

ZONEAMENTO DE ÁREAS SUSCETÍVEIS A DESLIZAMENTOS NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MINAS GERAIS - BRASIL

Danielle Stefane Gualberto Fernandes Porto

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belo Horizonte, MG, Brasil
daniellestefane@yahoo.com.br

Rogério Cabral de Azevedo

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belo Horizonte, MG, Brasil
rogeriocabral@cefetmg.br

Lúcio Flávio de Souza Villar

Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia de Transportes e Geotecnia, Belo Horizonte, MG, Brasil
lvillar@etg.ufmg.br

Hersília de Andrade e Santos

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belo Horizonte, MG, Brasil
hsantos@cefetmg.br

Thiago Bomjardim Porto

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil e Meio Ambiente, Curvelo, MG, Brasil
thiago.porto@cefetmg.br

RESUMO

Os movimentos de massa representam uma ameaça em regiões habitáveis, preferencialmente em áreas com maiores amplitudes de declividades. Ouro Preto enfrenta desafios significativos relacionados a esses eventos, que causam danos materiais, ameaçam vidas e impactam o desenvolvimento urbano. A aplicação do geoprocessamento emerge como ferramenta importante para identificar e mapear áreas suscetíveis a eventos geodinâmicos. Destaca-se a importância da utilização do mapa de suscetibilidade pelos gestores públicos no planejamento territorial, visando o gerenciamento de riscos geotécnicos e a promoção de um ambiente urbano seguro. Para elaboração do mapa de suscetibilidade desta pesquisa, foram tabuladas as ocorrências verificadas nos inventários de deslizamentos mapeados pelo SGB-CPRM, as quais serviram como base fundamental para validação e precisão dos resultados. Este processo envolveu a combinação e ponderação de parâmetros geotécnicos e ambientais relevantes para aplicação da análise multicritério AHP. A partir destes atributos, foi aplicada a álgebra de mapas para a geração do mapa de suscetibilidade. O zoneamento realizado revelou uma boa capacidade preditiva do mapa. Esta pesquisa concluiu que cerca de 38% da área de Ouro Preto possui grau de suscetibilidade a deslizamento alto ou muito alto, sendo, essa região, prioritária para ser contemplada por um sistema de alerta a eventos extremos geodinâmicos.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Mapeamento. Suscetibilidade. Movimentos de massa. Gestão de riscos.

ZONING OF SUSCEPTIBLE AREAS TO LANDSLIDES IN OURO PRETO CITY - MINAS GERAIS - BRAZIL

ABSTRACT

Mass movements represent a threat in habitable regions, preferably in areas with higher slope amplitudes. Ouro Preto faces significant challenges related to these events, which cause material damage, threaten lives and impact urban development. The application of geoprocessing emerges as a valuable tool for identifying and mapping areas susceptible to these geodynamic events. The importance of using the susceptibility map by public managers in territorial planning is highlighted, aiming to manage geotechnical risks and promote a safe urban environment. To prepare the susceptibility map for this research, the occurrences verified in the landslide inventories mapped by the SGB-CPRM were tabulated, which served as a fundamental basis for validation and precision of the results. This process involved the

combination and weighting of geotechnical and environmental parameters relevant to the application of the AHP multicriteria analysis. Based on these attributes, map algebra was applied to generate the susceptibility. The carried out zoning revealed a good predictive capacity of the map. This research concluded that approximately 38% of the Ouro Preto area has a high or very high degree of susceptibility to landslides. As a result, this region was classified as a priority for consideration by an alert system for extreme geodynamic events.

Keywords: Geoprocessing. Mapping. Susceptibility. Mass movements. Risk management.

INTRODUÇÃO

A rápida expansão urbana observada no Brasil a partir da década de 70, acompanhada da carência de recursos e políticas habitacionais eficazes, desencadeou um intenso processo de ocupação de áreas urbanas, resultando em sérios desafios de segurança e risco. Este cenário é particularmente relevante no município de Ouro Preto, em Minas Gerais, cujo ambiente é caracterizado por uma complexidade geológica e geomorfológica significativa, suscetível a potenciais movimentos gravitacionais de massa e impactos diretos sobre a infraestrutura local e a população residente (Souza, 2015).

O município de Ouro Preto é reconhecido como patrimônio histórico pela UNESCO. Ele enfrenta desafios significativos em relação aos movimentos gravitacionais de massa, especialmente associados às chuvas e aos fatores predisponentes presentes na área (Fontes, 2011). Estudo anterior sobre diagnóstico da população em áreas de risco geológico foi feito em Ouro Preto pelo Serviço Geológico Brasileiro (SGB-CPRM, 2021). O município é considerado prioritário para a gestão de riscos pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil.

Muitas pesquisas nacionais de cartografia geotécnica propriamente ditas foram executadas com objetivos distintos, mas geraram informações que podem ser aplicadas na formulação de cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa no município de Ouro Preto e região, destacando-se: Bonuccelli (1999), Bonuccelli e Zuquette (1999), Dias (2003), Castro (2006), Oliveira (2009), Faria (2011), Fontes (2011), Corteletti (2014), Souza (2015), Barella (2016), Leão (2016), Chades (2018), Costa (2018), Ferreira (2018), Tavares (2018), Xavier (2018), Reis (2020), Eiras *et al.* (2021), Oliveira (2022) e Machado (2023).

Internacionalmente, percebe-se uma contínua busca por modelos computacionais capazes de fazer o zoneamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa da maneira mais assertiva possível. Neste contexto, destacam-se os seguintes trabalhos: Akgun (2012), Daneshvar (2014), Feizizadeh e Blaschke (2014), Erener, Mutlu e Düzgün (2016), Kumar e Anbalagan (2016), Pourghasemi *et al.* (2018), Mersha e Meten (2020), Lee *et al.* (2021), Titti *et al.* (2022), Moharrami e Jelokhani-Niaraki (2023).

Diante dessa realidade, este estudo, produto de uma pesquisa de doutorado, teve o objetivo de aplicar os princípios e conceitos das análises de suscetibilidade de escorregamentos ao contexto urbano da cidade, visando contribuir para a prevenção e mitigação dos riscos e para a gestão ambiental e política do espaço urbano. Visto que, no Brasil, há uma verba anual destinada ao Programa de Gestão de Riscos e de Desastres, tem-se a relevância deste estudo, que pode auxiliar neste planejamento.

Esta pesquisa fez uso de ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com destaque para o programa QGIS (QGIS, 2024), *software* gratuito e de código aberto, para a análise e mapeamento das áreas suscetíveis a escorregamentos.

Os resultados obtidos foram sintetizados em um mapa de suscetibilidade a escorregamentos, refletindo a predisposição do ambiente físico para a ocorrência desses eventos. Este zoneamento permite uma melhor compreensão das áreas de risco geotécnico na região estudada, levando em consideração tanto as ocorrências passadas quanto as condições atuais do terreno.

Esta pesquisa procurou fornecer uma previsão quantitativa desses eventos por meio de uma análise multicritério, utilizando o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) para atribuir valores quantitativos aos atributos condicionantes dos movimentos que foram considerados. Tal abordagem possibilitou uma avaliação mais precisa dos potenciais problemas geotécnicos na região, considerando a probabilidade de ocorrência do movimento gravitacional de massa com base na frequência relativa e na intensidade dos atributos condicionantes.

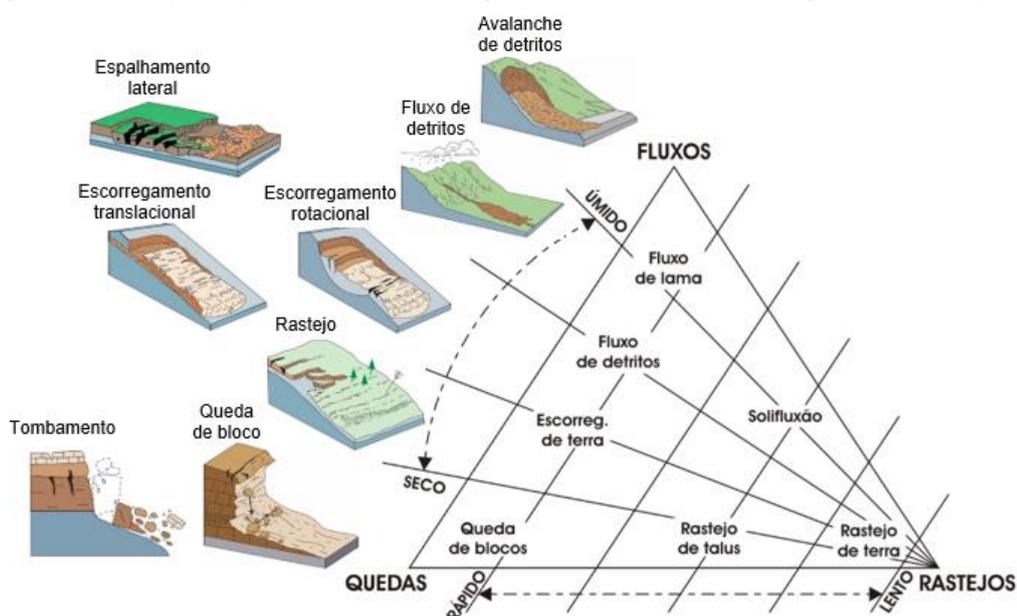
REVISÃO DA LITERATURA

Movimentos gravitacionais de massa

De acordo com a *United States Geological Survey* (USGS, 2008) os movimentos gravitacionais de massa são “descidas” de solo, rocha ou ambos, em declive, que ocorre na ruptura de parte(s) de um terreno qualquer. Conforme classificação da USGS (2008), Figura 1, eles podem ser classificados em queda de blocos, tombamento, escorregamento translacional, escorregamento rotacional, espalhamento, fluxo de detritos, rastejos e avalanche de detritos. Para este artigo, será considerada a classificação da USGS (2008). Demais classificações e definições podem ser encontradas nos trabalhos de Cruden e Varnes (1996) e Augusto Filho (1992).

