiros para aquisição dos softwares fotogramétricos ou que preferem utilizar ferramentas passíveis de serem customizadas. Dentre estas, destaca-se o Potree que é um renderizador de nuvens de pontos baseado em WebGL financiado por empresas, instituições e um conjunto de projetos de pesquisa, tendo um dos formatos aceitos os arquivos .las/laz.

O formato LAS (LASer) é um formato de arquivo projetado para o intercâmbio e arquivamento de dados de nuvem de pontos lidar. É um formato binário aberto especificado pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS). Um arquivo LAS é basicamente o formato de arquivo usado para armazenar dados de nuvem de pontos. Ele contém informações sobre cada ponto coletado, incluindo as coordenadas X, Y e Z, a classificação do ponto e a projeção.

O formato LAS inclui todos os dados de altimetria de uma cena, mas esses arquivos têm, por padrão, um tamanho grande, o que torna difícil sua manipulação. É por isso que as nuvens de pontos são frequentemente compartilhadas no formato de arquivo LAZ - uma versão compactada do arquivo LAS.

Após o término do trabalho, a ideia é possibilitar aos usuários a capacidade de visualizar esses dados de nuvem de pontos 3D por meio de um navegador da web e possivelmente com a capacidade de realizar medições e classificá-los.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desse trabalho foi manipular e visualizar nuvens de pontos 3D no formato .las/.laz em uma plataforma web.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- Processar um conjunto de imagens oriundas de um voo aerofotogramétrico de uma região mineradora.
- Obter a nuvem de pontos classificada oriunda deste processamento e utilizar esse arquivo em outros softwares livres ou plataformas computacionais “open source”.
- Estudar as plataformas de processamento e manipulação de arquivos de nuvens de pontos para visualização, classificação e extração de feições;
- Medir, classificar, visualizar, extrair áreas de interesse, utilizando a web, a fim de obter dados e informações que possam ser aplicadas em projetos de Fotogrametria.
- Comparação entre o potree e o global mapper, para validar se o potree pode ou não ser aplicado na Fotogrametria.

3 JUSTIFICATIVA

Anos atrás, a visualização de nuvem de pontos era muito limitada a soluções baseadas em desktop, mas após a introdução do WebGL, vários renderizadores da Web se tornaram disponíveis. Apesar da disponibilidade de várias soluções de processamento fotogramétrico, o custo e o desempenho associados a cada solução pode ser um fator decisivo em relação ao custo do software comercial. Em contraste, as soluções de código aberto são gratuitas e podem ser uma solução viável para vários usuários (GUIMARÃES et al., 2020). Esse trabalho mostrou a viabilidade da utilização de plataformas de código aberto gratuitas, para manipulação, medição e classificação de arquivos de dados .las/.laz, afim de utilizar esses dados em outros trabalhos.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Fotogrametria

Existem duas organizações que são referências quando o assunto é a Fotogrametria: entre elas estão a Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS) e a Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS), ambas estão contribuindo para o avanço da Fotogrametria e Sensoriamento Remoto internacionalmente.

A Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia voltada à extração de informações tridimensionais confiáveis, tanto geométricas quanto temáticas, frequentemente considerando também a dimensão temporal, de objetos e cenas, a partir de dados de imagem e de distância (ISPRS, 2016, p. 2-2).

“A Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ASPRS), defini Fotogrametria como a "arte, ciência e tecnologia de aquisição confiável de informações sobre objetos físicos e o meio ambiente, através de procedimento de registro, medição e interpretação de imagens e demonstrações digitais de padrões de energia provenientes de sistema de sensor sem contato.” De acordo com essa definição, Fotogrametria compreende a obtenção de imagens convencionais de sistemas fotográficos, tal como de sensores que empregam outros fragmentos do espectro de energia (ASPRS, 1989, p. 979).

A expressão Fotogrametria deriva do vocabulário grego photos, que quer dizer luz, gramma, que significa alguma coisa desenhado ou escrito e metron, que tem significado "medir". Sendo assim, Fotogrametria, conforme as suas origens, significaria "mensurar graficamente usando luz" (TOMMASELLI, 2009).

Ainda segundo Tommaselli (2009), a Fotogrametria consiste em uma técnica aplicada em diferentes situações e áreas do conhecimento apresentando uma série de vantagens acerca dos processos diretos de mensuração, tanto relacionado ao mapeamento quanto para outras aplicações. Como características e vantagens da coleta de dados por Fotogrametria tem-se que:

- A coleta dos dados é rápida;
- As fotografias armazenam grandes quantidades de informações geométricas e semânticas;
- As fotografias são documentos legais relativos à época que foi feita;
- Podem ser mensurados os deslocamentos e deformações;
- Fotografias conseguem ser mensuradas a qualquer instante que se desejar, sendo capaz de se repetir várias vezes a medida;
- A precisão pode ser ampliada conforme as necessidades específicas de cada projeto.

Como destaca Reiss (2008), uma das tecnologias altamente perdurável para a mensuração de objetos com finalidade de mapeamento é a Fotogrametria. Ela vantajosa para obtenção de tamanhos tridimensionais de objetos por intermédio do uso de fotografias feitas destes objetos, e já tem uma história como ferramenta para levantamentos com finalidade de mapeamento. Nesse contexto a perspectiva do autor salienta que a imensa vantagem é a

viabilidade da mensuração de qualquer feição da fotografia a qualquer instante sem a obrigação de voltar ao local do levantamento, o que com outra técnica é inviável.

4.1.1 Fotogrametria aérea

De acordo com Tommaselli (2009), a Fotogrametria aérea é uma subdivisão da Fotogrametria, no qual as fotografias/imagens são realizadas no terreno e são elaboradas por uma câmera de alta precisão agregada a uma aeronave.

Figura 1 – Nadar obtendo fotografia de um balão.



Fonte: (BURTCH, 2000).

Com o surgimento da fotografia e a competência de fazer demonstrações ao ar, logo percebeu-se que existia utilidade militar para essa tecnologia. Nadar (Gaspard Felix Tournachon) em 1855, utilizou um balão a 80 metros afim de obter a primeira fotografia aérea. O imperador Napoleão em 1859 determinou que Nadir adquirisse uma fotografia de observação da área em preparação para a Batalha de Solferino (BURTCH, 2000).

As primeiras iniciativas para se obter uma fotografia aérea aconteceram logo depois do final da Primeira Guerra Mundial, no qual, a fotografia aérea e as habilidades fotogramétricas foram consideravelmente aperfeiçoadas por razões militares, e esse entendimento, estabelecido com todas as imagens a disposição, passou a ser empregado para diversos fins científicos (NIKOLAKOPOULOS, et al. 2016, p.758).

Segundo Tommaselli (2009), a invenção do avião concedeu uma enorme evolução na Fotogrametria, que até aquele momento era praticamente limitada à Fotogrametria terrestre. O avião foi utilizado pela primeira vez em 1913. Entre a época das duas Guerras Mundiais, a

Fotogrametria aérea se transformou em uma tecnologia amplamente empregada para a construção de mapas. Nesse período surgiram alguns métodos que são utilizados até os dias de hoje, tal como as técnicas de aerotriangulação e orientação relativa e absoluta.

A Aerofotogrametria já é há várias décadas uma parte imprescindível na construção cartográfica. Reservando as plantas de largas escalas de zonas de dimensões pequenas, para tal não seria benéfico um levantamento fotogramétrico, buscando assim o topográfico, nos dias de hoje o levantamento fotogramétrico está na base de qualquer carta topográfica (REDWEIK, 2007, p. 2-36).

A concretização da fotografia aérea como elemento essencial para o mapeamento foi citada por Santos [s.d], como a criação da ciência chamada Aerofotogrametria e uma de suas maiores evoluções sucedeu-se entre os períodos das Guerras Mundiais com o seu uso contínuo para fins militares. Com o final das guerras e conflitos e surgimentos de novos métodos e processos, a fotografia aérea se tornou algo inestimável para o empreendedorismo, pesquisa e planejamento, e um ponto a se ressaltar que é utilizado como matéria prima para o trabalho do cartógrafo.

4.1.2 Fotogrametria terrestre

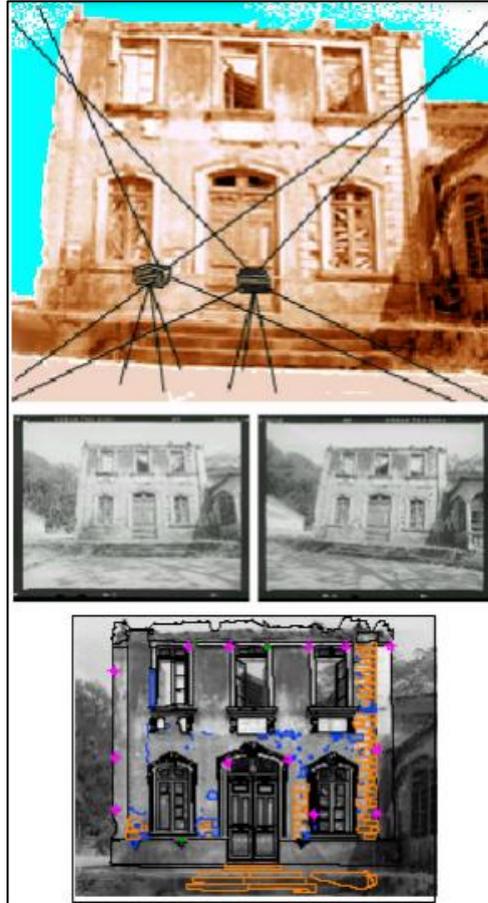
A prática fotogramétrica claramente só pôde se aperfeiçoar após a descoberta da fotografia. Em 1839 Louis Daguerre, declarou a invenção do processo fotográfico fundamentado em placas de metal com uma camada de iodeto de prata, impactado pela luz. O geodesta francês Arago demonstrou um ano após viabiliza o uso de fotografias em levantamentos topográficos (TOMMASELLI, 2009).

As primeiras experimentações para averiguação do uso da Fotogrametria em mapeamento topográfico foram conduzidas pelo coronel francês Aimé Laussedat, em 1849, que adquiriu fotografias a bordo de balões. Entendo os problemas então existentes para a aquisição de fotos aéreas, Laussedat focou todos os seus esforços no mapeamento utilizando Fotogrametria terrestre (TOMMASELLI, 2009).

No método terrestre, a obtenção de imagens fotogramétricas se dá por meio de câmeras não-métricas montadas em tripés bem fixados ou fototeodolitos. O emprego da câmara métrica nesta situação, destina-se a uma maior rigidez nas coordenadas de câmara, além de analisar com seus parâmetros já determinados em um certificado de calibração. No entanto, dado a realidade que, em quase todas as ocorrências, os levantamentos terrestres são executados saindo de estações estáticas (em relação à Terra), os impactos nocivos do deslocamento da plataforma em

que se instala a câmara são inteiramente eliminados. Desse modo, o manuseio de câmaras não-métricas passou a ganhar enorme relevância, visto que estas são muito mais baratas e práticas (BRITO e COELHO, 2007).

Figura 2 – Tomada de um par estereoscópico de um monumento (Solar da Imperatriz) e produto final – restituição digital sobre ortoimagem



Fonte: (Prado et al 1999, Abud FAED).

A Fotogrametria terrestre está presente em diversos trabalhos, entre eles, análises estruturais, amostragem de mina subterrânea, cadastro técnico multifinalitário, reconstrução digital de patrimônio arquitetônico, e também aplicações na área industrial, como visto em trabalhos científicos (ASSIS, 2011, FERNANDES, 2010, PALERMO *et al.*, 2013).

