

**RELAÇÃO ENTRE FEIÇÕES ESTRUTURAIS REGIONAIS E ESCORREGAMENTOS PLANARES: ESTUDO CARTOGRÁFICO-GEOTÉCNICO EM NOVA LIMA, MG.**

Ana Catharina Oliveira Mol Dutra\*

**Resumo** – O presente estudo avalia a influência de estruturas geológicas regionais e formas de relevo na estabilidade de taludes e encostas a partir da análise cinemática para escorregamentos planares por meio de ferramentas de geoprocessamento. O trabalho reuniu mais de 60 medidas de atitude de estruturas regionais no interior da área de estudo de forma a obter uma tendência principal e, aplicando os critérios cinemáticos de estabilidade de maciços rochosos, delimitar zonas de orientação de encostas e declividades mais suscetíveis a ocorrência de rupturas planares através desses planos de descontinuidades associados a estruturas geológicas regionais. MDEs (Modelos Digitais de Elevação) foram geoprocessados para dar origem aos mapas de orientação de encostas e declividades, os dados espaciais foram categorizados conforme a predisposição para deslizamentos planares e, posteriormente, combinados, de modo a gerar um mapa destacando porções da área de estudo potencialmente instáveis a escorregamentos planares por estruturas geológicas regionais, como foliações e acamamentos invertidos que incidem na região. Pontos na área que tiveram a estabilidade cinematicamente analisada em outros trabalhos realizados na região foram plotados no mapa e corroboraram com os resultados obtidos. A partir do trabalho, foi possível delimitar zonas de suscetibilidade muito alta, alta, média e baixa aos deslizamentos planares. Ademais, também é apresentada uma correlação com o Homoclinal da Serra do Curral, principal feição estrutural da área de estudo, que tanto influencia nas atitudes das estruturas geológicas (foliação e acamamento invertido), quanto nos recortes de relevo.

**Abstract** – The present study presents the influence of regional geological structures and the relief on slope stability by using kinematic analysis for planar sliding failures and geoprocessing methods. This work compiled over 60 points of attitude data for geological structures in the study area, resulting in a major trend for then. Applying kinematic analysis criteria for slope stability in rock masses was possible to determine relief direction and declivity with more susceptibility to planar sliding failure through these discontinuity surface related to regional structures. Geoprocessing methods were used on digital elevation model to generate the maps for slope direction and declivity, those spatial data were categorized by the predisposition to planar sliding failures and then, the maps were combined, resulting in a map that highlights zones with more potential to planar landslides events through planes of regional geological structures, such as overturned bedding and foliation founded in the lithologies of the area. The comparison of others works about slope stability analysis on the same region corroborates with the results in the map. Therefore, it was possible to delimited zones of very high, high, medium and low susceptibility to planar sliding failure. Furthermore, the work correlate the *Serra do Curral* Homocline, the major geological structure in the area, to the direction of the regional geological discontinuities (foliation and overturned bedding) and also to the relief features.

**Palavras-chaves** – Escorregamentos Planares, Suscetibilidade, Cartografia Geotécnica

---

\* Geóloga, Geoestável Consultoria e Projetos, (31) 98426.2545, anacatharina.mol@outlook.com

## 1. INTRODUÇÃO

A análise cinemática de estabilidade, resumidamente, relaciona geometricamente planos de descontinuidades do maciço rochoso e de taludes ou encostas de modo a averiguar a suscetibilidade deste conjunto de planos à ruptura (Hoek & Bray, 1981). Para esta avaliação de estabilidade, a orientação das estruturas geológicas e a declividade da encosta são fatores determinantes.

A expansão da ocupação urbana em locais de relevo acidentado, como é o caso do setor sul da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), traz preocupações em relação a possibilidade de ocorrência de movimentos de massa, os quais podem acarretar em prejuízos sociais e materiais aos moradores da região. Assim, técnicas de análise cinemática de estabilidade de taludes e encostas aplicadas a estas localidades se fazem interessantes para indicar áreas suscetíveis a estes eventos, avaliando a possibilidade de uma ruptura e entendendo as condicionantes envolvidas.

## 2. METODOLOGIA

O presente trabalho objetivou a identificação de áreas suscetíveis a escorregamentos planares através da aplicação da análise cinemática de estabilidade em encostas.

Hoek e Bray (1981) estabelecem as seguintes condições geométricas para propiciarem o desenvolvimento de uma ruptura planar: a) o ângulo de mergulho do plano de ruptura deve ser maior que o ângulo de atrito da descontinuidade; b) a direção do deslizamento estar contida num intervalo de mais ou menos 20° em relação ao rumo de mergulho da face do talude, o que implica em uma relação de certo paralelismo entre o talude e a descontinuidade e c) o plano de deslizamento precisar estar aflorante na face da vertente, ou seja, o ângulo de mergulho do plano de ruptura deverá ser menor do que o ângulo de mergulho do talude.

