

# Investigação de Gatilhos Geotécnicos de Movimentação de Massa em Taludes Ferroviários

Priscila Celebrini de Oliveira Campos<sup>1\*</sup>, Maria Esther Soares Marques<sup>1</sup>, Diego Leonardo Rosa<sup>2</sup>,  
Diego Leonardo Rosa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Militar de Engenharia, Praça Gen. Tibúrcio, 80 - Urca, 22290-270, Rio de Janeiro - RJ,

<sup>2</sup> MRS Logística, Av. Brasil, 2001 - Centro, 36060-010, Juiz de Fora - MG,

e-mail: priscilacelebrini@ime.eb.br, esther@ime.eb.br, diego.rosa@mrs.com.br,  
márcio.eduardo@mrs.com.br

**Resumo** O monitoramento das encostas naturais, assim como dos corpos de aterro e dos taludes de corte, são importantes ferramentas para redução dos eventos de instabilidade geotécnica, principalmente nas estações de maior incidência pluviométrica. Este trabalho possui como objetivo a proposição de uma metodologia de identificação dos gatilhos geotécnicos de movimentação de massa nos taludes ferroviários, associada ao cadastramento de cortes e aterros marginais à malha, a registros do índice pluviométrico acumulado no trecho e aos acidentes levantados. Para tal, o programa experimental configurou-se com um levantamento cadastral dos taludes ferroviários (cortes e aterros) e aterros de um trecho piloto da malha ferroviária da empresa MRS, localizado no Ramal do Paraopeba, estado de Minas Gerais. Em adição, são levantadas as condições de drenagem superficial e subsuperficial, as características de intervenções antrópicas e as modificações indutoras dos processos de instabilização e a vulnerabilidade potencial dos maciços. Por fim, incorporou-se o histórico de deslizamentos de obras de terra e índices pluviométricos da respectiva região de modo a identificar os gatilhos geotécnicos potenciais para a movimentação de massa. O cadastramento geológico-geotécnico dos taludes marginais e as correlações entre os acidentes registrados e índices pluviométricos são metodologias relevantes para a previsão de potenciais ocorrências de deslizamentos. Verificou-se uma boa associação entre os registros de deslizamentos e o mapeamento de risco geotécnico, porém uma baixa associação entre os mesmos registros e as isoietas geradas com base no histórico pluviométrico da região. Esta última se deu devido à baixa densidade de dados pluviométricos e à má distribuição dos pluviômetros ativos na região. Este trabalho demonstra que as identificações dos gatilhos geotécnicos auxiliam os gestores na tomada de decisões, e permitem a adoção de medidas operacionais de circulação de trens mais eficientes às condições locais.

**Palavras-Chaves:** No máximo quatro palavras-chaves

## 1. INTRODUÇÃO

Os traçados das malhas ferroviárias são, muitas vezes, margeados por taludes passíveis de frequentes movimentações coletivas de massas de solo e rocha, com consequências danosas que implicam em perda de transportes, restrições de velocidades e interrupção do tráfego [1-4]. Tais movimentos podem ser classificados de acordo com o mecanismo de ruptura em taludes, suas propriedades e as características dessa falha geológica. Neste contexto, estudos descrevem que a identificação dos gatilhos geotécnicos para a movimentação de massa

baseia-se, fundamentalmente, nas distinções entre agentes predisponentes e efetivos [5].

O primeiro grupo, correspondente aos agentes predisponentes, refere-se ao conjunto de características intrínsecas, ou seja, em função das condições naturais do talude, isentas de quaisquer ações antrópicas. Dentre as variáveis condicionantes, são citadas as características geológico-geotécnicas e a respectiva revelação da estratigrafia local, além da geometria do talude e as condições ambientais referentes à região de estudo [6].

