

**ANÁLISE DE ESTABILIDADE DE TALUDES ROCHOSOS NO
CONDOMÍNIO VALE DO SERENO, NOVA LIMA, MG**

Ana Catharina Oliveira Mol Dutra¹; Maria Giovana Parizzi²

Resumo – O crescimento da expansão urbana em direção ao vetor Sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), a partir da década de 90, foi impulsionado pela valorização da região com o lançamento de loteamentos e condomínios residenciais para a população de alto nível de renda e atividades mineradoras. O vetor sul localiza-se na região geológica do Quadrilátero Ferrífero, caracterizada por relevo acidentado, marcado pela presença das Serras do Curral, Moeda, Gandarela e Rola Moça, fortemente condicionado pela geologia. Grupos de rochas metassedimentares como Itabiritos, quartzitos, filitos e xistos são responsáveis pelo condicionamento do relevo. Devido à expansão urbana e minerária os cortes de taludes têm apresentado instabilidades e os escorregamentos se tornaram os riscos mais comuns ao longo das vias de acesso e arruamentos dos condomínios. Objetivando compreender melhor estes processos, este estudo apresenta a análise da estabilidade de taludes do Condomínio Vale do Sereno, Nova Lima, MG. Foram aplicados métodos de classificação geomecânica, análise cinemática e cálculo de fator de segurança (método do equilíbrio limite), permitindo apontar rochas mais susceptíveis, além da relação entre a instabilidade e o grau de saturação em água nos maciços rochosos e o tipo de movimentação de massa mais provável.

Abstract – The growth of urban expansion since the 1990s, towards the Southern vector of the Metropolitan Region of Belo Horizonte (RMBH), was driven by the valorization of the region and the construction of allotments and residential condominiums for the population of high income and mining activities. The southern vector is located in the geological region of the Quadrilátero Ferrífero, characterized by rugged relief, marked by the presence of the Curral, Moeda, Gandarela and Rola Moça Mountains, strongly conditioned by geology. Groups of metasedimentary rocks such as Itabirites, quartzites, phyllites and schist are responsible for the conditioning of the relief. Due to urban and mining expansion, slope cuts have been presented and landslides have become the most common risks along the access roads and streets of condominiums. Aiming to better understand these processes, this study presents the slope stability analysis of Vale do Sereno Condominium, Nova Lima, MG. Methods of geomechanical classification, kinematics analysis and calculation of safety factor (limit equilibrium method) were applied, allowing to point out more susceptible rocks, in addition to the relationship between instability and degree of saturation in water in the rock mass and the most likely type of mass movement.

Palavras-chaves – Estabilidade, Taludes, Vale do Sereno.

¹ Geóloga, graduanda, Universidade Federal de Minas Gerais, (31) 98426.2545, anacatharina.mol@outlook.com

² Geóloga, doutora, professora associada da Universidade Federal de Minas Gerais, (31) 98795.6293, mgparizzi18@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

O avanço da urbanização faz com que seja necessária a ocupação de regiões topograficamente desfavoráveis para que a população dos centros urbanos seja acomodada. Esse processo demanda adaptações no relevo do terreno de acordo com a infraestrutura a ser instalada, principalmente através de cortes de taludes. Essas alterações podem desestabilizar os materiais geológicos que compõem essas áreas, propiciando a ocorrência de deslizamentos e provocando acidentes de impacto social, material e ambiental (Wyllie & Mah, 2004).

Além disso, existem materiais geológicos cujas propriedades e características facilitam o desenvolvimento de rupturas, como a preexistência de planos de fraqueza, como acamamento, foliação e fraturas; além do estado de alteração do material e sua composição mineral (Hoek & Bray, 1981; Bieniawski, 1989; Fiori & Carmignani, 2009).

A região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) é um exemplo de crescimento urbano em região de variação topográfica, sendo preocupante a condição de estabilidade de maciços rochosos principalmente compostos de litologias mais suscetíveis (Parizzi, 2004; Parizzi *et al.* 2011). O crescimento da expansão urbana em direção ao vetor Sul da RMBH, a partir da década de 90, foi impulsionado pela valorização da região com o lançamento de loteamentos e condomínios residenciais para a população de alto nível de renda e atividades mineradoras (SEDRU, 2011). Devido à expansão urbana e minerária os cortes de taludes têm apresentado instabilidades e os deslizamentos se tornaram os riscos mais comuns ao longo das vias de acesso e arruamentos dos condomínios. Desta forma, objetivando compreender melhor estes processos, o presente trabalho busca averiguar a condição de estabilidade de taludes localizados no Condomínio Vale do Sereno, em Nova Lima, município integrante da RMBH, Minas Gerais. Este estudo foi desenvolvido durante projeto de pesquisa de iniciação científica voluntária da UFMG.

2. CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo localiza-se no Condomínio Vale do Sereno, na cidade de Nova Lima, MG, fazendo parte do vetor sul da região metropolitana de Belo Horizonte e do Quadrilátero Ferrífero, como observado na Figura 1. A cidade de Belo Horizonte situa-se principalmente sobre um terreno granito-gnáissico arqueano, o chamado Complexo Belo Horizonte, mas ocorrem seqüências metassedimentares supracrustais do Supergrupo Minas mais ao sul, próximo da Serra do Curral (Farina *et al.*, 2016) e da cidade de Nova Lima, onde a região abordada se encontra.

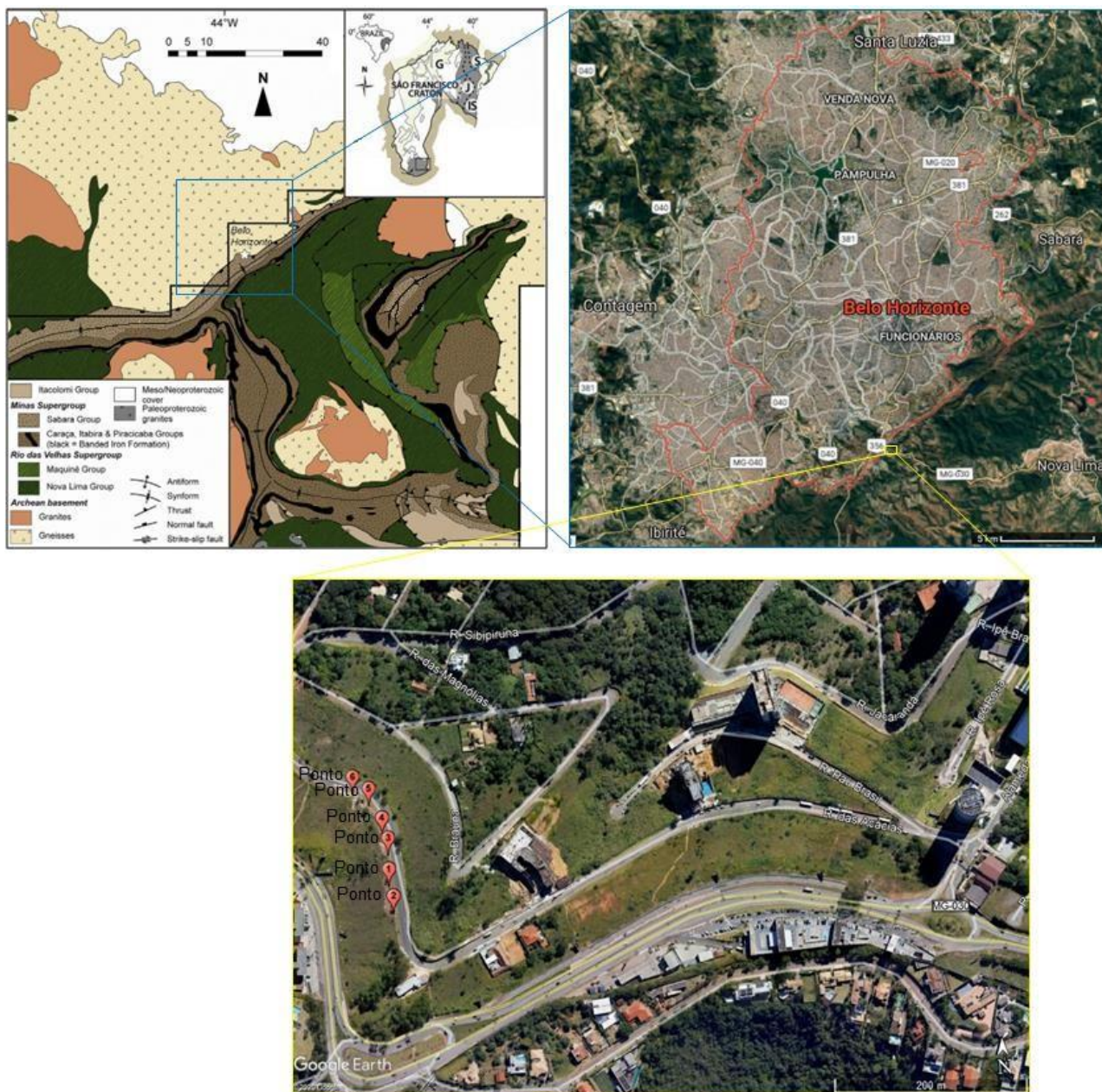


Figura 1. Contexto geológico, localização da área de estudo e distribuição dos pontos. Modificado de Farina et al. 2016.

