

UTILIZAÇÃO DE MODELOS TRIDIMENSIONAIS DE AFLORAMENTOS EM ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOMECÂNICOS

Marcos Rogério do Nascimento Júnior ¹; Thayssa Pereira de Andrade ²; Silas Santos Salgado ³; Ana Paula de Campos Daher ⁴; Marcelo Schwenck Galvão ⁵

Resumo – Os modelos tridimensionais contribuem consideravelmente a estudos voltados a mineração, incluindo a geologia e também a geotecnia. As técnicas de fotogrametria como a SfM geram modelos que contribuem para solucionar diversas situações nas temáticas mencionadas. Nos resultados deste trabalho, no modelo estudado obteve-se a caracterização das famílias de descontinuidades presentes no maciço, assim como a estimativa de parâmetros geomecânicos de espaçamento e persistência, importantes na classificação geomecânica de maciços rochosos e diagnóstico de instabilidades.

Abstract – Three-dimensional models contribute considerably to mining studies, including geology and geotechnics. Photogrammetry techniques such as SfM generate models that contribute to solving different situations in the mentioned themes. In the results of this work, in the model studied, the characterization of the families of discontinuities present in the rock mass was obtained, as well as the estimation of geomechanical parameters of spacing and persistence, important in the geomechanical classification of rock masses and diagnosis of instabilities.

Palavras-Chave – Geologia Estrutural; Drone; Geomecânica; Modelos 3D.

¹ Geól., Esp., DF+ Eng. Geotéc. Rec. Hídricos, (31) 2519-1001, mnascimento@dfmais.eng.br

² Geól., MSc., DF+ Eng. Geotéc. Rec. Hídricos, (31) 2519-1001, tandrade@dfmais.eng.br

³ Geól., Ph.D, DF+ Eng. Geotéc. Rec. Hídricos, (31) 2519-1001, ssalgado@dfmais.eng.br

⁴ Geól., MSc., DF+ Eng. Geotéc. Rec. Hídricos, (31) 2519-1001, adaher@dfmais.eng.br

⁵ Geól., MSc., DF+ Eng. Geotéc. Rec. Hídricos, (31) 2519-1001, mgalvao@dfmais.eng.br

1. INTRODUÇÃO

Os recentes avanços tecnológicos de construção de modelos tridimensionais vêm contribuindo nos estudos e análises de diversas áreas. Não diferente, na mineração e geotecnia a construção e análises de modelos 3D vêm crescendo, ainda mais com a popularização dos VANT's, amplamente utilizados e que auxiliam em diversas aplicações. Segundo Turner *et al.* (2012), por meio da técnica *Structure From Motion (SfM)*, pode-se construir modelos e/ou estruturas tridimensionais a partir de um conjunto de cenas e/ou imagens bidimensionais obtidas por levantamento com sobreposição de imagens. Com relação a análises estrutural e geomecânica, é possível encontrar artigos relacionados a este tipo de abordagem, como Battulwar *et al.* (2021), utilizando de modelos tridimensionais para aquisição de informações geológicas. Nascimento-Júnior (2020) aplicou em seus estudos a aferição de medidas estruturais por meio de ambiente virtual com o intuito caracterizar a geologia estrutural de um maciço rochoso em uma lavra de rocha ornamental. No intuito de aplicarmos estas metodologias, este trabalho apresenta o uso de modelos tridimensionais, obtidos por levantamento por VANT, para a aquisição de dados geológico-estrutural e geomecânicos.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizou-se um modelo tridimensional de um talude com geometria (*dip/dip direction: 37°/040°*), obtido por VANT, expondo as feições estruturais e descontinuidades do maciço rochoso de uma cava de minério de ferro (Figura 1).



Figura 1. Nuvem de pontos tridimensional de um talude rochoso.

Com a utilização de *softwares* de geoprocessamento e modelagem 3D, foi realizada a construção de modelos em nuvem de pontos e de superfícies trianguladas e posteriormente foi realizada a aferição das medidas estruturais (*dip/dip direction*) de maneira manual.

Nesta etapa, utilizou-se de ferramentas de medidas de ângulo do *software* para reconhecer faces de descontinuidades que foram realizadas nas superfícies trianguladas, ou seja, uma amostra da nuvem de pontos que representa uma face de descontinuidade. Após a caracterização dos planos de face das descontinuidades, foi realizada, de forma manual, a projeção de medidas perpendiculares aos planos face de uma mesma família. As medidas de persistência, foi realizada na superfície triangulada, ou seja, no plano original da descontinuidade, obtendo-se a medida da maior extensão da superfície. A Figura 2 demonstra a aferição manual utilizando a nuvem de pontos e a malha triangulada para caracterização das principais famílias de descontinuidades expostas no talude analisado.