Os agentes efetivos, por conseguinte, são definidos como o conjunto de elementos externos desencadeadores das movimentações de massa, nos quais se incluem a ação antrópica, terremotos, erosão e fatores climáticos. Nesse aspecto, estudos apontam que as chuvas representam um dos maiores agentes desencadeadores dos processos de instabilização de taludes [4]. A infiltração da chuva promove a saturação do solo, e o fator de segurança da encosta é reduzido pelo aumento da poropressão e o consequente decréscimo da tensão efetiva entre os grãos do solo, além do aumento do peso e o respectivo acréscimo das tensões cisalhantes solicitantes [7].

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar o mapeamento de gatilhos geotécnicos de movimentação de massa em taludes ferroviários aplicados no trecho do Ramal do Paraopeba, parte integrante da ferrovia Linha do Centro, no estado de Minas Gerais, Brasil. Neste estudo, deseja-se realizar o mapeamento de risco geotécnico do trecho e a construção de isoietas com base em histórico pluviométrico da região, de forma a possibilitar relacioná-los com as ocorrências de deslizamentos de terra ao longo do trecho.

Para este fim, este artigo está estruturado da seguinte forma: a segunda seção apresenta o programa experimental desenvolvido pelo estudo, abordando a descrição do estudo de caso, seguido da avaliação histórica dos registros de deslizamentos de terra ocorridos na região, o processo de levantamento cadastral geológico-geotécnico e a avaliação da incidência pluviométrica; a terceira seção trata dos resultados e das discussões; e, finalmente, a quarta seção apresenta as considerações finais.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Descrição do Estudo de Caso: Ramal do Paraopeba – MG

O ramal do Paraopeba corresponde a uma linha ferroviária de 160 km sob operação da MRS Logística, que conecta a Linha do Centro em Congonhas/MG ao município de Belo Horizonte no estado de Minas Gerais, Brasil. O traçado da ferrovia dispõe-se na direção norte, com um total de 12 estações ativas, percorrendo os municípios de Congonhas/MG,

Jeceaba/MG, Belo Vale/MG, Moeda/MG, Marinhos/MG, Fêcho do Funil/MG, Sarzedo/MG, Ibirité/MG, Brumadinho/MG e Belo Horizonte/MG [8]. Nesse contexto, o estudo de caso contemplou um trecho de 112 km do Ramal do Paraopeba, com marco quilométrico inicial em km 504,00 e final em km 616,00, apresentado na Figura 1.

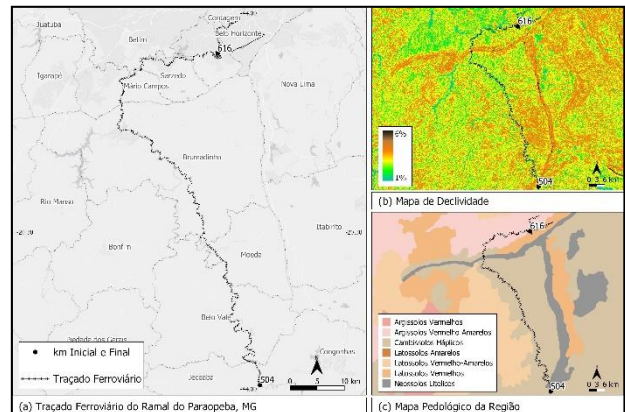


Fig. 1 (a) Localização do trecho ferroviário do estudo de caso no Ramal do Paraopeba, MG com marco inicial no km 504,00 e final em km 616,00; (b) Mapa de Declividade [9]; e (c) Mapa Pedológico da região [10].