No Brasil, a NBR 11.682 (ABNT, 2009) “Estabilidade de Encostas” é o principal instrumento nacional regulatório que prescreve os requisitos exigíveis para o estudo, projeto, execução e controle da estabilidade de encostas e de taludes resultantes de cortes e aterros realizados em encostas e observação de obras de estabilização. Nele, a terminologia empregada para os tipos básicos de instabilidade de massas em encostas é: (a) queda/rolamento; (b) tombamento; (c) escorregamento; (d) escoamento. Em função da abrangência do tema, outros termos e definições são abordados na literatura por outros autores. Ainda de acordo com a NBR 11.682 (ABNT, 2009) a queda/rolamento é o desprendimento de blocos de rocha que caem de certa altura. O tombamento é um movimento em forma de balsa com eixo na base. Já o escorregamento é um movimento por deslocamento sobre uma ou mais superfícies planas ou não. Por fim, o escoamento é um deslizamento de terra com propriedades de fluido, lento ou rápido (corrida).

Figura 1 - Principais tipos de movimentos gravitacionais de massa segundo USGS (2008)



Fonte: Adaptado de: USGS (2008); Carson; Kirkby (1972) *apud* Marcelino (2003).

Gestão de riscos e desastres naturais

De acordo com o Art. 2º da Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012 (Brasil, 2012c), que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNPDEC, compete à administração pública contribuir estrategicamente para a efetividade de políticas públicas relevantes para a sociedade, interligando competências técnico-científicas e gestão governamental. Neste sentido, torna-se importante o conhecimento das ferramentas técnicas existentes para mitigar problemas relacionados a movimentos de massa como deslizamento de encostas, fluxo de detritos e queda de blocos de rocha. Muitas vezes, principalmente em cidades de pequeno e médio porte, o gestor público municipal desconhece as

informações existentes sobre geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, clima, hidrologia, uso e ocupação do solo de seu município, informações essas muitas vezes disponíveis gratuitamente em plataformas específicas do governo federal, estadual, municipal, autarquias, agências governamentais e/ou instituições filantrópicas. Os dados públicos disponíveis são muito importantes para auxiliar no ordenamento territorial dos municípios, contribuindo tecnicamente na elaboração e revisão de planos diretores e, acima de tudo, na prevenção de desastres naturais.

Neste contexto o Governo Federal criou o Programa Temático 2040 – Gestão de Riscos e Resposta a Desastres, instituído pelo Plano Plurianual (PPA) 2012-2015 (Brasil, 2012b), com o intuito de minimizar ou erradicar desastres naturais nos municípios brasileiros suscetíveis a movimentos de massa, inundações e enchentes. Após mais de uma década da criação do Programa, os municípios brasileiros ainda se deparam com problemas dessa natureza (Deslizamento [...], 2022). Apesar de haver um programa e uma verba destinada a eventos extremos no Brasil, o desastre acerca da inundação observada no estado do Rio Grande do Sul, Brasil, não foi evitado (Verba [...], 2024). Dessa forma, verifica-se a relevância do tema, que deve ser discutido por meio de ações afirmativas junto à sociedade civil e o poder público.

Coube ao Ministério das Cidades do Governo Federal operacionalizar o PPA 2012-2015 (Brasil, 2012a), com a missão de diminuir as desigualdades sociais no âmbito nacional, ampliando o acesso da população de baixa renda a uma infraestrutura urbana de qualidade. Neste contexto, os estados e municípios receberam aportes financeiros para materializar esse projeto (Brasil, 2022). No que tange a proposta de diminuição de riscos a desastres naturais, diversas ações foram realizadas no período supracitado com vistas à viabilização de serviços para mapeamento de áreas de risco geológico-geotécnico a movimentos de massa e posterior definição das intervenções necessárias para erradicação de risco em cada área mapeada, como: indicação de remoções de moradias em risco, projetos de engenharia para estabilização dos movimentos de massa estimativa de custos para cada intervenção proposta e, naturalmente, hierarquização das intervenções esquematizadas, conforme grau de periculosidade a deslizamentos da área e número de famílias atingidas.

Conforme a Revista Exame (Verba [...], 2024), na última década houve um gasto superior com despesas correntes, como materiais de consumo e serviços, e inferior com planejamento e obras, além da compra de equipamentos e instalações. Concomitante ao exposto, foi criada a Lei Nº 14.750 (Brasil, 2023), com o objetivo de aprimorar os instrumentos de prevenção de acidentes/desastres e de recuperação de áreas por eles atingidas, as ações de monitoramento de riscos de acidentes/desastres e a produção de alertas antecipados.

A proposta dos gestores públicos era que, com a elaboração do mapeamento de suscetibilidade a processos geológicos e hidrológicos seria possível o estabelecimento de referenciais e diretrizes para o desenvolvimento e implantação de uma política pública municipal de gestão de riscos geológicos para as áreas de ocupação precária dos municípios. Para que a proposta seja efetiva, naturalmente, é necessário o envolvimento da população nos processos de gestão de riscos geológico-geotécnicos (Silva, 2016). E é justamente a capacitação da população mais vulnerável o gargalo para efetivar planos municipais de redução de risco geológico (Menezes, 2021).

No que tange a capacitação para gestores públicos, especial atenção deve ser dada aos fatores condicionantes para a geração de mapa de suscetibilidade aos deslizamentos. O produto da análise desses fatores pode ser a geração de uma carta de suscetibilidade aos processos geológicos/geotécnicos e hidrológicos, representando as áreas mais prováveis de sua ocorrência. Pinto, Passos e Caneparo (2013) fizeram um levantamento dos principais condicionantes utilizadas em pesquisas envolvendo movimentos de massa e identificaram:

- a) geomorfológicos: declividade, forma da vertente, altitude, área de drenagem, orientação, unidades geomorfológicas, densidade de drenagem e rugosidade do terreno;
- b) geológicos: litologia, estrutura (falhas, estruturas, lineamentos), unidades geológicas e descontinuidades;
- c) climáticos: pluviosidade;
- d) pedológicos: tipos de solos;
- e) fitogeográficos: cobertura vegetal;
- f) antrópicos: uso do solo, estradas, ocupação e áreas agrícolas.

Parte dos mapas referentes aos condicionantes listados anteriormente é disponibilizada por plataformas públicas e, infelizmente, parte da população e parte dos gestores públicos desconhecem. Cita-se, por exemplo, no âmbito nacional, os mapas disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), SGB-CPRM, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e, no estado de Minas Gerais, a Infraestrutura de Dados Espaciais do Sisema (IDE Sisema), conforme endereços eletrônicos do Quadro 1. A análise e diferenciação dos principais problemas de uma área tem como base a observação dos condicionantes listados anteriormente e a relação entre eles, com o propósito de se definir a suscetibilidade de ocorrerem processos geodinâmicos de movimentos de massa (Marcelino, 2008).

Quadro 1 - Links para acesso às plataformas de busca de mapas temáticos de domínio público

Plataforma	Tipo de dado	Endereço eletrônico
IBGE	delimitação territorial	https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html
SGB-CPRM	geologia	https://geoportal.sgb.gov.br/desastres/
ANA	precipitação	https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao
IDE Sisema	geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo, direção das vertentes, declividade	https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis

Fonte: Os autores, 2024.

A desconsideração das peculiaridades do meio físico local, o crescimento não planejado da população e das cidades e a ineficiência de políticas públicas de planejamento urbano têm contribuído intensamente para o surgimento de problemas relacionados a movimentos de massa (Pinheiro; Sobreira; Lana, 2003). A gestão pública eficiente possui impacto direto na elaboração de bons planos diretores, que tem o objetivo de fazer um ordenamento territorial racional e técnico, minimizando, portanto, eventos naturais desastrosos.

De acordo com Souza (2015), no âmbito das regiões urbanas, podem ser detalhados os trabalhos de suscetibilidade a movimentos de massa, enfocando os principais problemas relacionados ao meio físico e seu uso. Além disso, pode-se também elaborar um cadastro geral de inventário de deslizamentos de encostas para períodos desejados. Os dados obtidos possibilitam a proposição de medidas mais adequadas em relação ao uso e ocupação territorial (Souza, 2015).

Fontes (2011) afirma que não basta realizar o mapeamento para que o investimento seja efetivo, sendo, também, necessário o envolvimento da equipe técnica (engenheiros e geólogos) com a sociedade e com a administração pública municipal. Para tanto, é necessária a realização de treinamentos dos técnicos das prefeituras visando a capacitação destes no gerenciamento e mapeamento de áreas de risco geotécnico, em investigação de risco para projetos de urbanização de assentamentos precários, na execução de diagnósticos assertivos, e no treinamento para utilização de SIG como ferramenta de apoio para os servidores municipais (Moura, 2014). Moura (2016) afirma a importância da interação da comunidade com o poder público, por meio de oficinas de treinamento para educação ambiental.

