

Levantamento aerofotogramétrico como ferramenta de análise em frente de lavra na Pedreira J. A. Silveira

CARLOS FIGUEIRÓ KARINA RETZLAFF CAMARGO. ALEXANDRE FELIPE BRUCH

Universidade Federal do Rio Grande - edumacsul@gmail.com

Universidade Federal do Rio Grande – karinaretzlaaff@gmail.com

Universidade Federal de Pelotas - afbruch@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por métodos mais eficientes em levantamentos topográficos tem impulsionado o uso de tecnologias alternativas aos métodos tradicionais, como estação total e GNSS (*Global Navigation Satellite System*) em modo RTK (*Real Time Kinematic*), que embora precisos, são operacionais e logisticamente exigentes (CARNEIRO, 2021). Nesse contexto, a aerofotogrametria com Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) surge como alternativa promissora, proporcionando maior agilidade, cobertura de grandes áreas e geração de produtos cartográficos de alta resolução, como ortomosaicos e modelos digitais do terreno. No entanto, sua confiabilidade ainda é objeto de análise técnica, especialmente em aplicações que exigem alta acurácia planialtimétrica. Diante disso, este trabalho propõe a avaliação da técnica de levantamento com VANTs em uma frente de lavra exposta situada no escudo cristalino, localizada em uma mineradora próxima ao município de Pelotas

2. METODOLOGIA

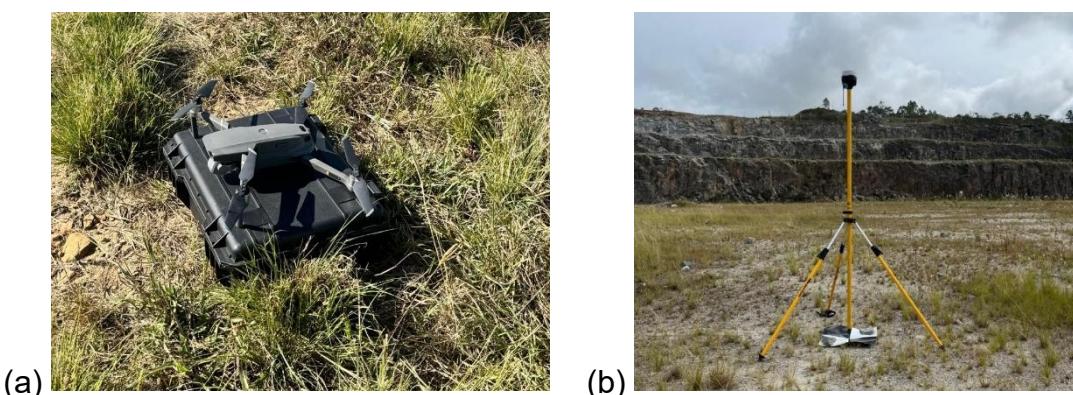
2.1 VANTs

O DJI Mavic 2 Pro (Figura 1 a) foi utilizado como plataforma aérea no levantamento deste estudo, sendo um VANT multirrotor de asa rotativa amplamente empregado em aplicações fotogramétricas devido à sua estabilidade, portabilidade e precisão. Com peso inferior a 1 kg, o equipamento possui câmera Hasselblad integrada com sensor CMOS (*Complementary Metal-Oxide-Semiconductor*, Semicondutor de Óxido Metálico Complementar) de 1 polegada e resolução de 20 MP, capaz de capturar imagens de alta qualidade. Conta com autonomia média de voo de 31 minutos, alcance de até 10 km e sistema de posicionamento compatível com as constelações GNSS GPS e GLONASS, características que garantem desempenho confiável na obtenção de dados geoespaciais em áreas com relevo variado e difícil acesso.

.2 RECEPTORES GNSS

Para os levantamentos realizados neste trabalho, foram cedidos pelo Laboratório de Hidrometria e Hidrosedimentologia (HIDROSEDI) do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) receptores GNSS do modelo *Emlid Reach RS3*, que é possível visualizar na Figura 1 (b), pertencentes à categoria dos equipamentos geodésicos de multi frequência, com capacidade de rastreamento multiconstelação e operação em tempo real (modo RTK). Esses receptores apresentam alta acurácia planialtimétrica e são amplamente empregados em aplicações de engenharia, agrimensura e aerofotogrametria de precisão (CARNEIRO, 2021).