O relevo regional da zona onde o trecho ferroviário se enquadra é marcado por enclaves (Figura 1b) e alguns relevos de maiores altitudes, que possuem coberturas pedológicas pouco desenvolvidas que proximamente margeiam o traçado da linha. Em termos pedológicos (Figura 1c), a extensão da ferrovia percorre sob pedogenética majoritária dos Cambissolos Háplicos (km 504,00–584,00), com ocorrências de Neossolos Litólicos entre os km 587,37–588,49 e de Argissolos Vermelho-Amarelos entre os km 588,49–616,00. De acordo com a Embrapa [10], os Argissolos representam 26,9% do território brasileiro e são caracterizados por apresentar acumulações de argila no horizonte B. Já os Cambissolos apresentam horizontes pouco desenvolvidos, com horizonte B incipiente, que surgem próximos a relevos fortemente ondulados ou montanhosos. Adicionalmente, é destacado que, quando manifestados em taludes de encostas, os cambissolos apresentam maior susceptibilidade a processos de erosão [10,11].

Dessa forma, o mapeamento e a identificação de zonas de risco de deslizamento geotécnico se tornam ainda mais relevantes para o trecho,

uma vez que a ocorrência de movimentação de massa pode apresentar um impacto de maior criticidade devido à distância ao eixo da linha (entre 1,50m e 10m, com valor médio de 2,50 m) que impactam na operação como interrupção ou restrição do tráfego. Na Figura 2, é apresentado um deslizamento ocorrido no ramal em 2017 no km 599,124, em que há interferência da movimentação de massa pelo alcance na linha ferroviária.



Fig. 2 Deslizamento ocorrido em 04/Out/2017 no km 599,124.

## 2.2. Análise Direta de Registros Históricos de Deslizamentos de Taludes

O banco de dados de registros incidentes foi compilado pela operadora ferroviária e apresenta todos os eventos que causaram impacto na operação da linha da ferrovia. Nele incluem-se causas variadas de incidentes, como, por exemplo, falhas nos equipamentos, na superestrutura ou na infraestrutura, descarrilamentos, e até mesmo eventos extremos de invasão à via. Dessa forma, o inventário de deslizamentos de terra foi elaborado a partir do levantamento de todas as ocorrências registradas no trecho desde 2015 até o último ano com o inventário finalizado (2018). O registro detalha a data, o tipo de incidente e o trecho inicial e final do local da ocorrência dos eventos de deslizamento de terra, que são as informações essenciais para a validação dos mapas de risco geotécnico.

Para seleção dos registros válidos, foram utilizados os seguintes critérios: (1) foram excluídos os registros com precisão de localização inferior a 500 m; e (2) incidentes não relacionados aos eventos geotécnicos, como queda de árvores, também foram desconsiderados. De acordo com o registro, os deslizamentos de terra considerados na

análise são classificados como: queda de rochas e fluxo de detritos; fuga de aterro; desbarrancamento; e o termo genérico “queda de barreiras”, que não está definido especificamente nas fontes originais.

Dezenove eventos de movimentação de massa foram registrados no trecho no período do inventário (2015-2018), resultantes de queda de barreira e queda de barreira ou bloco de rocha no gabarito da linha, que ocorreram ao longo das encostas marginais à linha, dos quais doze causaram a interrupção total do tráfego (Tabela 1).

Tabela 1: Incidentes registrados no trecho entre km 504,00 e km 616,00 no período de 2015 a 2018 e o respectivo impacto na operação da linha.

Data	Impacto	Inicial (km)	Final (km)
04/12/2017	Interrupção	504,11	507,54
20/03/2015	Interrupção	509,21	517,04
23/03/2015	Restrição	509,21	517,04
05/12/2017	Restrição	523,64	531,56
08/02/2015	Interrupção	531,56	533,80
08/03/2015	Interrupção	531,56	533,80
20/01/2016	Restrição	531,56	533,80
13/12/2016	Restrição	539,51	541,42
25/11/2016	Restrição	548,13	556,21
14/12/2016	Interrupção	548,13	556,21
19/01/2016	Restrição	563,31	567,81
19/01/2016	Restrição	569,66	576,35
19/01/2016	Restrição	569,66	576,35
08/03/2018	Interrupção	579,90	582,30
05/10/2016	Interrupção	587,02	589,45
28/02/2018	Interrupção	587,02	589,45
14/01/2017	Interrupção	595,56	597,48
26/01/2016	Restrição	610,31	614,38
08/12/2016	Interrupção	614,38	616,70

Sequencialmente, os dados apresentados na Tabela 1 foram formatados em planilhas estatísticas e processados. Após a tabulação, os dados foram exportados para um ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) e georreferenciados no software gratuito QuantumGIS (<https://qgis.org/pt/site/>), tomando-se como base o marco quilométrico

dos pontos, uma vez que se encontravam indisponíveis as coordenadas geográficas.

