

ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO PRÁTICA DE MODELO TOPOGRÁFICO GERADO A PARTIR DE LEVANTAMENTO REALIZADO COM VANT (DRONE)

OLIVEIRA, Felipe Vargas de ¹

VARGAS, Giovanni Radel de ²

RESUMO

VANTs, conhecidos como Drones, devido à modernização tecnológica, apresentam vantagens econômicas e técnicas em comparação aos sistemas convencionais de obtenção de imagens e assim tem substituído a mão de obra para mapeamentos de topografia, pois através das imagens obtidas é possível realizar a fotogrametria. O presente trabalho buscou verificar a potencialidade e vantagens da aerofotogrametria realizada com Drone e sua aplicabilidade em um projeto real através de um estudo de caso. Após o processamento das imagens foram obtidos como produtos finais o MDT, o Mapa Topográfico e a Ortofoto, concluindo-se que esses representam com qualidade e precisão a área mapeada, exceto nas superfícies com vegetação ou outros elementos que geram “ruídos” no processamento. Devido à qualidade satisfatória para utilização em situações reais e o processo mais ágil e econômico que o convencional, a aplicabilidade desta tecnologia no setor da Construção Civil apresenta grande potencial.

Palavras-chave: *Topografia; Fotogrametria; MDT; Ortofoto.*

ABSTRACT

UAVs, most known in Brazil as Drones, due to the technological modernization, its presents economic and technical advantages compared to conventional systems for obtaining images and thus have replaced the workforce for topography mapping, because through the images obtained it is possible to make photogrammetry. This work sought to verify the potential and advantages of aerophotogrammetry developed with Drone and its applicability in a real project through a case study. After image processing, DTM, the Topographic Map and the Orthophoto were obtained as final products, concluding that these products represent the mapped area with quality and precision, except on surfaces with vegetation or other elements that generate noise during processing. Due the satisfactory quality for use in real situations and the more agile and economical process than the conventional one, the applicability of this technology in the Civil Construction sector has great potential.

Keywords: *Topography; Photogrammetry; DTM; Orthophoto.*

¹ Acadêmico de Engenharia Civil – Centro Universitário Campo Real (eng.fvargas@gmail.com)

² Doutor em Ciência do Solo. Professor do curso de Engenharia Civil no Centro Universitário Campo Real (prof_giovanovargas@camporeal.edu.br)

1. INTRODUÇÃO

O setor da Construção Civil, conforme definido pelo Ministério da Educação – MEC (2000, p. 107), “compreende atividades de planejamento, projeto, acompanhamento e orientação técnica à execução e à manutenção de obras civis [...]. Abrange a utilização de técnicas e processos construtivos em escritórios, execução de obras e prestação de serviços”. Ainda nesse escopo o autor caracteriza, dentre outras, as seguintes competências para os profissionais da área:

- “- Aplicar normas, métodos, técnicas e procedimentos estabelecidos visando à qualidade e produtividade dos processos construtivos e de segurança dos trabalhadores. [...]
- Propor alternativas de uso de materiais, de técnicas e de fluxos de circulação de materiais, pessoas e equipamentos, tanto em escritórios quanto em canteiros de obras, visando à melhoria contínua dos processos de construção.
- Executar e auxiliar trabalhos de levantamentos topográficos, locações e demarcações de terrenos. [...]” (MEC, 2000, p. 107)

O amplo escopo de atividades pertinentes ao setor da Construção Civil é permeado de inúmeras técnicas e tecnologias que possibilitam o desenvolvimento dessas atividades, e não diferente dos demais setores da economia os avanços tecnológicos ocorridos nos últimos anos propiciam a inovação das técnicas e dos métodos utilizados.

Nesse processo de inovação que está ocorrendo no setor, os Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs, segundo Miranda (2020, p. 12), “são inovações já adeptas na indústria civil devido a sua facilidade, baixo custo para utilização e excelente retorno do serviço prestado em relação a forma de execução anterior [...]”. Outrossim, conforme alertado por DronEng (2016) “por conta dessa grande popularização, naturalmente a tecnologia acaba sendo banalizada [...]. Isso ocorre porque diversas pessoas se lançam no mercado mirando a oportunidade e se esquecendo da qualidade dos produtos gerados”.

Destarte o estudo e avaliação da aplicabilidade, do uso e das práticas para o emprego desta nova tecnologia dentro do setor da Construção Civil é uma necessidade justificável, que visa o aprimoramento das técnicas e a descoberta de melhores métodos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E CONSIDERAÇÕES SOBRE O TEMA

A fim de embasar o referencial teórico, foi realizada a revisão bibliográfica qualitativa de artigos acadêmicos, teses, dissertações e demais materiais correlacionados ao tema proposto. Foram coletados materiais datados entre 2000 e 2021, selecionados de acordo com sua correlação aos objetivos gerais e específicos a serem abordados e sua relevância.

A partir desse material foram levantados conceitos, definições e conteúdos que possibilitaram delimitar a alçada de desenvolvimento do tema proposto.

2.1 TOPOGRAFIA

Conforme descrito por Brandalize (2016, p. 1), a Topografia tem por finalidade mapear pequenas porções da superfície terrestre (área de raio até 30km), a fim de determinar o contorno, dimensão e posição relativa desta porção limitada, desconsiderando a curvatura Terra, tornando assim possível a locação no terreno de qualquer projeto e de qualquer obra de engenharia, como obras viárias, edifícios, aeroportos, usinas hidrelétricas, sistemas de água e esgoto, urbanismo, paisagismo, drenagem, etc. Estes projetos se desenvolvem em função do terreno sobre o qual se assentam, portanto é fundamental o conhecimento pormenorizado do terreno, tanto na etapa do projeto (para avaliação de viabilidade), quanto da sua construção ou execução (para averiguação da implantação), sendo que a Topografia fornece os métodos e os instrumentos que permitem este conhecimento do terreno e asseguram uma correta implantação da obra ou serviço.

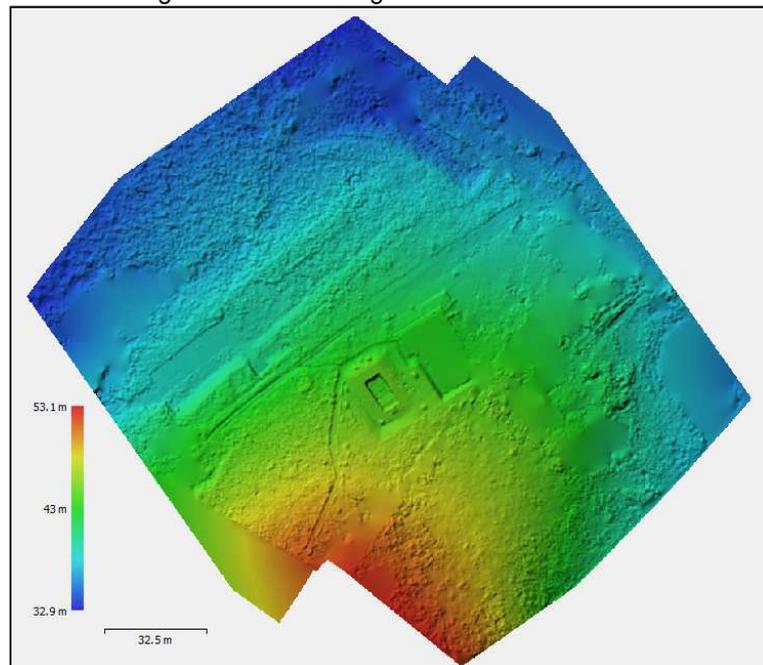
Sintetizando o trabalho de Espartel, Lins (2019, p. 19) esclarece que a geometria e trigonometria são os princípios da Topografia, pois através das medidas lineares e angulares realizadas são calculadas coordenadas, perfis, áreas, etc., e estas grandezas podem ser representadas através de mapas ou plantas, desenhados em escala adequada, considerando os ângulos distâncias e desníveis, e ao trabalho de campo realizado com o objetivo de coletar tais dados denomina-se levantamento topográfico.

Ainda, de acordo com Souza *et al.* (2021, p. 2), “os levantamentos planialtimétricos são necessários para a realização de qualquer projeto de construção civil; é preciso dispor da visualização de acidentes geográficos e de outras características do relevo, evidenciando superfícies íngremes e planas”. Conforme apontado por Rodrigues e Gallardo (2018, p. 4) “dentre os produtos gerados pela topografia um dos mais importantes em projetos executivos de engenharia é o Modelo Digital do Terreno (MDT) que tem por função descrever o terreno que é representado a partir das curvas de nível”.