Um das técnicas de Fotogrametria terrestre são os Sistemas Móveis de Mapeamento (SMM). Segundo Gallis (2002), apud Gallis et al.,(2018), os Sistemas Móveis de Mapeamento retratam uma estrutura metodológica de levantamento de dados que engloba sensores de posicionamento e imageamento, possibilitando o mapeamento pormenorizado da realidade. Com o crescimento da concepção de cidades modernas no quesito sustentabilidade, o SMM aparece como instrumento ideal por meio do levantamento fotogramétrico terrestre para ceder o suporte indispensável para uma perspectiva inteira do setor de vias e todos seus itens, o que

conduz uma variedade de aplicações para gestores públicos no manuseio, monitoramento e desenvolvimento de bases cartográficas.

Figura 3 – Configuração das câmeras Figura 4 – Sistema de Mapeamento utilizado



Fonte: (GALLIS, BARBOSA E CUNHA, 2018).

4.1.3 Fotogrametria espacial ou extraterrestre

A Fotogrametria Espacial ou extraterrestre assimila todos os eventos de fotografias ou imagens extraterrestres e as medições posteriores, em que a câmera estiver presente na terra, na lua, num satélite artificial ou em um planeta (TOMMASELLI, 2009).

A fotografia extraterrestre engloba todos os pontos, no qual a câmera é fixada na terra ou integrada em um satélite artificial ou estabelecida na Lua ou nos planetas. A interpretação de fotos muitas das vezes é aplicada à Fotogrametria, em que as fotografias Aéreas e Terrestre são empregadas para avaliação, examinar, classificar e compreender as imagens através da interpretação de objetos que podem ser vistos nas fotografias. Assim sendo, a Fotogrametria pode ser classificada como uma combinação de medidas e interpretação (BARUAH, 2019).

A Fotogrametria Extraterrestre ainda é muito nova em comparação as outras técnicas utilizadas. Segundo Luccio (2014), na terra, os fotogrametristas conseguem normalmente usar objetos produzidos pelo homem em sua moldura – exemplo disso é a largura da estrada que é conhecida ou até um meio-fio de altura conhecida - como escalas. Quando não tem nenhum

item existente, é capaz de inserir a alguma métrica conforme necessário, um exemplo é colocar pequenos alvos que serão evidentes em suas imagens. Levando em consideração outros planetas do nosso sistema solar, contudo, esses objetos humanos (ainda) não estão a disposição para fotogrametristas – sequer são capazes de mover câmeras facilmente para conceber muitas imagens do mesmo local de ângulos diferentes do ponto que está fixado.

Figura 5 – Curiosity NASA



Fonte: xyHT Magazine (2014).

4.2 Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)

Os veículos Aéreos Não tripulados (VANT), são aeronaves pequenas, são capacitadas para executar diversas tarefas, sem o contato físico direto, entre as tarefas que podem ser efetuadas estão monitoramento, reconhecimento tático, mapeamento e vigilância, entre outros. Os Vant's eles têm algumas restrições em termo de carga suportada a bordo e em questões climáticas. Se forem incorporados equipamentos de transmissão de dados, eles são capazes de transmitir essas informações recolhidas em tempo real (MEDEIROS, 2007).

De acordo com Nascimento (2020), quanto a definição de ARP, é um veículo aéreo que não há tripulante, sendo controlado a distância, saindo de uma estação remota de pilotagem para a realização de estabelecida tarefa ou operação. Tratando-se de uma classe de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT).

Existem várias normas que regulamenta o uso de ARP no Brasil, entre elas estão a ANAC e o exército brasileiro.

Para o mapeamento de detalhe, costuma-se empregar imagens aéreas obtidas por intermédio de monomotores e helicópteros, mas por, todavia esta aquisição retrata um alto custo para os estudos acadêmicos ou empreendimentos de pequeno porte. Diante disso, o mercado do sensoriamento remoto em geral vem se aprimorando cada vez mais na utilização de ARP, popularmente conhecida como drone. Esta recente tecnologia possibilita, dentre outras vantagens, um sobrevoo abaixo das nuvens e obter imagens aéreas com maior descrição da área, baixo custo de operação e alta produtividade (MENEZES et al., 2018).

4.3 Sistema LIDAR e nuvem de pontos

A tecnologia LIDAR tem por objetivo a mensuração de uma superfície mediante a luz com base na emissão de pulsos laser. A mensuração é alcançada pelo tempo de irradiação do pulso laser até o alvo e o tempo de retorno para o sistema. Por meio da velocidade da luz, o tempo registrado é convertido em distância, no momento em que é relacionado às informações de posicionamento (GPS/INERCIAL) adquirindo as coordenadas 3D. A tecnologia LIDAR pode ser utilizada em plataformas de dois tipos, o móvel e o fixo, conforme o objetivo do mapeamento (MACIEL, 2011).

O LIDAR segundo o INPE (2021) é um sensor remoto ativo a bordo de plataformas (tripuladas ou não tripuladas) e um procedimento direto de tomada de dados, sendo ele a sua própria fonte de energia, nesta situação, uma fonte de luz, que é o laser. O LIDAR emite através dele feixes de laser na banda do infravermelho próximo (IV) e chega a ser capaz de modelar a superfície do terreno tridimensionalmente.

O LIDAR possibilita produzir produtos, tal como, o Modelo Digital de Terreno e o Modelo Digital de Superfície que caracteriza o terreno e a superfície (casas, árvores, etc.) (INPE, 2021).

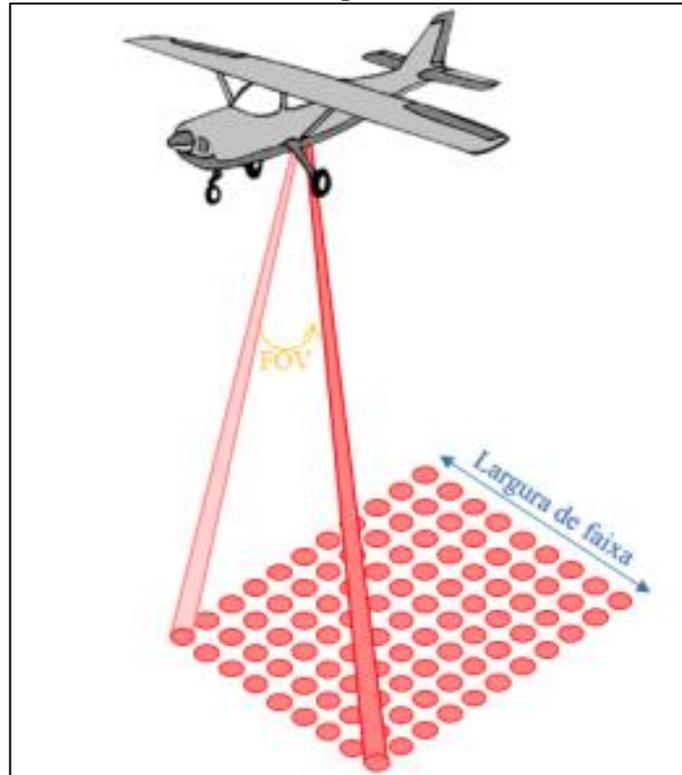
O INPE (2021), menciona que a técnica LIDAR é empregada especialmente para levantamentos topográficos, para detalhar a estrutura da vegetação, assim como a volumetria de edificações e ambientes urbanos de modo respectivamente mais rápido e confiável.

O Lidar transformou-se em um sistema bastante utilizado pela comunidade de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria, por ser uma fonte segura e confiável de coleta de dados. O processamento dos dados brutos adquiridos pelo sensor procede em uma nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais conhecidas, graças à integração de sistemas auxiliares,

como o Global Navigation Satellite System (GNSS); Inertial Navigation System (INS) e a unidade de gravação, encarregado por guardar as informações adquiridas (BARBOSA, 2017, P.16).

A Figura 6 mostra quando o sistema de visada do Laser é pequeno, e com isso são necessárias várias linhas de voo, de modo a cobrir toda a região de importância.

Figura 6 - Coleta da nuvem de pontos com sistema de varredura



Fonte: Barbosa (2017).

4.4 Visualizador e renderizador de nuvem de pontos 3D Open Source

O Potree utiliza uma estrutura de dados octree multi-resolução para lidar com enormes conjuntos de dados (Martinez-Rubi et al, 2015).

O Potree é um renderizador de nuvem de pontos baseado na web que permite a visualização de bilhões de pontos. Simplifica a disseminação dos dados da nuvem de pontos, uma vez que são apresentados em uma página web, sem exigir a existência de software adicional. O Potree necessita da tecnologia WebGL, que é uma API JavaScript compatível com HTML5. O WebGL é uma variante do OpenGL, mas é moldado para navegadores da Web, autorizando que os recursos de renderização da Unidade de Processamento Gráfico (GPU) sejam aplicados às páginas da Web. O Potree também necessita da biblioteca three.js, cujo escopo é modificar gráficos de cena e desenhar chamadas (GUIMARÃES et al., 2020).

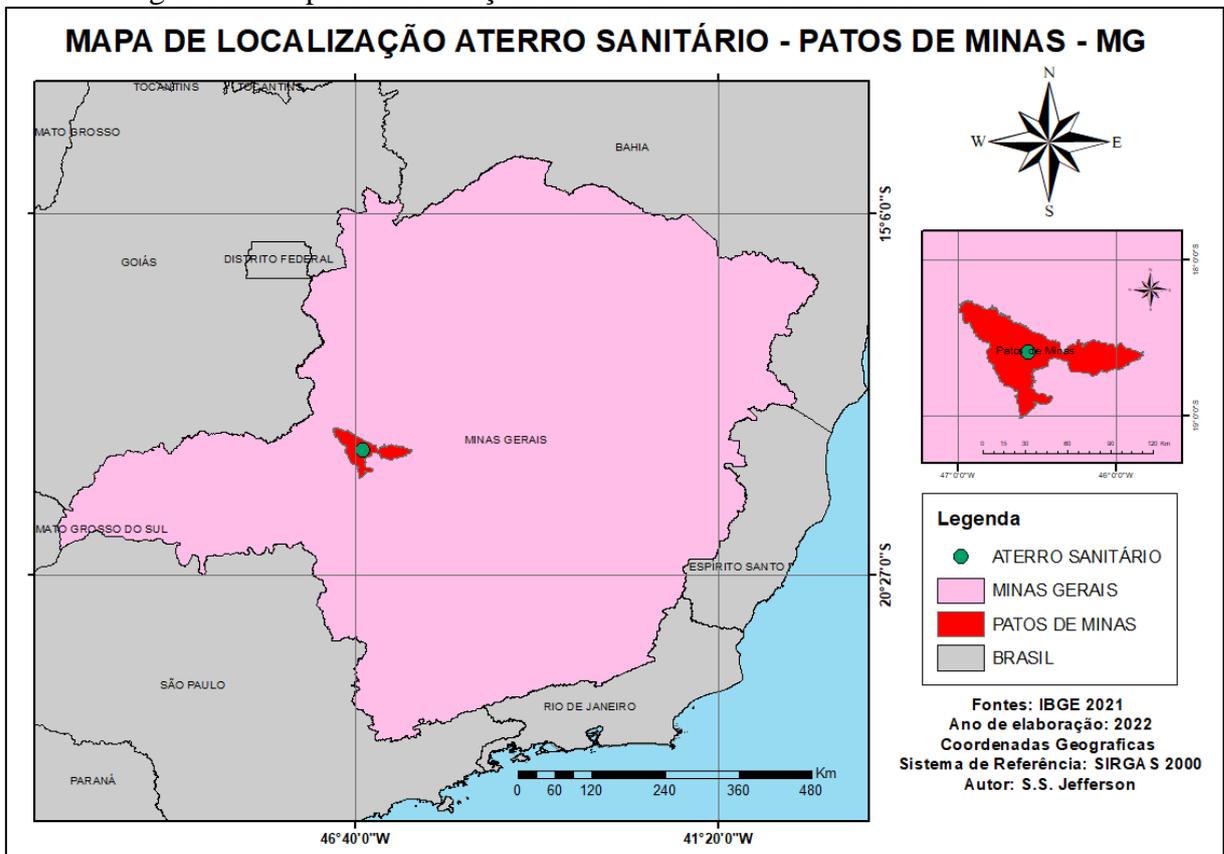
5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Localização da área de estudo

A área de estudo para a execução do levantamento com a ARP e o posterior pós-processamento dos dados para obtenção da nuvem de pontos está localizada no Aterro Sanitário, no município de Patos de Minas - MG e compreende uma região próxima a área urbana da cidade.

