

Estudo Paramétrico da Influência da Declividade de Taludes na Avaliação Geotécnica de Movimentos Gravitacionais de Massa em Ouro Preto

Danielle Stefane Gualberto Fernandes Porto, Doutoranda em Engenharia Civil, CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil, daniellestefane@yahoo.com.br

Rogério Cabral de Azevedo, Doutor em Engenharia Civil, CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil, rogeriocabral@cefetmg.br

Lúcio Flávio de Souza Villar, Doutor em Ciências em Engenharia Civil, UFMG, Belo Horizonte, Brasil, lvillar@etg.ufmg.br

Hersília de Andrade e Santos, Doutora em Engenharia Hidráulica, CEFET-MG, Belo Horizonte, Brasil, hsantos@cefetmg.br

Thiago Bomjardim Porto, Doutor em Geotecnia, CEFET-MG, Curvelo, Brasil, thiago.porto@cefetmg.br

RESUMO: Um dos grandes desafios para elaboração de cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de qualquer natureza (escorregamentos rotacionais, translacionais, quedas, tombamentos, espalhamentos, escoamentos ou deslizamentos complexos) é a definição adequada dos fatores condicionantes potencializadores do(s) evento(s), bem como seu grau de importância ou peso, uma vez que, dependendo da escala do mapeamento, dificilmente são realizados ensaios geotécnicos de caracterização do terreno para validação da classificação realizada, ou mesmo visitas técnicas em toda extensão da área avaliada. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de sensibilidade da influência de cada classe de declividade na avaliação geotécnica de deslizamentos em Ouro Preto - MG e compará-las com a proposição do IBGE. Utilizando-se o software QGIS, foi efetuada a sobreposição do mapa de declividade obtido do MDE com 128 ocorrências de deslizamentos inventariadas pelo SGB/CPRM obtidas por meio de fotointerpretação e levantamentos de campo. Cerca de 60% das ocorrências foram observadas em declividades de 20 a 45%. Os resultados obtidos na pesquisa foram importantes para a hierarquização das classes de declividade quanto ao fenômeno estudado em Ouro Preto. Por fim, a metodologia apresentada nesta pesquisa pode ser replicada para outros municípios que disponham de dados georreferenciados de deslizamentos.

PALAVRAS-CHAVE: Geotecnia Ambiental, Cartografia Geotécnica, Deslizamento de Taludes, Mapas Temáticos, Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT: One of the greatest challenges in preparing landslides susceptibility maps is the adequate definition of the conditioning factors that enhance the events, as well as their degree of importance or weight, since, depending on the scale of the mapping, it is difficult to carry out geotechnical tests to characterize the ground to validate the classification carried out, or even technical visits to the entire extent of the evaluated area. Therefore, the objective of this work was to carry out a sensitivity study of the influence of each slope class on the geotechnical assessment of landslides in Ouro Preto - MG and compare them with the IBGE proposition. Using the QGIS software, the slope map obtained from the MDE was overlaid with 128 landslide occurrences inventoried by the SGB/CPRM obtained through photointerpretation and field surveys. Around 60% of occurrences were observed on slopes of 20 to 45%. The results obtained in the research were important for the hierarchy of slope classes regarding the phenomenon studied in Ouro Preto. Finally, the methodology presented in this research can be replicated to other municipalities that have georeferenced landslide data.

KEYWORDS: Environmental Geotechnics, Geotechnical Cartography, Slope Slide, Thematic Maps, Geoprocessing, Remote Sensing.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Porto *et al.* (2024), “*Os movimentos gravitacionais de massa, também popularmente conhecidos como deslizamentos ou escorregamentos, são rupturas geotécnicas de taludes que ocorrem naturalmente ou são induzidos por ações antrópicas, com impactos sociais, econômicos e ambientais em grande escala*”. Ao longo das últimas décadas, com a introdução da cartografia geotécnica digital, os procedimentos metodológicos para realização do mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos vêm sendo constantemente automatizados e estudos, outrora muito difíceis de serem realizados, tornam-se agora factíveis, permitindo-se, assim, identificar a previsão temporal e espacial de escorregamentos com bom grau de assertividade. Apresenta-se, na Figura 1, um deslizamento que ocorreu na região histórica do Município de Ouro Preto no período chuvoso de 2022, mês de janeiro.