Entendendo que os escorregamentos planares requerem paralelismo entre as descontinuidades e a orientação das encostas e ângulo de mergulho da encosta superior ao das descontinuidades, essas relações foram realizadas através de técnicas da cartografia digital, utilizando o *software ArcGis*, desenvolvido pela *Esri*, na versão 10.5.

Partindo de um MDE (modelo digital de elevação) de 12,5m de resolução espacial, o qual foi disponibilizado pela *Alaska Satellite Facility*, foram aplicados os comandos de “*aspect*” e “*slope*” sobre o raster do MDE, o primeiro gerou o mapa de orientação das encostas (Figura 4A), enquanto o segundo obteve a declividade (Figura 4B).

Após definir as orientações e ângulos preferenciais das estruturas regionais foram definidas classes de predisposição a escorregamentos planares. Nessa etapa foi usada a ferramenta “*reclassify*” para atribuir essas novas classes aos mapas de orientação de encostas e declividade, conforme a Tabela 1. Por fim, os mapas de predisposição para direção de encostas e predisposição para declividade foram somados, conforme a matriz de risco da Tabela 4, através da função “*plus*”, gerando o mapa de suscetibilidade a escorregamentos planares.

Tabela 1. Associação de valores numéricos para as classificações primárias de predisposição a escorregamentos planares

<b>Classes de predisposição para direção de encostas</b>	<b>Classes de predisposição para declividade</b>	<b>Valores numéricos para cada classe nos rasters</b>
Baixa	Baixa	0
Média	Média	1
Alta	Alta	2

As informações relativas as descontinuidades geológicas foram avaliadas buscando compreender quais as tendências de atitudes principais. Esses dados foram retiradas de mapeamentos e estudos realizados na região de interesse, sendo eles: Pomenere (1964); Ribeiro e Tuller (1994); Mol Dutra (2019); Cavalcanti *et al.* (2020) e Oliveira e César (2022).

### 3. CONTEXTO GEOLÓGICO E GEOMORFOLÓGICO

A região de estudo (Figura 1) está inserida na Província Mineral do Quadrilátero Ferrífero, a qual se localiza na porção sul do Cráton São Francisco. De forma resumida, a estratigrafia desta região consiste em granitos-gnaiss como embasamento cristalino, sobrepostos pelo Supergrupo Rio das Velhas, uma sequência metavulcanossedimentar típica de *Greenstone Belts*, seguida pelos Supergrupos Minas e Estrada Real, compostos por rochas metassedimentares de origem química e clástica, por fim, ocorrem também coberturas e depósitos recentes (Dorr, 1969; Endo *et al.*, 2019).