O aterro sanitário apresenta uma área de 40 hectares, distando 430 km de Belo Horizonte, capital do estado, e está inserido no bioma cerrado e na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba. Situa-se na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba no estado de Minas Gerais. De acordo com o IBGE (2021), o município de Patos de Minas apresenta uma população de 154.641 habitantes e densidade demográfica de 43,49hab/km².

Figura 7 – Mapa de localização do aterro sanitário de Patos de Minas - MG.



Fonte: O autor (2022).

Ressalta-se ainda que o levantamento foi realizado para fins de testes de visualização da nuvem de pontos densificada e aplicação no respectivo trabalho.

5.2 MATERIAIS

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes materiais para as etapas de aquisição, processamento e análise dos dados:

5.2.1 Phantom 4 Pro v2

De acordo com o site da fabricante DJI (2022), o dispositivo tem uma câmera de 20 megapixels com sensor de 1 polegada e obturador mecânico, então é capaz de gravar vídeos em formato 4K a 60 quadros por segundo. O sistema Flight Autonomy equipado no aparelho evita choques frontais com obstáculos. A fabricante assegura um voo estável pela junção do sistema duplo de orientação por satélite (GPS e GLONASS) e dispositivos ultrassônicos. Na prática, isso significa que o Phantom 4 Pro v2 também pode voar e pairar com precisão em lugares fechados e sem acesso a orientação satélite, mesmo em situações complexas agravadas por barreiras (Figura 8).

Figura 8 - *Phantom 4 pro V2*



Fonte: Autor (2022)

5.2.2 GNSS RTK Hi-Target V60

De acordo com o site oficial da Geomat (2022), o GNSS RTK Hi-Target V60 é um sistema de design compacto e de maior desempenho, além de ser mais resistente a impactos e vibrações. O V60 possui tela industrial OLED no painel de controle do receptor, sendo assim capaz de mostrar todas as informações e status do trabalho sendo executado. É um Gns de multi-constelações, capaz de rastrear GPS + Glonass, Beidou e Galileo, com frequências GPS L1/Ca, L2E, L2C + L5 | Glonass L1/Ca, L1P, L2 C/A (Glonass M) L2P SBAS L1/Ca e L5 | Galileo L1 BOC, E5A, E5B, E5AltBOC DBS/ Compass B1, B22 | QZSS L1 C/A, L1 SAIF, L2C, L5. Permite gravação de dados RTK e estático ao mesmo tempo, e sua precisão no pós-processado é: horizontal: 2,5mm + 0,5ppm RMS e Vertical: 5mm + 0,5ppm RMS, já no RTK: horizontal: 8mm + 1ppm RMS e Vertical: 15mm + 1ppm RMS.

Figura 9 – Gns RTK Hi-Target V60



Fonte: Autor (2022).

5.2.3 Software *Agisoft Metashape*

Foi utilizado o software *Agisoft Metashape* para o processamento das imagens obtidas com o Phantom 4 Pro V2, por ser um software mais robusto e bastante utilizado dentro da

Fotogrametria, tendo sua principal função realizar processamento fotogramétrico de imagens digitais, afim de se obter dados espaciais 3D para serem utilizados em aplicações correlacionadas a Fotogrametria.

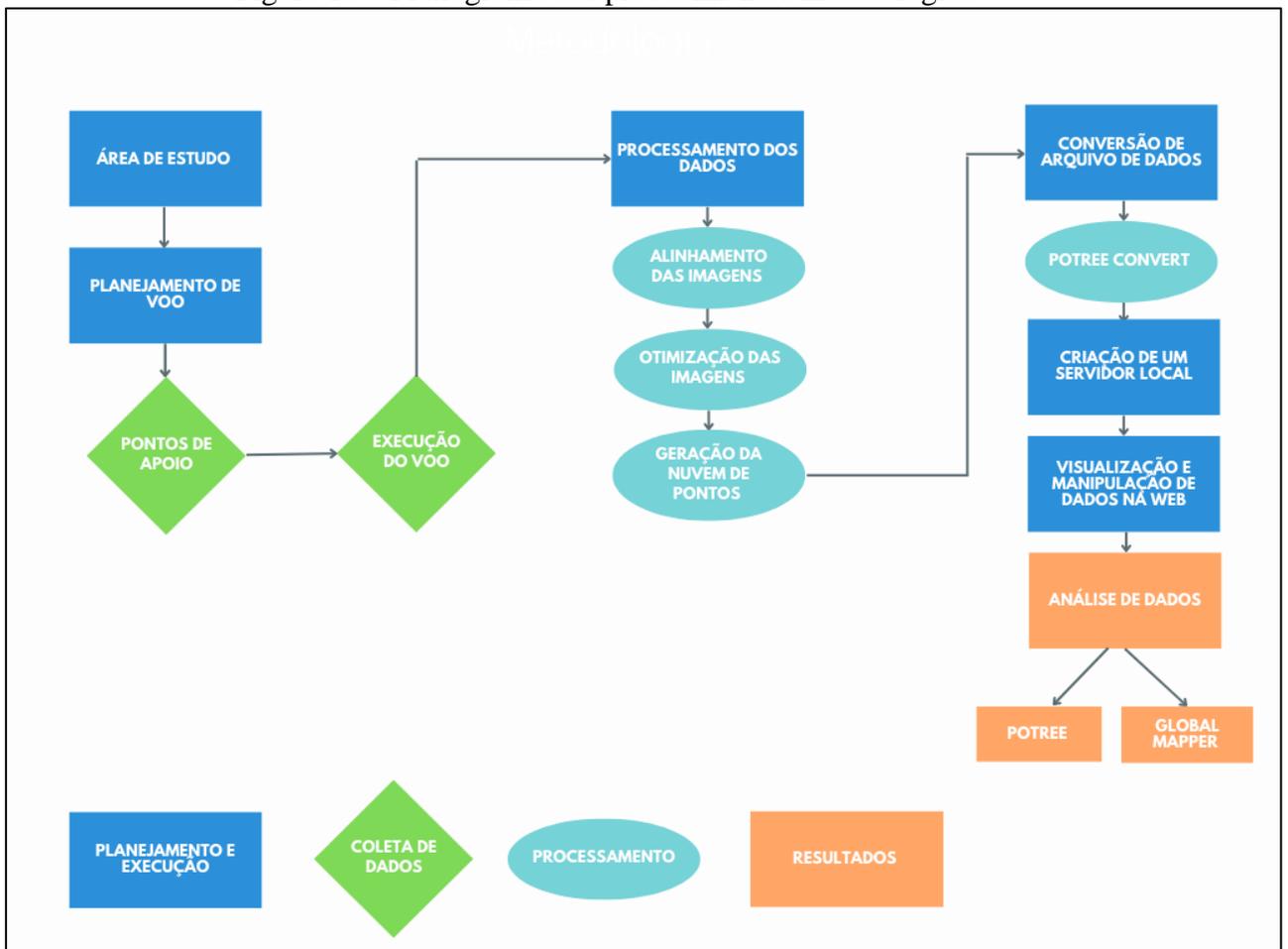
5.2.4 Software Open Source

O software de código aberto utilizado é o *Potree*, um renderizador de nuvens de pontos baseado em WebGL, financiado por empresas, instituições e um conjunto de projetos de pesquisa. Uma das extensões aceitas no *Potree* é o *.las/.laz*, que será o tipo de arquivo de dados utilizado nesse trabalho.

5.3 Metodologia

Para efetuar as etapas do presente trabalho foram necessários o uso de equipamentos e programas computacionais para ser concretizadas as etapas de aquisição, processamento e análise dos dados. Na Figura 10 foi representado o fluxograma de atividades, sendo divididos em planejamento e execução, coleta de dados, processamento e resultados.

Figura 10 – Fluxograma dos procedimentos metodológico



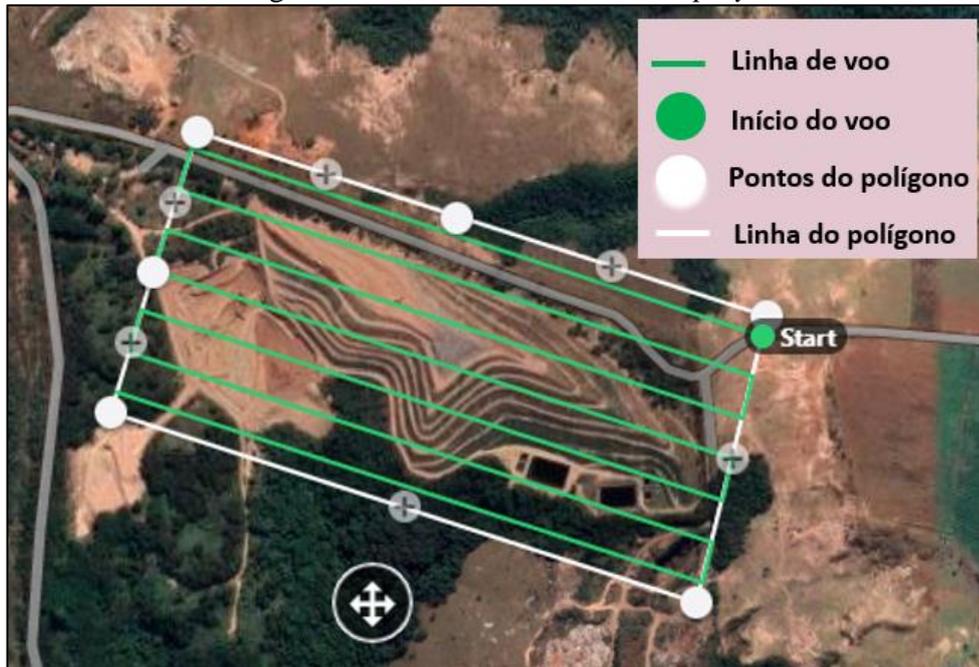
Fonte: O autor (2022).

5.3.1 Planejamento de voo

Antes de realizar o voo é de extrema importância fazer um planejamento, reconhecer a área onde será realizado o trabalho, tem situações que se descobrem e podem ser evitadas fazendo um simples planejamento. O planejamento em campo é tão importante que não sendo bem feito pode prejudicar desde do plano de voo ao processamento, porque é em campo que ver a real situação e planejamento dos pontos de apoio. Vale ressaltar que durante o planejamento foi considerado a existência de urubus e gaviões na área, por se tratar de uma região de aterro sanitário, pensando nisso o planejamento foi pensado em evitar colisões com as aves presentes na área, sendo assim foi realizado o voo ao meio dia, horário que eles estão mais calmos, devido a ser um horário com menos movimentação na questão de chegada de lixo que vem dos caminhões vindos da cidade.