Figura 1. Deslizamento de encosta em Ouro Preto.

Fonte: Augusto (2022).

As cartas geotécnicas são uma importante ferramenta de apoio ao gestor público quanto ao planejamento urbano. De acordo com a Lei 12.608 (BRASIL, 2012), que Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil e dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil, as cartas geotécnicas são instrumentos obrigatórios para todas as cidades inseridas no cadastro nacional de municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de grande impacto.

Segundo a NBR 11682 (ABNT, 2009) os tipos básicos de movimentos de massa são: queda/rolamento, tombamento, escorregamento e escoamento. Devido à natureza do evento e às várias especialidades com interesse em pesquisas sobre movimentos gravitacionais de massa, a terminologia aplicada para os diversos tipos de instabilidade de massas em encostas é vasta e evolui constantemente. Neste contexto, um importante trabalho clássico e pioneiro sobre o tema é a pesquisa de Varnes (1978).

Os movimentos gravitacionais de massa são decorrentes de uma série de fatores, isolados ou em conjunto. De acordo com a USGS (2008), as causas que provocam o deslizamento são humanas, naturais (geológicas e morfológicas) e físicas, esta última governada principalmente pela precipitação intensa e prolongada. O IBGE (2019) realizou o mapeamento de suscetibilidade a deslizamentos no Brasil considerando os seguintes atributos e pesos: Geologia (15%), Geomorfologia (20%), Pedologia (15%), Uso/Cobertura do terreno (10%), Declividade (35%) e Pluviosidade (5%). O zoneamento é compatível com a escala 1:1.000.000 e mostrou que a declividade é a principal variável na álgebra de mapas, motivando, assim, a presente pesquisa.

2 ESTUDO DE CASO

A área de estudo deste trabalho é o Município de Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, situada a cerca de 100km da capital mineira, Belo Horizonte (Figura 2). Ela se encontra na região Sudeste do país, numa região conhecida como Quadrilátero Ferrífero. A área total do município é de aproximadamente 1.245,865 km² e sua altitude varia de 675 metros, em seu extremo sul, até 1845 metros, nas regiões mais altas. A temperatura média anual varia de 15 a 20°C e a precipitação mensal varia de 320 mm, no período chuvoso, para cerca de 15mm, no período seco. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais – CEMADEN, a população exposta em área de risco é de cerca de 12.718 pessoas. Ouro Preto é um município considerado crítico em relação a desastres naturais no Brasil (IBGE, 2018).

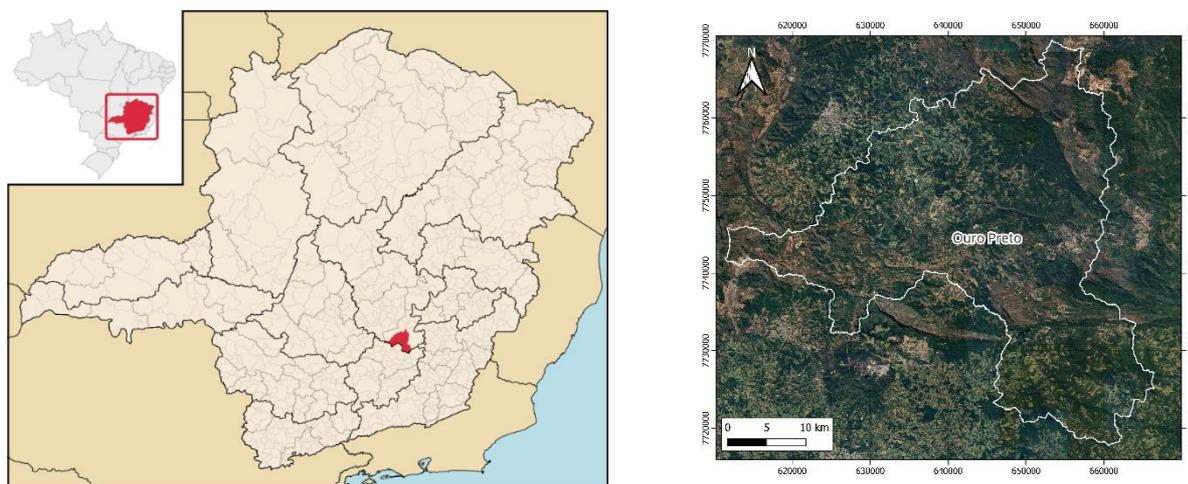


Figura 2. Localização do estudo de caso. Fonte: Adaptado do Google Maps e Google Satélites (2024).