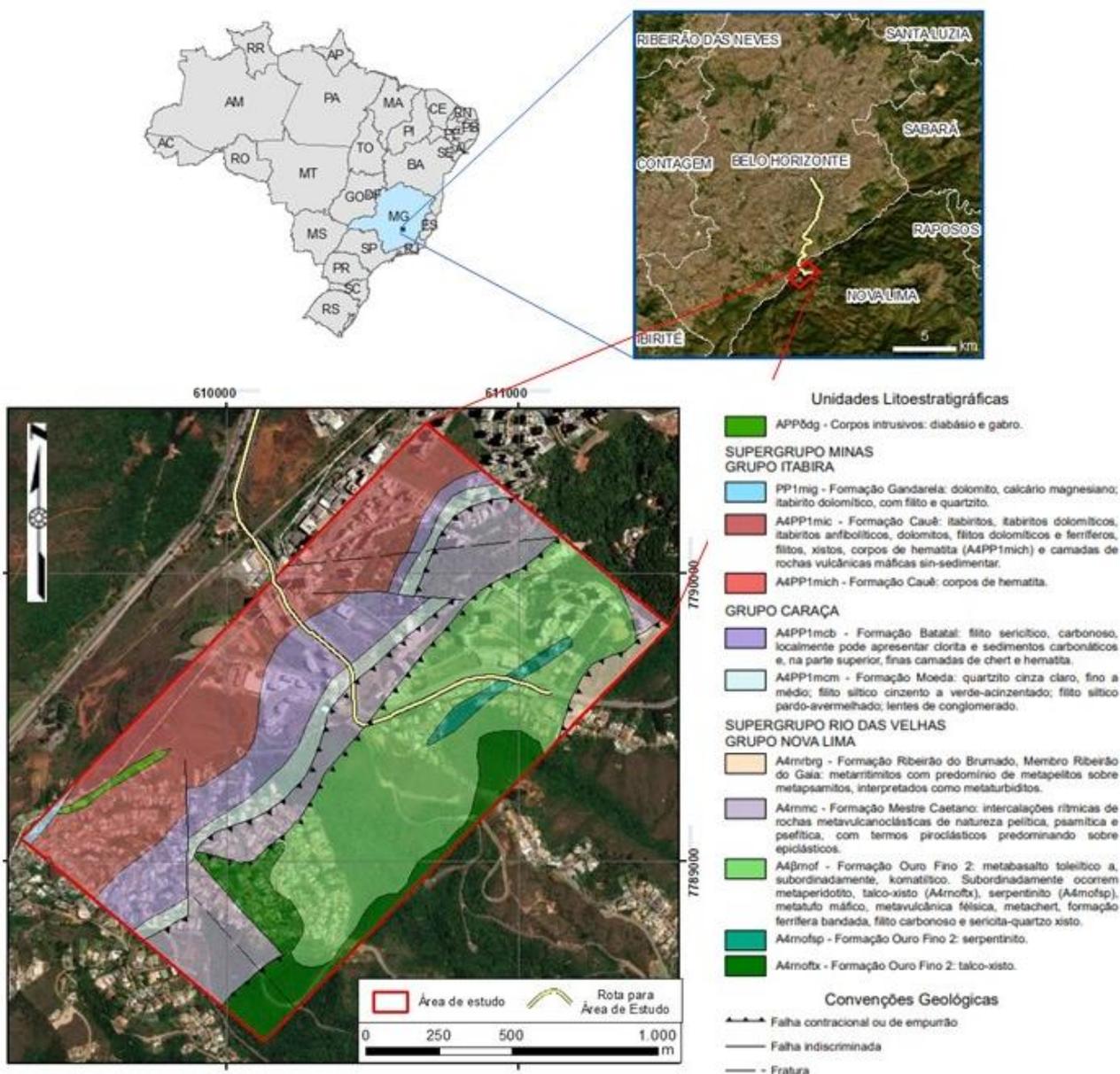


Figura 1. Contexto geológico e localização da área de estudo. Modificado de Cavalcanti *et al.* (2020).

Cavalcanti *et al* (2020) mapearam as seguintes unidades na região de estudo (Figura 1), da base ao topo: Supergrupo Rio das Velhas, representado pelas Formações Ouro Fino, Mestre Caetano e Ribeirão do Brumado; Supergrupo Minas, por meio do Grupo Caraça (Formações Moeda e Batatal) e Grupo Itabira (Formações Cauê e Gandarela). Vale destacar que na região, devido ao homoclinal da Serra do Curral, a estratigrafia encontra-se invertida.

Ademais, diversos eventos deformacionais afetaram as rochas do Quadrilátero Ferrífero, sendo responsáveis pela estruturação topográfica da região (Pomenere, 1964; Castro *et al.*, 2020), na qual as serras e porções mais elevadas de relevo ocorrem sobre litologias mais resistentes ao intemperismo, como quartzitos e itabiritos (Medina *et al.*, 2005), nesse sentido, a Serra do Curral se destaca na área de estudo, orientada principalmente conforme NE-SW. Além disso, destaca-se que, segundo Medina *et al.* (2005), as formas de relevo na região do vale do Rio das Velhas, adjacente à serra na região de interesse, ocorrem na forma de espigões orientados de forma perpendicular a Serra do Curral, escavados pela drenagem (Figura 2).