Rodrigues e Gallardo explicitam ainda:

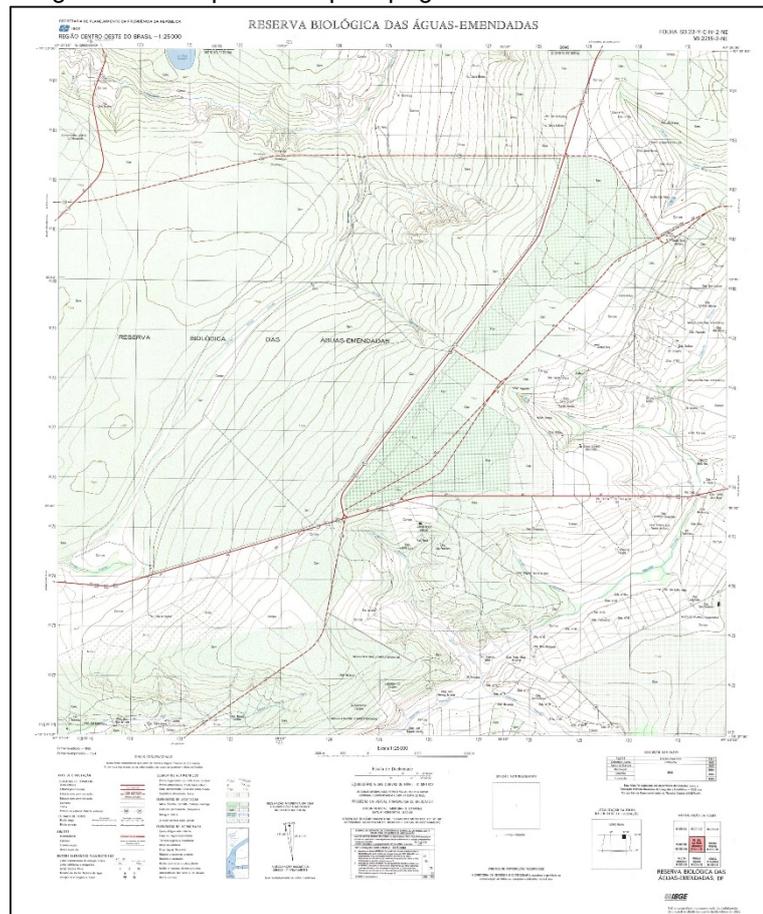
“Os MDT’s foram desenvolvidos há cerca de 60 anos nos Estados Unidos (EUA) com o propósito de apoiar à automatização de projetos viários e atualmente são aplicados nos mais variados projetos e ramos da engenharia que necessita de informações precisas quanto ao relevo, são exemplos da utilização destes dados projetos: traçado de perfis de terreno, terraplenagem, cálculos de volumes, cálculo de recalque e etc.” (RODRIGUES E GALLARDO, 2018, p. 4)

Figura 1. Modelo Digital do Terreno - MDT.



Fonte: MundoGEO.³

Figura 2. Exemplo de mapa topográfico com curvas de nível.



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE.⁴

³ Disponível em: <https://mundogeo.com/2017/08/02/afinal-como-arrumar-trabalho-no-setor-de-drones/>

Outro produto de grande importância e amplamente utilizado no setor da Construção Civil são as Ortofotos. Conforme esclarece Lins (2019, p. 28) “Ortofotos são representações cartográficas de uma região da superfície terrestre, produzidas mediante um conjunto de imagens aéreas, tomadas por avião ou satélite”. Citando Lima, o autor salienta ainda que “nas fotografias capturadas, ainda com deformações devido ao deslocamento do relevo, são aplicadas correções, seguindo um Modelo Digital do Terreno (MDT) para garantia da qualidade métrica da Ortofoto, removendo qualquer distorção geométrica (posição e inclinação)” (2019, p. 28).

Citado por Lins (2019, p. 28), Campiteli apresenta algumas vantagens e aplicações do emprego de ortofotos, a saber: a possibilidade do usuário das ortofotos em retirar as informações de seu interesse, diferente das ortofotocartas que já são pré-interpretadas e utilizadas normalmente para uma mesma finalidade; as geometrias da ortofoto são as mesmas de um mapa, mas com alta qualidade de resolução; e fornecem informações visuais mais completas e compreensíveis que um mapa, melhorando a qualidade do estudo da área em questão.

Figura 3. Exemplo de ortofoto com grade de coordenadas.



Fonte: MundoGEO.⁵

Cabe ressaltar que a topografia tradicional realizada com equipamentos como a Estação Total e/ou com aparelhos GNSS (*Global Navigation Satellite System*) do tipo RTK (*Real Time Kinematic*), apesar de sua precisão milimétrica, apresenta algumas desvantagens, como o alto custo dos equipamentos, a necessidade de equipes de campo maiores, a maior demanda de tempo para o levantamento de informações e dados em campo, além da limitação de acesso a alguns lugares.

⁴ Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa17024>

⁵ Disponível em: <https://mundogeo.com/2000/12/01/ortofoto-a-imagem-que-e-um-mapa/>

A partir destas informações pode-se compreender o escopo e a aplicação da Topografia na Construção Civil, seja na etapa de projeto ou execução, e quais seus principais produtos para este setor, a saber, o Modelo Digital do Terreno – MDT (Figura 1), os Mapas Topográficos com curvas de nível (Figura 2) e as Ortofotos (Figura 3).

2.2 AEROFOTOGRAMETRIA

De acordo com Tommaselli (2009, p. 1), a Fotogrametria se ocupa, dentre outros objetivos, com a obtenção de dados quantitativos a partir dos quais são elaborados mapas e cartas topográficas. Ainda segundo o autor: “Os primeiros experimentos para verificar o uso da fotogrametria em mapeamento topográfico foram conduzidos pelo coronel francês Aimé Laussedat, em 1849, que obteve fotografias a bordo de balões.” (2009, p. 4). O autor destaca ainda que “a grande maioria das operações fotogramétricas destina-se ao mapeamento, seja ele sistemático ou para algum projeto específico, como as obras de engenharia.” (2009, p. 5).

No atual cenário da Construção Civil, a Topografia e a Fotogrametria aliadas às tecnologias atuais vislumbram novas aplicações e possibilidades. Rodrigues e Gallardo (2018, p. 2) afirmam que com o avanço da tecnologia a ciência da Fotogrametria, que tem por finalidade a obtenção de informações confiáveis sobre objetos e o meio ambiente através da medição e interpretação de imagens, e sua subdivisão, a Aerofotogrametria, que utiliza de câmeras de alta resolução em aviões ou Drones para captura de imagens, propiciam o aumento na densidade e qualidade dos dados obtidos para mapeamentos de agrimensura e cartografia.

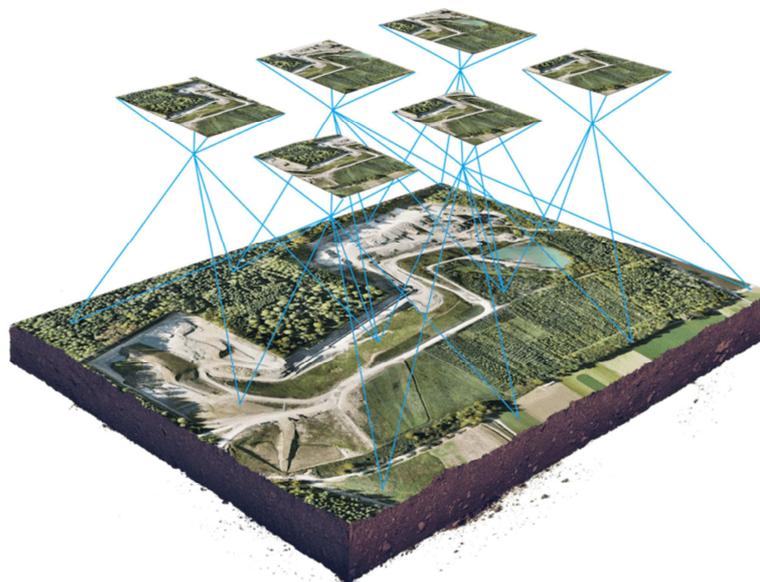
Nesse contexto, a Aerofotogrametria ganha espaço no setor, conforme afirma Miranda (2020, p. 18): “Inúmeras tecnologias, que antes eram dificilmente encontradas devido a disponibilidade ou elevado custo, estão sendo usadas com mais frequência como a utilização de drones.” Corroborando com esta afirmação, devido aos Drones terem se tornado mais acessíveis, Souza *et al.* evidencia que:

“No âmbito da topografia, o uso de drone para investigação de dados apresenta custo inicial baixo e com rapidez de resposta quando comparado a outros levantamentos topográficos considerados convencionais, como no caso mais comum, a utilização do equipamento denominado estação total, que por sua vez coleta dados mais precisos que o drone.” (SOUZA *et al.*, 2021, p. 3)

Rodrigues e Gallardo (2018, p. 4) esclarecem ainda que o processo da aerofotogrametria realizada por Drones (Figura 4) é similar ao convencional, sendo necessário o planejamento de voo e o levantamento e materialização dos pontos de

amarração para a geração do ortomosaico, outrossim, os autores apresentam diversas vantagens do uso dessa tecnologia, como a geração de uma densa nuvem de pontos 3D que apresenta as feições e pontos diretamente na imagem, diferente de um levantamento topográfico convencional caracterizado por um desenho vetorial contendo pontos, linhas e polígonos, a geração do Modelo Digital de Elevação – MDE e Modelo Digital do Terreno – MDT, o cálculo volumétrico de alta precisão e ainda a economia de tempo de execução do serviço bem como a diminuição da equipe de campo.

Figura 4. Exemplo do processo de aerofotogrametria através de Drones.



Fonte: Drone Speed.⁶

Cabe destacar que dentre as vantagens na utilização da Aerofotogrametria sobre outros procedimentos estão: a obtenção de informações mais completas do terreno, o aumento da precisão, a redução do tempo nos levantamentos em campo e consequentemente a redução de custos. Deste modo, de acordo com Deus (2017, p. 45), tais benefícios são resultados da substituição de medidas de campo por medição de imagens.

2.3 PONTOS DE AMARRAÇÃO

Pontos de Amarração, também chamados de Pontos de Apoio, são marcações e/ou objetos facilmente identificáveis nas imagens e posicionados ao longo da área de interesse, usualmente opta-se por marcações na forma de alvos (Figura 5), sua finalidade é possibilitar a realização da ortorretificação das imagens durante o processamento da Ortofoto pois

⁶ Disponível em: <https://dronespeed.com.br/aerofotogrametria-com-drone/>

esses pontos são previamente georrefenciados com o auxílio de equipamentos GNSS e tais informações são inseridas no software de processamento.

Esses pontos podem ter a função de Controle ou Verificação, e de acordo com Souza (2018, p. 70) os Pontos de Controle são utilizados para realizar a relação entre o sistema de coordenadas das imagens com o sistemas de coordenadas do terreno (ortorretificação), visando garantir a acurácia dos produtos gerados, enquanto que os Pontos de Verificação, apesar de apresentarem as mesmas características destes primeiros, não são utilizados para a ortorretificação apenas para a conferência da acuraria obtida no produto final, sendo então apenas pontos de checagem.

Figura 5. Exemplo alvos para Pontos de Amarração.



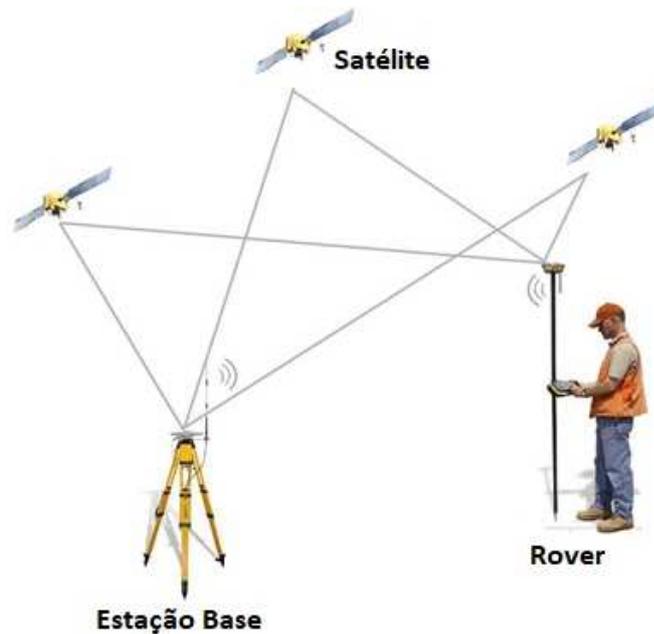
Fonte: DronEng.⁷

Usualmente os Pontos de Amarração, são georreferenciados com o auxílio de aparelhos GNSS do tipo RTK, onde o equipamento conhecido como “Estação Base” é estacionado em um ponto já conhecido e realiza cálculos de correção em tempo real das coordenadas e o “Rover” é posicionado no ponto a ser levantado, esses dois aparelhos se comunicam com satélites e entre si, determinando com precisão a localização do ponto levantado pelo Rover. Ainda sobre este tema Souza sintetiza Exterckoetter:

“O método de levantamento GNSS/RTK utiliza sistema geodésico de coordenadas para determinação de um ponto na superfície da Terra. Sendo que a sigla GNSS se refere ao sistema de cobertura de satélites utilizada pelo equipamento, sistema esse que utiliza vários outros sistemas, tais como, GPS, GLONASS (Global Navigational Satellite System), GALILEO e BEIDOU, citados como os principais. Já a tecnologia RTK permite ao operador saber sua posição em tempo real com precisão centimétrica, e com pós-processamento e correções, essa precisão pode ser milimétrica” (SOUZA, 2018, p. 5)

⁷ Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/pontos-de-apoio-o-que-e/>

Figura 6. Posicionamento por sistema RTK.



Fonte: Brasil Escola (Adaptado).⁸

2.4 GROUND SAMPLE DISTANCE - GSD

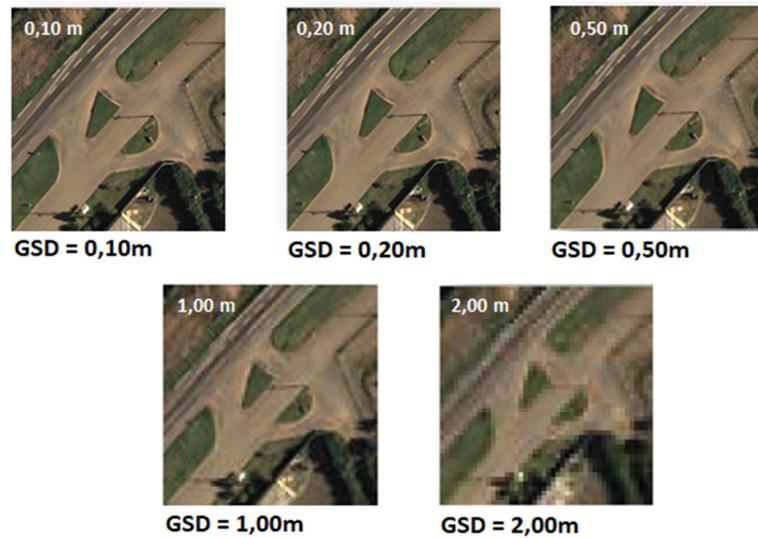
A qualidade e precisão dos produtos obtidos pela Aerofotogrametria realizada com Drone estão diretamente ligadas à resolução da câmera embarcada no equipamento e também à altitude de voo realizada, pois isso impacta diretamente no tamanho do menor objeto passível de ser identificado em solo através da imagem. Neste âmbito surge o GSD (*Ground Sample Distance*), ou em tradução literal “Distância de Amostragem do Solo”, que, de acordo com Historic England, citado por Júnior (2019, p. 99), “é a distância medida sobre o solo correspondente ao afastamento entre os centros de dois *pixels* adjacentes em uma imagem. Portanto, GSD representa a resolução espacial de uma imagem e é medida em centímetros por pixel”.

Assim, como o GSD é influenciado pela resolução da câmera, usualmente informada em MP (*Megapixel*), quanto maior for o número de MP e quanto mais baixa for a altitude de voo, menor será o valor do GSD (Figura 7), o que, conseqüentemente, garantirá uma maior resolução ao produto final obtido, devido ao GSD representar em pixels tamanhos reais e conhecidos na superfície do terreno. Ainda conforme Neto, transcrito por Júnior:

“Em termos práticos, GSD é inversamente proporcional ao nível de detalhamento, ou seja, quanto maior for o GSD maior será a porção de solo correspondente descrita em pixel. Assim, se o GSD de uma imagem for de 10cm/pix, objetos menores que 10cm não serão representados no mapeamento.” (JÚNIOR, 2019, p. 99)

⁸ Disponível em: <https://meuartigo.brasescola.uol.com.br/engenharias/veiculo-aereo-nao-tripulado-fotogrametria-sistema-irradiacao-pontos-camera.htm>

Figura 7. Exemplos de resolução em diferentes GSD.



