

## TÉCNICAS E FLUXO DE TRABALHO PARA MONITORAMENTO DE MOVIMENTAÇÃO EM TALUDE UTILIZANDO IMAGENS DE DRONE

Guilherme Ribas<sup>1</sup>; Jairo Silva<sup>2</sup>; Lucas Figueiredo<sup>2</sup>, Thamara Filsen<sup>2</sup>, Leonardo Gomes<sup>2</sup>, Alexandre Gontijo<sup>1</sup>, Arthur Matos<sup>1</sup>, Leandro Fonseca<sup>1</sup>

**Resumo** – Com o avanço da tecnologia de aeronaves remotamente pilotadas (ARP's), muitas minerações a céu aberto e subterrâneas veem utilizando esta ferramenta para a investigação da estabilidade de taludes, acompanhamento de operações e aquisição de dados para a construção de modelos geotécnicos. Técnicas de aerofotogrametria utilizando drones permitem que engenheiros geólogos e geotécnicos trabalhem de uma forma ágil e com menor exposição ao risco em áreas de mineração e construção de infraestrutura. Diversas técnicas podem ser empregadas na utilização de drones para o monitoramento de estruturas geotécnicas, desde análises visuais, comparação de imagens, até a construção de modelos tridimensionais do terreno para a detecção de movimentações através de nuvens de pontos geradas pelo processo da fotogrametria. O presente estudo apresenta a metodologia utilizada no monitoramento de um talude onde houve um rompimento, através da comparação de imagens capturadas com drones, utilizando metodologia de captura automática de imagens nos pontos de monitoramento. Além disto, uma metodologia para comparação de nuvens de pontos também é proposta como ferramenta de investigação complementar ao monitoramento visual.

**Abstract** – With the advancement of remotely piloted aircraft (RPA's) technology, many open pit and underground mining companies have been using this tool for investigating slope stability, monitoring operations and acquiring data for the construction of geotechnical models. Aerophotogrammetry techniques using drones allow geologists and geotechnical engineers to work in an agile way and with less exposure to risk in mining and infrastructure construction areas. Several techniques can be used in the use of drones to monitor geotechnical structures, from visual analysis, image comparison, to the construction of three-dimensional terrain models for the detection of movements through point clouds generated by the photogrammetry process. The present study presents the methodology used in the monitoring of a slope where there was a rupture, through the comparison of images captured with drones, using the methodology of automatic capture of images at the monitoring points. In addition, a methodology for comparing point clouds is also proposed as a complementary investigation tool to visual monitoring.

**Palavras-Chave** – Monitoramento de taludes; drones; inspeção, aerofotogrametria.

---

<sup>1</sup> MecRoc Engenharia, (31) 98881-3312, guilherme.ribas@mecroc.com.br

<sup>2</sup> Anglo American

## 1. INTRODUÇÃO

Com o avanço da tecnologia de aeronaves remotamente pilotadas (ARP's), diversas ferramentas de pilotagem e programação de voos automáticos veem possibilitando a determinação de metodologias para aquisição de dados relevantes à análise da estabilidade de taludes e encostas. A utilização desta tecnologia permite que sejam adquiridas informações em campo, de forma ágil, e sem expor a equipe técnica aos riscos de instabilidade destas estruturas (Papathanassiou et. al., 2020).

Além destas ferramentas, a técnica de processamento de imagens conhecida por “structure from motion” (SfM), permite que sejam criadas nuvens de pontos tridimensionais do terreno (Francioni et. al., 2019), para sua utilização em diversas análises, desde a detecção da orientação de descontinuidades, cálculos de distancias e volumes, e comparação de diferentes nuvens para detecção de movimentações.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### 2.1. Localização da área de estudo

A área de estudo corresponde a uma encosta onde está inserido um talude construído às margens de uma via de acesso, em um município do estado de Minas Gerais.

### 2.2. Caracterização geotécnica

O talude onde foi feita a investigação, foi construído na base de uma encosta natural, composto por solo de origem ígnea, bem consolidado, que não apresenta foliações ou estruturas geológicas que determinem uma anisotropia considerável.

A ruptura ocorrida no dia 15/01/2022, teve forma circular, atingindo uma porção localizada do talude, e expondo o solo à superfície. Esta exposição acarretou em um acentuado carreamento de sedimentos neste local, pela ação de águas pluviais, tornando necessário o acompanhamento deste transporte de sedimentos e sua influência na estabilidade do talude.

Para o monitoramento da encosta foram selecionados pontos acima da ruptura, com exposição de solo sem cobertura vegetal, além de pontos da base do rompimento, onde movimentações seriam mais facilmente observadas nas imagens aéreas.