Após esse processo, o plano de voo foi realizado pelo *DroneDeploy*, utilizando uma altura de voo de 100 m, sobreposição longitudinal de 75% e lateral de 65%, com essas configurações foi realizado o voo. Na Figura 11 abaixo é mostrado a faixas de voo que foi realizado esse trabalho.

Figura 11 – Plano de voo *DroneDeploy*



Fonte: autor (2022).

5.3.2 Pontos de apoio

Na fotogrametria um dos fatores fundamentais para se ter dados de qualidade é implementando pontos de apoio mensurados em campo, afim de apoiar esses pontos nas fotografias, gerando um dado mais preciso. Neste estudo foram colocados 14 pontos de apoio

para fazer a amarração das imagens, sendo distribuídos eles de forma que abrangesse bem a área, diminuindo os erros e aumentando a confiabilidade posicional do trabalho, como mostra a Figura 12 abaixo.

Figura 12 – Ponto de apoio em campo



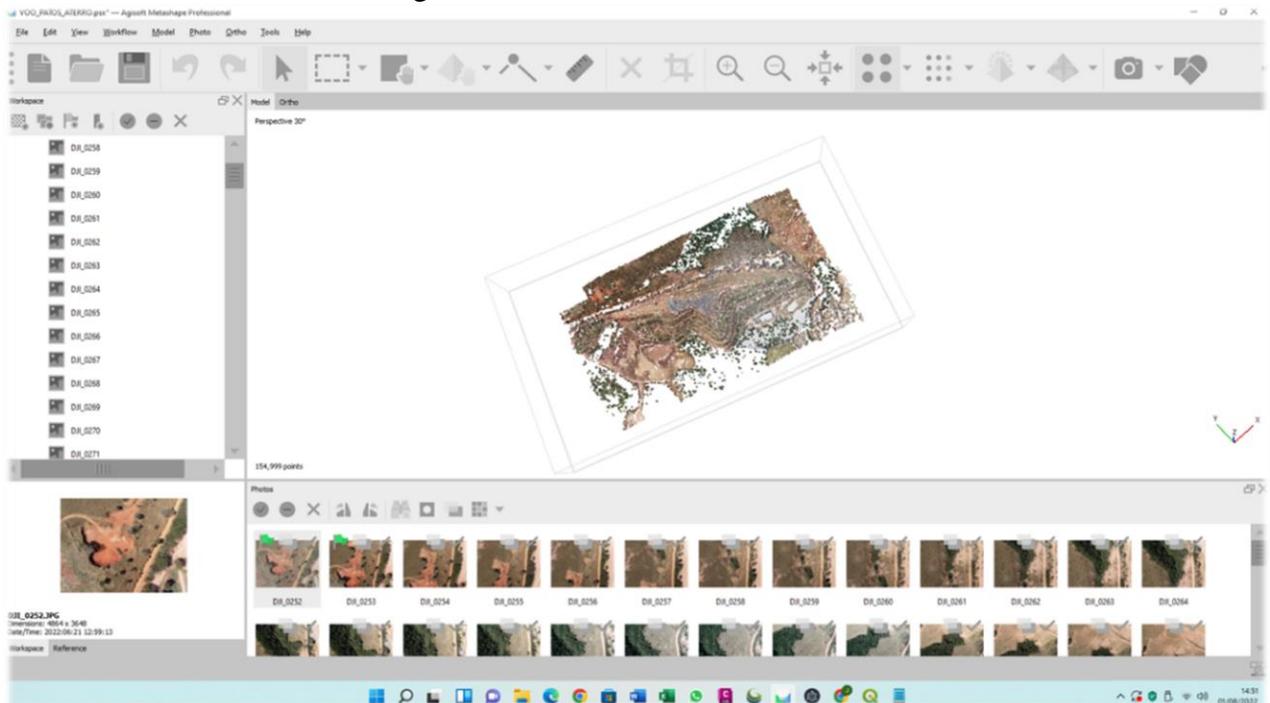
Fonte: Autor (2022)

Os pontos de apoio foram coletados utilizando um receptor GNSS RTK V60 da Hi Target, conseqüentemente obtendo coordenadas UTM dos pontos, no local tem um marco geodésico homologado pelo IBGE (coordenada conhecida), sendo esse utilizado como ponto da base para iniciar o levantamento dos pontos de apoio.

5.3.3 Processamento dos dados

Por meio das imagens adquiridas no voo, realizou-se o processamento das imagens utilizando as ferramentas do software *Agisoft Metashape*. Primeiramente foram inseridas as imagens e posteriormente alinhadas, utilizando a ferramenta de alinhar as fotos, tudo processado na qualidade máxima como mostra a Figura 13.

Figura 13 - Alinhamento das fotos



Fonte: Autor (2022)

Após o alinhamento das fotos foi feito a densificação da nuvem de pontos utilizando a ferramenta 'Build Dense Cloud', essa foi gerada em qualidade baixa, só pra ver se existiam falhas, posteriormente foi realizado o georreferenciamento das imagens e correção dos pontos na imagem, para assim gerar novamente a nuvem de pontos na qualidade máxima, sendo essa utilizada para continuação do trabalho.

5.3.4 Conversão de arquivos de dados

Com a nuvem de pontos 3D obtida na etapa anterior, que está em formato de .las, sendo um arquivo muito grande, a principal problemática é em relação a necessidade de um computador mais potente para manipular esse tipo dado. Devido a esse problema que se utiliza o Potree, através do Potree convert é possível converter o arquivos .las/.Laz para um arquivo bin, java e um arquivo html, sendo esse arquivo utilizado para deixar a nuvem de pontos na web, através de um servidor local, os arquivos de formato .las fica em ambiente virtual, tudo em nuvem. Para inserção em plataforma web foi utilizado o Potree converter, sendo ele o responsável por transformar a nuvem de pontos no formato .las para um arquivo HTML WebGL

otimizado, sendo possível a visualização e manipulação. Na Figura 14 mostra o processo de conversão via prompt de comando.

Figura 14 – Processo de conversão da nuvem de pontos .las no prompt com o Potree convert

```

Administrador: Prompt de Comando
27
=====
cubicAABB: {
  "min": [233627.770000, 7927607.466000, 866.318000],
  "max": [234036.348000, 7928016.044000, 1274.896000],
  "size": [408.578000, 408.578000, 408.578000]
}
#points: 300'333'156
total file size: 7.3 GB
target directory: 'C:\xampp\htdocs\potree\pointclouds\NUVEM_TCC'
maxPointsPerChunk: 1000000
=====
=== COUNTING
=====
tStartTaskAssembly: 0.001080s
[0%, 4s], [: 0%, duration: 0s, throughput: -na'n(i'nd)MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 11%]
[0%, 5s], [COUNTING: 1%, duration: 2s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 17%]
[1%, 6s], [COUNTING: 2%, duration: 3s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 15%]
[1%, 7s], [COUNTING: 3%, duration: 4s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 19%]
[1%, 8s], [COUNTING: 4%, duration: 5s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 20%]
[1%, 9s], [COUNTING: 4%, duration: 6s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 18%]
[2%, 10s], [COUNTING: 6%, duration: 7s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 15%]
[2%, 11s], [COUNTING: 6%, duration: 8s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 13%]
[2%, 12s], [COUNTING: 7%, duration: 8s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 9%]
[2%, 13s], [COUNTING: 7%, duration: 10s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 17%]
[3%, 14s], [COUNTING: 8%, duration: 11s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 20%]
[3%, 15s], [COUNTING: 9%, duration: 12s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 16%]
[3%, 16s], [COUNTING: 10%, duration: 13s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 16%]
[4%, 17s], [COUNTING: 11%, duration: 14s, throughput: 2MPs][RAM: 0.2GB (highest 0.2GB), CPU: 19%]

```

Fonte: Autor (2022)

5.3.5 Criação de um servidor Local

A primeira etapa após converter a nuvem de pontos é criar um servidor html. Para isto, existem algumas formas de criação e devido as rígidas políticas de segurança dos navegadores, é preciso utilizar um servidor web local no PC, sendo o mais utilizado para visualização é o XAMPP, que contém o Apache Webserver. Nesse estudo foi utilizando o Python e o XAMPP para testar os dois modos, na Figura 15, mostra como é criado o servidor local com python e na Figura 16 como o XAMPP.

Figura 15 – Servidor local com Python

```

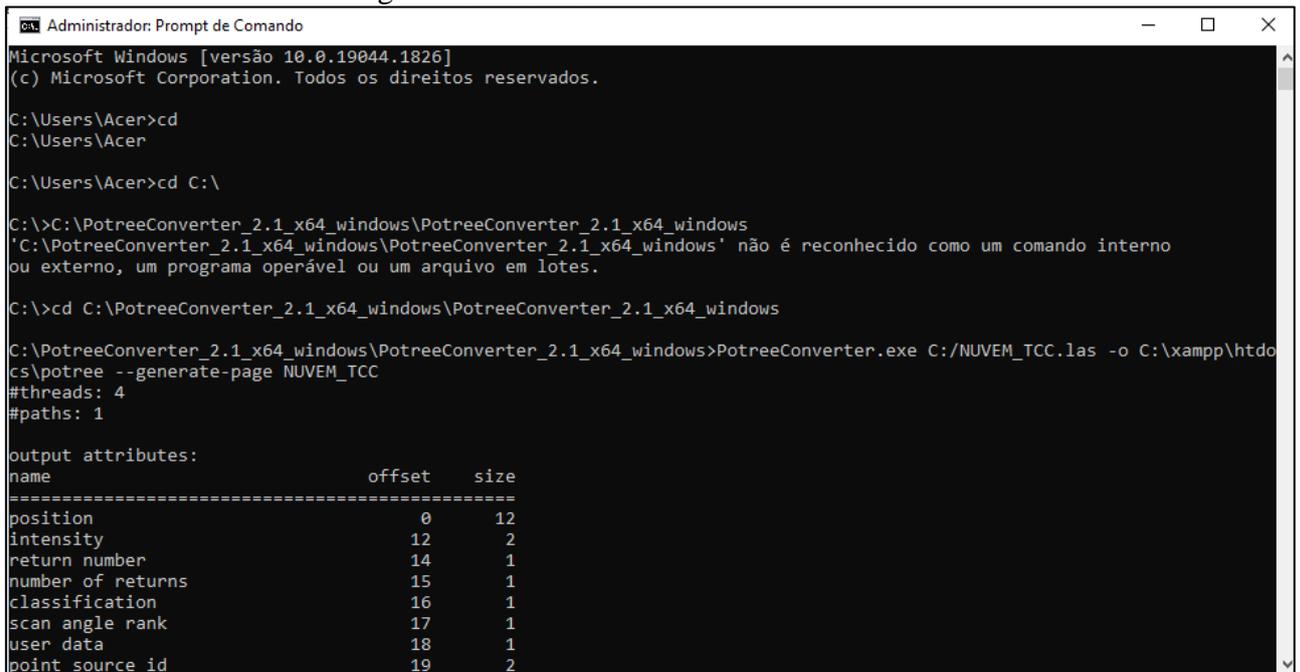
Administrador: Prompt de Comando - python -m http.server 7800
Microsoft Windows [versão 10.0.19044.1826]
(c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\Acer>cd C:\Users\Acer\Documents\Engenharia de Agrimensura e Cartografica\TCC\NUVEM_PONTOS
C:\Users\Acer\Documents\Engenharia de Agrimensura e Cartografica\TCC\NUVEM_PONTOS>python -m http.server 7800
Servindo HTTP on :: port 7800 (http://[::]:7800/) ...