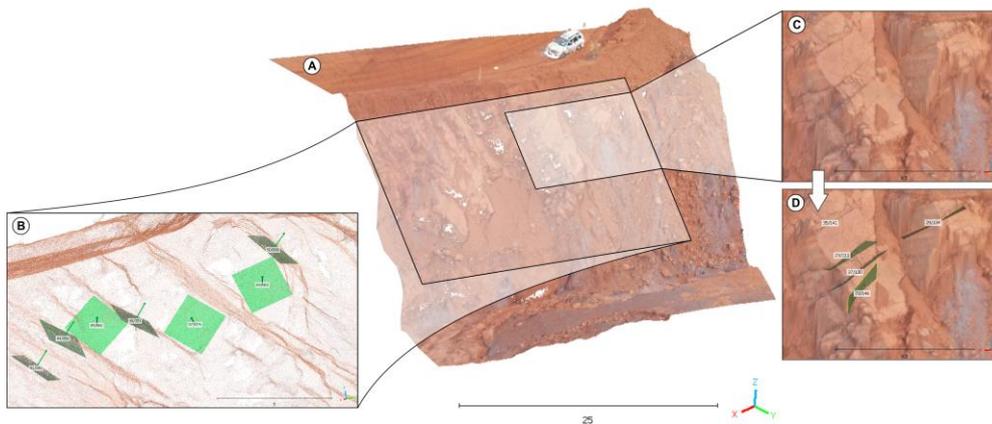


Figura 2. Aferição das discontinuidades. A) Nuvem de pontos da porção NW do talude; B) Aferição de planos expostos por nuvem de pontos; e C) e D) aferição de alinhamento de feições de discontinuidades em superfície triangulada.

3. RESULTADOS

Com a utilização do modelo tridimensional do talude, obteve-se a identificação de 2 famílias de discontinuidades, famílias F_1 e F_2 que podem configurar a ocorrência de ruptura em cunha no maciço de acordo com a geometria do talude (Figura 3E). Outras discontinuidades aleatórias podem ocorrer em porções do talude.

A família F_1 foi caracterizada com atitude média de $357^\circ/42^\circ$, com espaçamento médio de 0,52m e persistência média 2,68m. A família F_2 foi caracterizada com atitude média $072^\circ/60^\circ$, com espaçamento médio de 3,36m e persistência 1,97m. O espaçamento foi realizado em um conjunto de 28 medidas entre as discontinuidades da F_1 e a persistência em 22 planos da F_1 . Já a F_2 , o espaçamento foi definido em 19 medidas entre elas e a persistência por 11 medidas de planos. Conforme abordado anteriormente, o espaçamento considerou a medida perpendicular entre os planos de cada família, e a persistência foi mensurada na maior extensão dos planos das caracterizados. A Figura 3 mostra as famílias de discontinuidades e a forma em que foi realizada a mensuração das medidas de espaçamento e persistência.