Fonte: DronEng (Adaptado).⁹

2.5 VANTs (Drones)

Os Veículos Aéreos Não Tripulados – VANTs, conhecidos popularmente em nosso país como Drones, como elucidado por Ataíde (2016, p. 11), surgiram inicialmente de necessidades militares, com o objetivo de executar missões aéreas com potenciais riscos à vida humana, porém, atualmente, aplicações científicas e civis vêm sendo desenvolvidas, uma vez que seu uso apresenta vantagens econômicas e técnicas em relação aos sistemas convencionais de obtenção de imagens.

Neste viés, Deus (2017, p. 29) aponta também que “em virtude da modernização tecnológica e grandes avanços o uso de Drones substituem a mão de obra em campo para mapeamento de grandes áreas em regiões que anteriormente eram bem complicadas até impossíveis de serem mapeadas.”

Acerca dos Drones utilizados para a Aerofotogrametria Rodrigues e Gallardo (2018, p. 4) destacam que estes equipamentos além de serem controlados remotamente e terem câmeras fotográficas de alta resolução, possuem também receptores GNSS que possibilitam o georreferenciamento das imagens e o voo automatizado (Autopilot), sendo possível a determinação de parâmetros de altitude para as imagens, e tais dados altimétricos levantados possibilitam a geração da nuvem de pontos 3D de alta densidade, além de ser um equipamento que favorece a segurança das equipes de campo que não precisam se deslocar em áreas de risco.

⁹ Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/gsd/>

Desta forma, devido tanto ao aumento expressivo na qualidade dos componentes embarcados nos Drones – como câmeras, sensores, receptores GNSS, dentre outros, quanto pelo barateamento desses equipamentos, a viabilização da utilização de Drones para a realização de levantamentos topográficos através das técnicas da Aerofotogrametria e com o processamento realizado por softwares desenvolvidos especificamente para tal, se mostra como uma possibilidade viável para uso na Construção Civil.

Assim, o objetivo deste trabalho é verificar a potencialidade e vantagens do uso de dados provenientes da aerofotogrametria realizada com Drone para o levantamento e desenvolvimento de um modelo topográfico e de relevo e verificar sua aplicabilidade em um projeto real.

3. METODOLOGIA APLICADA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A fim de verificar a aplicabilidade e uso dos materiais obtidos através de levantamentos topográficos realizados com Drone um estudo de caso foi realizado, os materiais gerados foram fornecidos aos interessados, e os dados relevantes de toda esta etapa prática serão descritos a seguir.

3.1 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso realizado para trabalho foi efetuado no empreendimento da Pequena Central Hidrelétrica Confluência, ou apenas, PCH Confluência. Conforme dados públicos disponíveis no website do empreendimento, a PCH Confluência está situada no rio Marrecas, próximo à confluência dos rios Marrecas e Cachoeira, localizada na região central do Paraná, faz fronteira com o município de Turvo em sua margem esquerda e com o município de Prudentópolis em sua margem direita. A área de contribuição da bacia é de 822 km², sendo que a vazão média de longo termo neste eixo é de 19,30 m³/s. A área do reservatório é de 25 hectares, rodeado por uma faixa de proteção permanente proposta de 17 hectares. Depois de concluída terá capacidade instalada de geração de energia na ordem de 27 MW.

A locação do empreendimento está apresentada no Anexo I. As frentes de serviço no empreendimento podem ser divididas basicamente em dez, a saber: (1) Acessos; (2) Canteiro Industrial, composto por: usina de concreto, pedreira e central de britagem, central de armaduras, carpintaria industrial e oficina mecânica; (3) Barramento; (4) Tomada d'Água de Baixa Pressão, também chamada de Emboque; (5) Túnel; (6) Desemboque; (7) Canal de Adução; (8) Tomada d'Água de Alta Pressão ou Câmara de Carga; (9) Conduto Forçado; (10) Casa de Força.

Independente de qual seja a frente de serviço, especialmente nas etapas iniciais do empreendimento, as obras de terraplanagem são primordiais e para que estas possam ocorrer os serviços de topografia são imprescindíveis. Toda e qualquer estrutura a ser construída no empreendimento além das escavações comuns e/ou em rocha, necessita minimamente de vias de acesso e de serviços de corte e aterro, demandando assim em diversas etapas os mapeamentos topográficos.

De encontro com as necessidades específicas de cada etapa da execução das estruturas do empreendimento, o levantamento topográfico realizado com Drone visa atender certas demandas através do fornecimento do Modelo Digital do Terreno – MDT, do Mapa Topográfico com curvas de nível e de Ortofotos, para que a partir destes documentos possam ser elaborados e/ou conferidos os projetos executivos, e por conseguinte liberados os serviços de escavações e demais atividades.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

O Drone utilizado neste projeto foi o Mavic 2 Pro® (Figura 8) da fabricante chinesa DJI®, que possui sistema de navegação GNSS – GPS+GLONASS, câmera RGB de 20 MP, bateria com autonomia de voo de cerca de 31 minutos e sinal duplo de rádio (2,4 e 5,8Ghz) com alcance máximo de 8 km (segundo a empresa DJI, fabricante do equipamento).

Figura 8. Imagem ilustrativa do Drone DJI Mavic 2 Pro®.



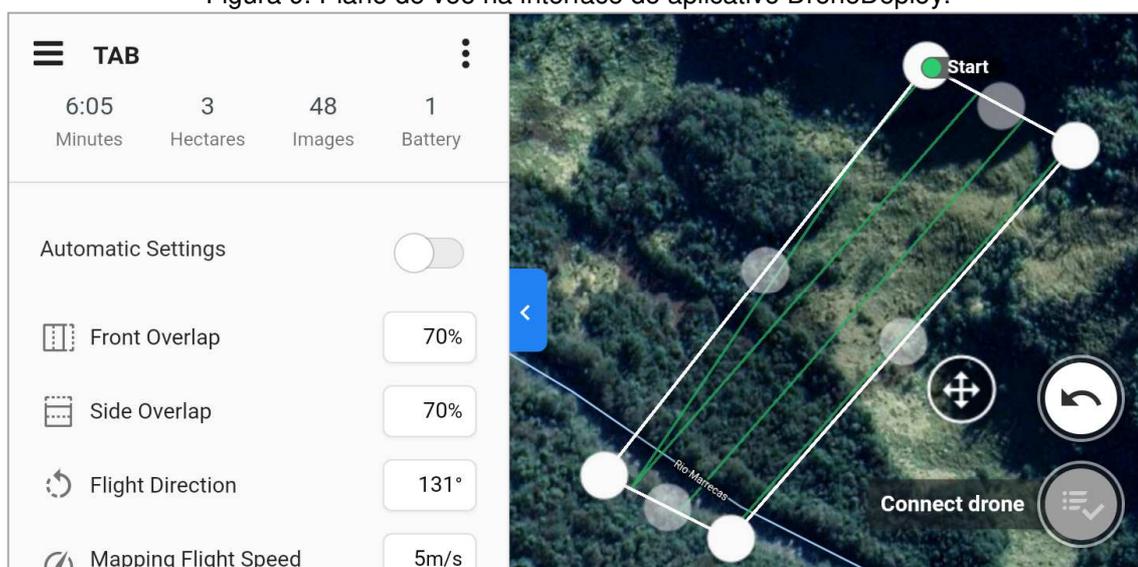
Fonte: DJI. ¹⁰

O primeiro passo para a realização do levantamento é a inspeção visual e análise da área a ser mapeada, buscando identificar os pontos de interesse e também de risco, o melhor local para decolagem e pouso, o percurso preliminar para o plano de voo e a localização dos pontos de apoio.

¹⁰ Disponível em: <https://www.dji.com/>

Com auxílio do Aplicativo DroneDeploy® um plano de voo (Figura 9) foi traçado com Sobreposição Frontal e Lateral de 70% (*Front e Side Overlap*), altitude de 80 metros e velocidade de voo de 5m/s, totalizando um voo previsto de 6m05s. A escolha do aplicativo se deu em função de diversos fatores, como a grande quantidade de usuários e tutoriais disponíveis, a facilidade e confiabilidade de uso, as configurações personalizadas que podem ser adequadas de acordo com cada projeto específico, além de ser um aplicativo gratuito para uso.