A cidade de Ouro Preto se enquadra nos requisitos da Lei 12.608 (BRASIL, 2012) quanto ao Plano Nacional de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais. Em função disso, é obrigada, pela legislação vigente, a ter um plano municipal de redução de riscos (PMRR) em constante atualização e, conseqüentemente, carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. A versão de domínio público mais recente do mapeamento de Ouro Preto foi feita pelo Serviço Geológico do Brasil – SGB (CPRM, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

As bases de dados utilizadas para a realização deste trabalho foram o mapa de declividade, obtido do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Alos Palsar, e 128 ocorrências de deslizamentos inventariadas pelo SGB/CPRM, obtidas por meio de fotointerpretação e levantamentos de campo. O MDE empregado é uma reamostragem do programa *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), organizado pela NASA, com resolução espacial de 12,5 metros. A edição, armazenamento e processamento dos mapas temáticos (planos de informação) foi feita por meio do software QGIS e plugins.

De acordo com Schwarz *et al.* (2023), os inventários de ocorrências de cicatrizes são muito importantes para a compreensão do processo de deflagração de eventos geodinâmicos, em particular, os escorregamentos de terra. No entanto, existe uma carência de métodos padronizados de mapeamento de ocorrências, pois eles dependem da finalidade da aplicação do mapeamento, da escala do trabalho e do tempo disponível para elaboração do inventário, seja ele por meio de imagens de sensoriamento remoto (interpretação automatizada ou não), trabalhos de campo ou a combinação dos dois.

Apresenta-se, na Figura 3, imagens do Google Satélites de cicatrizes inventariadas pelo Serviço Geológico do Brasil. O histórico georreferenciado das ocorrências de deslizamentos em uma determinada área de estudo com a descrição dos processos físicos associados à mobilização de material nas encostas é uma fonte importante de informação para auxiliar a assertividade e qualidade dos trabalhos de mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa.

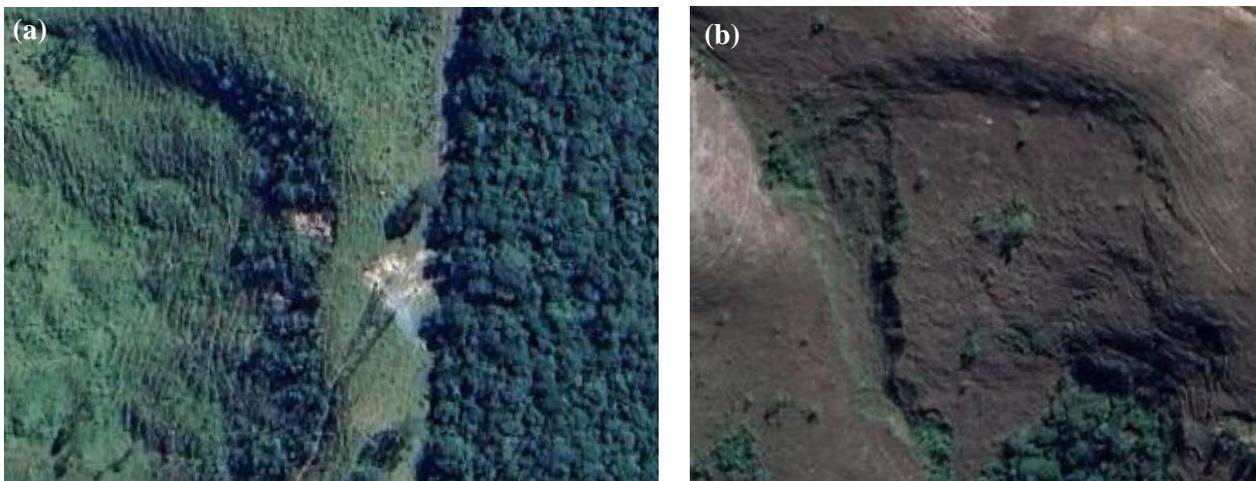


Figura 3. Localização de duas cicatrizes inventariadas pelo Serviço Geológico do Brasil em Ouro Preto.

