

# GEOVISUALIZAÇÃO APLICADA À TOMADA DE DECISÃO NO TRATAMENTO POTENCIAL DE RISCOS GEOLÓGICOS EM BELO HORIZONTE, MG

*Geovisualization applied to decision-making in the potential treatment of Geological Hazards in Belo Horizonte, MG*

## **Adoniran Coelho**

Doutorando PPG – Tratamento da Informação Espacial PUC Minas, Mestre Geotecnia UFOP - Brasil  
[adoniran.coelho@gmail.com](mailto:adoniran.coelho@gmail.com)

## **Sandro Laudares**

Professor PPG – Tratamento da Informação Espacial, PUC Minas – Brasil  
[sandrolaudares@gmail.com](mailto:sandrolaudares@gmail.com)

## **Carlos Augusto Paiva da Martins**

Programa de Pós-Graduação em Informática, PUC Minas – Brasil  
[capsm@pucminas.br](mailto:capsm@pucminas.br)

## **Matheus Pereira Libório**

Programa de Pós-Graduação em Informática – PUC Minas - Brasil  
[m4th32s@gmail.com](mailto:m4th32s@gmail.com)

Recebido: 05.04.2023

Aceito: 06.06.2023

## **Resumo**

Embora os conceitos de riscos geológicos estejam intrínsecos em nosso cotidiano pouco se sabe sobre os mecanismos de ruptura e seus efeitos gerados por agentes internos dos maciços e/ou taludes. Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um WebGIS de monitoramento de riscos geológicos. A partir do desenvolvimento do WebGIS, esta pesquisa oferece contribuições de natureza teórica, tecnológica e aplicada. Primeira, expande a literatura nacional sobre WebGIS, em especial, no monitoramento de riscos. Segunda, disponibiliza uma infraestrutura de dados espaciais e um geovisualizador das áreas de riscos geológicos. Terceira, oferece análises para o monitoramento e tratamento dos riscos geológicos, possibilitando a antecipação de ações de mitigação e a hierarquização dos riscos de maior impacto sobre as comunidades e ativos públicos. Essas contribuições são especialmente relevantes para pequenos municípios e pequenos empreendimentos de construção. Em geral, essas organizações não possuem a total visibilidade dos cenários de riscos geológicos uma vez que possuem limitações técnicas, financeiras e de conhecimentos em geoprocessamento para realizar análises de riscos geológicos. Os resultados da pesquisa têm alto poder de apropriação por gestores públicos interessados no planejamento e priorização de obras de drenagens, contenção e estabilização de taludes, especialmente antes de períodos chuvosos, em razão de seu baixo custo e facilidade de uso.

**Palavras-chave:** Taludes; Riscos Geológicos; WebGIS; Geovisualização.

## Abstract

Although the concepts of geological risks are intrinsic in our daily lives, little is known about the rupture mechanisms and their effects generated by internal agents of the massifs and slopes. This research aims to develop a WebGIS for monitoring geological hazards. Based on the development of WebGIS, this research offers theoretical, technological, and applied contributions. First, it expands the national literature on WebGIS, especially on risk monitoring. Second, it provides a spatial data infrastructure and a geovisualizer of geological risk areas. Third, it offers analyses for monitoring and treating geological risks, enabling the anticipation of mitigation actions and the hierarchy of risks with the most significant impact on communities and public assets. These contributions are especially relevant for small municipalities and small construction enterprises. These organizations generally do not have complete visibility of geological risk scenarios since they have technical, financial, and knowledge limitations in geoprocessing to conduct a geological risk analysis. The research results have a high power of appropriation by public managers interested in the planning and prioritizing of drainage works, containment, and slope stabilization, especially before rainy periods, due to its low cost and ease of use.

**Keywords:** Slopes; Geological Hazards; WebGIS; Geovisualization.

---

## 1. INTRODUÇÃO

Riscos geológicos são eventos ambientais extremos desencadeados por dinâmicas internas, p.ex., terremotos, vulcanismo e tsunamis, e externas, p.ex., escorregamentos, enchentes, erosão, subsidência e solos expansivos (RECKZIEGEL; SOUZA ROBAINA, 2005). Em comum, esses diferentes riscos geológicos possuem alto potencial de destruição, gerando prejuízos materiais e humanos (GERSCOVICH, 2016; CLARET; PAGANIN; GOUVEIA, 2017).

Entre os riscos geológicos de dinâmica externa, os escorregamentos são especialmente relevantes no Brasil. Em particular, o adensamento populacional nas cidades obriga populações mais vulneráveis a ocupar áreas de alto risco geológico (SOUZA *et al.*, 2014).

Contudo, o monitoramento de riscos geológicos não é uma tarefa simples. Informações geográficas de risco geológicos nem sempre estão organizadas e estruturadas em uma base de dados confiável. Normalmente, essas informações não são acessíveis por meio de dispositivos móveis. Além disso, a análise das informações geográficas requer um conhecimento especializado, inexistentes em muitos municípios e empresas.

Esta pesquisa abrange esses problemas, ao explorar aplicações de WebGIS na gestão de riscos desastres, em particular, no monitoramento de riscos geológicos. Esse interesse de pesquisa é motivado por quatro razões. Primeiro, riscos geológicos apresentam potencial de prejuízos materiais e humanos (MARCELINO, 2008; SAUSEN;

LACRUZ, 2015). Segunda, o adensamento das cidades tem levado populações mais vulneráveis a ocuparem locais de maior risco geológico (PENNA; FERREIRA, 2014; SOUZA *et al.*, 2014). Terceira, os poucos WebGIS de monitoramento de riscos geológicos no Brasil apresentam alto potencial de aprimoramento. Quarta, a literatura internacional sobre o assunto é muito abrangente, e oferece diversas inovações que podem ser apropriadas (AYE *et al.*, 2016; CHEN *et al.*, 2016; NEMOTO *et al.*, 2020).

Considerando a abrangência e relevância dessas motivações, esta pesquisa tem como objetivo desenvolver um WebGIS de monitoramento de riscos geológicos. A partir do desenvolvimento do WebGIS, os resultados desta pesquisa têm potencial para oferecer três contribuições de natureza:

- Teórica: expansão da literatura nacional sobre WebGIS, em especial, no monitoramento de riscos;
- Tecnológica: infraestrutura de dados espaciais e geovisualização das áreas de riscos geológicos;
- Aplicada: mapeamento, monitoramento e redução de riscos geológicos.