3. MÉTODOS

Para avaliação da estabilidade dos taludes foram realizados trabalhos de campo no condomínio com intuito de se descrever os maciços rochosos quanto às características geotécnicas de interesse, tais como orientação do corte; a litologia presente; estado de alteração e resistência mecânica pontual; a identificação e orientação de famílias de descontinuidades e suas condições de abertura, espaçamento, rugosidade, preenchimento e percolação de água. Foram descritos 6 pontos (Figura 1) ao longo de um trecho de rua do condomínio, identificados como pontos de instabilidade. Posteriormente o ponto 6 foi dividido nos pontos 6.1 e 6.2 devido a presença de um contato geológico encontrado, indicando a ocorrência de rochas distintas.

Os dados obtidos foram aplicados em métodos de análise de estabilidade já consolidados na literatura.

A partir do método *Rock Mass Rating* (RMR) (Bieniawski, 1989) foi realizada a descrição e classificação dos maciços rochosos de acordo com características que propiciam ou dificultam o

escorregamento de blocos. O critério de ruptura de Barton-Bandis (1990) é uma relação empírica amplamente usada para modelar a resistência ao cisalhamento de descontinuidades de rocha e foi utilizado para obtenção dos valores de coesão e atrito das descontinuidades usadas na análise cinemática e no cálculo de estabilidade. A análise cinemática de descontinuidades, descrita por Fiori & Carmignani (2009), foi usada para determinar as rupturas mais prováveis, considerando a geometria do talude e das descontinuidades e por fim, o método do equilíbrio limite de Hoek & Bray (1981) para o cálculo do fator de segurança e a determinação da estabilidade dos taludes.

Para realizar a análise cinemática seguindo os critérios de Fiori & Carmignani (2009) foram elaborados estereogramas com as medidas médias para os planos de descontinuidades e planos de talude usando a função StereoNet, disponível no aplicativo online VisibleGeology, que permite criar uma representação geométrica de planos. Os programas desenvolvidos pela RocScience foram de suma importância, sendo o RocData usado para a aplicação do critério de Barton-Bandis (1990), enquanto o Swedge e o RocPlane foram utilizados para obtenção de valores de fatores de segurança e estudo de estabilidade dos cortes de talude, seguindo o método do equilíbrio limite segundo Hoek & Bray (1981).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O maciço rochoso de cada ponto foi classificado de acordo com os parâmetros definidos pelo método RMR. Os parâmetros avaliados nesse método são: resistência da rocha à compressão; *Rock Quality Designation* (RQD), frequência de descontinuidades a cada metro (Bieniawski, 1989); espaçamento médio entre as descontinuidades; a condição de rugosidade e preenchimento das descontinuidades; presença de água e orientação geométrica das descontinuidades.

O ponto 1 é composto por filito cuja resistência vai de 5 à 25MPa; RQD igual a 77%; o espaçamento médio obtido é de 0,20m; nota-se um preenchimento mole com espessura maior que 5mm; descontinuidades úmidas e orientação espacial razoável. A soma de pesos é igual a 9, o que confere ao ponto classificação V, maciço muito fraco, cuja coesão atribuída é menor do que 100kPa e o ângulo de atrito menor que 15°.

No ponto 2 também observou-se a ocorrência de filito com resistência de 5 à 25MPa; 90% de RQD; espaçamento médio de 1,21m; a existência de um preenchimento mole com espessura maior que 5mm; paredes úmidas e orientação razoável das descontinuidades. A soma de pesos é de 19, com classificação V, maciço muito fraco. A coesão definida é inferior à 100kPa e o ângulo de atrito menor a 15°.

Já no ponto 3 a rocha é um quartzito, de resistência entre 50 e 100MPa; o RQD foi de 66%; o espaçamento médio é de 0,11m; as superfícies são ligeiramente rugosas, abertura menor que 1mm e paredes ligeiramente alteradas e úmidas; orientação favorável das famílias. Assim, obteve-se 55 na soma de pesos, conferindo ao ponto classificação III, maciço razoável, cuja coesão é de 200 a 300kPa e o ângulo de atrito está entre 25 e 35°.