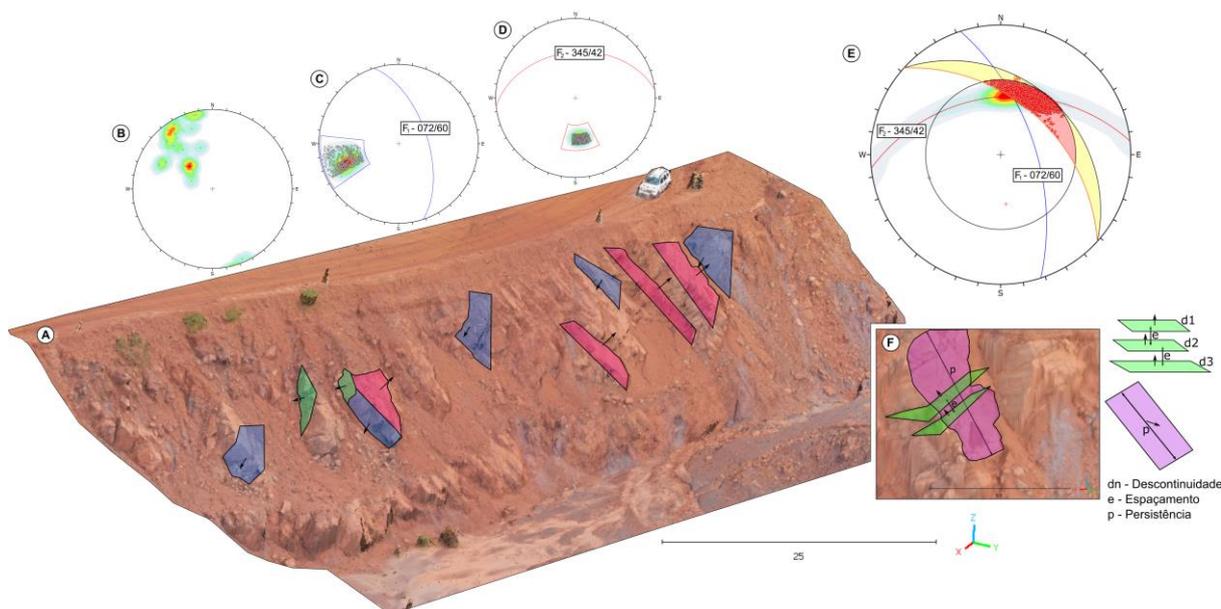


Figura 3. Principais famílias de discontinuidades. A) Talude analisado; B) Estereograma de discontinuidades aleatórias; C) Estereograma da família F_1 ; D) Estereograma da família F_2 ; E) Estereograma de análise cinemática de ruptura em cunha para a F_1 e F_2 ; F) Exemplo da medida de espaçamento e persistência em uma família de discontinuidade.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo, foi possível aplicar ferramentas digitais que auxiliaram a aferir e mensurar parâmetros importantes para o entendimento de um maciço rochoso. Conclui-se que esse tipo de estudo e análise pode contribuir para o conhecimento e a classificação geomecânica de maciços rochosos em que há dificuldade de acesso, seja por ocorrência de rupturas que bloqueiam os acessos ou por taludes de geometria muito íngreme onde há dificuldade de checagem destes parâmetros. Ainda, a aplicação do VANT auxilia na definição mais precisa do parâmetro persistência, isso porque tal parâmetro é de difícil definição em campo, já que por muitas vezes o plano de descontinuidade prolonga-se para mais de um banco ou talude não sendo possível visualizá-lo por completo. A sistemática de trabalho, aqui apresentada, também considerou sua aplicação na análise cinemática para os mecanismos de ruptura planar, cunha e tombamento.

Apesar de não ter sido realizado neste estudo, é possível também estimar parâmetros como o J_v (contador volumétrico de juntas) e chegar a um resultado do *RQD* (Deere, 1968) com base na metodologia de Palmstrom (2005). Os modelos tridimensionais também podem contribuir para caracterização do GSI de um maciço rochoso conforme os critérios qualitativos e de observações visuais sugeridos por Hoek (1994).

Por fim, estes resultados mostram a importância de se obter uma densidade maior de informações de um maciço a fim de se obter parâmetros assertivos para sua classificação geomecânica. Uma evolução do trabalho aqui apresentado consiste em obter de forma automatizada estes parâmetros, dinamizando as análises. Ressalta-se que alguns *softwares* pagos já realizam esta tarefa, mas há *softwares* gratuitos, utilizando-se de *plugins* e comandos de programação podem auxiliar nesse tipo de abordagem.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a DF+ Engenharia Geotécnica e Recursos Hídricos pelo apoio no desenvolvimento e divulgação desses estudos.

REFERÊNCIAS

- BATTULWAR, R., ZARÉ, M., EMAMI, E., SATTARVAND, J. (2021). "A state-of-the-art review of automated extraction of rock mass discontinuity characteristics using three-dimensional surface models". *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. pp. 920-936.
- BIENIAWSKI, Z. T. *Engineering rock mass classifications*. New York: Wiley, 1989. 272p.
- DEERE, D. U. *Geological considerations*. In: *Rock mechanics in engineering practice, Chapter 1*. Edited by K.G. Stagg and O.C. Zienkiewicz. New York: Wiley. 1968. pp. 1-20.
- HOEK, E. (1994). "Strength of rock and rock masses". *News J ISRM* 2(2):4-16.
- NASCIMENTO-JÚNIOR, M. R. (2020) "Caracterização geológica estrutural por meio virtual: Apoio no planejamento e controle de lavra de rochas ornamentais", Trabalho de Conclusão de Curso, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Rochas Ornamentais, Instituto Federal do Espírito Santo, 10p.
- PALMSTROM, A. (2005). "Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD)". *Tunnelling and Underground Space Technology*. 20. 362-377.
- TURNER D., LUCIEER A., WATSON C. (2012). "An automated technique for generating georectified mosaics from ultra-high resolution unmanned aerial vehicle (UAV) imagery, based on structure from motion (Sfm) point clouds". *Remote Sens*; 4:1392–1410.