Neste contexto, o plano de gestão de riscos e resposta a desastres naturais torna-se um desafio para os gestores dos municípios de pequeno e médio portes, trazendo, ao mesmo tempo, novas oportunidades de aprendizado. Assim, é muito importante a capacitação do gestor público na prevenção de desastres naturais, que devem ser feitas através de oficinas e treinamentos específicos, inclusive com aplicação das ferramentas SIG no auxílio de previsão de desastres naturais e auxílio da tecnologia (CEPED, 2016; Brasil, 2017; Brasil, 2018a; Brasil, 2018b).

O correto diagnóstico da população em áreas de risco geológico é fundamental para o estabelecimento de metodologias de gestão de risco que envolvam a comunidade nas ações de prevenção, mitigação e tratamento dos problemas relacionados a desastres naturais (Lana; Jesus; Antonelli, 2021). A ausência do poder público em comunidades vulneráveis, concomitantemente com a falta de informação associada ao baixo poder aquisitivo da população, resulta na execução de soluções geotécnicas inadequadas, sem o embasamento técnico necessário, o que pode culminar em acidentes ou mal

desempenho das soluções propostas. Assim, torna-se necessária a proposição de soluções para inclusão da comunidade carente nas ações de defesa civil dos municípios, no que se refere às proposições necessárias para a redução de risco a deslizamento de encostas das áreas de assentamento urbano precárias.

Cartografia geotécnica

Engenheiros civis, ambientais, florestais, agrimensores e cartográficos, geólogos, geógrafos e outros profissionais usualmente se apoiam em definições específicas para o termo “cartografia geotécnica” e com ligeira diferença entre si. Segundo Diniz (2012), as cartas geotécnicas apresentam diversas finalidades, podendo ser resumidas em: aplicadas a obras civis, convencionais, de suscetibilidade, de planejamento territorial, de aptidão à urbanização, de risco e geoambientais. Essa diversidade de finalidades reflete a complexidade da natureza das muitas disciplinas associadas ao estudo da cartografia aplicada à engenharia geotécnica. Para os propósitos desta pesquisa, será considerada a definição de “cartografia geotécnica” realizada por Diniz (2012):

Técnica de integração, síntese e representação de informações temáticas da área de geologia de engenharia voltada para o planejamento e gestão ambiental urbana e territorial; e permite a formulação de modelos de previsibilidade do comportamento dos terrenos e o estudo de soluções para problemas decorrentes da intervenção antrópica sobre o meio físico. Segundo sua finalidade, as cartas geotécnicas podem ser aplicadas: aos planejamentos urbano e territorial, onde estariam as cartas de aptidão urbana; à suscetibilidade e riscos geológicos (*hazard*) a processos do meio físico; e à viabilidade à implantação de empreendimentos (processos tecnológicos) (Diniz, 2012, p.1).

Ainda de acordo com Diniz (2012) “a contribuição da cartografia geotécnica ao planejamento regional e urbano utiliza a análise fenomenológica do meio físico, no sentido de identificar e caracterizar processos que condicionem problemas existentes ou esperados, para melhor orientar o uso e ocupação do solo, a análise ambiental e as obras civis”. Outras importantes definições para cartografia geotécnica podem ser encontradas nos trabalhos: Oliveira e Monticeli (2018), Franco *et al.* (2010) e Zuquete e Gandolfi (2004).

Para o propósito desta pesquisa, e de acordo com a literatura de referência consultada, observa-se que o mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa é derivado de outros mapas-base. Para a elaboração do mesmo, é necessária a realização de uma álgebra linear de mapas. Existem diversas técnicas em SIG para sobreposição de mapas. Para esta pesquisa, será utilizado o método multicritério AHP que, segundo Pourghasemi *et al.* (2018), se trata de um dos cinco métodos mais usados em pesquisas de análise de suscetibilidade a deslizamentos.

Método multicritério AHP

A Análise de Multicritérios apresenta-se como um importante procedimento utilizado para cruzamento de variáveis georreferenciadas. Esse tipo de análise é muito utilizado no geoprocessamento, uma vez que seu fundamento se assemelha ao de construção do SIG, cujas funções principais, de acordo com Fitz (2008) são: (a) aquisição e edição de dados; (b) gerenciamento do banco de dados; (c) análise geográfica dos dados e (d) representação de dados. Para a correta análise geográfica dos dados em SIG é necessária uma metodologia capaz de trabalhar com mais de um critério simultaneamente com vistas à tomada de decisão eficaz.

De acordo com Faria (2011), as principais etapas do método são: (i) definição do contexto no qual o método será aplicado; (ii) identificação das possíveis opções para solução do problema proposto; (iii) definição dos objetivos e dos corretos critérios para representar um determinado dado-alvo; (iv) avaliação da relevância dos critérios pré-estabelecidos, a fim de discernir sua importância relativa e (v) calcular o peso/pontuação de cada critério/atributo estabelecido.

O AHP permite atribuir pesos ou grau de importância de maneira racional e consistente, onde parte das variáveis do problema são qualitativas ou semi-qualitativas. Para tanto, trabalha-se com uma matriz de comparação pareada, onde é avaliada a importância de um atributo sobre outro, utilizando-se, para isto, uma escala adequada de julgamento (Saaty, 1984). Trata-se de um método importante,

extensivamente experimentado e melhorado ao longo do tempo. Apresenta-se, no Quadro 2, a proposta de Saaty (1984) para avaliação/julgamento pareada(o) entre os fatores condicionantes em estudo.

Quadro 2 - Escala fundamental de Saaty

Intensidade da importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente ao objetivo.
3	Importância moderada de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem ligeiramente uma atividade em detrimento de outra.
5	Forte importância	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em detrimento de outra.
7	Muito forte importância	Uma atividade é fortemente favorecida e o seu domínio é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A ordem de afirmação mais alta possível.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os dois julgamentos adjacentes	Possibilidade de compromissos adicionais.
Recíproco dos valores	Se uma atividade tiver um dos números acima atribuídos a ela, quando comparada com uma segunda atividade, então a segunda atividade terá o valor recíproco quando comparada com a primeira	

Fonte: Adaptado de Saaty, 1984.

O AHP apresenta como roteiro metodológico: primeiramente são estabelecidas as variáveis (mapas temáticos) que influenciam na suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa do problema em questão. Na sequência, é montada uma matriz de comparação paritária (par a par) que, em seguida, é normalizada pelo somatório dos graus de importância atribuídos por variável. O peso de cada atributo, também chamado de autovetor normalizado, é dado pelo somatório de cada linha, dividido pelo número de atributos. Por fim, uma análise de sensibilidade dos resultados obtidos é feita com vistas a fazer a avaliação da consistência dos julgamentos realizados. De acordo com Saaty (1990), o julgamento é aceitável quando a razão de consistência (RC) é inferior a 0,1.

METODOLOGIA

A metodologia da presente pesquisa é dividida em sete fases/etapas:

- fase I – definição dos principais fatores influenciadores aos deslizamentos após análise dos mais relevantes entre os 95 atributos condicionantes verificados por Pourghasemi *et al.* (2018), cujos dados geospacializados são de domínio público e de fácil utilização pelos gestores de cidades de pequeno e médio porte, sendo eles: declividade, geologia/litologia, pedologia, geomorfologia, precipitação, direção das vertentes e uso do solo (sete atributos);
- fase II – definição de especialistas, um para cada fator condicionante adotado na pesquisa, totalizando sete profissionais, para evitar tendências de um atributo em relação a outro. Estabelecimento, pelos especialistas, de grau de importância para os atributos definidos, considerando a escala de Saaty (1984);
- fase III – coleta de dados: levantamento de todos mapas/cartas disponíveis, objetivando compor os atributos necessários para execução do mapa de suscetibilidade;

- fase IV – definição dos parâmetros (restrições e pesos/ponderações) a serem aplicados no modelo e subdivisão dos mesmos em subclasses hierárquicas;
- fase V – integração das cartas de parâmetros e modelagem (simulação numérica);
- fase VI – criação de um mapa com vários níveis de suscetibilidade;
- fase VII – calibração do modelo considerando histórico de deslizamentos na região analisada e trabalhos de campo realizados pelo SGB-CPRM.

Para esta pesquisa, a validação do modelo foi feita por meio da comparação dos dados georreferenciados do inventário de deslizamentos da área do estudo de caso com a classificação obtida no mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Considerando os pixels associados com deslizamentos como amostras possíveis de serem verificadas estatisticamente, assumiu-se que uma coincidência de pixels superior a 90% do histórico de deslizamentos com classes de suscetibilidade média, alta e muito alta, tem-se um mapa aceitável.