Também foi encontrado um quartzito no ponto 4, no entanto de resistência entre 25 à 50MPa; com RQD de 66%; espaçamento médio de 0,16m; as superfícies das descontinuidades encontram-se ligeiramente rugosas, com separação menor que 1mm, paredes ligeiramente alteradas; água intersticial e orientação muito favorável das descontinuidades. A soma dos pesos é 60 e a classificação do ponto é III, maciço razoável de coesão entre 200 a 300kPa e ângulo de atrito entre 25° e 35°.

O ponto 5 consiste em um quartzito micáceo levemente foliado de resistência entre 25 e 50MPa; 63% de RQD; espaçamento médio de 0,25m; as superfícies são ligeiramente rugosas, de separação menor do que 1mm e paredes muito alteradas e úmidas; a orientação espacial das descontinuidades é muito favorável. A soma dos pesos é 54 e a classificação do maciço é III, maciço razoável, cuja coesão está entre 200 e 300kPa e o ângulo de atrito entre 25 e 35°.

No ponto 6.1 a rocha encontrada é um quartzito cuja resistência é de 25 a 50MPa; o RQD é de 74%; o espaçamento médio é de 0,27m; as descontinuidades são ligeiramente rugosas, com

separação menor que 1mm e as paredes encontram-se ligeiramente alteradas e úmidas, no entanto a orientação das estruturas é geometricamente desfavorável. A soma de pesos obtida é de 9, portanto de classe V, um maciço muito fraco, a coesão é menor que 100kPa e o ângulo de atrito inferior a 15°.

Por fim, o ponto 6.2 é composto por um filito quartzoso de resistência entre 1 a 5MPa; o RQD é de 66%; com espaçamento médio de 0,9m; as descontinuidades tem enchimento mole com espessura maior que 5mm e encontram-se úmidas e a orientação das descontinuidades é muito favorável. O somatório dos pesos foi de 29, classificando-o o maciço como IV, maciço fraco. A coesão está entre 100 e 200kPa e o ângulo de atrito a ser adotado entre 15 e 25°.

Com as medidas médias obtidas em campo para a atitude dos taludes e das descontinuidades, juntamente com o ângulo de atrito obtido pelo critério de Barton-Bandis (1990), montou-se estereogramas (Figura 2) para visualização geométrica dos planos e a relação espacial entre eles, sendo possível determinar através da análise cinemática a ocorrência e o tipo de deslizamento. Através da análise cinemática determinou-se taludes estáveis, cuja orientação das descontinuidades não implica em risco de deslizamento e taludes potencialmente instáveis, ou seja, que a atitude das descontinuidades favorece a ocorrência de ruptura.