Figura 9. Plano de voo na interface do aplicativo DroneDeploy.



Fonte: Autoria própria (2021).

Os parâmetros utilizados para o plano de voo foram determinados visando garantir a melhor qualidade possível ao produto final, procurando alinhar velocidade, melhor posicionamento da câmera para sobreposição de imagens bem como para evitar possíveis erros e falhas, evitando também choques com árvores e outros riscos, considerando, por fim, que a qualidade do produto está diretamente relacionada ao GSD e grau de sobreposição das imagens coletadas. Conforme endossado por Casemiro e Pinto, citados por Ataíde:

“Segundo CASEMIRO e PINTO (2014), quanto mais alto o nível de sobreposição das imagens, mais redundante é a nuvem de pontos gerada para obtenção do mosaico, reduzindo problemas de imperfeições encontradas nas extremidades durante o processamento das ortofotos, que estão frequentemente associados a regiões com baixa sobreposição.” (ATAÍDE, 2016, p. 14)

Usualmente Drones para uso profissional possuem receptores GNSS para sua navegação, que podem ser do tipo GPS ou RTK, ou ainda a combinação de ambos. Apesar da alta precisão de geolocalização apresentada pelos modelos com RTK, estes também tem o custo mais elevado. O modelo utilizado neste trabalho possui apenas receptor GPS, assim se faz necessário realizar o pós-processamento dos dados a fim de eliminar o erro do deslocamento de cada imagem, qual é calculado pelo software tendo como referência os pontos de amarração.

Foram implantados três pontos de amarração na área de interesse pela empresa que realiza os serviços de topografia no empreendimento. Esses pontos (Tabela 1) foram materializados através de alvos de madeira com um “X” gravado neles e afixados ao solo e georreferenciados por receptores GNSS RTK. Os pontos foram pós processados e corrigidos com dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Tabela 1 - Coordenadas dos pontos de amarração, Datum: SIRGAS 2000 - FUSO 22J.

COORDENADAS GEOMÉTRICAS			
PONTO	ESTE (E) m	NORTE (N) m	COTA (Z) m
PC1	459522,278	7243835,780	634,215
PC2	459535,604	7243784,938	633,859
PV1	459566,603	7243936,463	654,732

Fonte: Dados da pesquisa, autoria própria (2021).

Após realizado o voo para coleta das imagens, as mesmas foram processadas por meio do software Agisoft Metashape® (licença temporária gratuita – 30 dias). Este software é uma ferramenta para o processamento fotogramétrico que utiliza algoritmos sofisticados de *machine learning* para pós-processamento e análise das tarefas qual possibilita a geração de imagens ortorretificadas e de dados espaciais em três dimensões.

Pela tradução do catálogo da Agisoft (2021, p. 2), vemos que o software permite processar imagens de câmeras, incluindo sistemas de múltiplas câmeras, em informações espaciais de alto valor na forma de nuvens de pontos densas, modelos poligonais texturizados, ortomosaicos georreferenciados verificados, Modelos Digitais de Superfície - MDS e Modelos Digitais de Terreno - MDT. O pós-processamento adicional permite eliminar sombras e texturas de artefatos dos modelos, calcular índices de vegetação e extrair informações para mapas de ação de equipamentos agrícolas, classificar automaticamente nuvens de pontos densas, etc.

Devemos considerar ainda que a velocidade de processamento das informações está diretamente ligada às configurações do computador que irá realizar o trabalho. O computador utilizado no processamento das imagens possui sistema operacional instalado

Windows 10 Home (64 bits) com processador (CPU) Intel® Core™ i5 – 9300H, CPU @ 2,40 Ghz, 2,40 Ghz, com 4 núcleos físicos e 8 *threads*, memória RAM DDR4 instalada de 8,0 Gb 2666MHz *single channel*, armazenamento de 512GB SSD PCIe NVMe M.2, e processador gráfico (GPU) NVIDIA GeForce GTX 1650 com memória dedicada VRAM de 4GB GDDR5.

3.3 DADOS LEVANTADOS

A Tabela 2 apresenta as principais informações coletadas em campo durante o processo implantação de pontos de amarração, planejamento de voo e captura de imagens.

Tabela 2 – Dados levantados.

GERAL	Drone Deploy®
Imagens capturadas	42
Altitude de voo	80m
Área coberta	aprox. 30.000m ²
Sistema de coordenadas (Datum)	SIRGAS 2000 - FUSO 22J
PONTOS DE AMARRAÇÃO	Estação Total
Pontos de controle	2
Pontos de verificação	1

Fonte: Dados da pesquisa, autoria própria (2021).

3.4 RESULTADOS

O processamento de dados realizado no software Agisoft Metashape® ocorre em etapas, sendo elas: o Alinhamento das Imagens, a Otimização do Alinhamento, a Construção da Nuvem de Pontos Densa, da Malha, do MDT, das Formas (Curvas de Nível) e por fim da Ortofoto. A partir da Nuvem de Pontos Densa é possível gerar o modelo 3D e, por conseguinte, gerar os demais produtos de interesse para este trabalho. Sobre este tema, Deus (2017, p. 47) explica que “uma nuvem de pontos são uma sequência de coordenadas geradas a partir de um equipamento a laser ou sequência de fotografias sobrepostas gerando um modelo tridimensional, em X,Y,Z”.

Tabela 3 – Dados processados.

TEMPO DE PROCESSAMENTO	Agisoft Metashape®
Alinhamento de imagens – Precisão alta	1:01s
Otimização de alinhamento	1s
Construção de nuvem densa – Qualidade alta	8m07s
Construção de malha	26m51s
Construção do MDT – Qualidade alta	16s
Construção da Ortofoto – Qualidade alta	1m55s

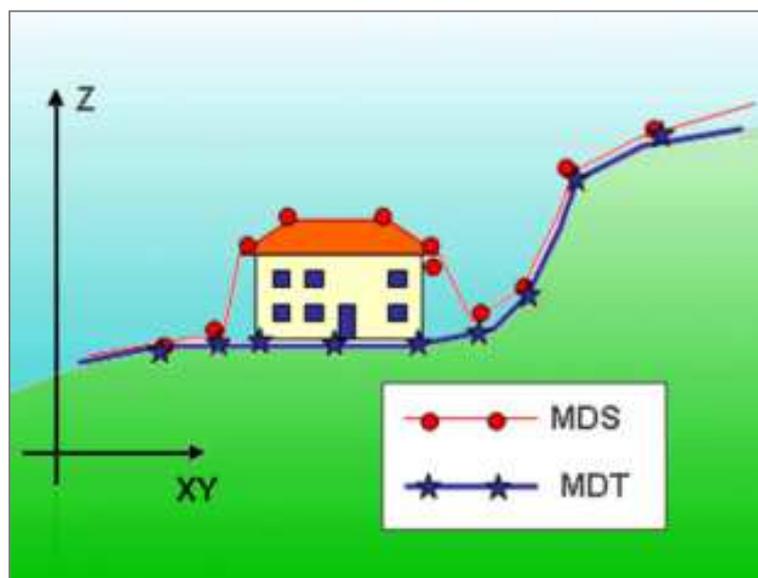
NUVEM DE PONTOS	
Pontos de ligação	45.792
Pontos da nuvem densa	29.131.739
MODELO DIGITAL DE TERRENO – MDT	
GSD	3,54cm/pix
Densidade de pontos	797,98pix/m ²
ORTOFOTO	
GSD	1,89 cm/pix
Dimensões	8215x12944pix

Fonte: Dados da pesquisa, autoria própria (2021).

3.4.1 Modelo Digital do Terreno - MDT

Para que o MDT seja desenhado como uma superfície em três dimensões, com base na Nuvem de Pontos gerada a partir do processamento das imagens pelo software, primeiramente é necessário que seja feito o tratamento, delimitando a área de interesse e em seguida retirando os elementos que não estão no mesmo nível do terreno, presentes no Modelo Digital de Superfície - MDS. O MDS é o produto gerado a partir da Nuvem de Pontos que apresenta todas as feições e elementos presentes na área levantada, como edificações, veículos, vegetação, etc, já o MDT desconsidera esses elementos, simplificando o modelo gerado e representando apenas superfície topográfica (Figura 10). O Modelo Digital de Terreno gerado como produto final deste trabalho está apresentado no Anexo II.

Figura 10. Diferença entre MDS e MDT.