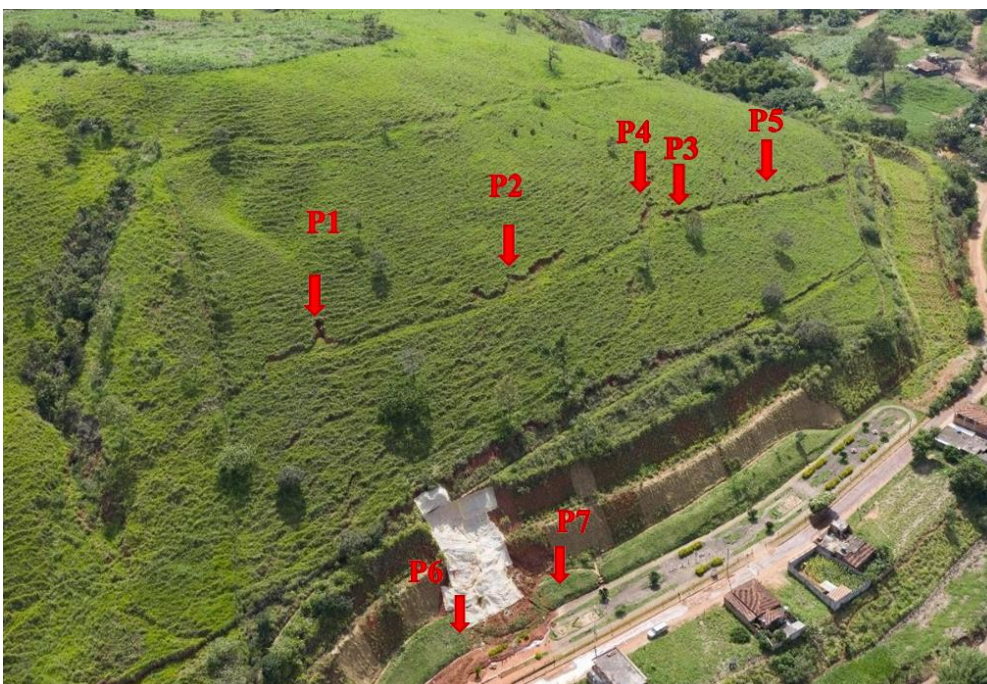


Figura 1. Vista geral do talude onde ocorreu o rompimento. As setas indicam os locais selecionados para monitoramento visual através das imagens de drone.

### 3. OBJETIVOS E METODOLOGIA

O objetivo do trabalho foi realizar um monitoramento visual de locais da encosta, acima do talude onde houve o rompimento. Buscou-se identificar a ocorrência de movimentações no terreno, ou qualquer alteração que tivesse implicações na estabilidade geral da encosta, uma vez que o rompimento causou um descalço no pé do talude. Além destes pontos, buscou-se monitorar o transporte de sedimentos na base do talude, que se tornou mais intenso com a ocorrência de fortes chuvas na região, que acarretaram diversos eventos desse tipo no estado de Minas Gerais.

Além deste monitoramento, foi feita uma comparação de nuvens de pontos tridimensionais do terreno, geradas em levantamentos em dias diferentes, para verificar a viabilidade desta metodologia para identificação de movimentações no terreno.










Para a realização do monitoramento foi utilizada uma aeronave do modelo Matrice300 RTK, da fabricante DJI. Esta aeronave conta com a tecnologia *real time kinematic* (RTK) que garante uma precisão centimétrica dos dados de localização geográfica do voo. Para o monitoramento visual dos pontos de interesse, foi utilizada uma ferramenta de gravação dos pontos de captura de imagens, onde é registrada a posição da aeronave e a direção para a qual foi capturada a imagem. Uma vez capturada as imagens no primeiro dia de inspeção, estas posições foram registradas em um plano de voo, e as inspeções seguintes foram feitas em um voo automático onde as mesmas imagens foram capturadas para comparação visual.

Para a comparação das nuvens de pontos do terreno, nos diferentes levantamentos, foram realizados voos automáticos, seguindo os planos de voo programados pelo piloto, onde imagens de toda a encosta foram capturadas. As imagens foram processadas através da técnica de fotogrametria, no software Agisoft Metashape®, onde é gerada uma nuvem de pontos tridimensional da superfície levantada. As nuvens geradas em diferentes levantamentos foram comparadas no software CloudCompare®, que possui ferramenta específica para comparação de nuvens de pontos através de suas coordenadas.

### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As imagens capturadas nos 3 levantamentos realizados no talude, foram organizadas em tabelas para sua comparação de acordo com os dias de levantamento. A tabela 1 apresenta a comparação realizada para 3 pontos de monitoramento:

Tabela 1 - Imagens capturadas nos pontos de monitoramento 4, 5 e 7, nos três dias de levantamento no talude. As linhas tracejadas nas figuras 8, 9 e 10, destacam a evolução do carreamento de sedimentos na base do talude após o rompimento (Ponto 7).

18/01/2022	27/01/2022	10/02/2022
 Figura 2 – PONTO 4	 Figura 3 – PONTO 4	 Figura 4 – PONTO 4
 Figura 5 – PONTO 5	 Figura 6 – PONTO 5	 Figura 7 – PONTO 5
 Figura 8 – PONTO 7	 Figura 9 – PONTO 7.	 Figura 10 – PONTO 7

Foram geradas nuvens de pontos através dos levantamentos aéreos realizados no primeiro dia (18/01/2022) e no último dia inspeção (10/02/2022). Estas nuvens de pontos foram comparadas através de ferramenta específica para este fim no software CloudCompare®. A figura 11 apresenta o resultado da comparação das nuvens de pontos:

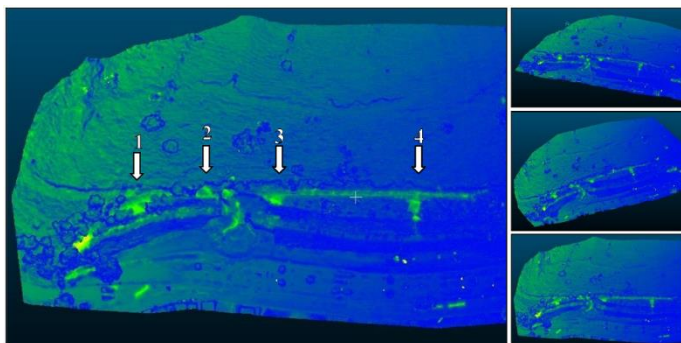


Figura 11 - Comparação das nuvens de pontos geradas nos 2 levantamentos. A cor azul indica locais onde não foram detectadas alterações. Os pontos verdes indicam os locais onde detectou-se uma maior alteração na topografia do terreno.

Quatro pontos foram indicados na figura 11, onde as maiores alterações foram detectadas pelo método de comparação das nuvens de pontos. Em análise visual das imagens, foi identificado que esta alteração está associada à retirada da vegetação, realizada para instalação de prismas topográficos, e não estaria relacionada a alterações na topografia ou movimentos de massa.

## 5. CONCLUSÕES

Durante o período de monitoramento, não foram identificadas movimentações ou alterações no terreno que implicassem na estabilidade geral da encosta. As alterações detectadas pela comparação das nuvens de pontos foram atribuídas à retirada de vegetação realizada manualmente para instalação de prismas topográficos.

O método de captura automática das imagens nos pontos de monitoramento, através do plano de voo criado pelo usuário, mostrou-se eficaz e prático para registro de pontos de interesse, e permitiu a identificação de aumento na zona de deposição de sedimentos na base do talude. A gravação da localização e direção da câmera nos locais de captura, garante que as imagens sejam semelhantes, facilitando sua comparação visual.

Apesar de não terem sido identificadas movimentações ou alterações no terreno pela comparação das nuvens de pontos, o método apresenta um bom potencial para utilização no monitoramento de taludes, uma vez que foram detectadas alterações relacionadas à retirada de vegetação baixa no topo do talude.

É importante ressaltar que a qualidade do levantamento está relacionada com uma boa aquisição de imagens. A luminosidade, condições climáticas e a padronização da sobreposição de imagens, são fatores que condicionam um bom levantamento. Recomenda-se que a ferramenta seja utilizada como medida complementar a outras técnicas de monitoramento, e sempre aliada a uma avaliação criteriosa da qualidade dos dados levantados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Anglo American e toda a equipe envolvida no desenvolvimento da atividade, na disponibilização dos dados e realização do estudo.

## REFERÊNCIAS

- Francioni, M., Simone, M., Stead, D., Sciarra, N., Mataloni, G., Calamita, F. *A New Fast and Low-Cost Photogrammetry Method for the Engineering Characterization of Rock Slopes*. Remote Sens. 2019, 11, 1267.
- Papathanassiou, G., Riquelme, A., Tzeveleakis, T., & Evaggelou, E. (2020). *Rock Mass Characterization of Karstified Marbles and Evaluation of Rockfall Potential Based on Traditional and SfM-Based Methods; Case Study of Nestos, Greece*. Geosciences, 10(10), 389.