Figura 1: (a) VANT modelo DJI Mavic Pro; (b) Receptor GNSS modelo *Emlid Reach RS3*



Fonte: Autor (2025)

2.3 PONTOS DE CHECAGEM E CONTROLE

Nos levantamentos aerofotogramétricos realizados neste estudo, foram utilizados dois tipos distintos de alvos em campo: os pontos de controle e os pontos de checagem. Os pontos de controle consistem em marcas em "X" feitas com cal no solo, posicionadas estratégicamente antes dos voos para servirem como referência durante o processamento fotogramétrico. Suas coordenadas foram obtidas com receptores GNSS em modo RTK e inseridas no *software* de processamento para ancorar o modelo tridimensional ao sistema de referência adotado, garantindo posicionamento preciso dos produtos gerados.

Já os pontos de checagem foram utilizados para avaliação independente da acurácia final dos produtos cartográficos, analisados nos eixos X, Y e Z. Para isso, empregaram-se alvos de piso vinílico xadrez, que apresentam alto contraste visual e centro bem definido. Após o processamento das imagens, esses pontos foram localizados na nuvem de pontos ou ortomosaico e, caso necessário, repositionados manualmente até o centro do alvo. A distância entre a posição reprojetada e a posição real registrada no campo foi considerada como erro residual. Esses valores foram consolidados em planilha eletrônica, sendo a raiz do somatório dos quadrados dos erros nos eixos X e Y, utilizada como indicador da precisão planimétrica do levantamento.

$$EP = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2} \quad (1)$$

onde dx é a diferença na coordenada X entre o ponto do produto testado e o ponto de controle e dy é a diferença na coordenada Y.

2.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

O processamento das imagens foi realizado no software Agisoft Metashape Professional®, iniciando com o alinhamento das fotografias por meio da identificação automática de pontos homólogos, o que resultou na geração de uma nuvem de pontos densa representando a superfície da área estudada. Em seguida, foram inseridos os pontos de controle obtidos com GNSS em modo RTK para o georreferenciamento do modelo, e localizados os pontos de checagem utilizados para avaliar a acurácia dos produtos. Após a reprojeção e otimização do modelo com base nesses pontos, foram gerados o ortomosaico, o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital do Terreno (MDT).

Os erros residuais dos pontos de checagem foram extraídos diretamente do software e utilizados para o cálculo do erro médio quadrático, que serviu como métrica de precisão do levantamento. Por fim, os produtos cartográficos foram integrados a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitindo análises espaciais como extração de curvas de nível e estimativas volumétricas, com aplicação direta em estudos geotécnicos e projetos de engenharia civil.

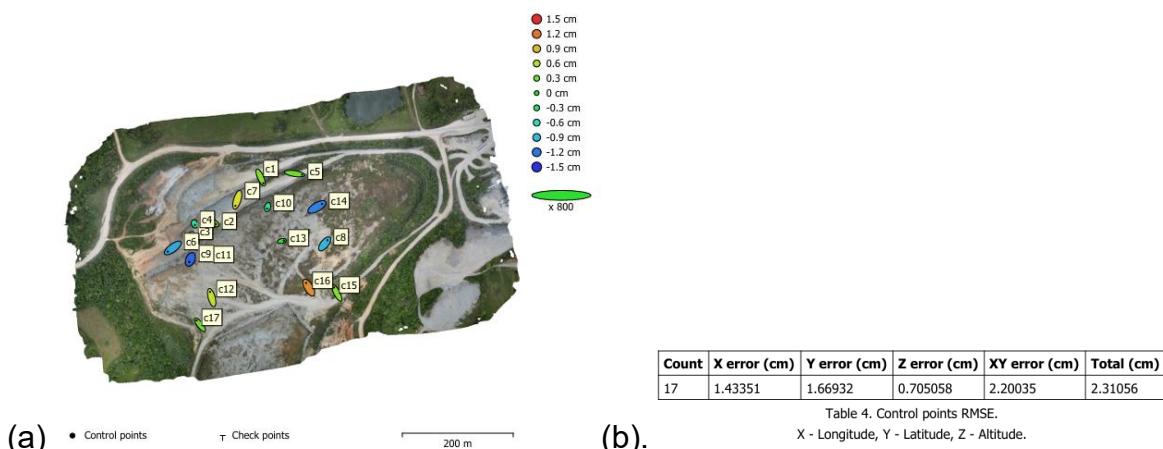
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos a partir do processamento fotogramétrico permitiram a geração de produtos cartográficos de alta qualidade, com destaque para o ortomosaico georreferenciado (*Figura 3 (a)*) e o Modelo Digital do Terreno (MDT), (*Figura 3 (b)*) que representaram com fidelidade a morfologia da área estudada. Esses dados forneceram base para análises geométricas e volumétricas, essenciais para aplicações em contextos geotécnicos. A acurácia do levantamento foi avaliada com base nos pontos de checagem, cujos erros residuais foram consolidados e utilizados no cálculo do erro médio quadrático (RMSE), conforme apresentado na *Figura 2*. Os resultados indicaram um erro total de 2,31 cm, com 1,43 cm no eixo X, 1,67 cm no eixo Y e 0,705cm no eixo Z, valores compatíveis com produtos cartográficos. Esses índices confirmam a confiabilidade dos produtos gerados e validam a metodologia adotada, demonstrando que o levantamento atende aos critérios de precisão exigidos para aplicações técnicas em engenharia civil e geotécnica.