Essas contribuições são especialmente relevantes para pequenos municípios e pequenos empreendimentos de construção. Em geral, essas organizações não possuem a total visibilidade dos cenários de riscos geológicos uma vez que possuem limitações técnicas, financeiras e de conhecimentos em geoprocessamento para realizar análises de riscos geológicos.

Este artigo está organizado em cinco seções. A seção 2 apresenta a revisão da literatura sobre WebGIS, com ênfase nas aplicações de gestão de riscos, em especial, o monitoramento de riscos geológicos. A seção 3 apresenta o WebGIS de monitoramento de riscos geológicos, incluindo os conceitos fundamentais sobre riscos geológicos, uma descrição da área de estudo e uma apresentação detalhada das etapas de desenvolvimento do WebGIS. Os resultados alcançados são apresentados na seção 4 em três subseções: 4.1. Mapeamento dos riscos geológicos, 4.2. WebGIS e 4.3. Contribuições teóricas e práticas da pesquisa. Por último, a seção 5 apresenta as conclusões, destacando-se as principais contribuições e sugestões de trabalhos futuros.

## **2. WEB GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM**

As bases para a formação do WebGIS foram lançadas a partir do surgimento da Internet no final dos anos 1950, *Geographic Information System* (GIS) na década de 60 (TOMLINSON; 2007) e da World Wide Web no início dos anos 1990. Combinando

elementos da Web e *Geographic Information System* (GIS), o WebGIS representa a superação da divisão existente entre esse conjunto de tecnologias, e, sem a restrição de distância no espaço virtual, oportunizou maiores velocidade no acesso a informações e interatividade com aplicativos GIS.

O primeiro WebGIS reportado na literatura foi desenvolvido em 1993 pelo *Palo Alto Research Center* da *Xerox Corporation*. Nos anos 2000, surge uma nova geração de WebGIS, que substituem os sistemas de computador único por sistemas de serviços da Web distribuídos e em nuvem (FU, 2018).

Desde então, aplicações em WebGIS têm evoluído em sofisticação e abrangência, impulsionadas por ferramentas que facilitam seu desenvolvimento, como, por exemplo, o ArcGIS Online da Esri (WALSHE, 2016).

A lista de aplicações de WebGIS reportada na literatura especializada nacional é muito extensa, oferecendo soluções para geomarketing (SALGADO *et al.*, 2019), monitoramento da COVID-19 (LAUDARES *et al.*, 2023), preservação ambiental (IMPROTA *et al.*, 2020), monitoramento de queimadas (SETZER; MORELLI; SOUZA, 2019) ensino da Matemática (LAUDARES; LAUDARES; LIBÓRIO, 2016), ensino da História (NASCIMENTO; LAUDARES; LIBÓRIO, 2021), planejamento educacional (ARAÚJO; LIBÓRIO; ABREU, 2018), planejamento de implantação de usinas hidrelétricas (BORGES *et al.*, 2019), gestão da arborização urbana (SILVA; LIBÓRIO; LAUDARES, 2016), eficiência na segurança pública (BORGES; LIBÓRIO; HADDAD, 2019), gestão do patrimônio público (SILVA; LIBÓRIO, 2018; CALAÇA *et al.*, 2022) e monitoramento de risco de desastres (LOURENÇO *et al.*, 2010; PARADELLA; MURA; GAMA, 2021; FONSECA; ACORDES, 2022).

Embora existam muitas aplicações WebGIS no Brasil, a quantidade e sofisticação dessas iniciativas é muito inferior a encontrada internacionalmente. WebGIS de monitoramento de risco de desastres é um bom exemplo desse hiato. No Brasil, foram identificadas três pesquisas que abordam o uso do WebGIS no monitoramento de riscos geológicos. As contribuições dessas pesquisas apresentam graus de inovação muito diferentes, partindo da simples geovisualização de roteiros geológicos (Lourenço *et al.*, 2010), passando pelo monitoramento de taludes, cavas e pilhas de estéril (PARADELLA; MURA; GAMA, 2021) e chegando ao monitoramento de detritos e de voçorocas, associado a sistemas de alerta (HUANG *et al.*, 2015).

Por sua vez, a literatura internacional sobre monitoramento de riscos geológicos é maior em volume e sofisticação. Em particular, esta pesquisa analisa quatro WebGIS de monitoramento de riscos geológicos. Entre os WebGIS mais simples estão soluções para

inventariar deslizamentos de terra de diferentes tipos (ALESSI *et al.*, 2014) e monitorar de desastres geológicos (TAO *et al.*, 2014). Por sua vez, diversos WebGIS apresentam alto grau de sofisticação, oferecendo ferramentas de avaliação multicritério para a gestão de inundações e deslizamentos de terra (AYE *et al.*, 2016), previsão e avaliação de risco de deslizamento de terra do ponto de vista espacial e temporal (KUNLONG; LIXIA; ZHANG, 2007), gerenciamento multinível de deslizamento de terra e resposta a emergências (CHEN *et al.*, 2016), modelagem e visualização riscos geológicas e superfícies de contorno (NEMOTO *et al.*, 2020).

Importante destacar que a literatura internacional é fortemente influenciada pelo desenvolvimento de WebGIS de monitoramento outros tipos de risco, como, por exemplo, riscos sísmicos (PESSINA; MERONI, 2009; TRAGNI *et al.*, 2021), de inundações (AYE *et al.*, 2016), vulcânicos (p.ex., fluxos de lava, queda de cinzas) e de tsunamis (LE COZANNET *et al.*, 2014).

Embora se encontrem em diferentes níveis de maturidade, a literatura nacional e internacional converge no que se refere às motivações e vantagens das aplicações WebGIS no monitoramento de riscos. Em suma, pesquisas realizadas no Brasil e no mundo concordam que a quantidade de dados espaciais é crescente, e que esse crescimento incentiva o desenvolvimento de tecnologias para explorá-los, visualizá-los e interpretá-los. Além disso, a literatura nacional e internacional entende que o WebGIS é uma solução que permite não apenas o acesso a bancos de dados geoespaciais complexos, mas também a possibilidade de atualização e correção desses dados a partir da geocolaboração. Por fim, há uma convergência entre as literaturas nacional e internacional de que a gestão de risco e desastres envolve grande quantidade de dados que precisam ser coletados, tratados e analisados, e o WebGIS é a tecnologia ideal para transformar dados em informações úteis e eficazes para a redução de riscos e prejuízos. Naturalmente, esse conjunto de razões oferecem os motivos para desenvolver o WebGIS de monitoramento de riscos geológicos como detalhado na seção 3.