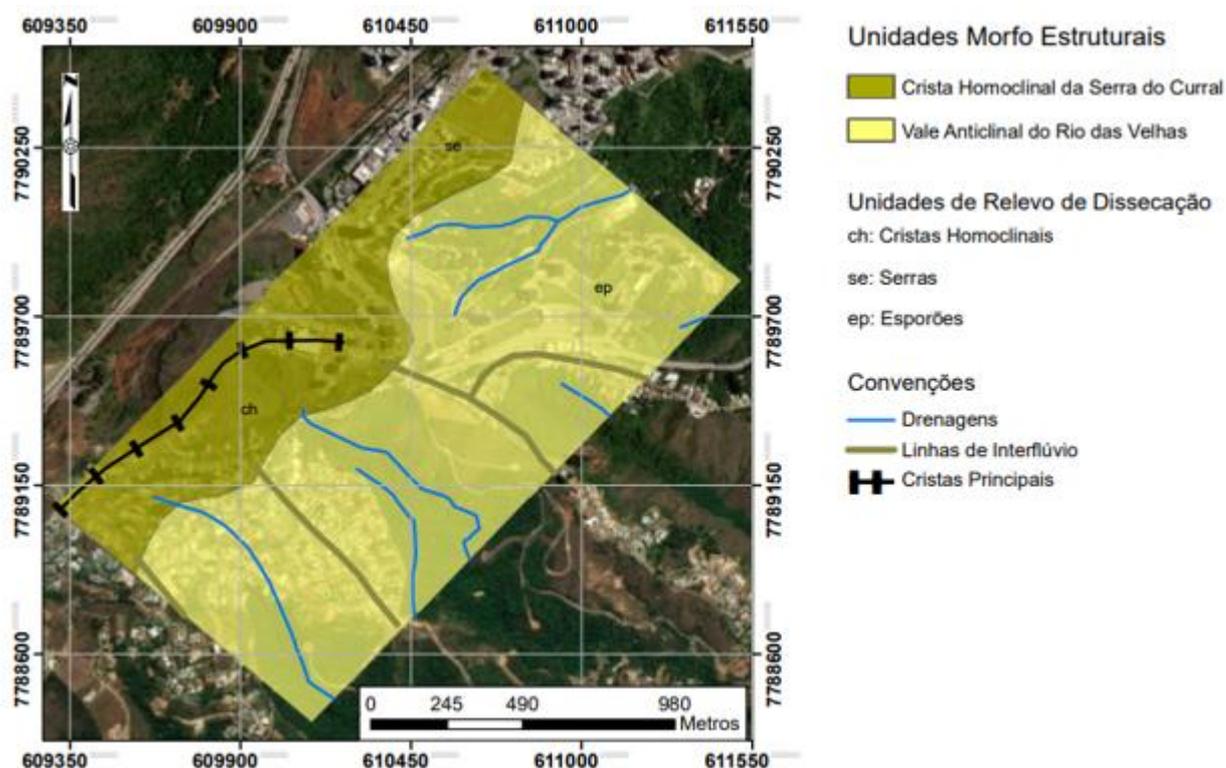


Figura 2. Mapa geomorfológico da área de estudo. Modificado de Medina *et al.* (2005).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de medidas estruturais da região contou com um total de 63 atitudes distribuídas por 36 pontos. Esses dados foram obtidos por meio de análise bibliográfica (Pomenere, 1964; Ribeiro e Tuller, 1994; Mol Dutra, 2019; Cavalcanti *et al.*, 2020; Oliveira e César, 2022) e correspondem principalmente a atitudes de planos de foliação e acamamentos invertidos de filitos, quartzitos, xistos e demais litologias mapeadas na região. O estereograma da Figura 3 exhibe planos estruturais e distribuição em famílias de discontinuidades. A Figura 4A indica os quadrantes de maiores ocorrência de medidas, enquanto a Figura 4B apresenta os mergulhos principais. Baseando nos estereogramas, definiu-se três famílias de estruturas principais, com as seguintes

tendências de orientações:  $123^{\circ}/42^{\circ}$  para a F1;  $124^{\circ}/66^{\circ}$  para F2 e  $185^{\circ}/56^{\circ}$  para F3. Desta forma, observa-se uma estruturação com mergulho voltado preferencialmente para sudeste, sul e leste, ângulos de mergulhos entre  $40$  e  $70^{\circ}$ .

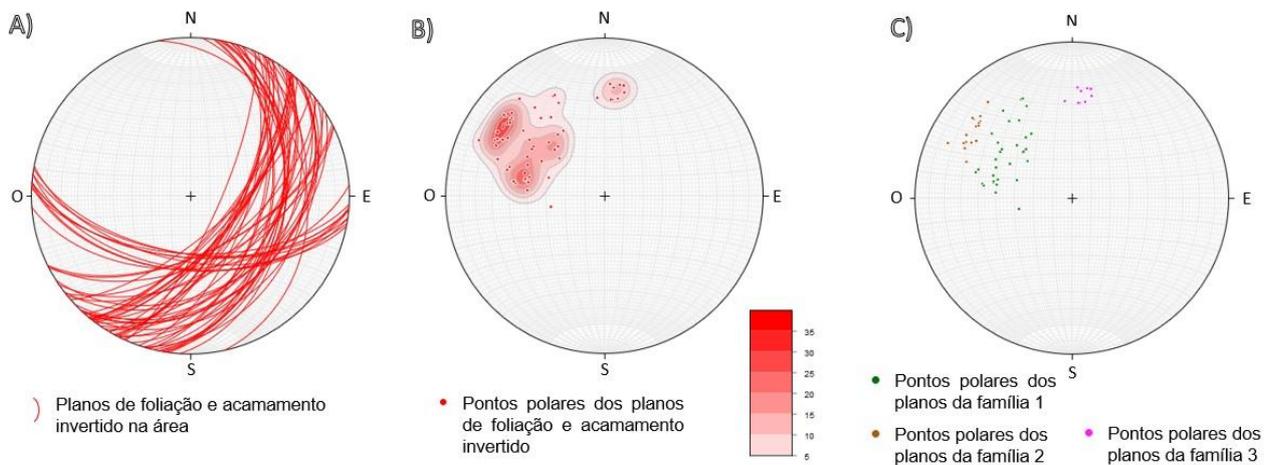


Figura 3. Estereogramas para pontos de foliação e acamamento invertido na região de estudo. A) Plotagem por planos. B) Plotagem por pontos polares. C) Divisão em famílias de descontinuidades.