4. CONCLUSÕES

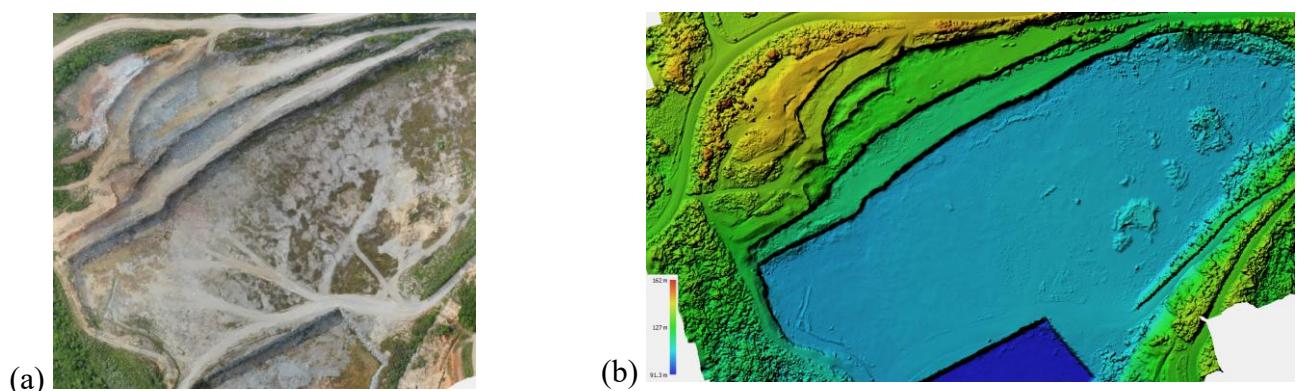
O uso da aerofotogrametria com VANT demonstrou-se uma alternativa eficiente e tecnicamente viável para levantamentos topográficos em áreas onde o tempo de levantamento se torna essencial, tendo em vista que o tempo de operação afeta diretamente a operação de lavra. A metodologia adotada permitiu a obtenção de produtos cartográficos com alta resolução espacial e boa acurácia planialtimétrica, mesmo em cenários com variações geomorfológicas e cobertura vegetal parcial. A integração entre os dados obtidos em campo e o processamento em ambiente fotogramétrico e SIG garantiu resultados robustos, aplicáveis ao planejamento de operações.

Figura 2: Relatório gerado pelo software Agisoft Metashape®



Fonte: Autor (2025)

Figura 3: Ortomosaico (a) e MDT (b) gerado no software Agisoft Metashape®



Fonte: Autor (2025)

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR13.133 - Execução de levantamentos topográficos. Rio de Janeiro. 1994.

BRUCH, A. F.; CIROLINI, A.; THUM, A. B.; CARNEIRO, M. Avaliação da Acurácia das Cubagens de Volumes de Mineração através de Levantamentos Convencionais e Fotogramétricos. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 12, n. 1. p. 283-298, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p283-298>.

CARNEIRO, M. Proposta metodológica para a obtenção de aerolevantamento de baixo custo por VANT'S, com ausência de referências físicas. Tese de Doutorado em Engenharia apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. 2021.