```

Fonte: Autor (2022)

Figura 16 – Servidor local com XAMPP



```

Administrador: Prompt de Comando
Microsoft Windows [versão 10.0.19044.1826]
(c) Microsoft Corporation. Todos os direitos reservados.

C:\Users\Acer>cd
C:\Users\Acer

C:\Users\Acer>cd C:\

C:\>C:\PotreeConverter_2.1_x64_windows\PotreeConverter_2.1_x64_windows
'C:\PotreeConverter_2.1_x64_windows\PotreeConverter_2.1_x64_windows' não é reconhecido como um comando interno
ou externo, um programa operável ou um arquivo em lotes.

C:\>cd C:\PotreeConverter_2.1_x64_windows\PotreeConverter_2.1_x64_windows

C:\PotreeConverter_2.1_x64_windows\PotreeConverter_2.1_x64_windows>PotreeConverter.exe C:/NUVEM_TCC.las -o C:\xampp\htdocs\cs\potree --generate-page NUVEM_TCC
#threads: 4
#paths: 1

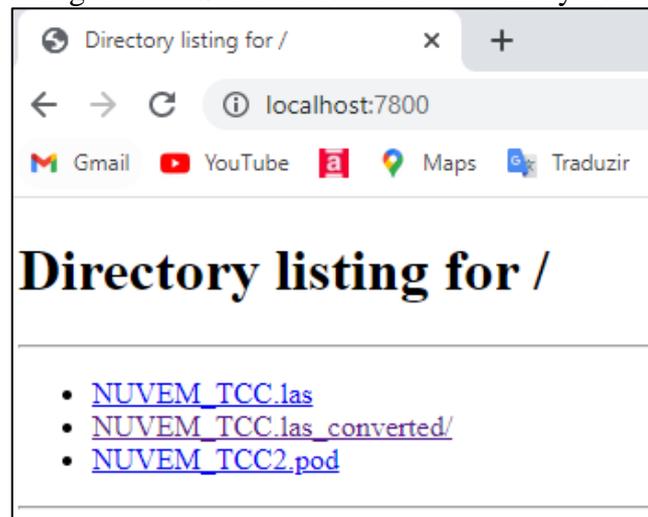
output attributes:
name                offset  size
=====
position            0       12
intensity           12        2
return number       14         1
number of returns   15         1
classification      16         1
scan angle rank     17         1
user data           18         1
point source id     19         2

```

Fonte: Autor (2022)

Antes de criar o servidor local, realizou-se a instalação do python 3, porque sem o python instalado não é possível realizar a criação do servidor local através do mesmo e, em seguida foi determinado o local, a pasta em específico que seria criada o servidor local para anexar os arquivos. Na Figura 17, mostra o resultado do servidor local criado.

Figura 17 – Servidor local criado com Python



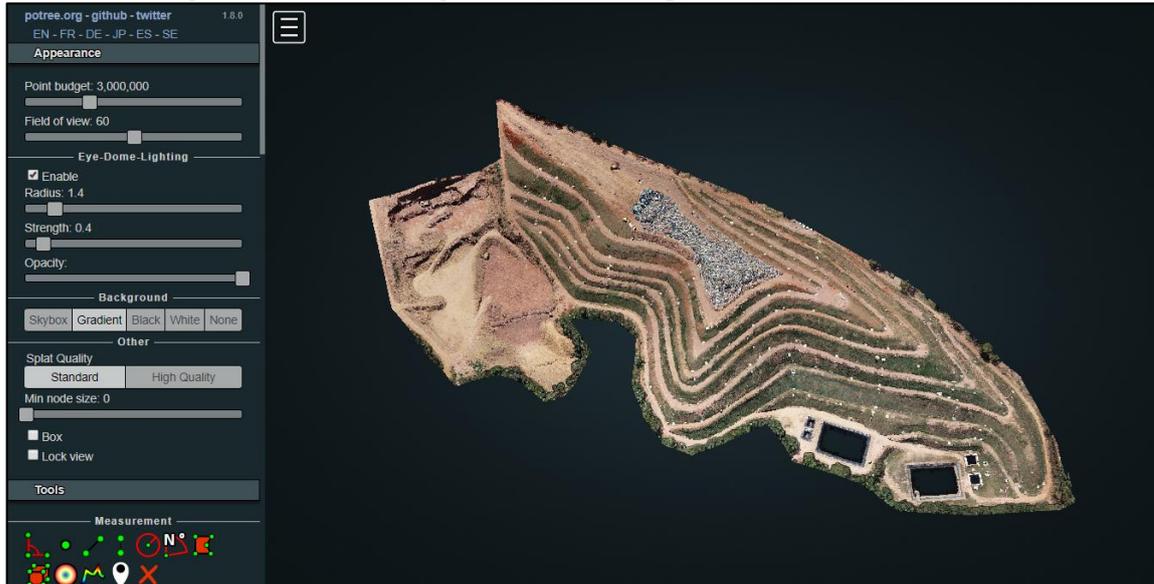
Fonte: Autor (2022).

5.3.6 Visualização e manipulação de dados na WEB

A etapa que seguirá é a de visualização, manipulação e extração de feições, utilizando o Potree, como descrito na etapa anterior, foi utilizado o Potree converter para transformar de arquivo de formato .las para HTML WebGL, mesmo assim só foi possível a sua visualização

após a criação do servidor local, com o servidor local criado foi possível a sua visualização e manipulação da nuvem de pontos, como mostra a Figura 18 abaixo.

Figura 18 – Visualização de nuvens de pontos utilizando o Potree



Fonte: O autor (2022).

Na etapa seguinte essas informações obtidas pelo Potree foram verificadas e analisadas, afim de se obter respostas sobre a qualidade dos elementos que serão analisados no trabalho.

5.3.7 Análise de dados

Nessa etapa final foi analisado o software Potree e as ferramentas de medidas, sendo assim verificado a empregabilidade na fotogrametria. Para a realização dessa análise, foi realizado um comparativo entre o Potree e Global Mapper, comparando as medidas e visualização da nuvem de pontos. Levando em consideração esses quesitos, foi possível comparar e validar se o Potree é um software que tem capacidade ou não de ser empregado em trabalhos de Fotogrametria.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Geração da nuvem 3D

No processo de geração da nuvem 3D, foram utilizadas 213 imagens, sendo essas processadas no máximo para obter a melhor qualidade possível para uma verificação mais completa, sendo assim não foram encontradas falhas ou falta de informação na nuvem densa, sendo ela totalmente processada dentro do Agisoft metashape, sendo gerados 489068.215 pontos, utilizando 3 bandas, levando cerca de 1 hora e 2 minutos para o processamento completo. O GSD gerado da nuvem densa foi de 3.32 cm/pix, sendo 906 pontos densificados

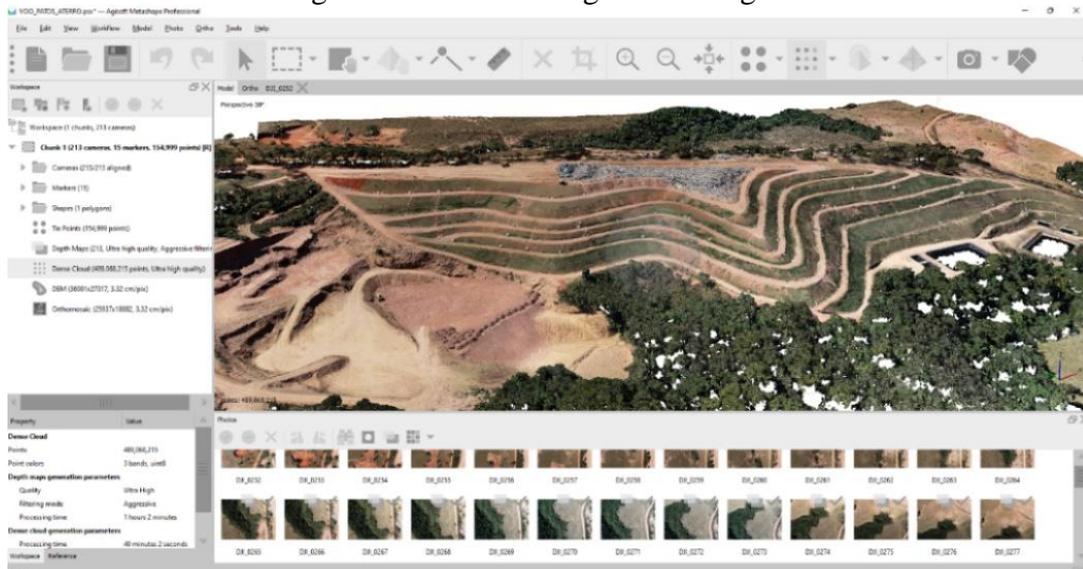
por metro quadrado. A qualidade posicional da nuvem foi alta, de acordo com o relatório do processamento. A Tabela 1, mostra os erros dos pontos de controle obtidos no processamento e na Figura 19 mostra como ficou a nuvem densa final, sendo essa a utilizada no trabalho.

Tabela 1 – Erro dos pontos de controle utilizados.

Label	X erro (mm)	Y erro (mm)	Z erro (mm)	Total (mm)	Imagem (pix)
Pt 10	1.31104	1.20585	0.969871	2.02819	0.387 (9)
Pt 11	-2.14288	-5.84171	-4.6306	7.75628	0.542 (12)
Pt 12	-5.43875	-3.43432	-11.8788	13.5085	0.784 (14)
Pt 13	-4.44083	-1.73989	-11.9519	12.8684	0.867 (14)
Pt 14	-2.9168	-5.05821	-7.90915	9.83097	0.576 (17)
Pt 15	4.79641	6.72147	-0.866939	8.30273	0.451 (21)
Pt 16	-0.343427	-2.7626	-3.07143	4.14531	0.398 (17)
Pt 17	-0.793824	-2.39315	3.82093	4.57786	0.573 (18)
Pt 18	-5.38308	2.55946	3.71864	7.02543	0.483 (22)
Pt 19	3.02686	-3.41243	4.34058	6.2966	0.639 (23)
Pt 20	0.626513	4.18925	4.74166	6.35812	0.512 (18)
Pt 21	3.40902	4.29167	-0.564651	5.50987	0.406 (16)
Pt 22	4.32946	2.73893	9.49128	10.7857	0.700 (23)
Pt 23	3.94123	2.81103	9.71016	10.85	0.695 (15)
Total	3.50819	3.81811	6.72691	8.49333	0.589

Fonte: O autor (2022).

Figura 19– Nuvem 3D gerada no Agisoft



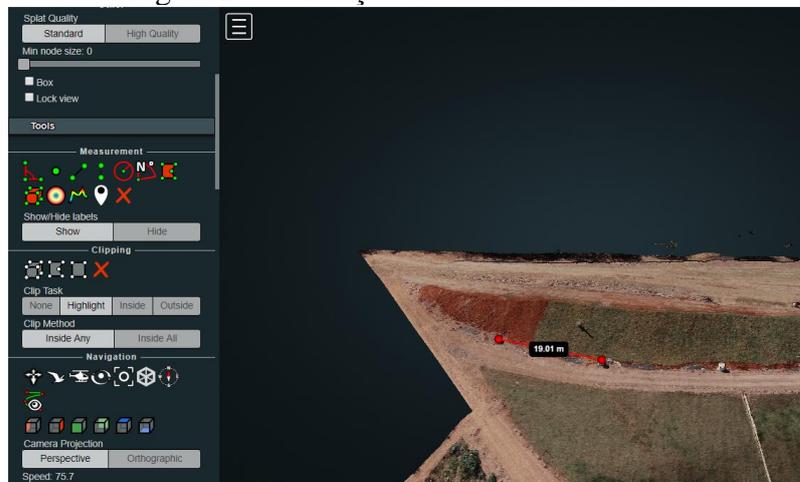
Fonte: O autor (2022).