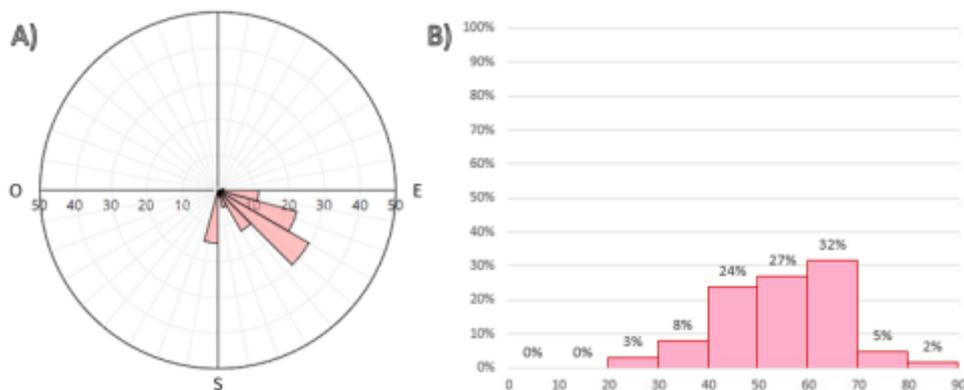


Figura 4. A) Diagrama de Roseta para direção de mergulho e B) Histograma de medidas de mergulho.

A análise cartográfica do relevo desenvolvida gerou dois mapas temáticos (Figura 5): mapa de orientação de encostas e de declividade.

Conforme os critérios definidos por Hoek e Bray (1981) para análise cinemática de estabilidade para escorregamentos planares, assumiu-se que encostas orientadas na mesma direção que as descontinuidades marcadas por estruturas regionais e com mergulhos superiores são suscetíveis ao escorregamento planar.

Sabendo que as estruturas regionais estão orientadas para sudeste, leste e sul, estas foram as orientações de encostas associadas a predisposição alta à escorregamento planares, enquanto as orientações adjacentes a essas (nordeste e sudoeste) foram associadas ao nível médio e as orientações contrárias (noroeste, oeste e norte) receberam nível baixo de predisposição (Tabela 2).

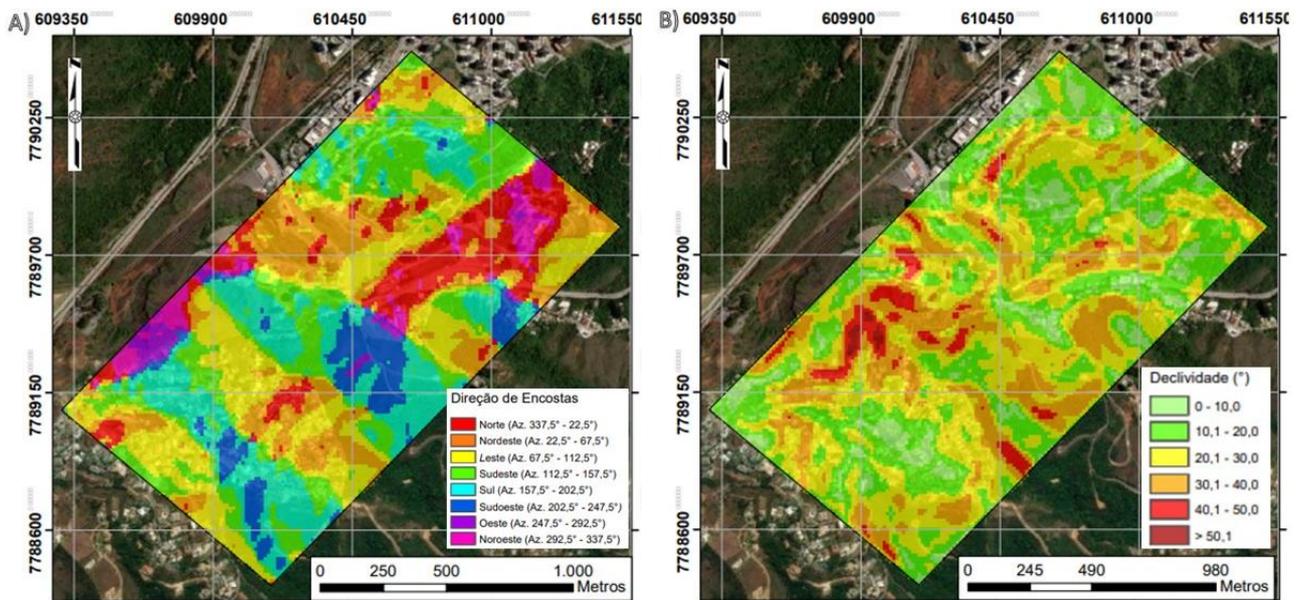


Figura 5. A) Mapa de Orientação de encostas e B) Mapa de Declividade.