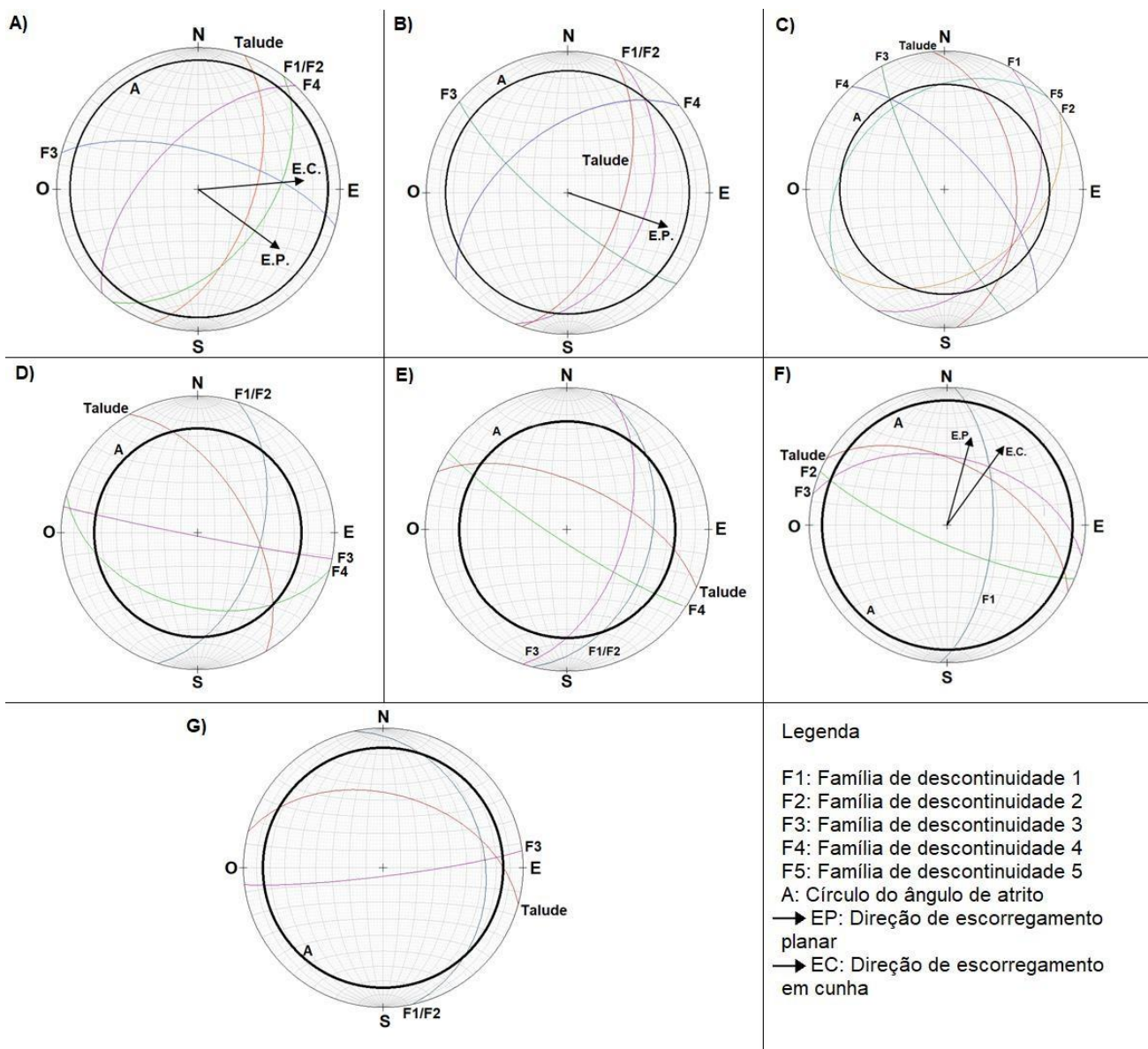


Figura 2. Estereogramas de análise cinemática dos maciços rochosos. A) Referente ao Ponto 1. B) Referente ao Ponto 2. C) Referente ao Ponto 3. D) Referente ao Ponto 4. E) Referente ao Ponto 5. F) Referente ao Ponto 6.1. G) Referente ao Ponto 6.2.

Nesta etapa, os pontos 1, 2 e 6.1 foram considerados potencialmente instáveis, enquanto os demais, 3, 4, 5 e 6.2, foram considerados estáveis.

As condições geométricas das descontinuidades com relação à orientação do plano de corte dos taludes analisados favorecem dois tipos de ruptura (Augusto Filho, 1992; Fiori & Carmignani, 2009; Tominaga *et al.*, 2009):

Ruptura planar ao longo dos planos de descontinuidade: Este tipo de ruptura ocorre quando a direção do plano de deslizamento é aproximadamente paralela à face do talude, tendo uma diferença inferior a 20° , e o ângulo de inclinação da descontinuidade ao longo do qual se dá a ruptura, deve ser menor que o ângulo da face do talude, permitindo que o material acima daquele deslize por gravidade. Além disso, o ângulo de mergulho da descontinuidade deve ser maior que o seu ângulo de atrito, neste caso calculado como sendo igual a 11° (pontos 1, 2) e 13° (ponto 6.1), obtido pelo critério de Barton-Bandis (1990).

Ruptura em cunha: Para que este tipo de ruptura ocorra, é necessário que a linha de intersecção dos dois planos aflore na superfície do talude com um ângulo de inclinação menor que o ângulo de mergulho do plano de talude e rumo menor ou igual a 20° que o rumo do talude. O ângulo da linha de intersecção também deve ser maior que o ângulo de atrito das descontinuidades. É uma ocorrência de ruptura típica em maciços rochosos com várias famílias de descontinuidades, onde as atitudes, espaçamentos e persistências do maciço vão determinar a forma e volume da cunha. Também foi adotado ângulo de atrito igual 11° (pontos 1) e 13° (ponto 6.1), obtido pelo critério de Barton-Bandis (1990).

Para o ponto 1, constituído por maciço de filito, as famílias de descontinuidades F1/F2 são paralelas ao plano de corte do talude, e atendem as condições geométrica favoráveis à ocorrência de ruptura planar (Figura 3A). A linha de intersecção formada entre as descontinuidades F1/F2 com F3 favorece a ruptura em cunha (Figura 4A).

Embora a descontinuidade F4 mergulhe em sentido contrário ao plano do talude e seu rumo difere até 20° desse último, o ângulo de mergulho é inferior a $(90^\circ - \Phi)$, sendo Φ o ângulo de atrito do maciço, o que não favorece a possibilidade de ruptura do tipo tombamento, conforme as condições de equilíbrio limite de Goodman & Bray (1976). De fato não foram observadas rupturas do tipo tombamento nos taludes analisados.