Como pode-se ver na Tabela 01 e na Figura 19 acima é a qualidade da nuvem 3D e os pontos de controle utilizados, garantindo uma qualidade posicional e visual, sendo as mais importantes para aplicação nesse trabalho.

6.2 Mensuração da nuvem de pontos

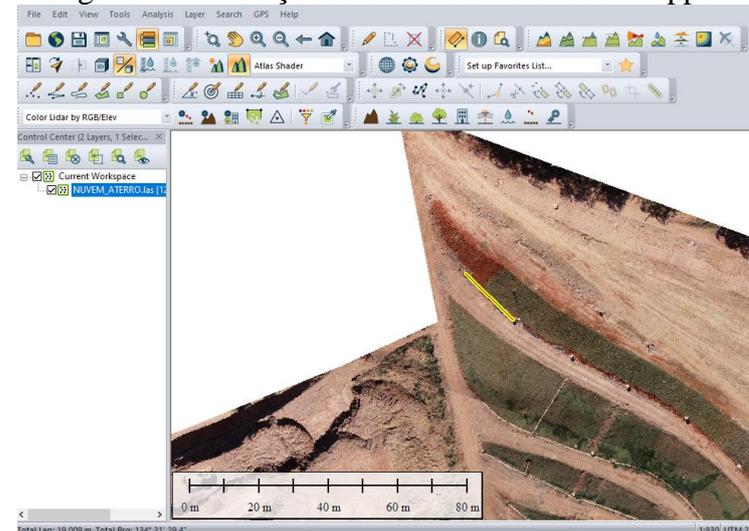
Se tratando que a área de estudo é um aterro sanitário, foi usado as caixas de chorume (líquido proveniente da matéria orgânica em decomposição nos aterros sanitários) como referência para calcular as distâncias, essas distâncias foram extraídas utilizando as ferramentas do Potree e do Global Mapper, e posteriormente uma comparação entre os resultados obtidos de cada software. Na Figura 20 é mostrado a ferramenta de distance measurement do Potree, já na Figura 21 é mostrado a ferramenta measure tools do Global Mapper, sendo elas empregadas para medir as distâncias entre as caixas de Chorume.

Figura 20 – Medição de distância no Potree



Fonte: O autor (2022).

Figura 21 – Medição de distância no Global Mapper



Fonte: O autor (2022).

Como pode-se perceber, as distâncias obtidas nos dois programas, sendo exatamente iguais, variando pouquíssimo, essa variação pode ser interferência do local de início de cada mensuração, no caso desse estudo todas as medidas foram feitas no centro das caixas, para o cálculo do desvio padrão foram realizadas várias medidas em cada ponto nos dois programas e calculado a média e a mediana para obter o desvio padrão. A tabela 2, mostra as medidas obtidas com o Potree e o Global Mapper.

Tabela 2 – Distâncias extraídas dos softwares

Pontos	Potree	Global Mapper	Discrepância	Desvio Padrão
P0-P1	19,01	19,009	0,001	0,0005
P1-P2	19,98	19,992	-0,012	0,006
P2-P3	18,42	18,425	-0,005	0,0025
P3-P4	19,21	19,212	-0,002	0,001
P4-P5	20,33	20,328	0,002	0,001
P5-P6	18,97	18,971	-0,001	0,0005
P6-P7	18,1	18,105	-0,005	0,0025
P7-P8	21,6	21,592	0,008	0,004
P8-P9	20,53	20,529	0,001	0,0005
P9-P10	14,09	14,098	-0,008	0,004
P11-P12	54,45	54,453	-0,003	0,0015
P12-P13	31,95	31,954	-0,004	0,002
P13-P14	26,78	26,782	-0,002	0,001
P14-P15	40,11	40,102	0,008	0,004
P16-P17	23,35	23,35	0	0

Fonte: O autor (2022).

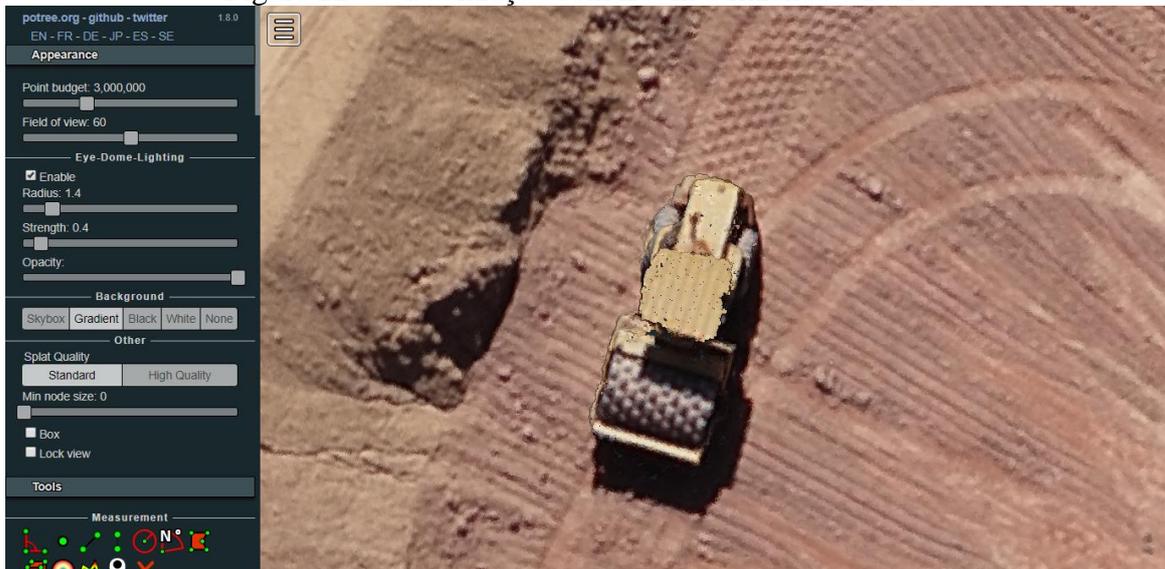
Como podemos ver foram ordenados os pontos que foram medidos, sendo eles em sequência, com início no topo do aterro, esses pontos resultaram em variações muito pequenas, podendo até ser relacionadas ao ponto de início ou final de cada medida, com esses resultados podemos ver que a confiabilidade posicional entre o potree e um software comercial de renome é a mesma.

6.3 Visualização e qualidade da nuvem 3D

A nuvem visualizada no Potree obteve uma maior qualidade em relação a visualização no Global Mapper, fatores esses que tem influência por causa da geração de um arquivo bin na hora da conversão da nuvem de pontos com o potree convert, e também na relação de usar java para fazer a leitura dos arquivos dentro da web através do servidor local gerado com HTML.

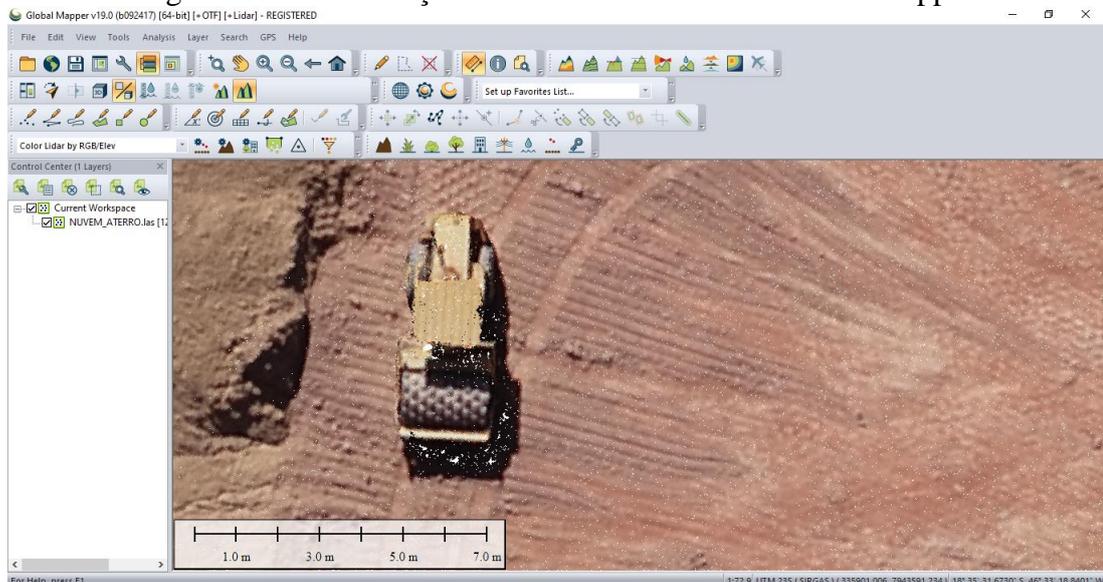
A visualização no Global Mapper é boa, mas para fins de teste foi realizado um zoom na nuvem 3D para verificar se teve perda ou não da qualidade, e foi constatada que fica extremamente mais pesada a sua manipulação e visualização do que o Potree, e isso se deve ao uso do próprio computador para fazer o processamento, já no potree a sua visualização é mais leve e a qualidade é muito superior, as Figuras 22 e 23 mostram a visualização com zoom no Potree e com zoom no Global Mapper.

Figura 22 – Visualização com Zoom utilizando o Potree



Fonte: O autor (2022).

Figura 23 – Visualização com Zoom utilizando o Global Mapper



Fonte: O autor (2022).

Analisando as Figuras 22 e 23 acima é visível a qualidade do potree para visualização da nuvem 3D, sendo essa a principal vantagem do Potree em relação ao Global Mapper, essa

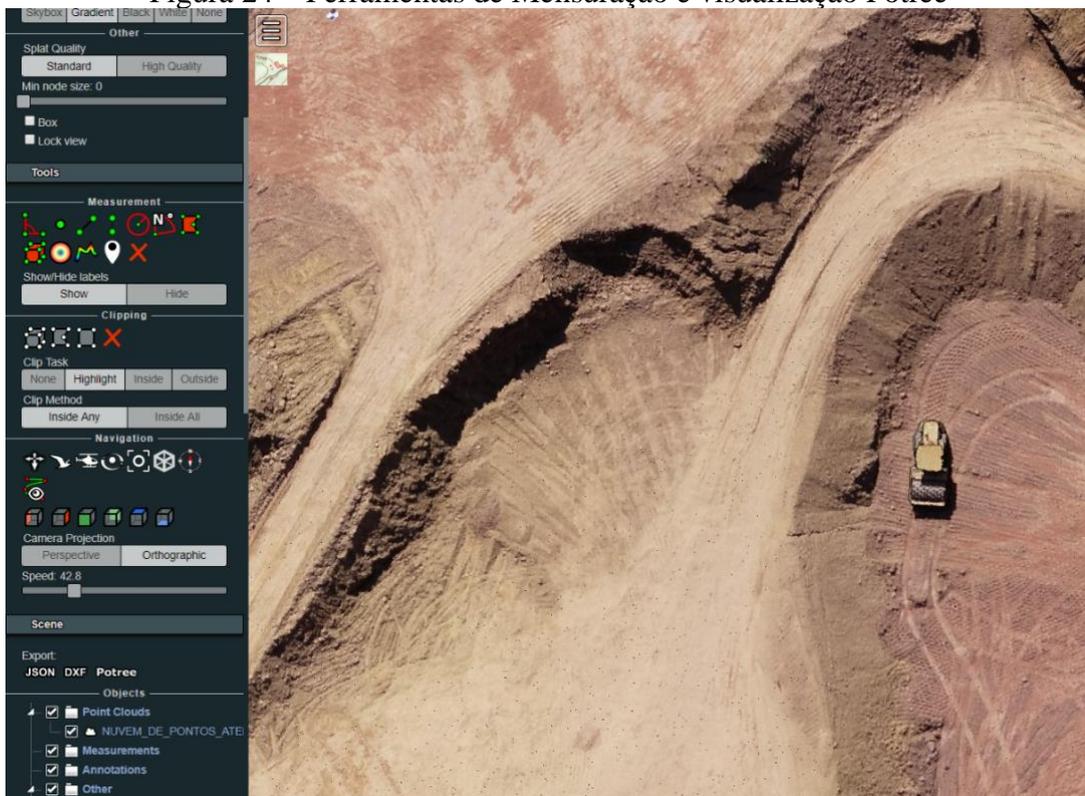
qualidade na visualização se deve principalmente por ser gerado um modelo bin, como mencionado anteriormente, vale destacar que o potree nas imagens acima não estava na sua qualidade máxima de visualização, dentro da página na web é possível mudar a qualidade da nuvem, observando apenas que quando alterada para qualidade máxima alguns recursos ficam mais pesados ou até mesmo impedidos de utilizar.