Coordenadas: (a) 649352,02209905 7730016,86388982; (b) 641059,522355 7738644,361757.

Fonte: Imagens do Google Satélites na escala de 1:1000 (2024).

3.1 Etapas metodológicas da pesquisa

As classes de declividade utilizadas nesta pesquisa foram baseadas na categorização feita pela Embrapa (1979). A amostragem das classes de declividade do arquivo matricial (raster) com correspondência geoespacial de coordenadas (localização) com os pontos de ocorrências inventariadas de deslizamentos do arquivo vetorial (.shp) foi realizada por meio do plugin “*Point sampling tool*”. Este plugin coleta (extrai) o valor do atributo do arquivo raster em pontos de amostragem especificados pelo arquivo (camada) vetorial. Assim, o plugin cria uma nova camada vetorial de pontos (.shp) com localizações fornecidas pelos pontos de amostragem (ocorrências) e atributos retirados das células raster analisadas (classes de declividade), inserindo-as em uma nova coluna na tabela de atributos.

Para a utilização do plugin, todas as camadas devem ter o mesmo sistema de referência de coordenadas. Para este trabalho, utilizou-se o SIRGAS 2000/UTM, zona 23S. O plugin “*Point Sampling Tool*” coletará as informações das células do arquivo raster (.tif) e adicionará como atributos ao layer de pontos (.shp). Assim, a amostragem pontual copia o valor da célula raster para o ponto sobreposto. Resumidamente, as principais etapas metodológicas da pesquisa são:

- a. obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE) do Alos Palsar;
- b. reprojeção do MDE para o SIRGAS 2000/UTM, zona 23S;
- c. criação do atributo matricial declividade (.tif);
- d. agrupamento dos valores de declividade de acordo com as classes definidas pela Embrapa (1979);
- e. recorte do plano de informação de acordo com o limite territorial do município de Ouro Preto;
- f. obtenção das ocorrências de deslizamentos inventariadas pelo SGB/CPRM no formato vetorial (.shp);
- g. reprojeção da camada de pontos de ocorrência para o SIRGAS 2000/UTM, zona 23S;
- h. análise da consistência e qualidade do banco de dados disponível para a pesquisa;
- i. download do Plugin “*Point sampling tool*”;
- j. extração do atributo da célula matricial para o ponto (vetor) de ocorrência inventariado sobreposto;
- k. criação e análise da consistência da camada vetorial (.shp) do estudo de sensibilidade paramétrico proposto;
- l. análise comparativa dos pesos obtidos para as classes de declividade função das evidências de deslizamentos em comparação com a proposição do IBGE (2019);
- m. discussões complementares sobre os resultados obtidos e a limitação da pesquisa em função da quantidade de ocorrências disponíveis para a realização do trabalho;
- n. elaboração das principais conclusões da pesquisa e sugestão de trabalhos futuros

3.1.1 Análise de sensibilidade paramétrica

A finalidade da análise de sensibilidade paramétrica é determinar os efeitos da variação de um determinado parâmetro ou variável de entrada em variáveis de interesse, auxiliando, assim, na tomada de decisões. No caso da presente pesquisa, pretendeu-se fazer um estudo de sensibilidade por retroanálise de ocorrências de deslizamento da influência das classes do fator condicionante declividade na avaliação geotécnica de movimentos gravitacionais de massa em Ouro Preto – MG. O objetivo é hierarquizar os riscos geotécnicos associados às classes de declividade considerando o peso das evidências disponibilizado pelos inventários realizados pela SGB/CPR, permitindo ao gestor público realizar uma efetiva antecipação das ações mitigadoras e de minimização de possíveis eventos de deslizamentos que poderiam acarretar em danos materiais e humanos no município por classe de declividade (região), o que consiste a síntese de qualquer programa de gestão risco geológico-geotécnico desta natureza.