### **3. WEBGIS DE MONITORAMENTO DE RISCOS GEOLÓGICOS: O CASO DE BELO HORIZONTE**

Este estudo de caso apresenta um WebGIS de monitoramento riscos geológicos associados aos escorregamentos de massa, escavações e erosões da regional Centro-sul

de Belo Horizonte, Minas Gerais. O WebGIS foi desenvolvido nos softwares QGIS e ArcGIS Online com base na metodologia de *Story Maps*<sup>1</sup> (WALSHE, 2016).

### 3.1. Riscos geológicos

Riscos geológicos são fenômenos naturais extremos sobre um sistema social, causadores de danos e prejuízos severos que se distinguem a partir do seu mecanismo desencadeador (MARCELINO, 2008; ANEXO). O escorregamento de massa é um tipo de mecanismo desencadeador, e pode ser causado por alterações internas, intermediárias ou externas (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

Alterações internas impactam a resistência do material e desencadeiam escorregamento de massa mesmo sem a ocorrência de variações geométricas do maciço. Alterações externas aumentam as tensões de cisalhamento, sem que haja mudança substancial na resistência do material. Por fim, alterações intermediárias são consequências de efeitos gerados por agentes internos do maciço como liquefação, rebaixamento rápido do nível de água e erosão subterrânea retrogressiva (SAUSEN; LACRUZ, 2015).

As chuvas intensas são um dos principais mecanismos desencadeadores dessas alterações, que podem provocar rupturas de taludes, bacias de drenagem e impactar grandes áreas, gerando danos patrimoniais como observado em Petrópolis em março de 2022 (PLATONOW, 2022) e mortes (MORAES, 2022) como observado em Jabotão dos Guararapes em maio de 2022.

Neste contexto, verifica-se a relação entre intensidade pluviométrica, ausência de drenagens e geometria dos maciços terrosos, abrangendo áreas com potenciais problemas geológicos. Essas condicionantes fazem de Belo Horizonte, Minas Gerais um caso extremamente apropriado para o desenvolvimento do WebGIS de monitoramento de riscos geológicos.

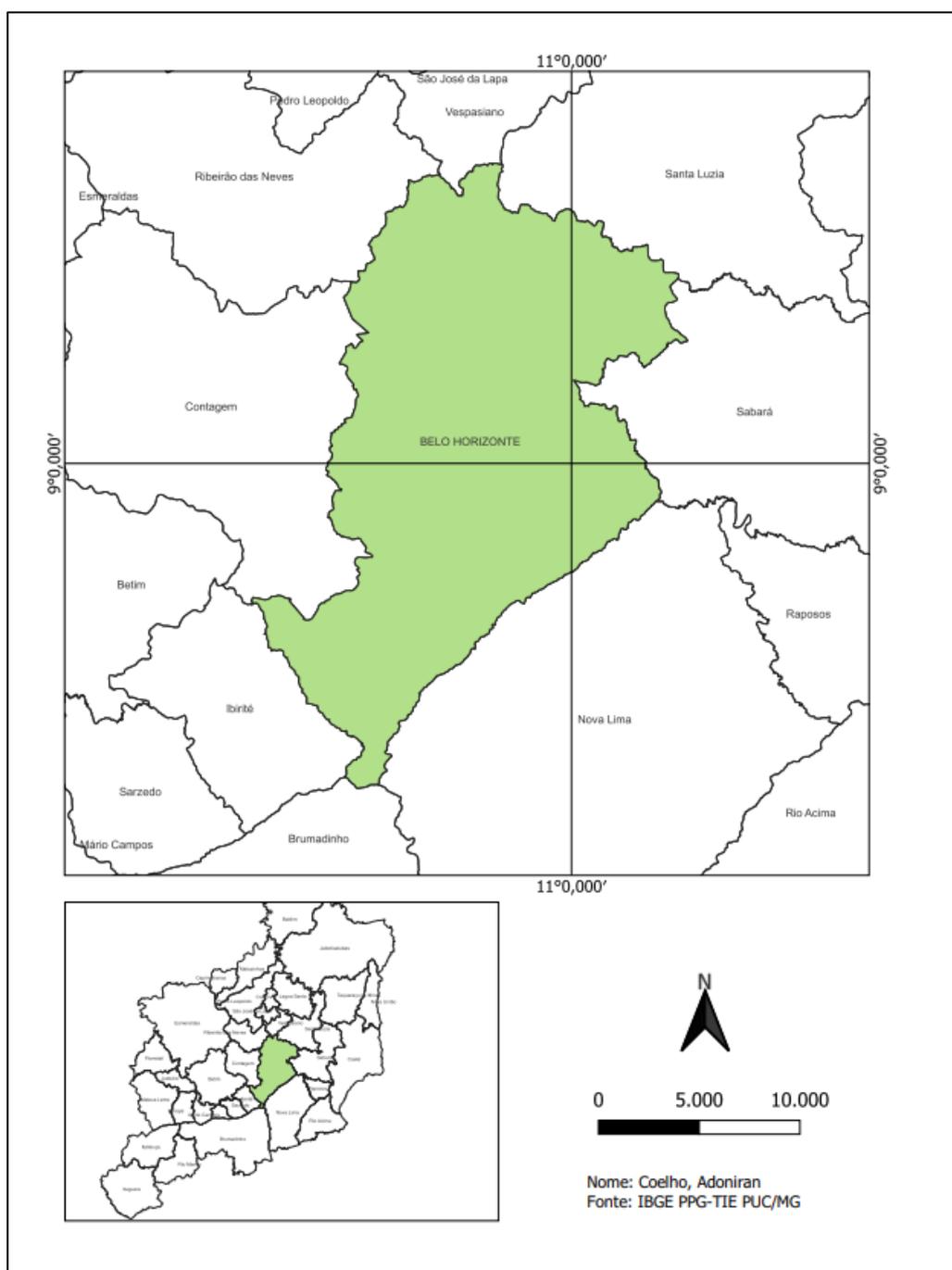
### 3.2. Área de estudo: Belo Horizonte, Minas Gerais

Em dezembro de 2021, Belo Horizonte registrou 15 ocorrências de desastres naturais, deslizamento de encostas, e erosões por causas naturais e humanas devido às chuvas entre o fim da tarde da terça-feira dia 28 e a manhã da quarta-feira dia 29. Balanço O volume

---

<sup>1</sup> A metodologia *Story Maps* parte do princípio de que “toda história” acontece em algum lugar. A adoção da metodologia *Story Maps* favorece o aprimoramento da narrativa estudada através da visualização intuitiva do componente espacial “onde” (WALSHE, 2016).

de precipitação chegou a 48,7 e 46,4 milímetros (mm) nas regiões Centro-Sul e Barreiro (ver mapa das regiões na Figura 1). Outras cinco regiões da cidade também apresentaram altos volumes de precipitação: Leste (24,6 mm), Nordeste (23 mm), Oeste (20,4 mm), Norte (17,2mm) e Noroeste (16 mm). As regiões de Venda Nova e Pampulha apresentar menor volumes de precipitação: 12,4 mm e 8,8 mm respectivamente. Ocorrências como essa indicam que o monitoramento de riscos geológicos é especialmente interessante para uma cidade como Belo Horizonte. A figura 1 mostra a localização das regiões de Belo Horizonte.