Outra vantagem analisada na visualização é que por ser na web é possível disponibilizar ela através de um domínio que pode ser criado para envio desses arquivos em nuvem, sendo esse um ponto muito positivo para o Potree. Do ponto de vista comercial, a visualização da nuvem 3D na web pode ser muito usada para a realização de serviços com RPAs para os clientes, devido a sua simples visualização e não exigindo um equipamento com alto potencial de processamento (*workstation*), isso acaba criando uma vantagem competitiva dentro do mercado para quem utiliza esse tipo de ferramenta de visualização de nuvem de pontos LIDAR.

6.4 Ferramentas para manipular nuvem de pontos 3D

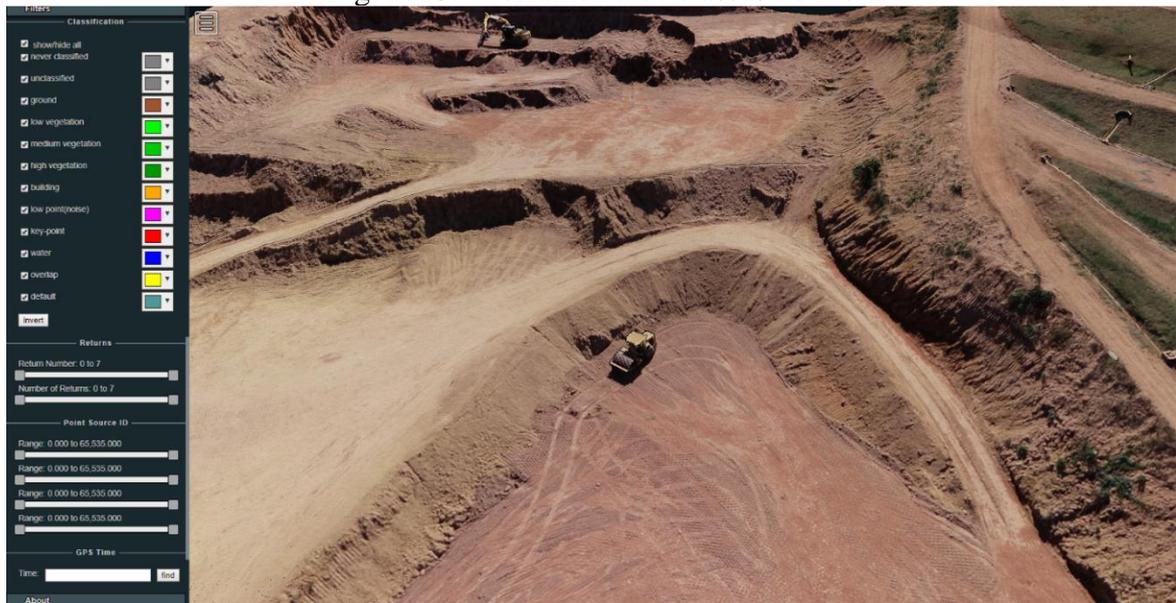
Realizou-se testes nas ferramentas disponibilizadas entre o Potree e o Global Mapper, entre elas estão ferramentas de mensuração, recorte, navegação e visualização das classes geradas no agisoft, na Figuras 24 e 25 é mostrado as ferramentas do Potree.

Figura 24 – Ferramentas de Mensuração e visualização Potree



Fonte: O autor (2022).

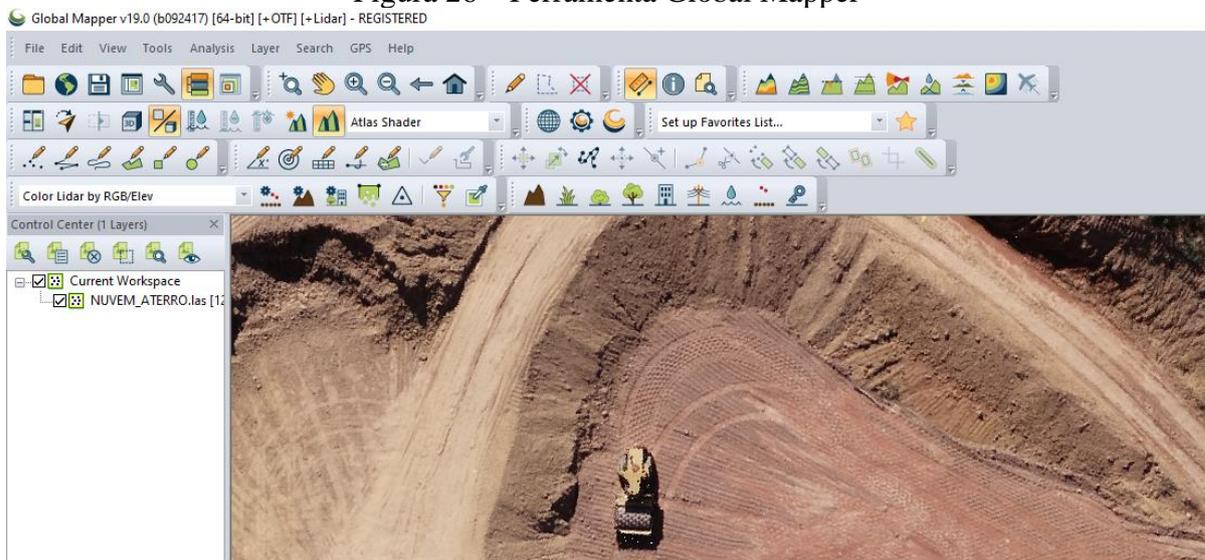
Figura 25 – Ferramenta de classes Potree



Fonte: O autor (2022).

As ferramentas do Potree são destinadas para análises e medições mais simples, mas funcionam muito bem, só não faz coisas mais robustas, como gerar outros tipos de produtos mais complexos a partir do las, como o MDT e MDS. Essa análise se deve ao fato do Potree ser um renderizador de nuvem de pontos open source, tornando-se um visualizador mais interessante devido as suas funcionalidades, uma ferramenta mais propicia para manipulações mais simples, sendo possível sua comparação com outros softwares apenas nesses quesitos. Um ponto interesse a ser destacado é a sua facilidade de utilização, fazendo com que uma pessoa que não tenha tanto entendimento sobre, utilize ele, já os outros softwares comerciais são mais complexos, exigindo um conhecimento mais específico para sua utilização.

Figura 26 – Ferramenta Global Mapper

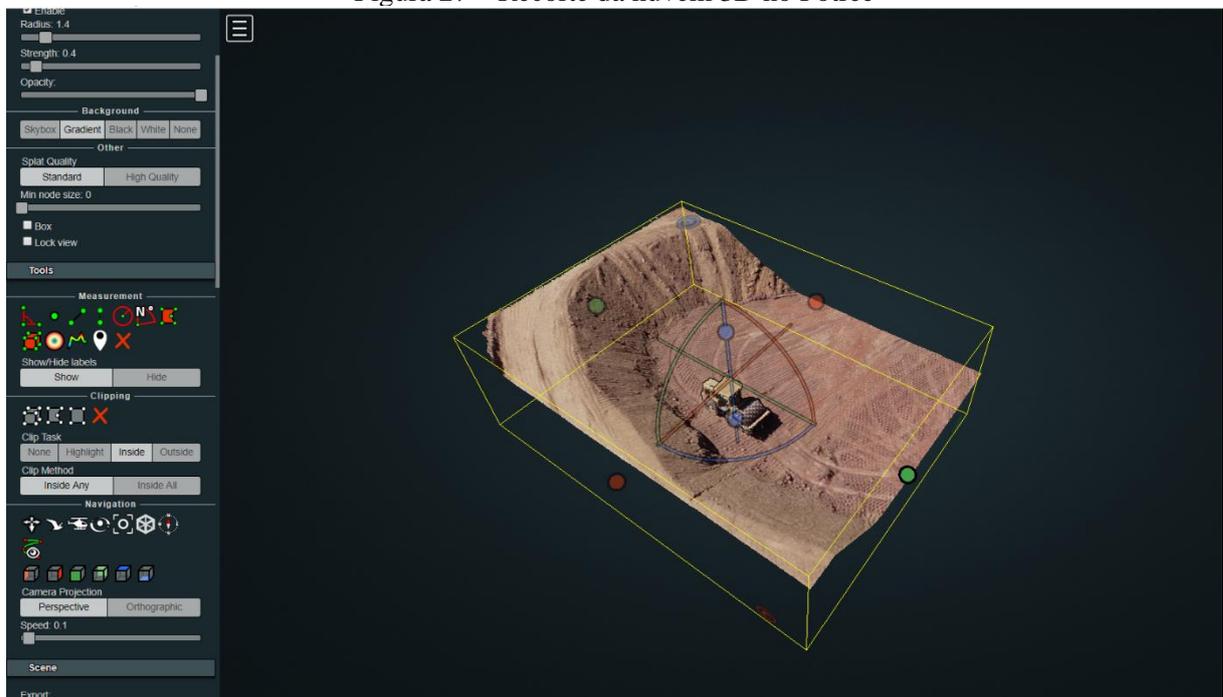


Fonte: O autor (2022).

Na Figura 26, acima é mostrado as ferramentas do Global Mapper, dentre elas algumas tem as mesmas funções do Potree, mas a complexidade, as ferramentas avançadas para geração de outros produtos são somente encontradas no Global Mapper, sendo esse o seu diferencial em relação ao Potree. Um exemplo como podemos citar em relação aos dois programas é a questão de classificação, o Potree ele é mais simples, tendo apenas ferramentas de classes para sua visualização, já o global ele tem ferramentas que classificam, sendo até usadas para trabalhos mais específicos como classificação de torres e linhas de transmissão. Outra vantagem encontrada no Global Mapper é a que suas ferramentas são capazes de automatizar algumas medidas ou até mesmo extrair uma quantidade maior de dados da nuvem de pontos, já no potree é realizado manualmente esse processo.

Foi realizado um teste de recorte na nuvem 3D com o Potree e o resultado foi muito satisfatório, devido a sua rapidez no recorte e a sua visualização que é o maior destaque em relação ao Global, como podemos ver na Figura 27.