A análise de sensibilidade paramétrica é um método para determinar os fatores mais influentes em um sistema ou modelo, categorizando, assim, os efeitos das mudanças na distribuição dos dados ou o impacto causado por alterações nas variáveis do problema estudado. Dessa forma, tem-se uma análise das subclasses, permitindo-se, assim, estudar o efeito que a mudança de um dado de entrada pode provocar nos resultados finais. Importantes trabalhos sobre análise de sensibilidade foram publicados nas últimas décadas, destacando-se as pesquisas clássicas de Huefner (1972) e Frank (1978).

De acordo com Hamby (1994), os modelos numéricos são sensíveis às variáveis de “input” pela incerteza de um parâmetro de entrada ter uma importante contribuição nos resultados de saída de uma simulação computacional e também a possibilidade de ter uma grande correlação entre um resultado com o parâmetro de entrada do modelo, onde pequenas mudanças no valor de entrada implicam em significativas alterações na saída.

Estudos de sensibilidade são muito importantes, pois ajudam na compreensão dos dados mais relevantes na solução de determinado problema, identificando as variáveis de decisão que apresentam maior impacto. De acordo com Razavi *et al.* (2021), a análise de sensibilidade está em contínua expansão de sua aplicação, pois é muito importante para comprovação, garantia de qualidade e validação de estudos paramétricos baseada em modelos computacionais. Os métodos de sensibilidade podem ser matemáticos, estatísticos ou gráficos.

A metodologia deste trabalho para a análise de sensibilidade consiste em uma abordagem simples, objetiva, consistente e prática, subsidiada por ferramentas de geoprocessamento disponíveis no software QGIS e seus complementos, cujos resultados e discussões são apresentados a seguir.

Segundo Fitz (2008), a análise de sensibilidade deve ser realizada para verificar se pequenas alterações promovidas nos parâmetros do modelo numérico SIG causam ou não grandes variações em seus resultados. Usualmente, trabalha-se com estudos iterativos variando em até 10% o atributo de interesse e analisa-se o resultado final do modelo, permitindo-se, assim, mensurar a robustez do modelo SIG (FITZ, 2008).

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Cumpridas as etapas metodológicas (a) até (k) do item 3.1, procedeu-se com a análise comparativa dos pesos obtidos (valores absolutos e frequência) para as classes de declividade em função das 128 evidências de deslizamentos inventariadas por fotointerpretação e trabalhos de campo em comparação com a proposição do IBGE (2019). Apresenta-se, na Tabela 1, um resumo dos resultados obtidos na pesquisa.

Tabela 1. Classes de declividade e respectivas ocorrências de deslizamento observadas

Classes de declividade	Declividade (%)	Área (km ²)	Área (%)	Nº de ocorrências observadas	Frequência das ocorrências (%)	Ocorrências/Área (km ²)*
Plano	0 - 3	12,76	1,03	1	0,78	1/13
Suave-ondulado	3 - 8	65,56	5,28	0	0,00	-
Ondulado	8 - 20	337,28	27,17	12	9,38	1/28
Forte-ondulado	20 - 45	679,62	54,75	78	60,94	1/9
Montanhoso	45 - 75	133,71	10,77	30	23,44	1/4
Escarpado	>75	12,5	1,01	7	5,47	1/2

* Para determinação da taxa (índice) de ocorrências/área (km²) considerou-se o número inteiro mais próximo.

Analisando-se a Tabela 1, conclui-se que a classe de declividade forte-ondulado concentra a maioria das ocorrências observadas, com cerca de 61% da frequência dos deslizamentos inventariados pelo SGB/CPRM. Essa constatação, proporcionalmente e relativamente, também foi encontrada por Xavier (2020) e Xavier et al. (2022).