**Figura 1** – Mapa da área de estudo.  
**Fonte:** Elaborado pelos autores

### 3.3. Etapas de desenvolvimento do WebGIS

O desenvolvimento desta pesquisa está dividido em coleta de dados, mapeamento dos riscos geológicos e desenvolvimento do WebGIS, seguindo o detalhamento a seguir.

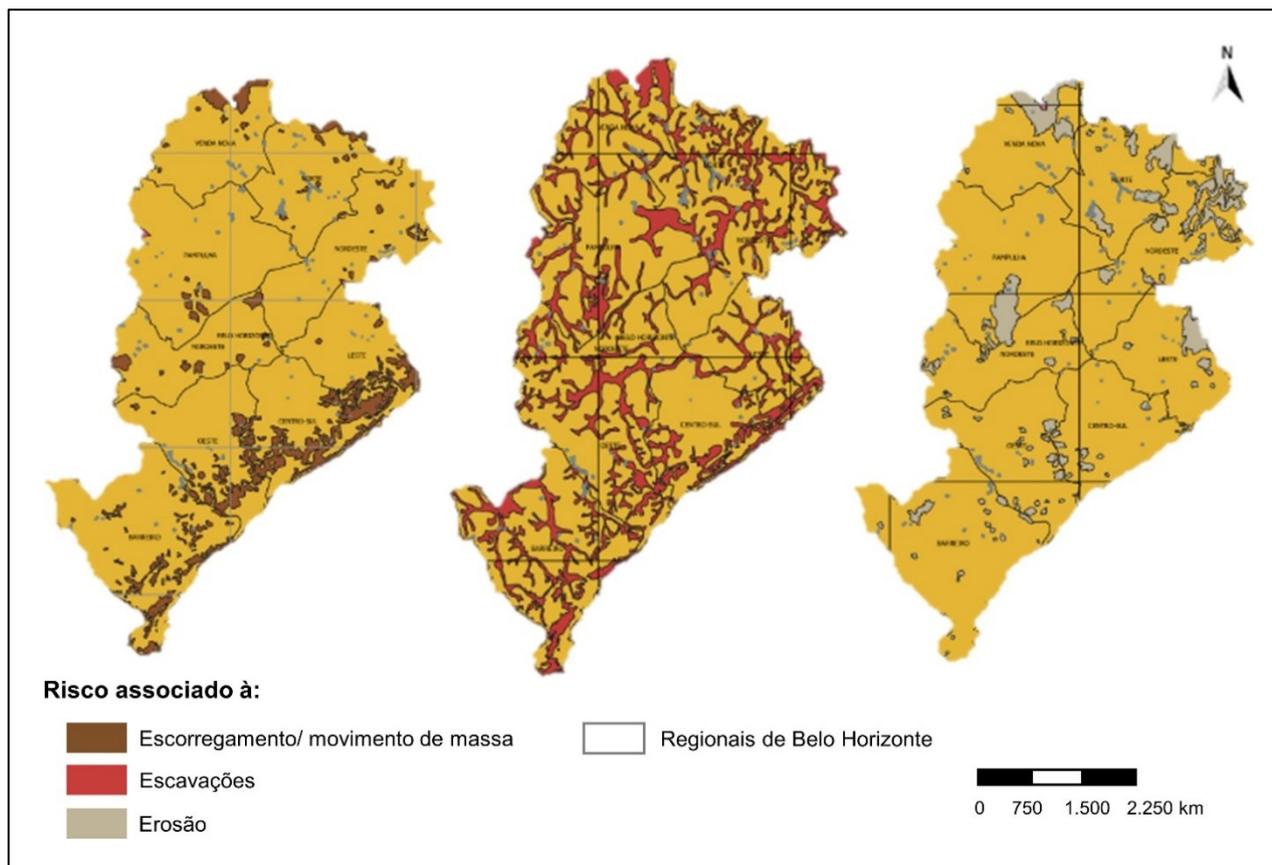
- *Coleta de dados*: verificação das informações geotécnicas encontradas, escolha do tipo de elementos (ponto, linha ou polígonos) do projeto, configuração das fontes dos dados exibidas no mapa e a definição dos dados externos (camadas ou serviços públicos).
- *Mapeamento dos riscos geológicos*: validação das anomalias geotécnicas e caracterização do mecanismo desencadeador da ruptura, elaboração dos mapas temáticos, incluindo as anomalias geotécnicas e suas respectivas investigações, definição das camadas e fontes de dados.
- *Desenvolvimento do WebGIS*: definição da estrutura e codificação do protótipo, avaliação de usabilidade, testes de uso, ajustes e melhorias das interfaces e interações do mapa e publicação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Mapeamento dos riscos geológicos

Os mapas de riscos geológicos gerados, referindo em cada um anomalias geotécnicas e os referidos logs de sondagens existentes, são apresentados na figura 2. Os mapas mostram as áreas com potenciais problemas geológicos, e sua correlação entre as regionais abrangidas e as precipitações observadas ao longo do ano de 2021. Observa-se que as áreas suscetíveis a escorregamentos e movimentos de massas estão localizadas em encostas, as áreas suscetíveis a erosões se formam em talvegues pré-existentes enquanto as áreas suscetíveis a escavações são oriundas de maciços com pouca competência, muitas vezes arenosos com sua localização em encostas de materiais lançados.

Esses resultados revelam que o tamanho da área sob risco geológico na área de estudo é significativo. Essa condição eleva a importância do desenvolvimento do WebGIS para a área de estudo, levando em consideração a demografia dessas áreas e o potencial destrutivo dos fenômenos geológicos (MARCELINO, 2008).