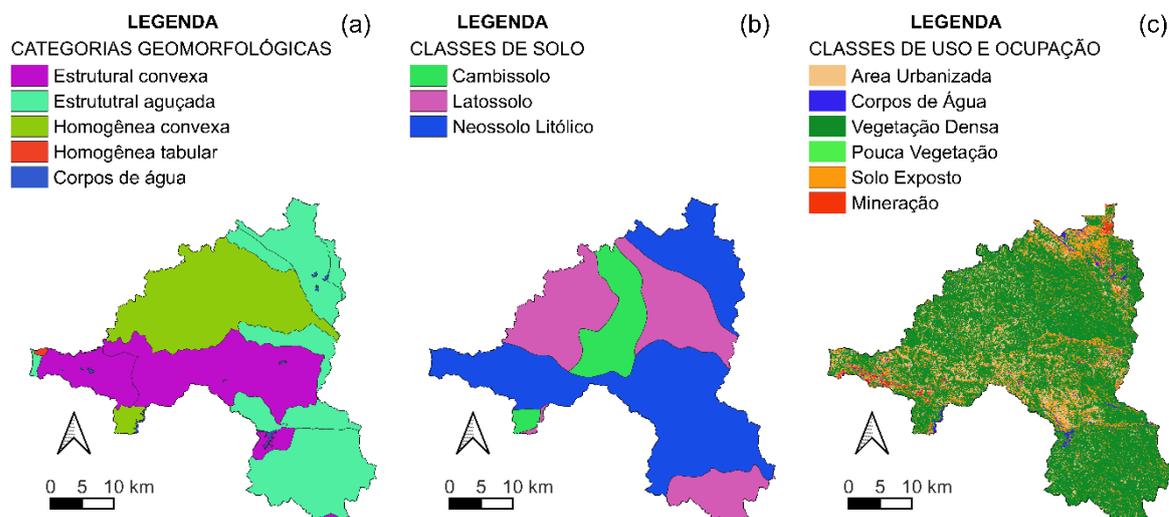
RESULTADOS

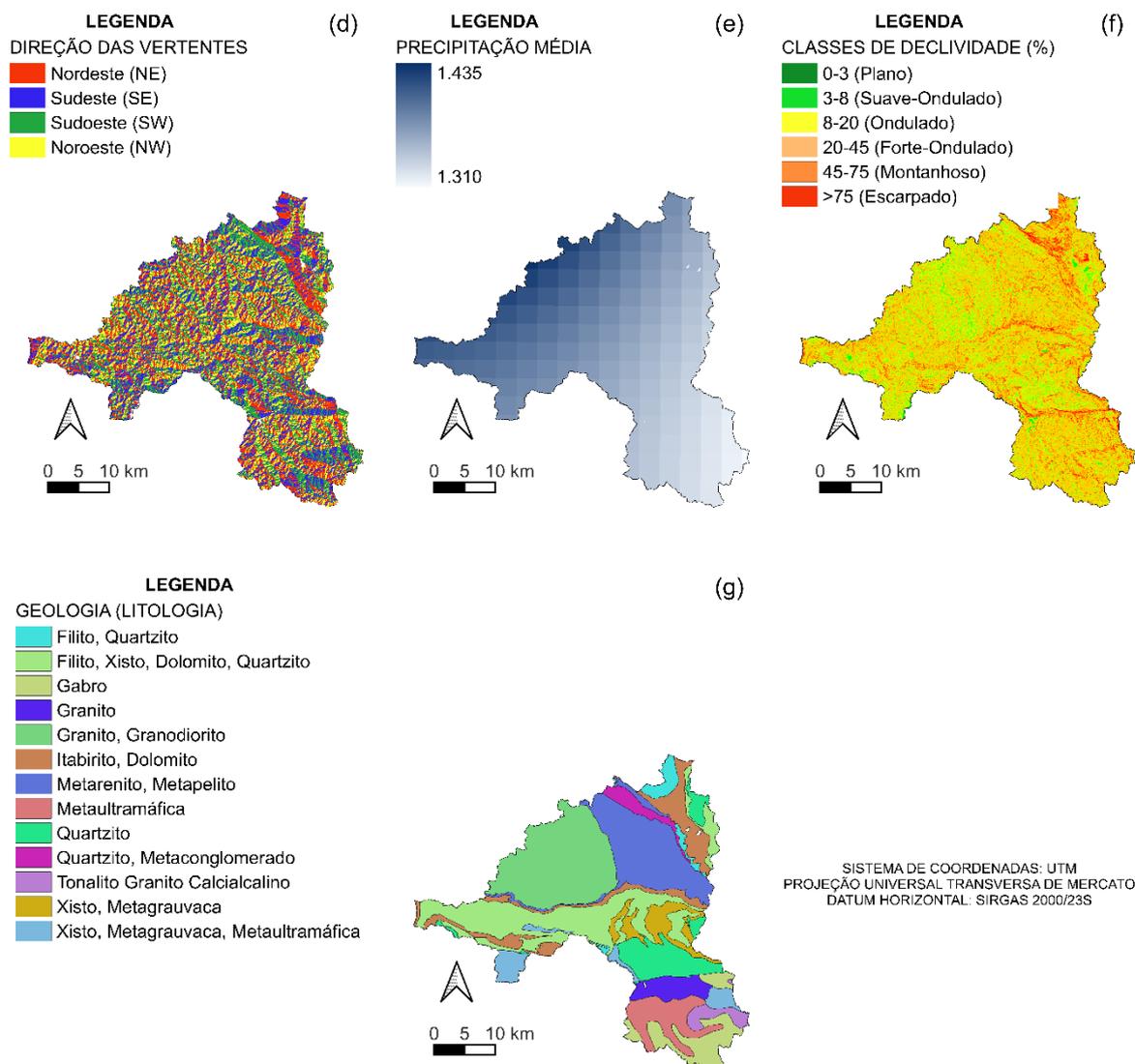
Na Figura 2 são apresentados os atributos utilizados para a aplicação do método multicritério AHP. Concomitantemente à elaboração dos mapas temáticos de apoio, um especialista para cada fator condicionante adotado na pesquisa foi convidado para estabelecer o grau de importância entre os atributos utilizados, considerando a escala de Saaty, totalizando sete consultores. Uma média aritmética das notas dos especialistas foi feita e a matriz resultante foi executada. Um resumo da matriz de comparação paritária (par a par) derivada é apresentado na Tabela 1.

Na Tabela 2 é apresentada a matriz de comparação normalizada, bem como os pesos para cada uma das variáveis do modelo [Autovetor Normalizado]: Geomorfologia - G (3,6%); Pedologia - P (3%); Geologia - Ge (5,7%); Uso e ocupação do solo - U (9%); Direção das vertentes - D (7,7%); Pluviosidade - PI (33,2%); Declividade - De (37,8%). O resultado algébrico da metodologia MCDA-AHP proposta para determinação da suscetibilidade a deslizamentos de massa é apresentado na Equação 1.

$$Sus \approx 0,04 \times G + 0,03 \times P + 0,06 \times Ge + 0,1 \times U + 0,08 \times D + 0,33 \times PI + 0,38 \times De \quad (1)$$

Figura 2 - Município de Ouro Preto: Atributos utilizados na álgebra de mapas: (a) Geomorfologia; (b) Pedologia; (c) Uso e Ocupação do solo; (d) Direção das Vertentes; (e) Precipitação; (f) Declividade; (g) Geologia





Fonte: ASF, 2023; IBGE, 2022; IDE-Sisema, 2024; INPE, 2022. Elaboração: os autores, 2024.

Tabela 1 - Matriz de comparação paritária (par a par)

Atributo	1-G	2-P	3-Ge	4-U	5-D	6-PI	7-De
1-Geomorfologia (G)	1,000	1,000	0,500	0,333	1,000	0,111	0,111
2-Pedologia (P)	1,000	1,000	0,333	0,200	0,333	0,143	0,111
3-Geologia (Ge)	2,000	3,000	1,000	0,333	1,000	0,111	0,143
4-Uso e Ocupação do Solo (U)	3,000	5,000	3,000	1,000	0,333	0,200	0,143
5-Direção das Vertentes (D)	1,000	3,000	1,000	3,000	1,000	0,200	0,111
6-Pluviosidade (PI)	9,000	7,000	9,000	5,000	5,000	1,000	1,000
7-Declividade (De)	9,000	9,000	7,000	7,000	9,000	1,000	1,000

Fonte: Os autores, 2024.

Tabela 2 - Matriz de comparação normalizada.

Atributo	1-G	2-P	3-Ge	4-U	5-D	6-PI	7-De	Σ	W_i
1-Geomorfologia (G)	0,038	0,034	0,023	0,020	0,057	0,040	0,042	0,255	0,036
2-Pedologia (P)	0,038	0,034	0,015	0,012	0,019	0,052	0,042	0,213	0,030
3-Geologia (Ge)	0,077	0,103	0,046	0,020	0,057	0,040	0,055	0,397	0,057
4-Uso e Ocupação do Solo (U)	0,115	0,172	0,137	0,059	0,019	0,072	0,055	0,630	0,090
5-Direção das Vertentes (D)	0,038	0,103	0,046	0,178	0,057	0,072	0,042	0,537	0,077
6-Pluviosidade (PI)	0,346	0,241	0,412	0,296	0,283	0,362	0,382	2,323	0,332
7-Declividade (De)	0,346	0,310	0,321	0,415	0,509	0,362	0,382	2,645	0,378
Total	1,00	7,00	1,00						

Fonte: Os autores, 2024.

Na Tabela 3 é apresentado um resumo da análise de sensibilidade realizada, com vistas a avaliar a consistência resultante dos sete julgamentos feitos para subsidiar a álgebra de mapas. Obteve-se uma razão de consistência (RC) correspondente a 0,088 (8,8%). De acordo com o professor Thomas Saaty (1984), os resultados obtidos para os pesos de cada atributo são admitidos satisfatórios para um resultado de razão de consistência (RC) inferior a 0,1 (10%). Portanto, a proposição apresentada na Equação 1 está dentro dos limites estabelecidos para um julgamento coerente.

Tabela 3 - Consistência dos julgamentos por meio de uma análise de sensibilidade

Parâmetro	Valor
Ordem da matriz (n)	7,0
Autovalor máximo (λ_{max})	7,695
Índice de consistência (IC)	0,116
Índice randômico (IR)	1,32
Razão de consistência (RC)	0,088 (8,88%)
Consistência	< 10% → Ok!