O mapeamento realizado pelo IBGE (2019) considerou os graus de potencialidade a deslizamentos crescentes em uma escala variando de 1 a 10 de acordo com o aumento da declividade em porcentagem (%): 0-3 [nota 1]; 3-8 [nota 3]; 8-20 [nota 5]; 20-45 [nota 8]; 45-75 [nota 9]; >75 [nota 10]. De acordo com as pesquisas de Schwarz *et al.* (2023) e Araújo *et al.* (2023), as regiões com maior declividade possuem solos jovens inconsolidados que são transportados com o tempo, pela gravidade, para regiões com menores declividades, favorecendo a não ocorrência de movimentos gravitacionais de massa do tipo deslizamento de solos. Assim, a atribuição de notas altas pelo IBGE (2019) para as classes de declividade montanhoso (45-75%) e escarpado (>75%) não corrobora com as observações de campo para deslizamentos em solos. Há, contudo, uma predominância de deslizamentos no intervalo de 20 a 45%. Assim, infere-se que em declividades acima dessa faixa não ocorre acúmulo de solo suficiente para deflagração de escorregamentos, devido, principalmente à magnitude dos processos erosivos presentes nas altas declividades.

Fazendo-se uma análise de sensibilidade dos resultados obtidos, presume-se que a única ocorrência de deslizamento cadastrada na classe de declividade plano (0 a 3%) deve se tratar de um *outlier* (valor atípico), portanto, deve ser desconsiderada da avaliação final. Trata-se de um dado inconsistente, pois a ocorrência de deslizamentos para essa faixa de declividade é improvável.

Considerando-se os resultados obtidos no modelo SIG, sugere-se uma adequação dos graus de potencialidade a deslizamentos propostos pelo IBGE (2019) em função da declividade em porcentagem (%): 0-3 [nota 1]; 3-8 [nota 3]; 8-20 [nota 8]; 20-45 [nota 10]; 45-75 [nota 9]; >75 [nota 5]. Trata-se de uma nova hierarquização das notas atribuídas pelo IBGE (2019) de acordo com os pesos estatísticos das evidências de deslizamentos obtidos nesta pesquisa.

Todavia, contrariamente ao exposto, analisando-se a taxa (índice) de ocorrências/área (km²) percebe-se uma convergência maior com a hierarquia de notas atribuídas pelo IBGE (2019), em particular para as três classes de declividade mais inclinadas: Forte-ondulado (20% a 45%), Montanhoso (45% a 75%) e Escarpado (> 75%). Esse resultado demonstra que o banco de dados analisado, embora importante, ainda não é capaz de prescrever resultados definitivos para a área de estudo, carecendo-se assim, de novas análises.

5 CONCLUSÃO

A ocorrência de movimentos gravitacionais de massa está relacionada a vários fatores ambientais condicionantes, sendo necessária a análise de influência de cada um deles. De acordo com o IBGE (2019), a declividade é um dos principais fatores no desencadeamento dos fenômenos de deslizamento, sendo esse atributo escolhido para o estudo de sensibilidade paramétrico proposto para esta pesquisa.

Os resultados obtidos neste estudo foram valiosos para a compreensão das classes de declividade mais importantes quanto ao desencadeamento de deslizamentos de terra no local de estudo. A metodologia apresentada nesta pesquisa se mostrou simples e eficaz, ademais, permite replicar o modelo SIG para outros municípios com ocorrências inventariadas pela SGB/CPRM ou Defesa Civil, servindo de ferramenta de apoio para a tomada de decisões da administração pública, seja ela na esfera federal, estadual ou municipal.

Embora os resultados obtidos nesta pesquisa diverjam, em parte, da proposta do IBGE (2019), na qual os graus de potencialidade (notas) a eventos geodinâmicos de cada classe foram estimados segundo a premissa de quanto maior a declividade, maior a probabilidade de ocorrência de deslizamentos, percebe-se uma concordância com a legislação vigente quanto ao uso e ocupação dos solos. A Lei Nº 6.766 (BRASIL, 1979), que dispõe sobre o parcelamento do solo em seu item III, Art. 3º do Capítulo I (Disposições Preliminares), proíbe o parcelamento do solo em terrenos com declividade igual ou superior a 30% (trinta por cento).