Fonte: DronEng. ¹¹

¹¹ Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/mdt-e-mds/>

3.4.2 Mapa Topográfico

O Mapa Topográfico (Anexo III) foi desenvolvido a partir do arquivo de “Formas”, que é gerado com base no MDT e é passível de ser exportado em diversos formatos de arquivos digitais, o qual contém as curvas de nível do terreno com as respectivas informações de geolocalização e elevação, e que foi detalhado no software AutoCAD® da Autodesk (versão estudante). Deve-se salientar aqui que o procedimento de detalhamento do mapa topográfico realizado a partir de dados obtidos com esta tecnologia não apresenta maiores dificuldades ou aumento no tempo de trabalho quando comparado aos métodos tradicionais de levantamento topográfico, considerando que tal trabalho será realizado por pessoa capacitada e habituada.

Vale notar que as curvas de nível exportadas do software Agisoft Metashape®, mesmo recebendo o tratamento prévio durante o pós-processamento dos produtos, apresentam acentuadas e abruptas inflexões, decorrentes especialmente por conta da vegetação existente no local, sendo que a de suavização dessas curvas de nível possibilitaria um produto final muito mais apresentável e inteligível, porém embaraço não foi possível de ser solucionado utilizando apenas os softwares mencionados neste trabalho.

3.4.3 Ortofoto

A Ortofoto (Anexo IV) representa fielmente e em alta qualidade de resolução as feições do terreno e demais elementos visíveis no momento em que as imagens foram capturadas. A área de interesse em questão é a locação onde será construída a estrutura da Tomada d'Água de Baixa Pressão e Emboque do Túnel de Adução; conforme apresentada na ortofoto, a área encontrava-se em fase de escavação em rocha.

Além destes três produtos específicos obtidos como objetos de estudo deste trabalho, vale mencionar que existem diversos outros produtos que podem ser gerados a partir de levantamentos realizados com Drone, como por exemplo, a própria nuvem de pontos que pode ser transformada em uma superfície e/ou objeto 3D, auxiliando no desenvolvimento/adequação de projetos ou na realização de *as built* na Engenharia Civil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Findo o estudo de caso e processamento de todos os dados levantados, a fim de obter-se conclusões objetivas sobre o resultado deste trabalho, partiu-se da premissa que a precisão e acurácia de quaisquer dados medidos estariam limitadas tanto pela qualidade dos equipamentos utilizados quanto pelas técnicas empregadas, de tal forma que o

resultado de qualquer levantamento realizado possuirá melhor qualidade, gerando dados mais verossímeis e com maior riqueza de detalhes dependendo do grau de atendimento de tais premissas.

Após análise dos produtos finais obtidos, concluiu-se que o MDT processado representa a área de interesse levantada de maneira satisfatória, apresentando um grau maior de precisão nas superfícies já escavadas ou aterradas, e menor nas superfícies do terreno onde há remanescente de vegetação e/ou outros elementos. A vegetação e/ou outros elementos presentes nas imagens obtidas por Drone encobrem a superfície do terreno gerando “ruídos” no processamento, que é realizado independente disso, apresentando assim distorções, de tal forma que os dados serão mais confiáveis em áreas onde a superfície do terreno se expõe com poucas interferências de elementos.

Semelhante ao resultado obtido no MDT, o Mapa Topográfico apresenta boa precisão em sua representação do terreno exceto nas superfícies com remanescente de vegetação, onde descreve inflexões acentuadas e abruptas nas curvas de nível, outrossim, nas áreas onde já foram realizadas intervenções, como a limpeza do terreno e escavações, a qualidade e verossimilhança é notável.

Dentre todos os produtos obtidos a Ortofoto é a que apresenta maior qualidade de todas, sendo capaz de representar com riqueza de detalhes toda a superfície de interesse, e estando devidamente georreferenciada pode compor também um grande ortomosaico que abrange grandes extensões territoriais, registrando e documentando a evolução das obras.

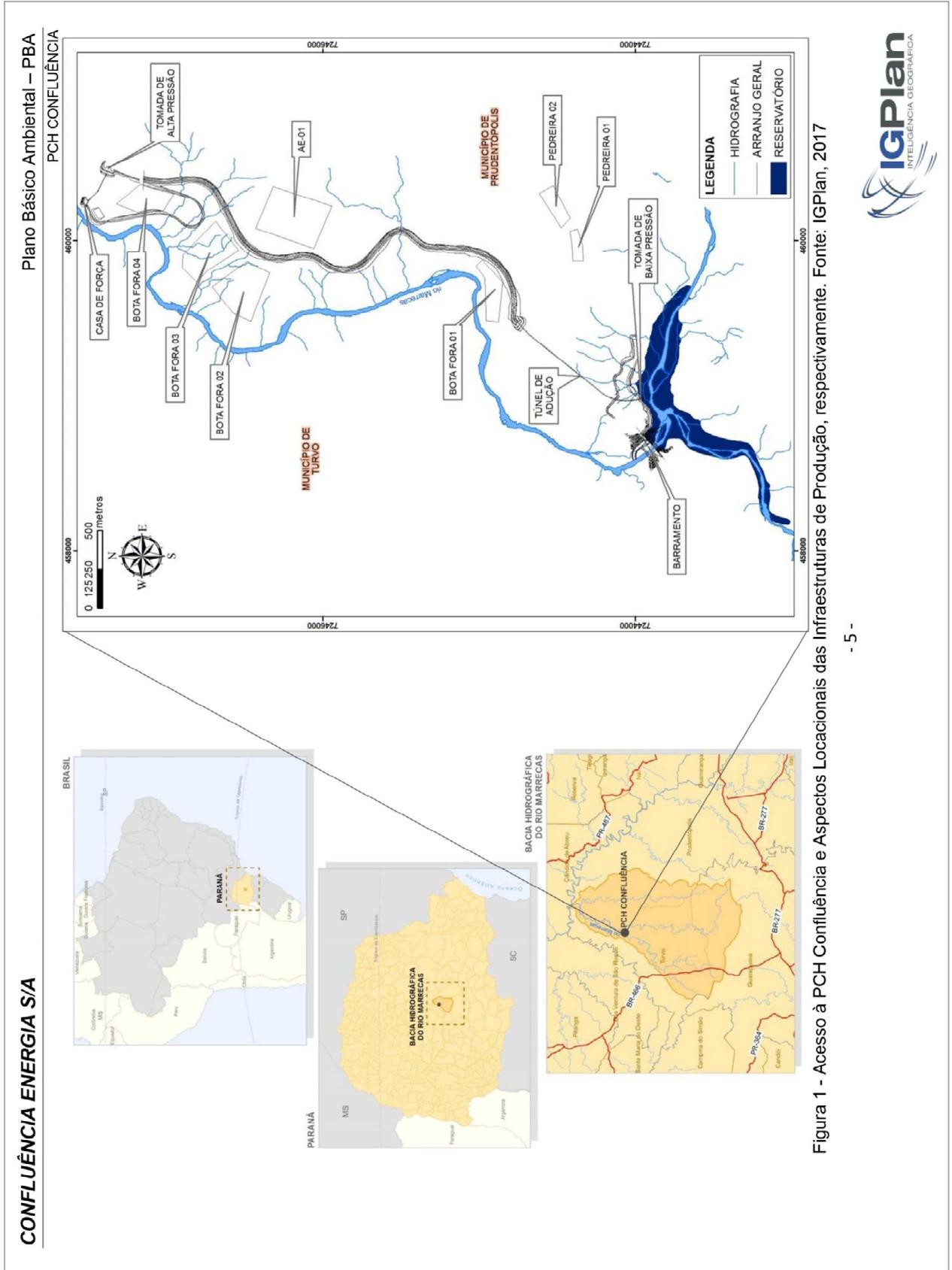
Em consideração dos resultados, o estudo da aplicação prática de modelo topográfico gerado a partir de levantamento realizado com VANT (Drone), tema desse trabalho, demonstrou que os produtos finais obtidos possuem qualidade satisfatória para utilização em situações reais, sobretudo no que concerne ao tempo e custo de realização dos serviços e obtenção dos resultados finais, pois se apresentou mais ágil e econômico, tanto pelo menor investimento em equipamentos, quanto pela menor necessidade de pessoal de campo para realização dos levantamentos, apesar de necessitar do auxílio de equipamentos para o georreferenciamento dos pontos de amarração.