Fonte: Os autores, 2024.

Apresenta-se, na Tabela 4, um resumo da hierarquização dos atributos (pesos) e classes (notas normalizadas) adotada para a presente pesquisa. Em função da natureza, origem dos dados e metodologia proposta, os mapas temáticos geomorfologia, pedologia, geologia, uso e ocupação do solo e direção das vertentes tiveram as notas das classes já normalizadas e com números inteiros, ao passo que os atributos pluviosidade e declividade, com valores contínuos, foram normalizados conforme Equação 2 (Coutinho; Silva; Delgado, 2016).

$$\text{Atributo normalizado} = \frac{(\text{valor do atributo} - \text{menor valor do atributo})}{(\text{maior valor do atributo} - \text{menor valor do atributo})} \quad (2)$$

As notas das classes de cada atributo foram definidas e adaptadas com base nos trabalhos de Lopes (2007), Monguilhott *et al.* (2010), Bastos (2012), Torres (2014), IBGE (2019) e Santana (2020), apresentadas na Tabela 4, porém sujeitas à subjetividade e relatividade da avaliação técnica.

Tabela 4 - Resumo da hierarquização das variáveis (atributos e classes)

Mapas temáticos	Peso do atributo	Nota da classe
1. Geomorfologia (simbologia modelado IBGE)	0,036	-
Estrutural convexa (DEc33)	-	0,6
Estrutural convexa (DEc43)	-	0,7
Estrutural aguçada (DEa23)	-	0,5
Estrutural aguçada (DEa25)	-	1,0
Estrutural aguçada (DEa33)	-	0,6
Estrutural aguçada (DEa34)	-	0,8
Estrutural aguçada (DEa35)	-	1,0
Estrutural aguçada (DEa44)	-	0,9
Homogênea convexa (Dc32)	-	0,7
Homogênea convexa (Dc42)	-	0,7
Homogênea convexa (Dc52)	-	0,7
Homogênea tabular (Dt22)	-	0,4
Corpos de água (Apf)	-	0,1
2. Pedologia	0,030	-
Cambissolo	-	0,4
Latossolo	-	0,7
Neossolo Litolítico	-	0,6
3. Geologia (Litologia) / Unidades Geológico-geotécnicas	0,057	-
Filito, Quartizito (Unid. Geot. 04)	-	0,5
Filito, Xisto, Dolomito, Quartizito (Unid. Geot. 04)	-	0,5
Gabro (Unid. Geot. 04)	-	0,5
Granito (Unid. Geot. 01)	-	0,2
Granito, Granodiorito (Unid. Geot. 01)	-	0,2
Itabirito, Dolomito (Unid. Geot. 03)	-	0,3
Metarenito, Metaperito (Unid. Geot. 09)	-	0,4
Metaultramáfica (Unid. Geot. 03)	-	0,3
Quartizito (Unid. Geot. 03)	-	0,3
Quartizito metaconglomerado (Unid. Geot. 04)	-	0,5
Tonalito Granito Calcicalcino (Unid. Geot. 01)	-	0,2
Xisto, Metagrauvaca (Unid. Geot. 04)	-	0,5
Xisto, Quartizito, Quartizito Ferruginoso (Unid. Geot. 04)	-	0,5
4. Mapa de uso e ocupação do solo	0,090	-
Área urbanizada	-	1
Corpos hidricos	-	0,1
Vegetação densa	-	0,1
Pouca vegetação	-	0,2
Solo exposto	-	0,4
Mineração	-	0,4
5. Direção das vertentes	0,077	-
NORDESTE (NE) - 0 a 90 graus (horário)	-	0,1
SUDESTE (SE) - 90 a 180 graus (horário)	-	0,04
SUDOESTE (SW) - 180 a 270 graus (horário)	-	0,24

NOROESTE (NW) - 270 a 360 graus (horário)	-	0,62
6. Pluviosidade	0,332	-
Atributo normalizado não inteiro (0 a 1)		Variável
7. Declividade	0,378	-
Atributo normalizado não inteiro (0 a 1)		Variável

Fonte: Os autores, 2024.

Apresenta-se, na Figura 3, o mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa desenvolvido na pesquisa, função da soma ponderada dos fatores condicionantes escolhidos. Analisando-se a Figura 3, percebe-se que o grau de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa no entorno da área urbana de Ouro Preto é classificado como alto a muito alto. Nota-se que o distrito de Ouro Preto, com presença de ocupação não planejada, é mais vulnerável que outras regiões do estudo de caso, potencializando, assim, inesperados eventos geodinâmicos.

Analisando-se a Tabela 5, percebe-se que taxa (índice) de ocorrências/área (km²) aumenta na medida em que o grau de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa se aproxima do “muito alto”. Exceção a evidência quantitativa observada na Tabela 5 é o grau de suscetibilidade a deslizamento “muito baixo”. Presume-se, portanto, que a ocorrência/cicatriz inventariada pelo SGB-CPRM observada na classe “muito baixa” é um *outlier*, valor atípico ou resultado que foge da expectativa, pois, não se espera ter um deslizamento em uma área com declividade baixa, inferior a 10%. A existência de *outliers* implica, necessariamente, em equívocos ou falta de informação na interpretação dos resultados dos testes estatísticos aplicados às amostras, sendo necessário, portanto, excluí-los da análise.

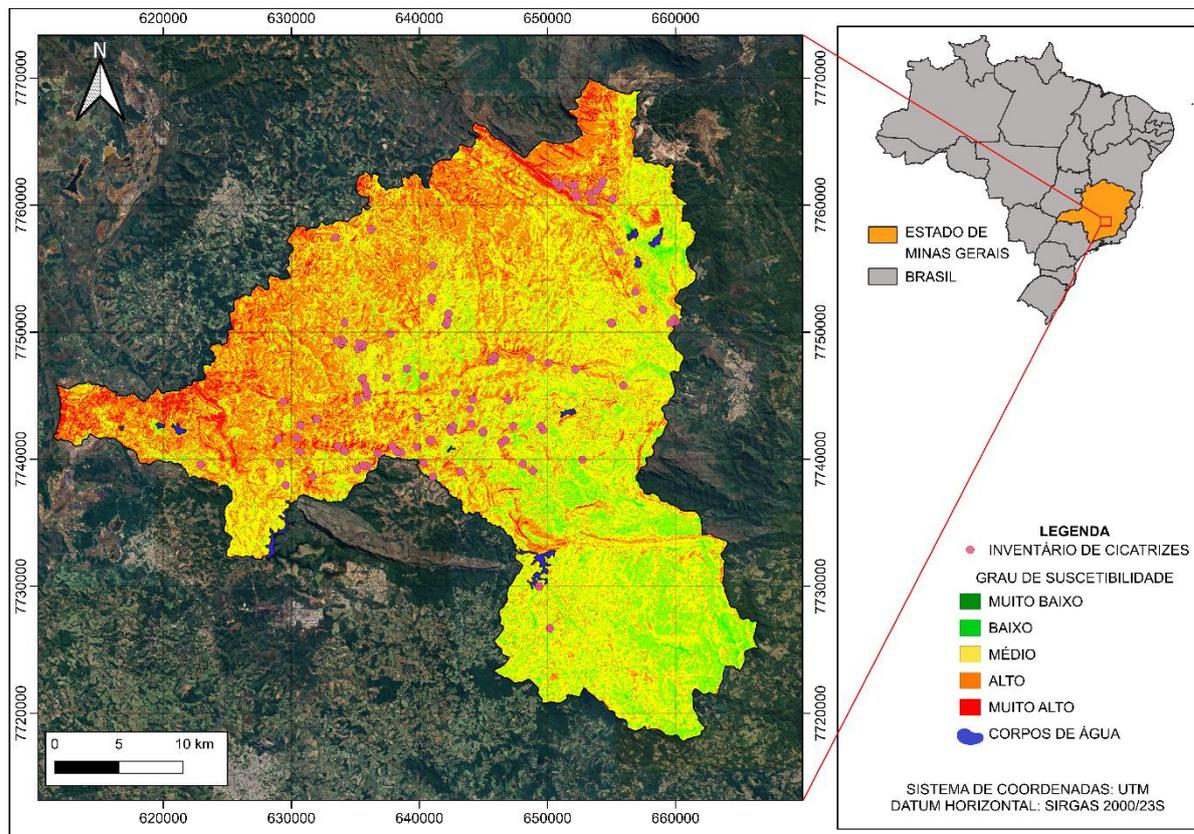
Tabela 5 - Resumo quantitativo da validação do zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos em Ouro Preto com os dados de ocorrências do SGB-CPRM

Graus de Suscetibilidade	Área (km ²) (%)		Nº de ocorrências observadas	Frequência das ocorrências (%)	Ocorrências/Área (km ²)*
Muito Baixo	20,52	1,61%	1	0,78%	1/20
Baixo	192,72	15,14%	3	2,34%	1/64
Médio	580,96	45,64%	35	27,34%	1/16
Alto	410,17	32,22%	68	53,13%	1/6
Muito Alto	68,68	5,39%	21	16,41%	1/3

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

Fonte: Os autores, 2024.