Figura 27 – Recorte da nuvem 3D no Potree



Fonte: O autor (2022).

Como é possível ver na imagem, o recorte é muito bem feito, gerando uma visualização muito boa da área recortada, os detalhes da nuvem 3D são mantidos, e todas as ferramentas podem ser empregadas nessa nuvem recortada. Uma das ferramentas do Potree bastante interessando para aplicações em obras e serviços é o cálculo de volume, sendo empregadas em diversas situações, nessa imagem acima é possível ver que é uma área de obra de terraplenagem e uma curiosidade é que através do Potree dá pra coletar as cotas do terreno, coordenadas e

calcular volume, sendo uma ferramenta auxiliar para acompanhar obras em questão de visualização e análises simples.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

O trabalho em si teve como objetivo avaliar o Potree que é um renderizador de nuvem de pontos em relação a um software comercial, levando em consideração a visualização, manipulação, e qualidade posicional da nuvem 3D, obtendo excelentes resultados como mostrado nas análises realizadas.

O Potree é um ótimo renderizador de nuvem de pontos WebGL, dentre os resultados obtidos podemos ver a sua capacidade de visualização muito superior a softwares comerciais, sendo a sua principal vantagem, com esses pontos em destaques podemos chegar à conclusão que o Potree pode ser utilizado na fotogrametria, por diversos motivos, entre eles a qualidade posicional da nuvem 3D e as ferramentas de medidas de simples utilização. As suas ferramentas de fácil utilização e a sua capacidade de ser visualizada na web é um ponto que vale destaque, se bem utilizadas pode ser uma vantagem competitiva para quem trabalha com dados LIDAR, podendo ter benefícios na entrega de amostras para os seus clientes, ou como produto para ser utilizado por eles.

Concluiu-se que o Potree é uma excelente ferramenta a disposição da fotogrametria e que por ser gratuita, entrega muitas funcionalidades, sendo até melhor do que alguns softwares comerciais em algumas ferramentas específicas e na sua visualização, levando a ser um instrumento promissor para trabalhos com LIDAR.

A partir desse estudo foi possível a realização de outros trabalhos, voltados a aplicação de situações do dia a dia do engenheiro cartografo, inclusive a utilização do Potree em serviços de cálculo de volume, sendo uma ótima recomendação para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

- ASPRS. **The American Society for Photogrammetry and Remote Sensing**. 1989. Disponível em: <https://www.asprs.org>. Acesso em: 23 set. 2021.
- ASSIS, Isabella do Carmo. **APLICAÇÃO DE FOTOGRAMETRIA TERRESTRE DIGITAL NA AMOSTRAGEM DE MINA SUBTERRÂNEA: EXAME COMPARATIVO COM TÉCNICAS TRADICIONAIS**. 2011. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, UFMG, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/IsabelladoCarmoAssis.pdf>. Acesso em: 12 out. 2021.
- BARBOSA, Lucas Jamiro. **DETECÇÃO E EXTRAÇÃO DE VEGETAÇÃO UTILIZANDO DADOS LIDAR: Determinação de indivíduos e aglomerados**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas (Ppgcc), – Faculdade de Ciência e Tecnologia da Unesp, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Presidente Prudente, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152791>. Acesso em: 20 set. 2021.
- BARUAH, Priyanki. **O que é Fotogrametria?**. 2019. Disponível em: <https://planningtank.com/geographic-information-system/what-is-photogrammetry>. Acesso em: 12 out. 2021.
- BURTCH, Robert. **History of Photogrammetry**. 2000. Big Rapids, Michigan, Eua: The Center For Photogrammetric Training.
- Calle, Maria de la, Gómez-Deck, Koehler, O., & Pulido, F. (2012). **VISUALIZAÇÃO DE NUVEM DE PONTOS EM UM GLOBO 3D DE FONTE ABERTA**. *ISPRS - Arquivos Internacionais de Fotogrametria, Sensoriamento Remoto e Ciências da Informação Espacial*, 3816 , 135-140.
- DJI (China). **ESPECIFICAÇÕES Phantom 4 Pro V2.0**. 2022. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-pro-v2/specs>. Acesso em: 02 ago. 2022.
- FARIAS, Lídia; GONÇALVES, Osmar. **A Fotografia ao Longo do Tempo: da Kodak ao Instagram**. 2014. Disponível em: <https://portalintercom.org.br/anais/nordeste2014/resumos/R42-1656-1.pdf>. Acesso em: 13 out. 2021.
- FERNANDES, Fabiana Santos. **Aplicação de Fotogrametria terrestre digital na análise de descontinuidades em maciços rochosos: exame comparativo com técnicas tradicionais**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-14052010-115517/pt-br.php>. Acesso em: 12 out. 2021.
- FERREIRA, Flávia Renata; CINTRA, Jorge Pimentel. **A avaliação da acurácia altimétrica dos dados Light Detection And Ranging (LiDAR)**. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, [S.L.], p. 14-41, 23 fev. 2021. *Revista Científica Multidisciplinar Nucleo Do Conhecimento*. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/geografia/acuracia-altimetrica>. Acesso em: 13 out. 2021.

GALLIS, Rodrigo; BARBOSA, Ricardo Luis; CUNHA, Samuel; HIRAGA, Alan; FARIA, Marcelo. **WebSIG alimentado com dados coletados com sistema de mapeamento móvel terrestre. Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 70, n. 5, p. 1644-1663, 31 dez. 2018. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv70n5-44562>.

GEOMAT. **GPS RTK HI-TARGET V60**. 2022. Disponível em: <https://geomat.com.br/locacao/gps-rtk-hi-target-v60/>. Acesso em: 02 ago. 2022.

GUIMARÃES, Nathalie; PÁDUA, Luís; ADÃO, Telmo; HRUŁKA, Jonáš; PERES, Emanuel; SOUSA, Joaquim J.. **VisWebDrone: a web application for uav photogrammetry based on open-source software. Isprs International Journal Of Geo-Information**, [S.L.], v. 9, n. 11, p. 679, 15 nov. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi9110679>.

INPE. **LIDAR**. 2021. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/lidar>. Acesso em: 13 out. 2021.

ISPRS. **Informação a partir de Imagens**. Disponível em: https://www.isprs.org/publications/brochure/ISPRS_brochure_portuguese.pdf. Acesso em: 23 set. 2021.

Kreylos O., Bawden GW, Kellogg LH (2008) **Immersive Visualization and Analysis of LiDAR Data**. Em: Bebis G. et al. (eds) *Advances in Visual Computing*. ISVC 2008. Lecture Notes in Computer Science, vol 5358. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-89639-5_81

LEBERL, F.; IRSCHARA, A.; POCK, T.; MEIXNER, P.; GRUBER, M.; SCHOLZ, S.; WIECHERT, A.. Point Clouds. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, [S.L.], v. 76, n. 10, p. 1123-1134, 1 out. 2010. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. <http://dx.doi.org/10.14358/pers.76.10.1123>. Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/content/asprs/pers/2010/00000076/00000010/art00001>. Acesso em: 14 out. 2021.

LUCCIO, Matteo. **Cardinal Systems' Extraterrestrial Photogrammetry**. 2014. Disponível em: <https://www.xyht.com/aerialuas/extraterrestrial-photogrammetry/>. Acesso em: 12 out. 2021.

MACIEL, Ariana de Oliveira. Aplicações: **Mapeamento Móvel utilizando tecnologia LIDAR. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - Sbrs**, Curitiba, Pr, v. , n. 0, p. 5455-5462, 30 abr. 2011. Anual. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.18.14.18/doc/p0946.pdf>. Acesso em: 14 out. 2021.

MARTINEZ-RUBI, Oscar; VERHOEVEN, Stefan; VAN MEERSBERGEN, Maarten; SCHÜTZ, Markus; VAN OOSTEROM, Peter; GONCALVES, Romulo; TIJSSSEN, Theo. **Taming the beast: free and open-source massive point cloud web visualization. Unpublished**, [S.L.], nov. 2015. Unpublished. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1731.4326/1>. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/284617106_Taming_the_beast_Free_and_open-source_massive_point_cloud_web_visualization. Acesso em: 02 jul. 2022.

MEDEIROS, Fabrício Ardais. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MENEZES, Lucas de Santana; SANTOS, Mario Ricardo Rodrigues; SENRA, Aracy Sousa. **AERIAL PHOTOGRAPHY INTERPRETATION USING REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPA) TO LITHOSTRUCTURAL MAPPING IN DETAIL SCALE (1:800), OUTCROPPING FROM MACURURÉ DOMAIN**, CAPELA – SE. *Revista Geociências*, Sergipe, v. 32, n. 1, p. 483-493, 05 nov. 2018. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/13581/13176>. Acesso em: 13 out. 2021.

MILLER, Charles Leslie. **The Spatial Model Concept of Photogrammetry**. 1957. Disponível em: https://www.asprs.org/wp-content/uploads/pers/1957journal/mar/1957_mar_31-35.pdf. Acesso em: 20 set. 2021.

NASCIMENTO, Vinícius Manoel Arruda (2020). **A IMPORTÂNCIA DA UTILIZAÇÃO DAS AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS (ARP) NAS OPERAÇÕES TÍPICAS DE CAVALARIA**. *Revista Agulhas Negras*, 3(3), 67-77. Recuperado de <http://ebrevistas.eb.mil.br/aman/article/view/7825>

NIKOLAKOPOULOS, Konstantinos G.; SOURA, Konstantina; KOUKOUVELAS, Ioannis K.; ARGYROPOULOS, Nikolaos G.. **UAV vs classical aerial photogrammetry for archaeological studies**. *Journal Of Archaeological Science: Reports*, [S.L.], v. 14, p. 758-773, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.09.004>.

PALERMO, Rodrigo de Avila *et al.* **Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com o uso de VANT e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de São Miguel das Missões**. 2013. 174 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Cartográfica., Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/77752/000895557.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 out. 2021.

REDWEIK, Paula. **FOTOGRAMETRIA AÉREA**. 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Paula-Redweik/publication/268329721_FOTOGRAMETRIA_AEREA/links/564da1e608ae1ef9296aba8d/FOTOGRAMETRIA-AEREA.pdf. Acesso em: 10 out. 2021.

REISS, Mário Luiz Lopes. O Potencial da Fotogrametria na UFRGS. In: UFRGS (org.). **10 anos do curso de Engenharia Cartográfica da UFRGS**. Porto Alegre: Ufrgs/Ig/Lpg, 2008. p. 55-65. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/193357>. Acesso em: 20 set. 2021.

SANTOS, Alexandre Rosa dos. **Capítulo 6 - Noções básicas de Fotogrametria e fotointerpretação**: notas de aula. **Notas de aula**. [s.d.]. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/SR/TransparenciasApostilaTeoricaSR/Capitulo6.pdf>. Acesso em: 11 out. 2021.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Aplicações: Mapeamento Móvel utilizando tecnologia LIDAR**. Curitiba, Pr: Sbsr, 2011. 8 p. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.18.14.18/doc/p0946.pdf>. Acesso em: 13 set. 2021.

SOMBRA, Daniel. RESENHA - BRITO, J. L. N. S., COELHO FILHO, L. C. T. *Fotogrametria digital*. 1ª Ed. Rio de Janeiro: eduerj, 2007.. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, [S.L.], v. 40, p. 248, 23 ago. 2017. Universidade Federal do Parana.

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v40i0.48447>. Disponível em:
<https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/48447>. Acesso em: 10 set. 2021.

TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia. **Fotogrametria Básica - Introdução**. 2009.

Disponível em:

http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/891/introducao_a_Fotogrametria.pdf. Acesso em: 22 set. 2021.