Deste modo, a aplicabilidade desta tecnologia no setor da Construção Civil tem grande potencial, desde que realizada por pessoal tecnicamente capacitado e adotando boas práticas, assim, seguindo métodos que garantem a qualidade, precisão e acurácia, os modelos topográficos e de relevo provenientes do levantamento aerofotogramétrico realizado com Drone serão tão fidedignos quanto os realizados através dos métodos tradicionais.

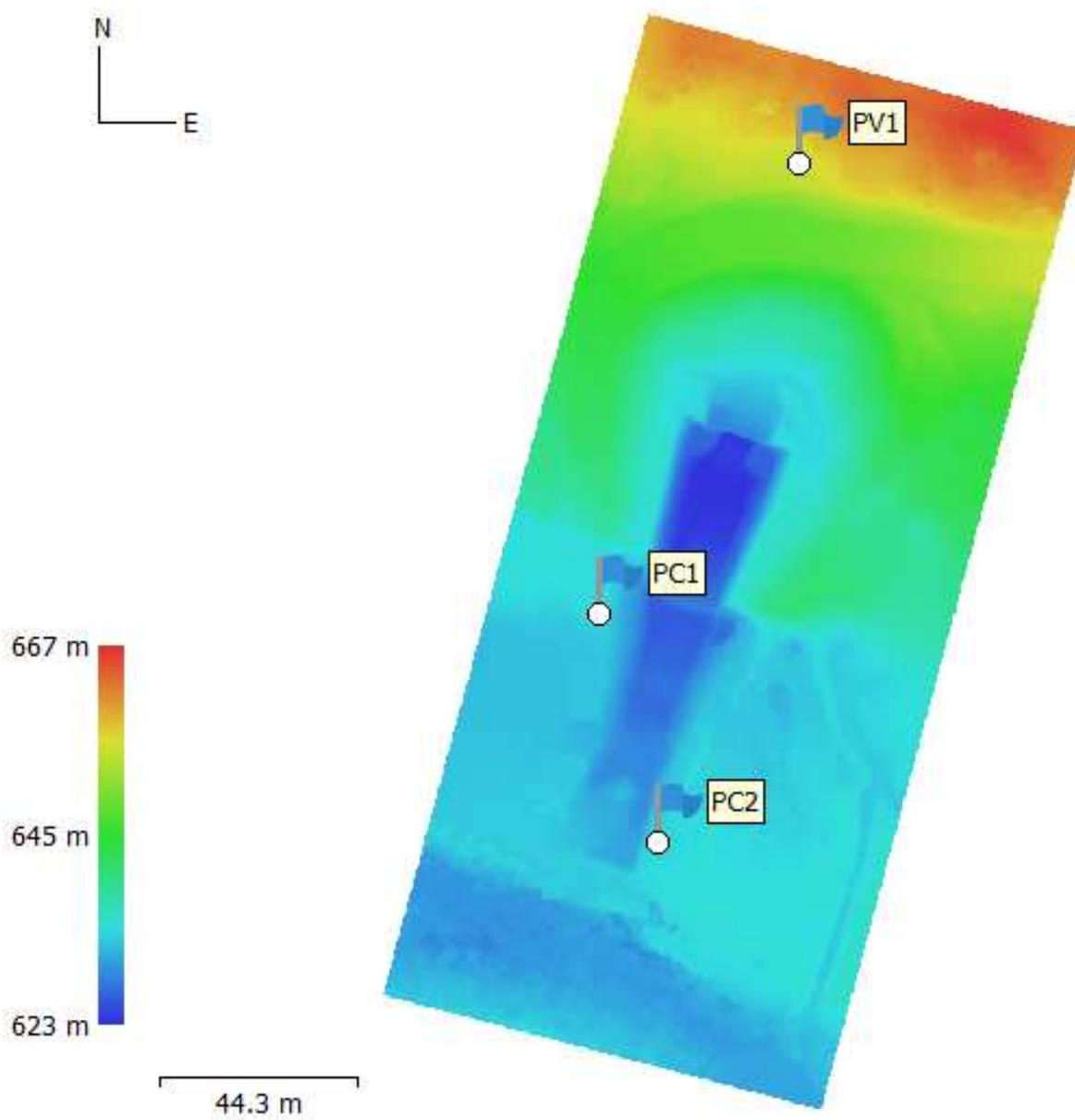
REFERÊNCIAS

- AGISOFT. **Metashape presentation.** 2021. Disponível em: https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf. Acesso em: 20 de set. de 2021.
- ATAÍDE, Danilo Henrique dos Santos. **Aplicação de VANT no mapeamento do uso e cobertura do solo e na geração de modelos 3D da paisagem.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.
- BRANDALIZE, Maria Cecília Bonato. **Topografia.** 2016. Disponível em: <http://www.gpeas.ufc.br/disc/topo/apost01.pdf>. Acesso em: 24 de ago. de 2021.
- DEUS, Bell Rodrigo Brito da Silva de. **Mapeamento 3D com drone para suporte ao BIM aplicado a arquitetura.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- DRONENG. **Topografia com drones: mitos e verdades.** 2016. Disponível em: <http://blog.Droneng.com.br/topografia-com-drones-mitos-e-verdades/>. Acesso em: 05 de out. 2021.
- IGPLAN. **Plano Básico Ambiental.** 2017. Disponível em: <https://pchconfluencia.com.br/estudos-ambientais>. Acesso em: 20 de set. de 2021.
- MEC – MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. **Referenciais curriculares nacionais de educação para profissionais do nível técnico.** 1º Edição. Brasília, Educabrazil, 2000.
- JÚNIOR, Júlio César Franco. **Modelagem BIM de infraestrutura urbana a partir de levantamentos aéreos com drone.** Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado) – Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2019.
- LINS, Breno Omena Lamenha. **A utilização do VANT (drone) como alternativa para atualização de regularização urbana.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2019.
- MIRANDA, Mariana Paula. **Inspeção e monitoramento de obra civil com drone.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade Presidente Antônio Carlos, Conselheiro Lafaiete, 2020.
- RODRIGUES, Danilo Aparecido; GALLARDO, Amarilis Lucia Casteli Figueiredo. **Vantagens da aerofotogrametria por drone na obtenção de dados topográficos em estudos de lixões e aterros sanitários.** In: VII Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade. Anais. São Paulo, 2018.
- SOUZA, Cristiano Brilhante de. **Limites e possibilidades de aplicações de modelos digitais de elevação gerados a partir de produtos obtidos por sensores remotos nos cálculos de volumes de terraplenagem.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018.
- SOUZA, Diego José da Silva *et al.* **Levantamentos topográficos utilizando drones e GNSS.** Artigo (Graduação) – Labgeo, Universidade Mackenzie, São Paulo, 2021.
- TOMMASELLI, Antonio M. G. **Fotogrametria Básica.** Universidade do Estado de Santa Catarina. 2009.