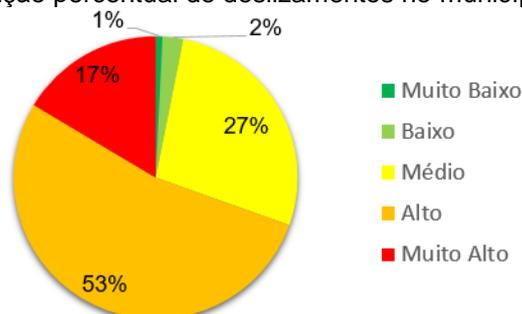
Figura 3 - Município de Ouro Preto: Mapa de Suscetibilidade a deslizamentos em Ouro Preto, 2024



Fonte: IBGE, 2022; NextGIS, 2023. Elaboração: os autores, 2024.

Na Figura 4, tem-se a distribuição percentual de deslizamentos do município de Ouro Preto. Cerca de 70% das cicatrizes (89 ocorrências de movimentos gravitacionais de massa de um total de 128) estão compreendidas nas classes de suscetibilidade alta a muito alta, mostrando que o mapeamento realizado é aderente ao peso das evidências de maneira satisfatória.

Figura 4 - Distribuição percentual de deslizamentos no município de Ouro Preto



Fonte: Os autores, 2024.

Na Tabela 6 apresenta-se um comparativo do grau de suscetibilidade a deslizamentos no município de Ouro Preto com os trabalhos realizados pelo SGB-CPRM (2014) e IBGE (2019). De acordo com a legislação atual (Brasil, 2023), o Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) do município deve ser atualizado e revisado a cada dois anos. O mapeamento do SGB-CPRM (2014) considerou três classes de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa: alta (46,13% da área do município), média (17,64% da área do município) e baixa (36,24% da área do município). Uma característica predominante do zoneamento realizado para áreas classificadas como suscetibilidade alta é a declividade maior que 25%, que se localiza nas proximidades das serras do quadrilátero ferrífero (Serras de Ouro Preto).

Tabela 6 - Resumo quantitativo do zoneamento de suscetibilidade a deslizamentos em Ouro Preto

Graus de Suscetibilidade	Pesquisa (2024)		IBGE (2019)		SGB-CPRM (2014)	
	Área		Área		Área	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
Muito Baixo	20,02	1,61%	1,10	0,09%	-	-
Baixo	187,77	15,09%	0,00	0,00%	219,72	17,64%
Médio	568,12	45,64%	5,12	0,41%	451,47	36,24%
Alto	402,05	32,30%	402,76	32,33%	574,68	46,13%
Muito Alto	66,74	5,36%	836,89	67,17%	-	-

Fonte: Os autores, 2024.

O mapeamento do SGB-CPRM (2014) é compatível com a escala 1:25.000. Os atributos utilizados pelo SGB-CPRM para criação do mapa de suscetibilidade foram as precipitações médias anuais, hipsometria, relevo, declividade e geologia, totalizando-se cinco fatores condicionantes. A nota técnica explicativa do documento cartográfico do SGB-CPRM (2014) afirma que o zoneamento não pode ser utilizado para avaliar a estabilidade dos terrenos, sendo um documento de caráter informativo qualitativo com foco na gestão e planejamento territorial.

Já o mapeamento do IBGE (2019) considerou cinco classes de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa: muito alto (67,17% da área do município), alto (32,33% da área do município), médio (0,41% da área do município), baixo (0,00% da área do município) e muito baixo (0,09% da área do município). Embora a metodologia adotada no trabalho do IBGE (2019) seja consistente, a escala do mapeamento, compatível com 1:1.000.000 comprometeu a aplicabilidade do zoneamento no âmbito local. Os atributos utilizados pelo IBGE foram: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Uso/cobertura da terra e Precipitação, totalizando seis fatores condicionantes. As informações espaciais estão representadas em imagens com pixels de 1.000 m x 1.000 m, ao passo que a presente pesquisa trabalhou com uma resolução de 12,5 m x 12,5 m.

Para possibilitar uma análise comparativa adequada dos três trabalhos apresentados na Tabela 7, optou-se por combinar as classes “alta” com “muito alta” e “baixa” com “muito baixa” do zoneamento da presente pesquisa e do IBGE (2019). Na Tabela 7, apresenta-se a distribuição percentual de deslizamentos do município de Ouro Preto para esta pesquisa, IBGE (2019) e SGB-CPRM (2014). Mesmo juntando-se os graus de suscetibilidade para auxiliar na análise comparativa percebe-se que os resultados encontrados possuem diferença relativa significativa. Chamou-se de erro do modelo cujo resultado é expresso em porcentagem (com os valores absolutos, falar-se-ia apenas de uma diferença) e designado por taxa de variação ou, ainda, variação em porcentagem. Trata-se do resultado do IBGE (2019) ou SGB-CPRM (2014) dividido pelo resultado da presente pesquisa (referência) subtraído da unidade e multiplicado por 100 (cem).

Tabela 7 - Análise comparativa entre os mapeamentos realizados em Ouro Preto

Graus de Suscetibilidade	Pesquisa (2024)		IBGE (2019)		SGB-CPRM (2014)		Erro Pesquisa /IBGE (2019)	Erro Pesquisa /SGB-CPRM (2014)
	Área		Área		Área			
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)		
Muito Baixo	-	-	-	-	-	-	-	-
Baixo	207,79	16,69	1,10	0,09	219,72	17,64	-99,47	5,74
Médio	568,12	45,64	5,12	0,41	451,47	36,24	-99,10	-20,53
Alto	468,79	37,66	1239,65	99,50	574,68	46,13	164,43	22,59
Muito Alto	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Os autores, 2024.

Em função da escala do mapeamento do IBGE (2019) não é possível realizar uma análise comparativa satisfatória com esta pesquisa (2024). Analisando-se a Tabela 7, percebe-se que o mapeamento desta pesquisa (2024) foi coerente com o do SGB-CPRM (2014) quanto a classe de suscetibilidade “baixa” com erro relativo na ordem de 5%. Já o mapeamento das classes de suscetibilidade “média” e “alta” apresentaram erro relativo na ordem de $\pm 20\%$. Esse fato pode ser explicado pelo lapso temporal entre os dois mapeamentos que está na ordem de 10 anos, além de outros motivos, como por exemplo, o uso de atributos diferentes. No período de 10 anos (2014 a 2024) uma significativa mudança do espaço urbano local ocorreu, bem como mudança relativa nas condições climáticas. Portanto, a evolução da paisagem de Ouro Preto pode ser uma justificativa plausível para a mudança de cerca de 100km² entre as classes de suscetibilidade do espaço geográfico em uma década. Importante mencionar também que a ruptura da barragem de Mariana, em 2015, da mineradora Samarco, também influenciou indiretamente parte do território de Ouro Preto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa apresentou como objetivo principal a elaboração de um mapa de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa utilizando-se o método multicritério AHP para o município de Ouro Preto – Minas Gerais - Brasil, a fim de apoiar o planejamento urbano naquela região em consonância com o PMRR da cidade. Uma outra importante contribuição desta pesquisa foi o desenvolvimento de uma formulação matemática com atribuição de pesos para sete fatores condicionantes para geração de um mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, cujo resumo foi: geomorfologia (3,6%); pedologia (3%); geologia (5,7%); uso e ocupação do solo (9%); direção das vertentes (7,7%); pluviosidade (33,2%); declividade (37,8%).

Fazendo-se uma análise dos atributos escolhidos para realização da modelagem SIG, há uma indicação, a partir dos resultados da aplicação do método AHP, que alguns fatores condicionantes poderiam ser retirados da análise e, conseqüentemente, outros serem inseridos em futuras pesquisas. Cita-se, por exemplo, a pedologia com peso de 3% na modelagem SIG. A avaliação e a construção do mapa de suscetibilidade a deslizamentos devem ser dinâmicas, já que, com o avanço da ocupação urbana e das encostas, com os ciclos de secagem e umedecimento, a área zoneada com risco geológico-geotécnico pode ser alterada com o tempo. Portanto, a aplicabilidade do zoneamento realizado nesta pesquisa está condicionada à manutenção das condições (parâmetros) de cada mapa temático de referência.

O mapa desenvolvido pode ser utilizado também como uma ferramenta complementar de apoio ao sistema de alerta a deslizamentos por parte da Defesa Civil de Ouro Preto. Considerando que os recursos públicos são limitados e precisam ser racionalmente utilizados, a Prefeitura de Ouro Preto pode instalar sirenes nas regiões classificadas com graus de suscetibilidade alto a muito alto. O município é considerado prioritário para a gestão de riscos pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Além disso, o estudo realizado possui grande relevância para auxiliar o poder público nas áreas que terão priorização de medidas estruturais e não estruturais para mitigar o risco geológico. Para tanto, é importante a inclusão da comunidade nas ações propostas. Historicamente, as regiões classificadas como áreas de alto risco geológico-geotécnico compreendem vilas e favelas, locais estes onde, usualmente, não dispõem de infraestrutura adequada para a urbanização. Assim, o mapeamento do potencial de instabilização de taludes urbanos usando SIG e visitas de campo constitui elementos técnicos suficientes para o poder público propor ações de melhoria à comunidade, como obras de estabilização, drenagem e urbanização.

Muitos municípios brasileiros avaliam o risco a movimentos gravitacionais de massa de encostas de maneira empírica-qualitativa. Para esta pesquisa, o método multicritério AHP foi adotado devido a: possibilidade de manuseio de dados quantitativos e qualitativos e de julgamentos que abordem muitos critérios e alternativas; transparência no desenvolvimento das análises e dos resultados; grande aplicabilidade; possibilidade de análise da consistência dos julgamentos; simples estruturação do problema; sistematização matemática, por meio de uma matriz de comparação pareada, dos aspectos subjetivos acerca do estudo do risco aos deslizamentos, reduzindo imprecisões e incertezas; funciona muito bem em ambiente SIG.