**Figura 2** – Mapeamento do risco geológico associado a escorregamento, escavações e erosão.

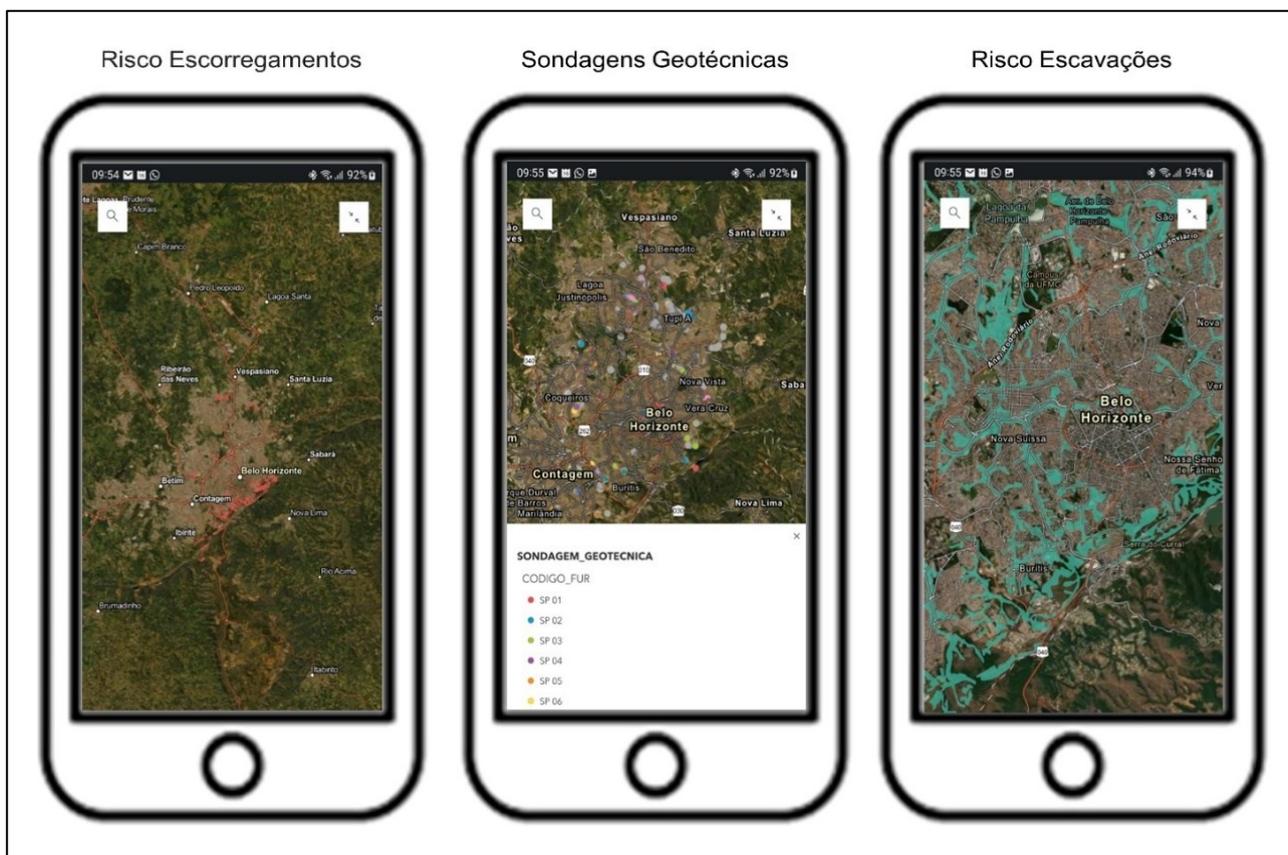
**Fonte:** Elaborado pelos autores

## 4.2. WebGIS

A figura 3 ilustra como as diferentes informações sobre riscos geológicos da área de estudo podem ser acessadas por meio de dispositivos móveis. A combinação da multiplicidade de informações, mobilidade de acesso e serviços de localização oferece vantagens que abrem oportunidades para uma série de aplicações. Em particular, o WebGIS permite visualizar as áreas de risco de escorregamento atreladas as informações de sondagem, possibilitando a hierarquizar o grau de risco dessas áreas, favorecendo o planejamento e priorização de ações de prevenção a desastres.

O WebGIS também permite o acesso a informações sobre as sondagens, favorecendo análises e o processo de tomada de decisão em relação a locais de escavação conforme seus respectivos riscos. Outra possibilidade de aplicação está associada ao uso das informações de sondagens para a escolha adequada de locais para implantação de empreendimentos imobiliários. Esta é uma aplicação relevante para o mercado imobiliário, pois oferece informações que impactam diretamente na avaliação do imóvel, bem como no custo das construções. Naturalmente, esta aplicação traz impactos secundários, como a resposta dos imóveis já construídos e a sua respectiva valorização de mercado. Contudo,

teríamos em cada início de novo empreendimento, um planejamento de riscos bem elaborado e dirigido a segurança geológica de estruturas.



**Figura 3** – *Story Maps* de riscos geológicos visualizados a partir de dispositivos móveis.  
**Fonte:** Elaborado pelos autores

As informações sobre os riscos geológicos, bem como os *Story Maps* podem ser acessados de dispositivos móveis a partir da leitura de *QR Code*. A figura 4 mostra que a leitura do *QR Code* permite a visualização dos mapas de risco geológicos associados a análises desses mapas, oferecendo informações importantes para a melhor compreensão do grau de risco geológico na área de estudo.



Figura 4 – Story Maps acessíveis pelo QR Code.  
Fonte: Elaborado pelos autores.

### 4.3. Contribuições de natureza aplicada, tecnológica e teórica

Os resultados desta pesquisa oferecem três tipos de contribuições. O primeiro tipo de contribuição é de natureza teórica, e está associada à expansão da literatura sobre aplicações WebGIS no monitoramento de riscos geológicos no Brasil. Essa é uma contribuição relevante na medida em que preenche uma lacuna por estudos que confrontam a literatura nacional e internacional, oferecendo uma melhor compreensão da maturidade desta especialidade de pesquisa no Brasil, e indicando carências e oportunidades de pesquisas.