Concomitantemente ao exposto, e de certa forma corroborando com a Lei Nº 6.766, Francisco (2010) afirma que em terrenos montanhosos (declividade de 45 a 75%) e terrenos escarpados (declividade superior a 75%) há um grau muito forte a extremamente forte de impedimento à mecanização do terreno. Para declividades entre 20 e 40%, considera-se a profundidade efetiva do solo de até 20 cm com pedregosidade moderada a alta. Já para declividades superiores a 40%, considera-se inexistência de solos finos, pois o terreno é pouco evoluído pedologicamente, portanto, não há possibilidade física real de deslizamento de solos. Regiões muito íngremes possuem processos erosivos muito severos a extremamente severos (FRANCISCO, 2010).

Os dados de ocorrências de cicatrizes georreferenciadas disponibilizados pelo SGB/CPR se mostraram, em sua maioria, de qualidade satisfatória, salvo um único *outlier*. A análise de consistência do banco de dados para a realização da pesquisa foi uma etapa importante para minimizar prejuízos relacionados a interpretações equivocadas dos resultados das análises propostas.

Finalmente, recomenda-se, em futuras pesquisas dessa natureza, a utilização da teoria da amostragem para estudos mais amplos das relações existentes entre uma população (dados de inventários) e as amostras dela extraídas. Dessa forma, possibilita-se, de maneira mais abrangente, a avaliação mais completa da relação entre as classes de declividade e as ocorrências de deslizamento, auxiliando-se, assim, na interpretação e determinação das causas de diferenças observadas entre amostras. Por meio da teoria da amostragem é possível determinar o número mínimo de amostras/dados para a área de trabalho (estudo de caso).

Observou-se que as ocorrências levantadas pelo SGB/CPRM foram todas em solos, desprezando-se, portanto, movimentos gravitacionais de massa do tipo deslizamentos planares, em cunha e tombamento de blocos de rocha, sendo esta uma limitação da presente pesquisa. Um inventário de ocorrências maior que contemplasse todos os tipos de eventos geodinâmicos certamente possibilitaria uma análise mais assertiva e definitiva.

Contudo, em oposição as inferências anteriormente apresentadas, fazendo-se uma análise conjunta relativa da área territorial (km²) de cada classe de declividade analisada e seu número de ocorrências de deslizamentos associados, salvo regiões mais planas, os resultados apontam para os mesmos princípios básicos do IBGE (2019), donde os graus de potencialidade a deslizamentos de cada classe são tão maiores quanto maior a declividade do terreno, conseqüentemente maior a probabilidade de ocorrência de eventos geodinâmicos. No entanto, para uma conclusão mais assertiva e conseqüentemente mais definitiva, necessita-se de uma base de dados de inventário de ocorrências de deslizamentos maior.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior-Brasil (CAPES) e ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), pelo apoio às bolsas de doutorado de Danielle Stefane Gualberto Fernandes Porto, primeira autora deste artigo. Além disso, os autores agradecem ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG) pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, J. P. de C. ., Barella , C. F., Zêzere , J. L. G. M., & Fernandes, N. F. (2023) *Implementação de uma topografia pré-ruptura na predição estatística bivariada de escorregamentos*. Revista Brasileira de Geomorfologia, [S. l.], v. 24, n. 3, 2023. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v24i3.2305. Disponível em: <<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2305>>. Acesso em: 4 abr. 2024.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR 11682. *Estabilidade de encostas*. Rio de Janeiro.

Augusto, O. Deslizamento de terra destrói casarão em Ouro Preto; veja vídeo. Metrôpoles, 2022. Disponível em: <<https://www.metropoles.com/brasil/deslizamento-de-terra-destroi-casarao-em-ouro-preto-veja-video>>. Acesso em: 04 abr. 2024.

Brasil (1979) Lei Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Presidência da República Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16766.htm>. Acesso em: 04 abr. 2024.

Brasil (2012) Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – Lei 12.608 de 10 abril de 2012. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm>. Acesso em: 04 abr. 2024.

CPRM (2014) *Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Ouro Preto – MG*. Serviço Geológico do Brasil (SGB). Disponível em: <<https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/14972>>. Acesso em: 03 abr. 2024.