Tabela 2. Classificação das orientações das encostas em relação à predisposição a escorregamentos planares

Orientação das encostas	Predisposição associada
Este e Sudeste e Sul	Alta
Nordeste e Sudoeste	Média
Oeste, Norte ou Noroeste	Baixa

Igualmente, foram associados predisposição ao escorregamento planar para intervalos de ângulos de declividade (Tabela 3). Regiões com declividade abaixo de 30° foram classificadas com baixa predisposição, enquanto declividades entre 30 e 40° foram atribuídas a predisposição média, por fim, declividade acima dos 40° foram consideradas de predisposição alta.

Tabela 3. Classificação da declividade em relação à predisposição a escorregamentos planares

Declividade	Predisposição associada
Maior que 40°	Alta
30° - 40°	Média
Menor que 30°	Baixa

A partir dessa classificação à predisposição a ocorrência de escorregamentos planares conforme a orientação de encostas e declividade foram elaborados outros dois mapas temáticos (Figura 6).

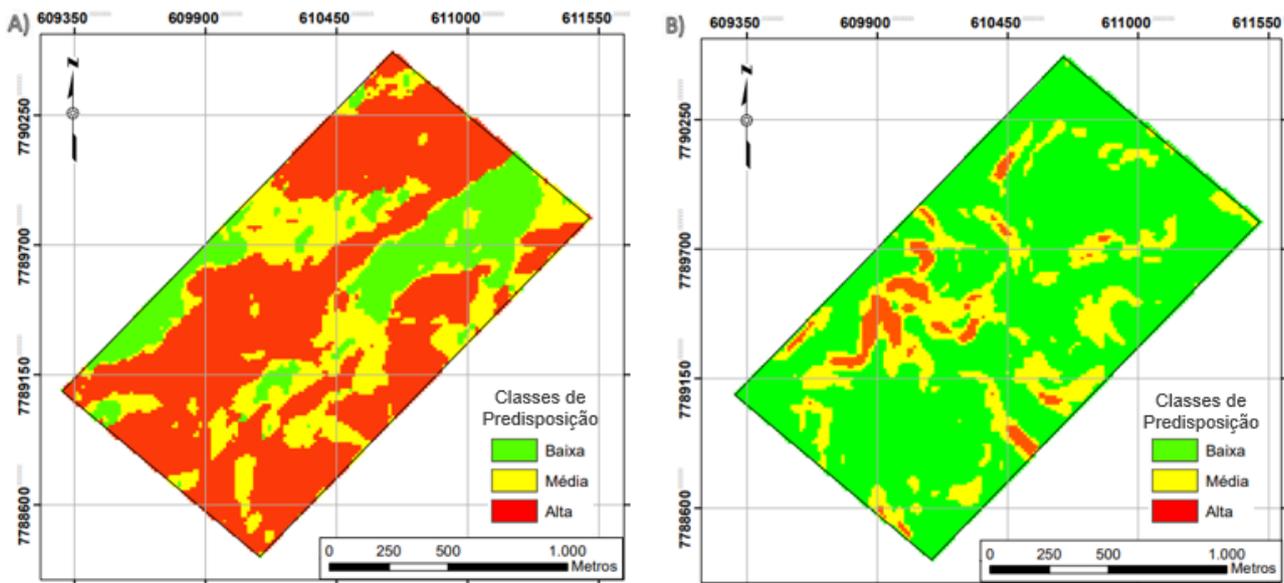


Figura 6. Classes de predisposição a escorregamentos planares conforme: A) Orientação de encostas e B) Declividade.

Para juntar os critérios de orientação de encostas com declividade e gerar o mapa de suscetibilidade a escorregamentos planares (Figura 7) foi realizada uma soma entre as tabelas 2 e 3, seguindo modelos similares de tabelas e matrizes de risco (Ministério das Cidades, 2006; Campos, 2011; Souza, 2015; CPRM, 2018). Essa operação resultou em quatro classes de suscetibilidade (Tabela 4): muita alta, alta, média e baixa.

Tabela 4. Matriz de risco para classes de suscetibilidade para escorregamento planar

Declividade \ Orientação das encostas	Declividade		
	Alta	Média	Baixa
Alta	Muito alta	Alta	Média
Média	Alta	Média	Média
Baixa	Média	Média	Baixa

Estudos de análise cinemática de estabilidade em taludes rochosos na região, realizados por Mol Dutra (2019) e Oliveira e César (2022), identificaram taludes instáveis. Nota-se que estes pontos estão localizados em regiões cujas classificações quanto a suscetibilidade a escorregamentos planares é alta ou muito alta (Figura 7), de forma que o mapa de suscetibilidade gerado corrobora com os resultados encontrados nos estudos anteriores.