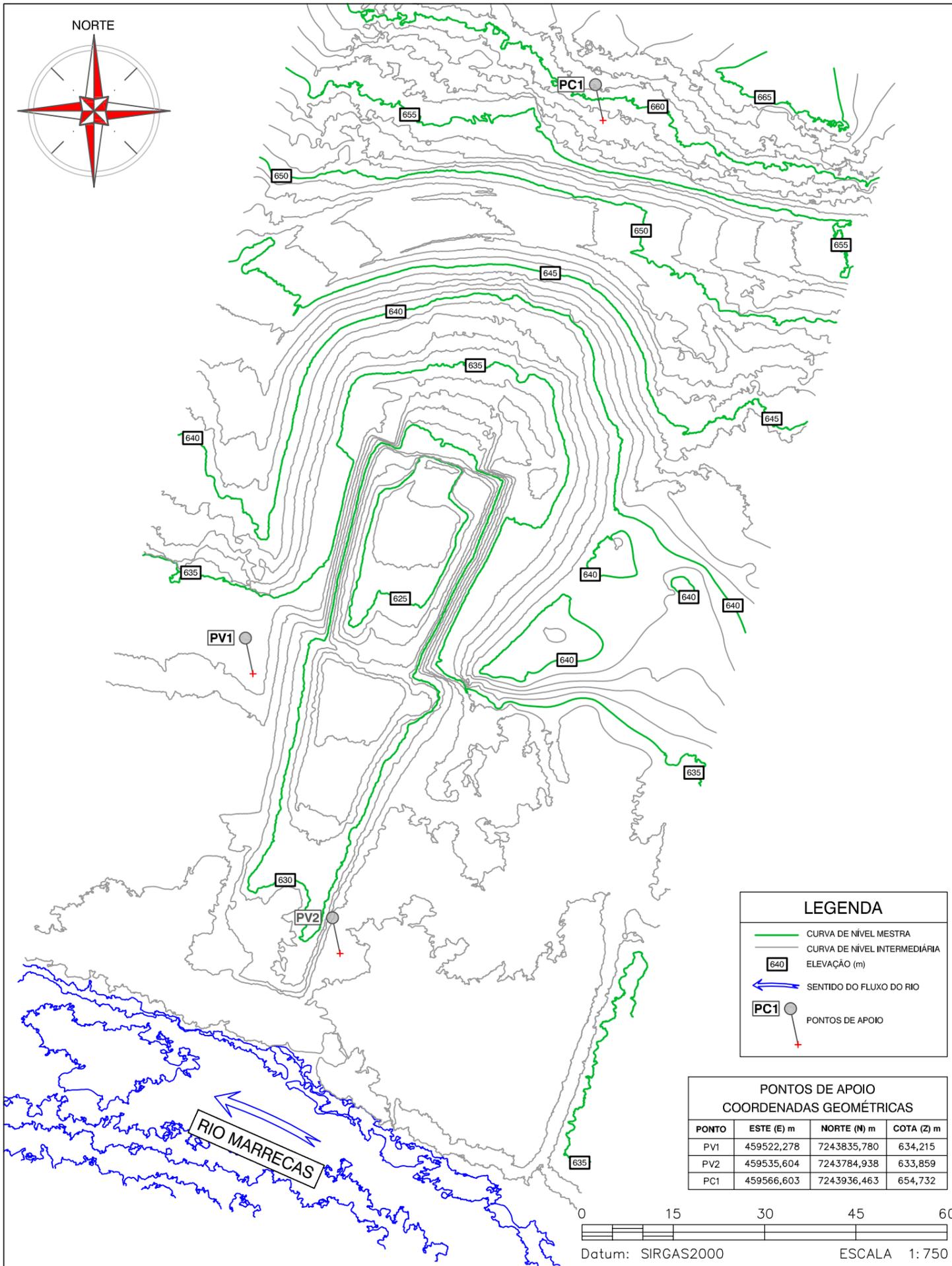
ANEXO I – Locação do empreendimento



ANEXO II – MDT



Fonte: Autoria própria (2021).



Título:
LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO – TAB

Folha:
1/1

Objetivo:
CONFERÊNCIA DE ESCAVAÇÕES COMUNS

Estrutura:
TOMADA D'ÁGUA DE BAIXA PRESSÃO

Proprietários:
PCH CONFLUÊNCIA

Escala:
1:750

Data:
05/10/2021

Endereço:
PRUDENTÓPOLIS – PR

PLANTA DE LOCALIZAÇÃO (sem escala)

ÁREAS	m2
ÁREA LEVANTADA	aprox. 30.000,00
---	0,00
---	0,00

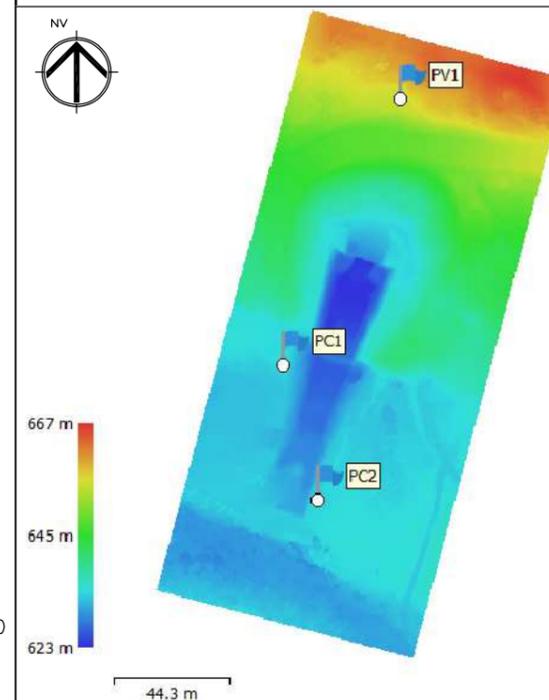


Obs.: Imagem do Google Earth, capturada via satélite em 08/07/2019, mesclada com a ortofoto georeferenciada obtida a partir do voo de drone realizado 05/10/2021.

PROPRIETÁRIO:
PCH CONFLUÊNCIA

RESPONSÁVEL:
FELIPE VARGAS DE OLIVEIRA
Acadêmico de Engenharia Civil
Centro Universitário Campo Real

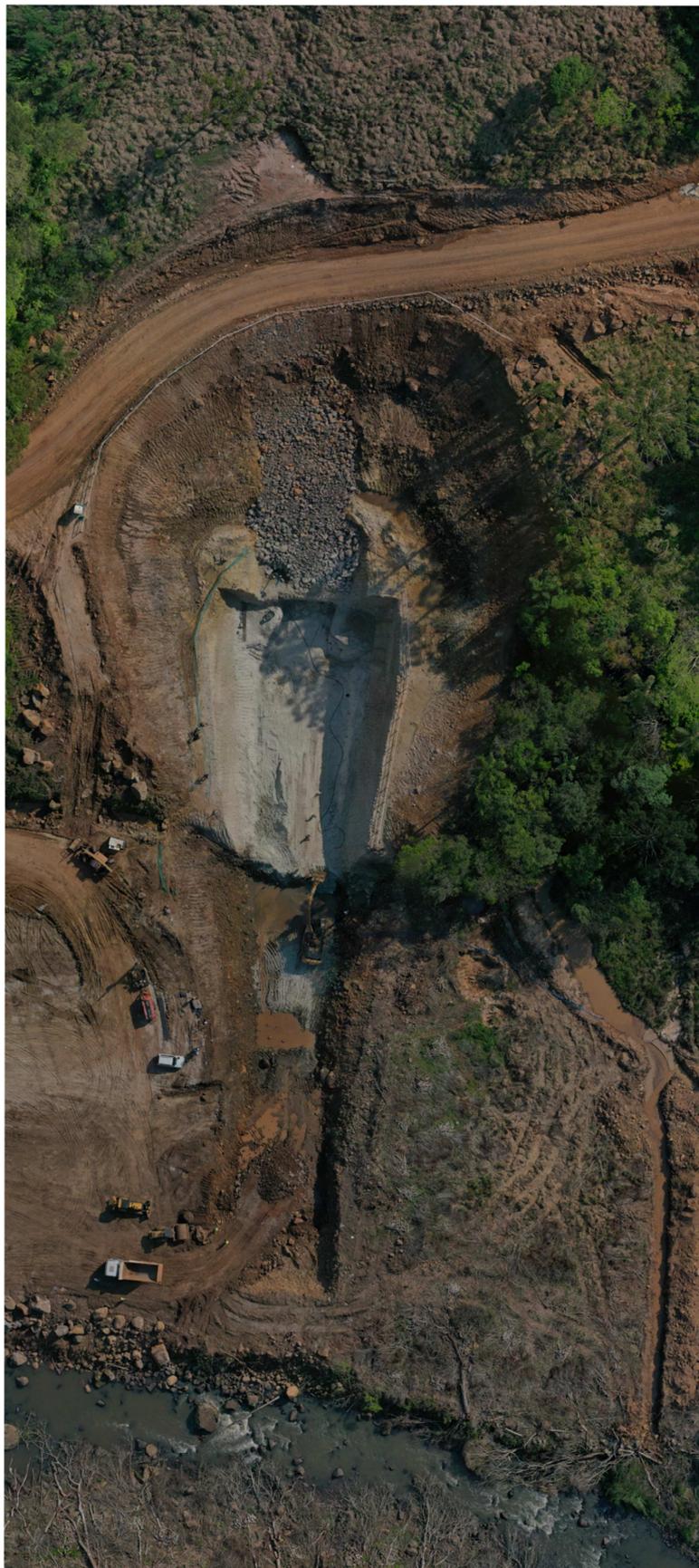
MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE
(escala gráfica indicada)



OBSERVAÇÕES:

MAPA TOPOGRÁFICO DESENVOLVIDO COMO ANEXO AO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC) APRESENTADO AO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL, ÁREA DAS CIÊNCIAS EXATAS DO CENTRO UNIVERSITÁRIO CAMPO REAL, COMO REQUISITO À OBTENÇÃO DE GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.
AUTOR: FELIPE VARGAS DE OLIVEIRA.

ANEXO IV – Ortofoto



Fonte: Aatoria própria (2021).