As perdas humanas e econômicas causadas por movimentos gravitacionais de massa têm despertado o interesse da comunidade científica para a identificação das áreas ameaçadas e prevenção de suas conseqüências. O objetivo do mapeamento realizado é a identificação de zonas propensas à verificação

de falhas de taludes (ou encostas), seu tamanho e alcance, que é o primeiro passo do gerenciamento de risco de movimentos gravitacionais de massa. Durante os últimos anos, novos métodos foram desenvolvidos nessa temática. Este artigo pretendeu mostrar os conhecimentos clássicos e consolidados acerca do tema suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e aplicá-los em um importante símbolo do Estado de Minas Gerais, que é Ouro Preto.

Por fim, a cartografia geotécnica automatizada aplicada ao estudo de áreas suscetíveis a escorregamentos de solos e rochas na região de Ouro Preto mostrou-se como uma importante ferramenta preliminar de auxílio no planejamento urbano. As cartas geotécnicas expõem as capacidades, restrições e orientações para o uso e ocupação do terreno, com o objetivo de guiar o desenvolvimento urbano e reduzir eventuais impactos adversos que possam ser causados ao meio ambiente.

O mapeamento realizado permitiu demonstrar a dinâmica espacial das áreas de risco geológico-geotécnico ao longo do tempo de 10 anos (2014 a 2024). Quando comparados aos resultados dos produtos cartográficos mais antigos de maneira relativamente simples e com baixo custo, foi possível estabelecer tendências, indicando novos aspectos de atenção para a defesa civil.

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

- AKGUN, A. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: A case study at Izmir, Turkey. **Landslides**, v.9, n.1, p. 93-106, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10346-011-0283-7>
- ASF - Alaska Satellite Facility. **Alos palsar dem**. 2023. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 11.682: Estabilidade de Encostas**. Rio de Janeiro, 2009.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS-COBRAE. [Anais...]. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. p.721-733. 1992.
- BARELLA, C. F. **Abordagens estatísticas aplicadas ao mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa**: análise de diferentes técnicas no contexto do Quadrilátero Ferrífero. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2016. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6519>. Acesso em: 2 mar. 2024.
- BASTOS, F. H. **Movimentos de massa no maciço de Baturité (CE) e contribuições para estratégias de planejamento ambiental**. Fortaleza: UFC, 2012. 257 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/7850>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- BONUCCELLI, T. J. **Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos com aplicação na área urbana de Ouro Preto (MG)**: escala 1:10.000. Tese (Doutorado) – São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1999. <https://doi.org/10.11606/T.18.2018.tde-19072018-145252>
- BONUCCELLI, T.; ZUQUETTE, L. Movimentos gravitacionais de massa e erosões na cidade histórica de Ouro Preto, Brasil. **Geotecnia**, n. 85, p. 59-80, 1999. https://doi.org/10.14195/2184-8394_85_3
- BRASIL. **Lei nº 12.593, de 18 de janeiro de 2012**. 2012a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-

2014/2012/lei/112593.htm#:~:text=Institui%20o%20Plano%20Plurianual%20da,per%C3%ADodo%20de%202012%20a%202015.&text=Art.,165%20da%20Constitui%C3%A7%C3%A3o%20Federal.

Acesso em: 12 abr. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.593, de 18 de janeiro de 2012.** Institui o Plano Plurianual da União para o período de 2012 a 2015. Anexo 1 - Programas Temáticos. Programa: 2040 - Gestão de riscos e resposta a desastres. p. 171. Brasília, 2012b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/Lei/Anexos/anl12593.pdf. Acesso em: 3 abr. 2024.

BRASIL. **Lei Nº 12.608, de 10 de abril de 2012.** 2012c. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em: 2 abr. 2024.

BRASIL. **Resposta: Gestão de Desastres, Decretação e Reconhecimento Federal e Gestão de Recursos Federais em Proteção em Defesa.** Livro Base. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília. 2017. Disponível em: https://defesacivil.es.gov.br/Media/DefesaCivil/Material%20Did%C3%A1tico/M%C3%B3dulos%20SEDEC/M%C3%B3dulo%20III%20-%20RESPOSTA%20-%20Livro_Base.pdf. Acesso em: 15 mar. 2024.

BRASIL. **Projeto GIDES. Fortalecimento da estratégia nacional de gestão integrada de riscos de desastres.** Volume 1. Manual de Planos de Contingência para Desastres de Movimento de Massa. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília. 2018a. Disponível em: https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/Volume1-ManualTecnicoParaMapeamentodePerigoeRiscoaMovimentos_CPRM.pdf. Acesso em: 15 mar. 2024.

BRASIL. **Projeto GIDES. Fortalecimento da estratégia nacional de gestão integrada de riscos de desastres.** Volume 3. Manual de Planos de Contingência para Desastres de Movimento de Massa. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Brasília. 2018b. Disponível em: <https://www.jica.go.jp/Resource/brazil/portuguese/office/publications/c8h0vm000001w9k8-att/volume3.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2024.

BRASIL. **Decreto Nº 11.219, de 5 de outubro de 2022.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D11219.htm#art41. Acesso em: 12 abr. 2024.

BRASIL. **Lei Nº 14.750, de 12 de dezembro de 2023.** Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/114750.htm. Acesso em: 12 abr. 2024.

CASTRO, J. M. G. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2006. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2737>. Acesso em: 2 mar. 2024.

CEPED - Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Capacitação em gestão de riscos [recurso eletrônico].** 2. ed. – Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016. 270 p. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luiz-Carlos-Silva-Filho/publication/322801189_Capacitacao_em_gestao_de_riscos/links/5a70a5a8458515015e63f115/Capacitacao-em-gestao-de-riscos.pdf. Acesso em: 10 mar. 2024.

CHADES, S. B. **Desenvolvimento e aplicação de planilha de campo e identificação de áreas de risco geológico e geotécnico para a Defesa Civil da cidade de Ouro Preto - MG.** Monografia (Graduação) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2018. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1731>. Acesso em: 5 mar. 2024.

CORTELETTI, R. C. **Proposta de metodologia para análise de riscos geológico-geotécnicos em ferrovias - estudo de caso: Estrada de Ferro Carajás (EFC).** Tese (Doutorado em Geotecnia) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2014. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/5060>. Acesso em: 2 mar. 2024.

COSTA, E. M. F. N. **35 anos da primeira carta geotécnica de Ouro Preto – uma análise do seu legado.** Monografia (Graduação) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2018. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1682>. Acesso em: 4 mar. 2024.

- COUTINHO, E. R.; SILVA, R. M.; DELGADO, A. R. S. Utilização de Técnicas de Inteligência Computacional na Predição de Dados Meteorológicos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 24-36, 2016. <https://doi.org/10.1590/0102-778620140115>
- CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. **Landslide Types and Processes**. In: Turner, A. K.; Schuster, R. L. (eds) Landslides investigation and mitigation. Transportation research board, US National Research Council. Special Report 247, Washington, DC, cap. 3, p. 36–75. 1996.
- DANESHVAR, M. R. Landslide susceptibility zonation using analytical hierarchy process and GIS for the Bojnurd region, northeast of Iran. **Landslides**, v.11, n.6, p. 1079-1091, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0458-5>
- DESLIZAMENTO de terra destrói casarão do século XIX em Ouro Preto (MG). **Portal G1**, São Paulo, 13 jan. 2022. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2022/01/13/deslizamento-de-terra-destrui-casarao-do-seculo-xix-em-ouro-preto-mg.ghtml>. Acesso em: 8 abr. 2024.
- DIAS, E. C. **Previsão de movimentos gravitacionais de massa na Serra de Ouro Preto com base em árvore de eventos**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2003. <https://doi.org/10.11606/D.18.2016.tde-26082016-135900>
- DINIZ, N. C. Cartografia geotécnica por classificação de unidades de terreno e avaliação de suscetibilidade e aptidão. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**, v. 2, n.1, p. 29-77, 2012. Disponível em: <https://www.abge.org.br/downloads/revistas/cartografia.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- EIRAS, C. G. S.; SOUZA, J. R. G.; FREITAS, R. D. A.; BARELLA, C. F.; PEREIRA, T. M. Discriminant analysis as an efficient method for landslide susceptibility assessment in cities with the scarcity of predisposition data. **Nat Hazards**, v.107, p. 1427-1442, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04638-4>
- ERENER, A.; MUTLU, A.; DÜZGÜN, H. S. A comparative study for landslide susceptibility mapping using GIS-based multi-criteria decision analysis (MCDA), logistic regression (LR) and association rule mining (ARM). **Engineering Geology**, v. 203, p. 45-55, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.09.007>
- FARIA, D. G. M. **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)**. Tese (Doutorado) – São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2011. <https://doi.org/10.11606/T.18.2011.tde-08122011-110908>
- FEIZIZADEH, B.; BLASCHKE, T. An uncertainty and sensitivity analysis approach for GIS-based multicriteria landslide susceptibility mapping. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 28, n.3, p. 610-638, 2014. <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.869821>
- FERREIRA, S. P. **Proposta metodológica de avaliação do índice de vulnerabilidade física de moradias em áreas de escorregamentos e o valor monetário de perda associado** - estudo de caso: distrito sede de Ouro Preto-MG. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Geotécnica) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/10305>. Acesso em: 6 mar. 2024.
- FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
- FONTES, M. M. M. **Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2011. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2892>. Acesso em: 2 mar. 2024.
- FRANCO, G. B.; MARQUES, E. A. G.; CALIJURI, M. L.; GOMES, R. L. Cartografia geotécnica: estágio atual do conhecimento. **Caminhos de Geografia**, v. 11, n. 35, p. 158-172, 2010. <https://doi.org/10.14393/RCG113516134>
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação**. Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil. Coordenação de

- Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101684.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2024.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geociências: download**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>. Acesso em: 20 set. 2023.
- IDE-SISEMA - Infraestrutura de Dados Espaciais. Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Metadados**. Disponível em: <https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/home>. Acesso em: 20 maio 2024.
- INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2022. Satélite/Sensor CBERS-4A/WPM. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 28 mar. 2023.
- KUMAR, R.; ANBALAGAN, R. Landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) in Tehri reservoir rim region, Uttarakhand. **Journal of the Geological Society of India**, v. 87, n. 3, p. 271-286, 2016. <https://doi.org/10.1007/s12594-016-0395-8>
- LANA, J. C.; JESUS, D.; ANTONELLI, T. **Guia de Procedimentos Técnicos do Departamento de Gestão Territorial - Setorização de Áreas de Risco Geológico**. 1. ed. Brasília: CPRM, 2021. v. 1, 2 e 3. 44p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22262>. Acesso em: 15 mar. 2024.
- LEÃO, R. P. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa de Nova Lima-MG**. Dissertação (Mestrado) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/6534>. Acesso em: 4 mar. 2024.
- LEE, J. H.; KIM, H.; PARK, H. J.; HEO, J. H. Temporal prediction modeling for rainfall-induced shallow landslide hazards using extreme value distribution. **Landslides**, v. 18, p. 321-338, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01502-7>
- LOPES, A. P. R. **Mapeamento do potencial de instabilização de taludes rodoviários usando SIG e seções geológico-geotécnicas de campo com aplicação na rodovia SP-310**. Dissertação (Mestrado) – São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos. 2007. <https://doi.org/10.11606/D.18.2007.tde-04032008-213923>
- MACHADO, J. P. **Avaliação de métodos qualitativos e quantitativos de mapeamento de susceptibilidade: uma análise comparativa frente aos eventos ocorridos em 2022 na área urbana de Ouro Preto (MG)**. Monografia (Bacharelado) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2023. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/6110>. Acesso em: 12 mar. 2024.
- MARCELINO, E. V. **Mapeamento de áreas suscetíveis a escorregamentos no município de Caraguatuba (SP) usando técnicas de sensoriamento remoto**. Dissertação (Mestrado) – São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 2003. Disponível em: http://wiki.dpi.inpe.br/lib/exe/fetch.php?media=naturaldisasters:pdfs:dissertacao_marcelino.pdf. Acesso em: 10 mar. 2024.
- MARCELINO, E. V. (Ed.). **Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos - Caderno Didático nº 1**. Santa Maria, RS: [s.n.] 2008. v. 1, 40 p. (INPE-15208-PUD/193). Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.02.16.22/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 5 mar. 2024.
- MENEZES, L. O. **Metodologia para gestão de riscos geológico-geotécnicos em áreas urbanas: os casos do Concelho do Porto e Contagem, MG**. Tese (Doutorado) – Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais. 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/1843/40978>. Acesso em: 4 mar. 2024.
- MERSHA, T.; METEN, M. GIS-based landslide susceptibility mapping and assessment using bivariate statistical methods in Simada area, northwestern Ethiopia. **Geoenvironmental Disasters**, v. 7, n. 20, 2020. <https://doi.org/10.1186/s40677-020-00155-x>
- MOHARRAMI, M.; JELOKHANI-NIARAKI, M. Landslide susceptibility mapping using statistical and machine learning models (case study: Austria). **Journal of Geomatics Science and Technology**, v.13, n. 2, p. 79-94, 2023. <https://doi.org/10.61186/jgst.13.2.79>

MONGUILHOTT, M.; SALDANHA, D. L.; SEBEM, E.; SOUZA, S. F. Estudo de áreas suscetíveis a movimentos de massa na Rodovia RS-486 - Rota do Sol. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 30, n. 61, p. 61-69, 2010. <https://doi.org/10.4336/2010.pfb.30.61.61>

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2014.

MOURA, A. C. M. **Tecnologias de Geoinformação Para Representar e Planejar o Território Urbano**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2016.

NextGIS. QuickMapServices (QMS). **Plugin QGIS para obtenção de basemaps do Google Satelites**. 2023. Disponível em: <https://qms.nextgis.com/>. Acesso em: 20 mar. 2023.

OLIVEIRA, A. M. S.; MONTICELI, J. J. (Eds.). **Geologia de Engenharia e Ambiental**. Volume 2 – Métodos e Técnicas. São Paulo: ABGE, 2018.

OLIVEIRA, M. A. T. **Movimentos gravitacionais de massa: avaliação do risco geotécnico para edificações próximas ao Morro da Forca, no distrito sede do município de Ouro Preto, por meio do método do Índice de Risco (IR)**. Monografia (Bacharelado) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2022. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/4173>. Acesso em: 5 mar. 2024.

OLIVEIRA, M. T. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG**. Tese (Doutorado) – Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2009. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/815>. Acesso em: 7 mar. 2024.

PINHEIRO, A. L.; SOBREIRA, F. G.; LANA, M. S. Influência da expansão urbana nos movimentos em encostas na cidade de Ouro Preto, MG. **REM: R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 56, n. 3, p. 169-174, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0370-44672003000300004>

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. **Geoingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, v. 5, n. 1, p. 102-124, 2013. <https://doi.org/10.4025/geoingá.v5i1.49211>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/Geoingá/article/view/49211>. Acesso em: 4 mar. 2024.

POURGHASEMI, H. R.; TEIMOORI YANSARI, Z.; PANAGOS, P.; PRADHAN, B. Analysis and evaluation of landslide susceptibility: a review on articles published during 2005–2016 (periods of 2005–2012 and 2013–2016). **Arabian Journal of Geosciences**, v. 11, n. 193, 2018. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3531-5>

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2024. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 9 fev. 2024.

REIS, P. C. L. **Identificação dos movimentos gravitacionais de massa (MGM) dos taludes da BR-356 entre o km 100+000 a km 101+000, e análise das condições geológicas geotécnicas da área destinada à estação de tratamento de esgoto - ETE do distrito sede de Ouro Preto, Minas Gerais**. Monografia (Bacharelado) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2020. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/2830>. Acesso em: 4 mar. 2024.

SAATY, T. L. The Analytic Hierarchy Process: Decision Making in Complex Environments. In: Avenhaus R.; Huber R. K. (eds). **Quantitative Assessment in Arms Control**. Springer, Boston, MA. 1984. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-2805-6_12

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, p.9-26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-1](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-1)

SANTANA, J. K. R. **Aplicação do Modelo Hierárquico Analítico (AHP) na previsão das áreas de perigo a escorregamentos em Recife (PE)**. Mestrado em Geografia – Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/38842>. Acesso em: 7 mar. 2024.

SGB-CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Carta de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação: município de Ouro Preto - MG**. 2014. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/14972>. Acesso em: 5 abr. 2024.

SGB-CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Diagnóstico da população em áreas de risco geológico**: Ouro Preto, MG. 2021. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/22239.2>. Acesso em: 5 abr. 2024.

SILVA, T. Q. **Análise de risco geológico-geotécnico em áreas sujeitas à movimentos de massa**. Dissertação (Mestrado) – Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2016. Disponível em: <https://locus.ufv.br/handle/123456789/7827>. Acesso em: 7 abr. 2024.

SOUZA, L. A. **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 (Doutorado em Geotecnia) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/6495>. Acesso em: 2 mar. 2024.

TAVARES, V. L. S. **Proposta de metodologia para índice de risco (ir) no distrito sede do município de Ouro Preto/MG**: uma contribuição para a hierarquização das áreas de risco e as tomadas de decisões. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/10513>. Acesso em: 6 mar. 2024.

TITTI, G.; SARRETTA, A.; LOMBARDO, L.; CREMA, S.; PASUTO, A.; BORGATTI, L. Mapping susceptibility with open-source tools: a new plugin for QGIS. **Front. Earth Sci**, v. 10, 2022. <https://doi.org/10.3389/feart.2022.842425>

TORRES, F. S. M. **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do Município de Ipojuca - PE**. Mestrado em Engenharia Civil – Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2014. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/46379>. Acesso em: 17 mar. 2024.

USGS - United States Geological Survey. **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., 2008. Disponível em: https://www.gfdrr.org/sites/default/files/apublication/Deslizamentos_M5DS.pdf. Acesso em: 7 abr. 2024.

VERBA Federal para combate de desastres caiu nos últimos 10 anos apesar do aumento de eventos. **Exame**, 2024. Disponível em: <https://exame.com/brasil/verba-federal-para-combate-de-desastres-caiu-nos-ultimos-10-anos-apesar-do-aumento-de-eventos/>. Acesso em: 25 maio 2024.

XAVIER, M. O. **Mapeamento da suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa utilizando a análise estatística do valor informativo aplicada ao distrito sede da cidade histórica de Ouro Preto-MG**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto. 2018. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/10102>. Acesso em: 2 mar. 2024.

ZUQUETTE, L. V.; GANDOLFI, N. **Cartografia geotécnica**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2004. 192 p. ISBN: 978-85-8623-838-3.

Recebido em: 20/06/2024
Aceito para publicação em: 13/09/2024