O segundo tipo de contribuição é de natureza tecnológica, e está associada aos produtos desenvolvidos na pesquisa. O primeiro produto desenvolvido nesta pesquisa é a infraestrutura de dados espaciais de riscos geológicos da área de estudo. Essa infraestrutura de dados geoespaciais oferece informações confiáveis e atualizadas sobre as áreas de riscos geológicos de Belo Horizonte. Em particular, a infraestrutura de dados geoespaciais proporciona segurança e robustez na análise de dados de riscos geológicos, oferecendo maior eficiência, efetividade e eficácia da ação pública pela integração das

ações com foco territorial (BORGES *et al.*, 2019). O segundo produto é o próprio WebGIS, que permite a geovisualização das áreas de riscos geológicos por meio de computadores, smartphones e tablets. Essa é uma inovação importante levando em consideração as abordagens de monitoramento de riscos geológicos existentes no Brasil (p.ex., MARCELINO, 2008; SAUSEN; LACRUZ, 2015). O acesso ao WebGIS por meio de dispositivos amplia as possibilidades de análise e de identificação das áreas de riscos geológicos, oportunizando a atualização e correção das informações, bem como avaliações de locais ainda não mapeados. Por fim, o WebGIS combina facilidade e flexibilidade para explorar padrões de relacionamento entre dados, bem como possui ferramentas que permitem a interação com os dados e a inclusão de novos elementos espaciais nos mapas, como, por exemplo, rotas e áreas de influência (LAUDARES, 2014), que podem ser usados para criar rotas de fuga ou analisar a abrangência dos possíveis desastres.

O terceiro tipo de contribuição é de natureza aplicada, e está associada à aplicação do WebGIS no monitoramento de riscos geológicos. Neste âmbito, é possível apontar sete contribuições. Primeira, prever eventos de desastres desencadeados por movimentações de massa, oferecendo informações para o processo de tomada de decisão dos órgãos responsáveis. Segunda, hierarquizar os pontos críticos de risco, auxiliando ações de planejamento e mitigação de desastres em potencial. Terceira, gerar portfólio de ações em emergências, através do processamento rápido de grandes volumes de informações, evitando o início do mecanismo desencadeador de rupturas. Quarta, detectar e classificar escorregamentos através da geometria das cicatrizes observadas nas encostas, oferecendo maior compreensão do risco geológico. Quinta, reduzir riscos geológicos, priorizando obras de drenagens, adequações geométricas e reforços pontuais de maciços, especialmente antes de períodos chuvosos. Sexta, identificar encostas afetadas por movimentos de massa, possibilitando separar e classificar os mecanismos de ruptura visualizados, como, por exemplo, mecanismo de ruptura planar, circular ou em cunha. Sétima, segregar e verificar o risco geológico de imóveis construídos, analisando sua condição de fundação e estrutural para análises de aquisição de imóveis ou de terrenos para construção.

## 5. CONCLUSÃO

Na prática atual, os riscos de desastres geológicos, estão intrínsecos em nosso meio urbano, principalmente com a chegada do período chuvoso, onde, devido a condição de saturação excessiva dos maciços terrosos, eleva-se em muito está problemática. Nesse

contexto, esta pesquisa desenvolve um WebGIS que auxilia o tomador de decisão na previsão, tratamento e hierarquização de desastres e riscos geológicos.

A título de exemplo de aplicação, o WebGIS foi testado para monitorar as áreas de risco geológico do município de Belo Horizonte, Minas Gerais. O resultado desta aplicação revela que o WebGIS tem grande potencial de implementação na gestão do monitoramento de riscos geológicos em razão de sua usabilidade, versatilidade, mobilidade e custo.

Naturalmente, o WebGIS não oferece soluções para todos os problemas associados a riscos geológicos. Por exemplo, o WebGIS não oferece informações para a avaliação do fator de segurança nas estruturas. Por outro lado, o WebGIS oferece uma ideia sobre a probabilidade de falha e/ou probabilidade de ocorrência de uma eventual ruptura.

Para a sequência deste trabalho, sugere-se aprimorar o WebGIS em três frentes. Primeira, considerar análises da condição frontal da estrutura geotécnica, introduzindo a percepção tátil visual do maciço, por meio de imagens 3D. Segunda, introduzir análise da confiabilidade estrutural na pesquisa, proporcionando uma visão inicial do estudo de probabilidade de ruptura. Terceira, ampliar a revisão de literatura, visando metodologias recentes na aplicação da geovisualização na prevenção de desastres geológicos.

## REFERÊNCIAS

ALESSI, D. *et al.* Geological risks in large cities: The landslides triggered in the city of Rome (Italy) by the rainfall of 31 January-2 February 2014. **Italian journal of engineering geology and environment**, n. 1, p. 15-34, 2014.

ARAÚJO, C. S.; LIBÓRIO, M.; ABREU, J. F. Plataforma de localização de escolas públicas rurais e a disseminação da aprendizagem cartográfica e do planejamento de atividades educacionais. **ACTA GEOGRÁFICA**, v. 12, n. 30, p. 1-15, 2018.

AYE, Z. C. *et al.* A collaborative (web-GIS) framework based on empirical data collected from three case studies in Europe for risk management of hydro-meteorological hazards. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 15, p. 10-23, 2016.

BORGES, J. P.; LIBÓRIO, M. P.; HADDAD, P. B. Uma nova abordagem para a geovisualização de dados de segurança pública: o caso do Ministério Público do Rio Grande do Norte. **Revista Espinhaço**, v. 8, n. 1, p. 34-42, 2019.

BORGES, V. V. *et al.* Ferramenta de geovisualização web para a implantação de centrais geradoras hidrelétricas. **Espaço Energia**, v. 30, p. 1-8, 2019.

CALAÇA, G. *et al.* Geovisualização do patrimônio industrial. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 70, p. 975-999, 2022.

CALDEIRA, L.; ESPÓSITO, T. **Gestão de segurança em barragens: cenários e perspectivas das legislações Portuguesa e Brasileira**. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 2010. 9p.

CHEN, W. *et al.* Developing an integrated 2D and 3D WebGIS-based platform for effective landslide hazard management. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 20, p. 26-38, 2016.

CLARET, A. M.; PAGANIN, M.; GOUVEIA, A. F. S. Revisiting the risk concept in Geotechnics: qualitative and quantitative methods. **REM: Int. Eng.**, Ouro Preto, v. 70, n. 1, p. 27-32, 2017.

CONSTRUÇÃO. IBDA - **Fórum da Construção**. 2022. Disponível em: [http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9 & Cod=1768](http://www.forumdaconstrucao.com.br/conteudo.php?a=9&Cod=1768). Acesso em: 01 set. 2022.

FILHO, C. L. M.; NUMMER, A. V. **Introdução à Geologia de Engenharia**. 1. ed. Santa Maria: UFSM, 2011. 456p.

FONSECA, M. N.; ACORDES, F. A. Using Web-GIS Vicon as a Risk and Disaster Communication Tool. **Terr@ Plural**, v. 16, p. 1–13, 2022.