Para o ponto 2, a condição geométrica das descontinuidades e do plano do talude favorecem a ruptura planar ao longo de F1/F2 (Figura 3B)

Para o ponto 6.1 é possível a ruptura em cunha formada pela intersecção das famílias F3 e F1 e uma ruptura planar de blocos pouco espessos ao longo da família F3, pois este plano apresenta ângulo de mergulho bem próximo do ângulo de mergulho da face do talude (Figura 3C). Também é possível escorregamento em cunha por meio da intersecção das descontinuidades F3/F1 (Figura 4B).

Por fim, aplicou-se o método de equilíbrio limite para se calcular o fator de segurança (FS) dos maciços rochosos que foram considerados potencialmente instáveis pela análise cinemática. Os dados de entrada usados para o cálculo do FS para as rupturas planares e em cunha são apresentados, respectivamente, nas tabelas 1 e 2. Utilizando os programas Rocplane e Swedge da Rocscience elaborou-se modelos esquemáticos para visualização dos escorregamentos (Figuras 3 e 4) e também calculou-se o fator de segurança para cada ponto, determinando a saturação de água necessária para tornar o maciço de cada ponto instável, ou seja, sob qual saturação de água o fator de segurança do maciço é menor ou igual a 1, atendendo, dessa forma, as condições limites para a rupturas.

Tabela 1. Parâmetros usados para o cálculo do Fator de Segurança do Método de Equilíbrio Limite para os pontos com possível escorregamento planar, por meio do programa Rocplane da Rocscience

| Ponto | Ângulo de atrito | Massa específica (kN/m ³) | Coesão (t/m ²) | Talude | | Orientação do plano de ruptura |
|-----------|------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------|------------|--------------------------------|
| | | | | Orientação | Altura (m) | |
| Ponto 1 | 11° | 22 | 21 | 109°/58° | 6 | 127°/49° |
| Ponto 2 | 11° | 22 | 21 | 109°/58° | 6 | 112°/43° |
| Ponto 6.1 | 13° | 25,6 | 21 | 29°/53° | 5 | 13°/49° |

Tabela 2. Parâmetros usados para o cálculo do Fator de Segurança do Método de Equilíbrio Limite para os pontos com possível escorregamento em cunha por meio do programa Swedge da Rocscience.

| Ponto | Ângulo de atrito | Massa específica (kN/m ³) | Coesão (t/m ²) | Talude | | Orientação dos planos de ruptura | |
|-----------|------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------|------------|----------------------------------|---------|
| | | | | Orientação | Altura (m) | | |
| Ponto 1 | 11° | 22 | 21 | 109°/58° | 6 | 127°/49° | 15°/68° |
| Ponto 6.1 | 13° | 25,6 | 21 | 29°/53° | 5 | 13°/49° | 93°/63° |

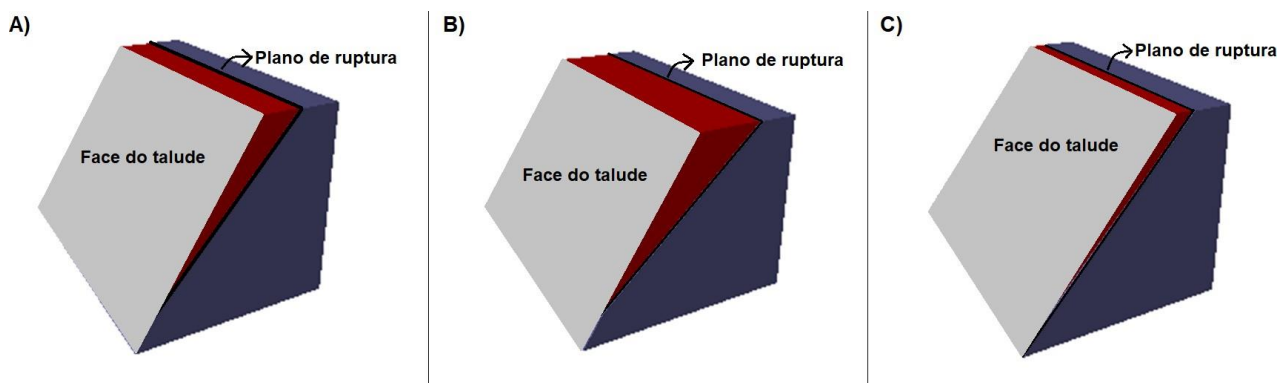


Figura 3. Modelos esquemáticos de escorregamento planar para os pontos. A) Referente ao Ponto 1. B) Referente ao Ponto 2. C) Referente ao Ponto 6.1.