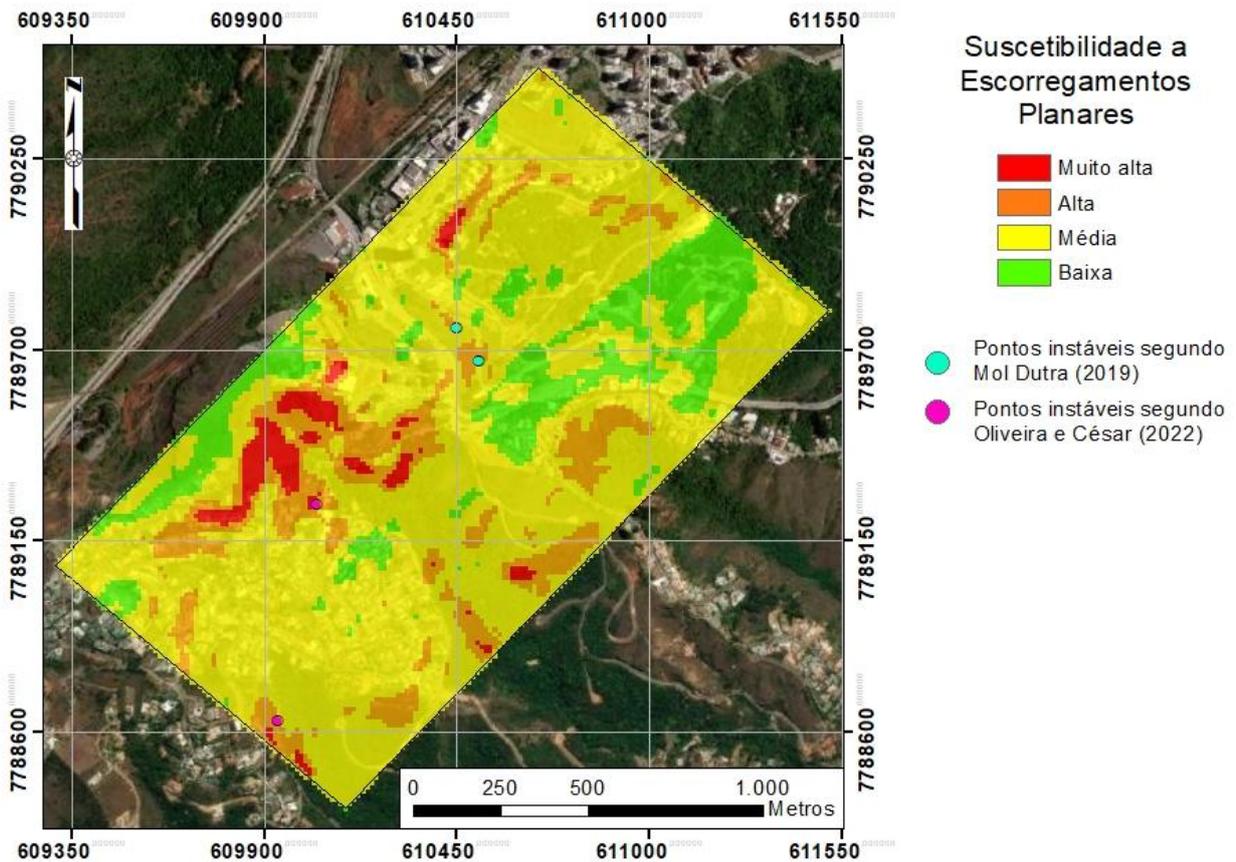


Figura 7. Mapa de suscetibilidade a escorregamentos planares com comparativo de estudos cinemáticos locais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos Planares (Figura 6) indica, para a área de estudo, regiões com suscetibilidade muito alta de deslizamentos planares. Sendo assim, a ocupação urbana nessas zonas deve ser realizada de maneira cautelosa para promover a segurança dos indivíduos que circulem e habitem a região.

Ademais, os contornos dos mapas confeccionados indicam que a declividade é um fator limitante em relação a rupturas planares na região, visto que as regiões com alta predisposição quanto a declividade são menos representativas que as regiões com alta predisposição pela orientação das encostas quando comparadas por área.