FU, P. **Getting to know Web GIS**. 3. ed. California: Esri Press, 2018. 378p.

GERSCOVICH, D. M. S. **Estabilidade de Taludes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 192p.

HUANG, J. *et al.* 3D WebGIS-based platform for debris flow early warning: A case study. **Engineering Geology**, v. 197, p. 57-66, 2015.

IMPROTA, F. M. *et al.* Geotecnologia aplicada à gestão de programas de pagamento de serviços ambientais: o caso de Rio Claro, Rio de Janeiro. **Revista Tamoios**, v. 16, n. 2, 2020.

KUNLONG, Y. I. N.; LIXIA, C.; ZHANG, G. Regional landslide hazard warning and risk assessment. **Earth Science Frontiers**, v. 14, n. 6, p. 85-93, 2007.

LAUDARES, S. **Geotecnologias ao alcance de todos**. Curitiba: Appris, 2014. 83p.

LAUDARES, S.; LAUDARES, J. B.; LIBÓRIO, M. P. Geographic Information Systems Used as a Practical Way of Teaching Mathematics. **Journal of Geographic Information System**, v. 8, n. 5, p. 608-617, 2016.

LE COZANNET, G. *et al.* WebGIS as boundary tools between scientific geoinformation and disaster risk reduction action in volcanic areas. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 14, n. 6, p. 1591-1598, 2014.

LOURENÇO, J. *et al.* Publicação de um roteiro geológico em plataforma WebSIG Publishing a geological field trip using a WEBGIS platform. **e-Terra**, v. 22, n. 6, 2010.

MARCELINO, E. V. **Desastres Naturais e Geotecnologias: Conceitos Básicos**. Santa Maria: INPE, 2008. 40p.

MORAES, K. Jaboatão dos Guararapes foi a cidade com mais mortes pelas chuvas em Pernambuco. **Jornal do Commercio - JC Jornal**. 2022. Disponível em: <https://jc.ne10.uol.com.br/pernambuco/2022/06/15023452-jaboatao-dos-guararapes-foi-a-cidade-com-mais-mortes-pelas-chuvas-em-pernambuco.html>. Acesso em: 2022.

NASCIMENTO, K. B. Á.; LAUDARES, S.; LIBÓRIO, M. P. Mapeamento e Geovisualização da “História da Guerra do Peloponeso” de Tucídides. **Caderno de Geografia**, v. 31, n. 64, p. 290-290, 2021.

NEMOTO, T. *et al.* Development of open source Web-GIS platform for three-dimensional geologic modeling and visualization. **Spatial Information Research**, v. 28, p. 645-653, 2020.

PARADELLA, W. R.; MURA, J. C.; GAMA, F. F. **Monitoramento DInSAR para Mineração e Geotecnia**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2021. 160p.

PENNA, N. A.; FERREIRA, I. B. Desigualdades socioespaciais e áreas de vulnerabilidades nas cidades. **Mercator**, v. 13, p. 25-36, 2014.

PESSINA, V.; MERONI, F. A WebGis tool for seismic hazard scenarios and risk analysis. **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, v. 29, n. 9, p. 1274-1281, 2009.

PLATONOW, V. Petrópolis registrou 250 deslizamentos em 24 horas por causa da chuva. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2022-03/petropolis-registrou-250-deslizamentos-em-24-horas>. Acesso em: 01 set. 2022

PMBH – PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. **De BHGEO**, 2022. Disponível em: <http://bhmap.pbh.gov.br/v2/mapa/idebhgeo#zoom=1 & lat=7786846.31018 & long=621594.95038& baselayer=base>. Acesso em: 09 set. 2022.

RECKZIEGEL, B. W.; SOUZA ROBAINA, L. E. Riscos geológico-geomorfológicos: revisão conceitual. **Ciência e Natura**, v. 27, n. 2, p. 65-84, 2005.

SALGADO, R. R. *et al.* WebGIS de geomarketing: solução de dois estágios para um problema de localização do varejo. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 1, p. 75-89, 2019.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S. P. **Sensoriamento Remoto para Desastres**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 288p.

SETZER, A.; MORELLI, F.; SOUZA, J. C. O Banco de Dados de Queimadas do INPE. **Biodiversidade Brasileira-BioBrasil**, n. 1, p. 239-239, 2019.

SILVA, I. R.; LIBÓRIO, M. P. Geovisualização e geocolaboração do patrimônio histórico de Cabo Frio-RJ. **Revista Tamoios**, v. 14, n. 2, 2018.

SILVA, J. K.; LIBÓRIO, M. P.; LAUDARES, S. Geovisualização da Arborização Viária Patrimoniada da Zona Central de Sete Lagoas-MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 11, n. 3, p. 56-72, 2016.

SOUZA, W. M. *et al.* Áreas de risco mais vulneráveis aos desastres decorrentes das chuvas em Recife-PE. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 34, p. 79-94, 2014.

TAO, W. *et al.* Study on the Analysis System of Meteorological and Geological Disaster Grades Early Warning of Web-GIS. **Meteorological & Environmental Research**, v. 5, n. 12, 2014.

TOMLINSON, R. F. **Thinking about GIS: geographic information system planning for managers**. ESRI, Inc., 2007.

TRAGNI, N. *et al.* Sharing soil and building geophysical data for seismic characterization of cities using Clara Webgis: a case study of Matera (southern Italy). **Applied Sciences**, v. 11, n. 9, p. 4254, 2021.

WALSHE, N. Using ArcGIS online story maps. **Teaching Geography**, v. 41, n. 3, p. 115-117, 2016.