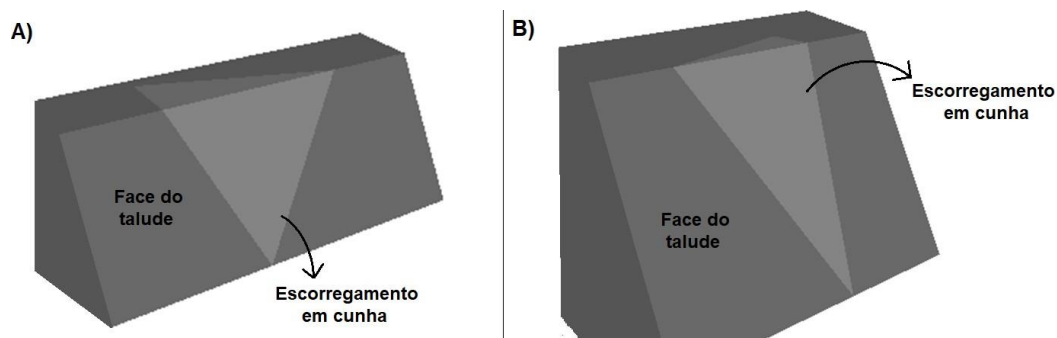


Figura 4. Modelo esquemático de escorregamento planar para os pontos. A) Referente ao Ponto 1. B) Referente ao Ponto 6.1.

O ponto 1 é instável ao escorregamento planar quando a saturação em água ultrapassa os 52%, no entanto o escorregamento em cunha só ocorre quando o maciço está 100% saturado. No ponto 2 o maciço é estável quanto ao escorregamento planar até 70% de saturação em água. Já o ponto 6.1 o escorregamento planar é provável quando a saturação em água supera os 35% e o escorregamento em cunha ocorre quando a saturação em água é maior que 80%.

Em campo, observou-se a existência de deslizamentos planares no ponto 1 e 2 (Figura 5), corroborando com a análise realizada. No entanto, não se nota a mesma ruptura no ponto 6.1, que também foi classificado no trabalho como instável. Ademais, escorregamentos em cunha não

foram encontrados em nenhum ponto durante o trabalho de campo, ainda que tenham sido apontados nas análises.

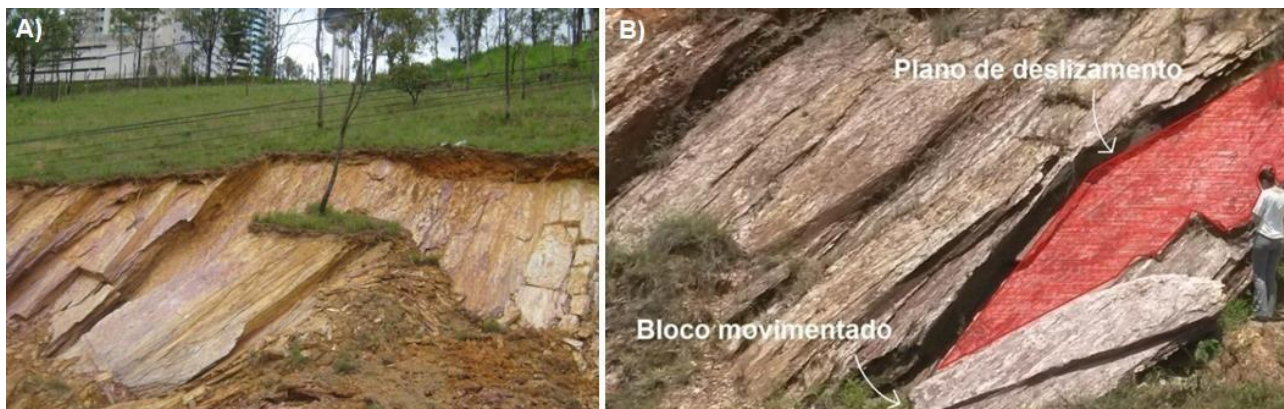


Figura 5. Escorregamentos planares encontrados de fato nos pontos. A) Talude do ponto 1 (Foto de Maria Giovana Parizzi). Altura do talude: 6m. B) Talude do ponto 2. Altura do talude: 6m.

5. CONCLUSÃO

Nota-se que as características das rochas e a geometria das discontinuidades são fundamentais para a estabilidade de um maciço rochoso e que a maioria dos cortes de talude das ruas do condomínio região do Vale do Sereno são seguros, independente na quantidade de fraturas que o maciço apresenta. A exceção ocorre nos taludes localizados nos pontos 1, 2 em que rupturas do tipo planar já ocorrem e foram visualizadas em campo.