### 2.3. Levantamento Cadastral Geotécnico

A morfometria do talude e as características do solo variam localmente com a litologia, a morfologia, o clima e a história geológica [11]. A espessura do solo, a cobertura vegetal e sua contribuição com a resistência do solo, e as condições de infiltração locais são peculiares a um local geográfico e podem induzir condições de estabilidade variáveis em resposta às chuvas. O levantamento cadastral geotécnico-geológico fundamentou-se em visita em campo e avaliação do complexo geológico (natureza petrográfica, estado de alteração por intemperismo, acidentes tectônicos, atitude das camadas – orientação e mergulho, formas estratigráficas, intensidade de diaclasamento, etc.), complexo morfológico (inclinação superficial, massa, forma de relevo), complexo climático-hidrologico (clima, regime de águas meteóricas e subterrâneas), gravidade, temperatura e tipo de vegetação original dos taludes ferroviários marginais.

O estudo contemplou a análise de dados provenientes de visitas técnicas para a avaliação in situ da geologia local e das características geotécnicas dos taludes existentes, afloramentos rochosos e processos de erosões. As inspeções visuais foram realizadas pela equipe técnica da operadora ferroviária nos taludes marginais, atentando-se para a identificação de possíveis superfícies de ruptura, presença de descontinuidades, fendas de tração e juntas abertas nos cortes e aterros dos taludes marginais. A inspeção ocorre anualmente ao longo do traçado da malha ferroviária, na qual classificam-se os taludes em seis grupos de risco geotécnico, ordenados sequencialmente de acordo com as condições de estabilidade verificadas pelo levantamento cadastral em campo:

- R0: são solos com baixa coesão e propícios a erosões profundas e/ou rocha pouco fraturada, sem inclinação favorável à queda, sem blocos e sem presença de negativos.
- R1: correspondem aos solos com baixa coesão e propícios a erosões superficiais e/ou rocha pouco fraturada, com xistosidade favorável à queda, poucos blocos e sem presença de negativos;

- R2: são solos sem coesão e propícios a erosões superficiais e/ou rocha mediamente fraturada, xistosidade favorável à queda, poucos blocos e sem presença de negativos;
- R3: trata-se de solos com identificação de iminência de erosão ou cunha e/ou rocha muito fraturada, com xistosidade favorável à queda, com pequenos blocos e sem negativos;
- R4: os solos desse grupo apresentam alguns deslizamentos, com processo de erosão mediano; quando rochas, são muito fraturadas, com xistosidade favorável à queda e com pequenos blocos e negativos;
- R5: representam os solos com cunhas visíveis, processo de erosão avançado e/ou rocha muito fraturada, com xistosidade favorável à queda, grandes blocos e negativos, e contato solo-rocha bem definido.

Em síntese, os dados do levantamento cadastral geológico-geotécnico para o trecho avaliado do Ramal do Paraopeba, MG, foram avaliados em um intervalo temporal de 2017 a 2020. Os dados do levantamento cadastral geológico-geotécnico, assim como os pontos do inventário de ocorrências, foram tratados e georreferenciados. Na sequência, o mapeamento do risco geotécnico procedeu-se a partir do estimador de densidade de Kernel (mapa de calor) para a identificação das áreas de maior risco geotécnico de acordo com os dados levantados.