Recebido: 05.04.2023  
Aceito: 06.06.2023

## ANEXO - RISCOS GEOLÓGICOS: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

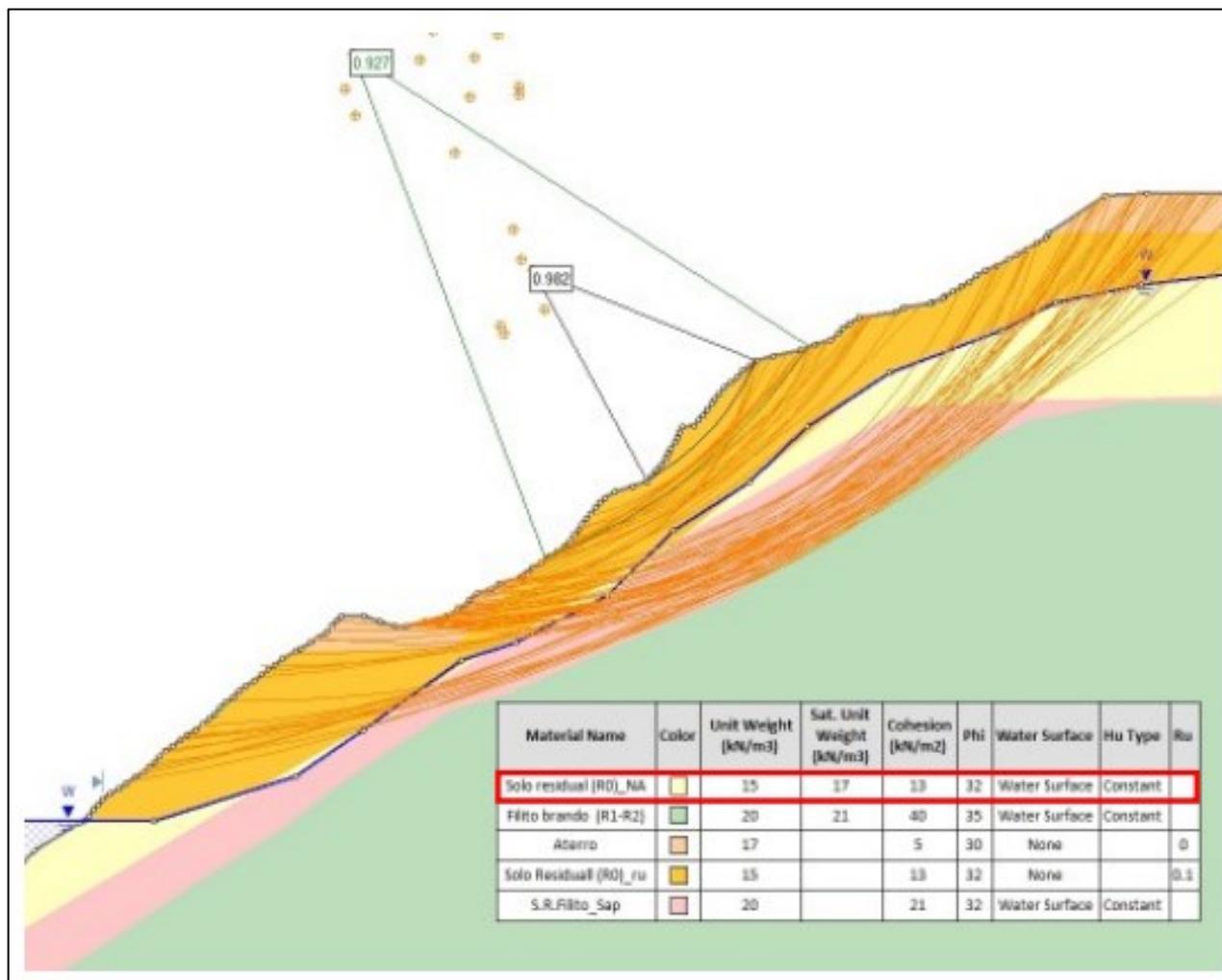
Partindo da ideia de que risco e incerteza estão relacionados, o termo “perigo” também está envolvido nas circunstâncias em que há risco. Os dicionários registram o sentido popular da palavra “perigo” como uma fonte de danos, enquanto “risco” seria a probabilidade de danos ou nível da probabilidade de danos. Em particular, quando se diz “pouco risco” ou “muito risco”. Nesse sentido, pode-se dizer que “perigo” é a fonte de danos e “risco” é a probabilidade do dano (CLARET; PAGANIN; GOUVEIA, 2017).

Metodologias de análise de riscos geológicos são bastante conhecidas e consistem na verificação de como diferentes fatores podem interagir nos possíveis cenários e nos prejuízos que estes cenários podem provocar (CALDEIRA; ESPÓSITO, 2010).

Neste contexto, nada mudou. Os desastres de cunho geológico/geotécnico continuam acontecendo. Dentre eles temos por exemplo, a tragédia de 15/02/22 em Petrópolis, na região Serrana do estado do Rio de Janeiro que vitimou 233 pessoas. Ainda em 2022, precisamente em 13 de janeiro, a ruptura da encosta sul do Morro da Forca desencadeou deslizamentos no centro histórico de Ouro Preto que interditaram grande parte dos acessos a cidade.

Conceituando os fenômenos gerados pelos escorregamentos e/ou movimentos de massa, é importante entendermos que qualquer superfície inclinada de um maciço ou rocha, traz instabilidade. Para a situação encontrada em aterros construídos ou cortes, devemos considerar as modificações geradas pelas alterações geológicas encontradas ao longo da execução e término da obra, sendo está uma condição significativa de identificar a condição crítica em riscos geológicos (GERSCOVICH, 2016).

Desta maneira, a ruptura se caracteriza pela formação de uma superfície de cisalhamento contínua no maciço verificado. Assim, a massa mobilizada pela zona cisalhada, perde suas características durante o processo de ruptura. A figura 1A, exemplifica que as análises de estabilidades são necessárias. Até porque, os taludes gerados pela ação humana, resultantes de cortes em encostas, de escavações ou de lançamentos de aterros, carecem de cuidados especiais.



**Figura 1A** – Análise de fator de segurança e mecanismos de ruptura em taludes (Software Slide 2D).  
**Fonte:** Elaborado pelos autores.

A fim de evitar a geração de problemas geológicos/geotécnicos, os taludes em cortes devem ser executados com altura e inclinação adequada, para garantir estabilidade da obra, bem como as condições mínimas de segurança impostas pela geologia local (GERSCOVICH, 2016). Por sua vez, os taludes em aterro, requerem uma condição de compactação adequada para reduzir riscos de colapsos, como observados nas cidades de Santa Maria em 2008 e Francisco Morato em 2020 (Figura 2A).

No sentido de conhecer o problema, mapeando as áreas de riscos potenciais, têm-se os estudos geológicos e geotécnicos. Estes, constituem ótimos instrumentos de análise de maciços, sejam terrosos e/ou rochosos, pois facilita sua interpretação e sua inserção junto ao problema identificado. Outro ponto importante, é a utilização do mapeamento geotécnico para o planejamento e a ocupação urbana e planos diretores. Pois com ele, podemos delimitar as áreas de riscos geológicos potenciais, evitando assim a ocupação desordenada (FILHO; NUMMER, 2011).



**Figura 2A** – Exemplos de movimentação de massa ocorridos em cidades brasileiras.  
**Fonte:** Construção (2022).