- Embrapa (1979) *Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos*. Súmula da 10. Reunião técnica de levantamento de solos. Rio de Janeiro: Embrapa. 83 p. (SNLCS. Micelânea, 1).
- Fitz, P. R. (2008) *Geoprocessamento sem complicação*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Francisco, P. R. M. (2010) *Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do estado da Paraíba utilizando sistema de informação geográfica*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água. Departamento de Solos e Engenharia Rural. UFPB. Disponível em: <<https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/572883/2/CLASSIFICA%C3%87%C3%83O%20E%20MAPEAMENTO%20DAS%20TERRAS.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2024.
- Frank P. M. (1978). *Introduction to System Sensitivity Theory*, Academic Press, New York, San Francisco & London.
- Hamby, D.M. (1994) *A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models*. Environ Monit Assess 32, 135–154. DOI: 10.1007/BF00547132. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF00547132#citeas>>. Acesso em: 03 abr. 2024.
- Huefner, R. J. (1972). *Sensitivity Analysis and Risk Evaluation*. Decision Science. pp. 126-135.
- IBGE (2018) *População em áreas de risco no Brasil*. Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101589.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2024.
- IBGE (2019) *Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação*. Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101684.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2024.
- Porto, D. S. G. F., Azevedo, R. C., Villar, L. F., Santos, H. A., Porto, T. B. (2024) *Metodologias para mapeamento do deslizamento de taludes: uma revisão bibliográfica*. CONTRIBUCIONES A LAS CIENCIAS SOCIALES, [S. l.], v. 17, n. 3, p. e5074. DOI: 10.55905/revconv.17n.3-168. Disponível em: <<https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/5074>>. Acesso em: 1 abr. 2024.
- Razavi, S., Jakeman, A., Saltelli, A., Prieur, C., Iooss, B., Borgonovo, E., Plischke, E., Lo Piano, S., Iwanaga, T., Becker, W., Tarantola, S., Guillaume, J.H.A., Jakeman, J., Gupta, H., Melillo, N., Rabitti, G., Chabridon, V., Duan, Q., Sun, X., Smith, S., Sheikholeslami, R., Hosseini, N., Asadzadeh, M., Puy, A., Kucherenko, S., Maier, H.R. (2021) *The Future of Sensitivity Analysis: An essential discipline for systems modeling and policy support*, Environmental Modelling & Software, Volume 137, Science Direct. DOI: 10.1016/j.envsoft.2020.104954. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815220310112>>. Acesso em: 03 abr. 2024.
- Schwarz, H., Michel, G. P., Zanandrea, F., Paul, L. R., & Salvador, C. G. (2023) *Uso de caracterização morfológica e geomorfológica na análise de mapeamentos de cicatrizes de escorregamentos*. Revista Brasileira de Geomorfologia, [S. l.], v. 24, n. 1. DOI: 10.20502/rbg.v24i1.2185. Disponível em: <<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2185>>. Acesso em: 3 abr. 2024.
- USGS (2008) *The landslide handbook – A guide to understanding landslides*. Highland, L.M., and Bobrowsky, P. (versão em português): Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular. GFDRR/World Bank. 1325, 129p. Disponível em: <https://www.gfdr.org/sites/default/files/publication/Deslizamentos_M5DS.pdf>. Acesso em 04 abr. 2024.
- Varnes, D. J. (1978) *Slope movements: types and processes*. In: Schuster, R. I. and Krizek (eds.) *Landslide analysis and control*, National Academy of Sciences, 11-33, Washington. Disponível em: <<https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr176/176.pdf>>. Acesso em: 25 mar. 2024.
- Xavier, J. P. S. (2020) *Erosão pluvial e escorregamentos no estado de pernambuco: áreas de ocorrências, unidades de paisagem e banco de dados geográfico*. Mestrado em Geografia, Pernambuco. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/37999>>. Acesso em jul. 2024.
- Xavier, J. P. S., Listo, F. L. R., Nery, T. D. (2022) *Escorregamentos no Estado de Pernambuco*. Mercator, Fortaleza, v.21. <https://doi.org/10.4215/rm2022.e21003>. Acessado em jul. 2024.