Ainda, sugere-se que a estruturação da Serra do Curral segundo SE-SW seja o fator geológico de maior influência na suscetibilidade a escorregamentos planares na região estudada. Isso é destacado pelo fato de que as feições estruturais regionais utilizadas na análise derivam dos eventos deformacionais de estruturação da serra, e são coincidentes com a orientação da serra, mergulhando para SE. Somando-se a isso, os estudos geomorfológicos indicam que os espigões se desenvolveram no relevo de forma perpendicular à serra, a qual age como um divisor de águas da região, gerando encostas voltadas principalmente para sudeste, sul e leste. Além disso, grande parte das áreas classificadas com suscetibilidade muito alta aos deslizamentos planares estão situadas na região mapeada geomorfológicamente como Crista do Homoclinal da Serra do Curral.

Por fim, ressalta-se que os resultados semelhantes encontrados por este trabalho e os trabalhos de estabilidade de taludes rochosos realizados por Mol Dutra (2019) e Oliveira e César (2019) validam as metodologias utilizadas e reforçam os resultados encontrados.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao apoio da professora de geologia de engenharia da UFMG, Maria Giovana Parisi, pela orientação durante o desenvolvimento do trabalho, apresentado como trabalho de conclusão de curso para a graduação em Geologia. A autora também agradece à Geoestável Consultoria e Projetos pelo acolhimento e desenvolvimento profissional proporcionados desde o início do estágio até hoje, como geóloga.

## REFERÊNCIAS

- Campos, L. C. 2011. *Proposta de reanálise do risco geológico-geotécnico de escorregamentos em Belo Horizonte – Minas Gerais*. Dissertação. Escola de Engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 139p.
- Castro, P. de T. A.; Endo, I. & Gandini, A. L. 2020. *Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos*. Belo Horizonte: 3i Editora. 480p.
- Cavalcanti, J. A. D.; Ribeiro, J. H.; Tuller, M. P. & Signorelli, N. 2020. *Projeto Evolução Crustal e Metalogenética do Quadrilátero Ferrífero, Folha Belo Horizonte*. Belo Horizonte: CPRM. Carta Geológica. Escala 1:25.000.
- CPRM. 2018. *Manual de Mapeamento de Perigo e Risco a Movimentos Gravitacionais de Massa – Projeto GIDES*. Rio de Janeiro: CPRM. 213p.
- Dorr, J.V.N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil*. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper, 641 (A): 110 p.
- Endo, I.; Delgado, C. E. R.; Oliveira, M. M. F. de; Zapparoli, A. de C.; Carlos, D. U.; Galbiatti, H. F.; Castro, P. de T. A.; Suita, M. T. de F.; Barbosa, M. S. C.; Lana, C. E. & Moura, L. G. B. de. 2019. *Estratigrafia e Arcabouço Estrutural do Quadrilátero Ferrífero: Nota Explicativa do Mapa Geológico do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. Escala 1:150.000*. Ouro Preto, Departamento de Geologia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- Hoek, E. & Bray, J. 1981. *Rock Slope Engineering*. Londres: Institution of Min. Metall & Elsevier Applied Science. 358p.
- Medina, A. I. M.; Dantas, M. E. & Saadi, A. 2005. *Geomorfologia*. Volume 6. In: CPRM. Projeto Apa Sul RMBH: estudos do meio físico: escala 1:50.000. Belo Horizonte: CPRM. 54p.
- Ministério das Cidades. 2006. *Capacitação em Mapeamento e Gerenciamento de Risco*. Disponível em: <<http://www.defesacivil.mg.gov.br/images/documentos/Defesa%20Civil/manuais/mapeamento/mapeamento-grafica.pdf>>. Acesso em: 13 de janeiro de 2022.
- Mol Dutra, A. C. O. 2019. *Análise de Estabilidade de Taludes Rochosos no Condomínio Vale do Sereno, Nova Lima, MG*. Monografia. Departamento de Engenharia Civil. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Belo Horizonte. 42p.
- Oliveira, I. S. S. & César, L. C. 2022. *Análise de Estabilidade de Taludes Rochosos no Condomínio Residencial Vila Castela, Nova Lima – MG*. Monografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. (no prelo)

Pomenere, J. B. 1964. *The geology and ore deposits of the Belo Horizonte, Ibrité and Macacos quadrangles, Minas Gerais, Brazil*. USGS Professional Paper, 341-D: 1-84.

Ribeiro, J. H. & Tuller, M. P. 1994. *Projeto Rio das Velhas, Carta Geológica, Belo Horizonte / São Sebastião das Águas Claras, SE.23-Z-C-VI-3-SO / SF.23-X-A-III-1-NO*. Escala 1:25.000. In: CPRM. 1994. Projeto Rio das Velhas. Vol. 1. Belo Horizonte: CPRM.

Souza, L. A. 2015. *Cartografia Geoambiental e Cartografia Geotécnica Progressiva em Diferentes Escalas: Aplicação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Carmo, Municípios de Ouro Preto e Mariana, Minas Gerais*. Tese. Escola de Minas. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 461p.