Quando a discontinuidade apresenta ângulo de mergulho inferior, mas bem próximo ao ângulo de mergulho da face do talude, o bloco de escorregamento é muito pouco espesso. No caso do ponto 6,1 é preciso uma saturação igual ou superior a 35% para esta ruptura ocorrer, o que não foi observado neste estudo.

Os maciços dos pontos 6.1, 1 e 2 são compostos respectivamente, por quartzito friável e filitos. Os dois últimos são da classe V enquanto o primeiro é de classe IV, ou seja, são considerados muito fracos a fracos. Aliado a isso, a geometria das discontinuidades ainda é favorável à ruptura. O maciço do ponto 6.2 de quartzito é mais resistente que o maciço de filito, como observada na classificação RMR do item 4 deste trabalho, o que poderia explicar porque a ruptura, ainda que possível cinematicamente, não ocorreu de fato.

Os maciços dos pontos 3, 4, 5 e 6.2 são mais resistentes (classe III e IV) e não apresentam a geometria das discontinuidades favorável às rupturas.

A compartimentação estrutural do maciço rochoso e sua relação espacial com a face do talude têm grande influência sobre a possibilidade de ocorrência das rupturas, como nos pontos 1, 2 e 6.1. Outro condicionante importante para a ocorrência dos deslizamentos é o grau de saturação em água no interior do maciço. Este fato é indicado no cálculo do fator de segurança ao variar a saturação em água, visto que alguns pontos se mantêm estáveis quando a modelagem é feita com graus menores de saturação, mas entram no campo da instabilidade quando usados graus de saturação em água maiores. Isso pode ser justificado pela redução do atrito entre os blocos e perda de sua resistência quando saturados em água.

A geometria das discontinuidades e sua relação com a face do talude indica a ruptura planar como a mais provável. Além disso, nos escorregamentos planares são necessários graus de saturação em água mais baixos para gerar instabilidade em relação aos movimentos em cunha. Observa-se também que, em todos os casos, uma das discontinuidades que formam as cunhas apresentam ângulos de mergulhos superiores a 60° fazendo interseção com outras discontinuidades com ângulo de mergulho de 49° . Tais ângulos deixam os blocos de ruptura mais fechados e mais sub-verticalizados, favorecendo a estabilidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Pró-reitoria de pesquisa (PRPq) da UFMG pela oportunidade e valorização da iniciação científica voluntária. Ao Cefet-MG que graduou a primeira autora como técnica em edificações após aprovar este trabalho como relatório de estágio final de curso técnico.

REFERÊNCIAS

- Augusto Filho O. 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, anais, 721-733p.
- Barton N. & Bandis S. 1990. Review of predictive capabilities of JRC-JCS model in engineering practice. In: N. Barton and O. Stephansson (eds.) Rock joints: proceedings of the International Symposium on Rock Joints, A. A. Balkema Publishers, p.: 603-610.
- Bieniawski Z.T. 1989. Engineering rock mass classifications. New York: Wiley.
- Farina F., Albert C., Martínez Dopico C., Aguilar Gil C., Moreira H., Hippertt J.P., Cutts K., Alkmim, F.F. & Lana C. 2016. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): Current models and open questions. *Journal of South American Earth Sciences*, 68:4-21.
- Fiori A.P. & Carmignani L. 2009. Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas e contribuições na estabilidade de taludes. UFPR, 602p.
- Goodman R.E. & Bray J.W. 1976. Toppling of Rock Slopes. In: Proceedings of the Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes, 2:201-234.
- Hoek E. & Bray J. 1981. Rock Slope Engineering. Institution of Min. Metall & Elsevier Applied Science, Londres, 358p.
- Parizzi M.G. 2004. Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da região metropolitana de Belo Horizonte, MG. Tese de Doutorado, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 211p.
- Parizzi M.G., Mourão A.C.M. & Memória E. 2011. Mapa de unidades Geotécnicas da Região Metropolitana de Belo Horizonte. In: 13º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, anais, 1-11p.
- SEDRU, Governo de Minas. 2011. Plano Diretor de Desenvolvimento Integrado da Região Metropolitana de Belo Horizonte, volume 1. 282p.
- Tominaga L.K., Santoro J. & Amaral R do. 2009. Desastres naturais: conhecer para prevenir. São Paulo: Instituto Geológico.
- Wyllie D.C. & Mah C.W. 2004. Rock slope engineering: civil and mining. CRC Press. Londres, 431p.