### 2.4. Avaliação da Incidência Pluviométrica

A identificação de áreas de maior suscetibilidade a chuvas intensas é uma fonte de informação de importância irrefutável para a avaliação dos padrões espaciais de precipitação que desencadeiam movimentos de massa. Cada área fisiográfica é sujeita a um regime de chuvas diferente, com intensidades, durações, padrões típicos. Um melhor conhecimento da variação da precipitação, através de mapeamentos de previsão de sua distribuição espaço-temporal, pode representar um progresso significativo na definição de sistemas de alerta de eventos hidrogeomorfológicos extremos. No entanto, a modelagem espacial dessa variável depende, em grande parte, da qualidade e disponibilidade de séries de dados de observações de superfície.

As séries históricas de precipitação são disponibilizadas pelo Portal HidroWeb ([www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br)) da Agência Nacional de Águas (ANA), assim como as coordenadas geográficas das estações disponíveis na região de análise. Os pluviômetros foram selecionados em um raio de 50 km do traçado da linha, como apresentado na Figura 3, na qual 26 estações permanecem ativas e com registro de dados completos, 9 estações estão ativas e com série histórica incompleta e 134 estações encontram-se em inatividade (correspondente a 79,29% das estações da região).

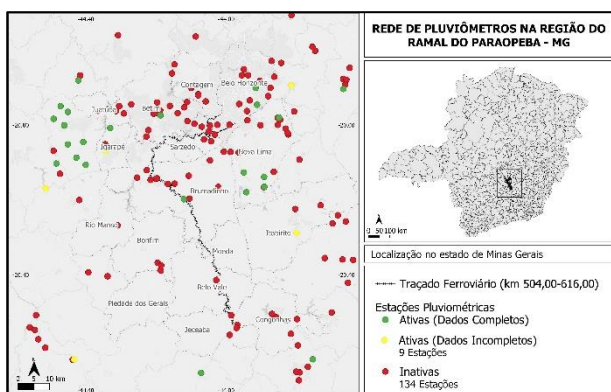


Fig. 3 Distribuição espacial dos pluviômetros distanciados a no máximo 50 km do traçado da linha

Por fim, os dados das estações pluviométricas foram espacializados e interpolados de acordo com o método do inverso da potência das distâncias, IDW (Inverse Distance Weighting) [13], para a criação das isoietas da região analisada.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O Ramal do Paraopeba – MG corresponde a um trecho ferroviário sob operação da MRS sujeito à recorrente ocorrência de deslizamentos de terra, afetando a operação e a manutenção da linha. Portanto, este trabalho visou atender a uma necessidade de aprofundamento do estudo sobre os eventos de deslizamentos de terra no trecho em questão.

Dessa forma, é importante avaliar o risco geológico-geotécnico de um talude pela regionalização de dados de um local específico em alerta e para a avaliação de riscos de deslizamentos de terra. Em primeiro lugar, realizou-se o levantamento cadastral geológico-geotécnico de diagnóstico de risco

dos taludes ferroviários e o mapeamento dos cenários de acordo com o intervalo temporal de 2017 a 2020, conforme apresentado na Figura 4. Os mapas de riscos geotécnicos são ferramentas utilizadas para identificar as áreas suscetíveis à ocorrência de deslizamentos de terra, permitindo a delimitação dessas regiões com o auxílio de visitas de campo, modelos digitais de terreno (via SIG), dados geotécnicos, dados históricos de séries pluviométricas e / ou modelagem numérica.

De acordo com a Figura 4, foi possível avaliar a evolução do risco geotécnico para trechos da região de estudo (km 504,00–616,00). No mapeamento referente ao ano de 2017 (Figura4a), observaram-se diferentes classificações de risco geotécnico dos taludes ferroviários ao longo do traçado da malha e, assim, subdividiu-se em dois trechos majoritariamente de risco mais elevado de acordo com o levantamento cadastral realizado em campo. O primeiro trecho se estende do km 507,00 até o km 512,00, próximo aos municípios de Congonhas e Jeceaba, MG, com risco classificado como R4, enquanto o segundo trecho, localizado no município de Brumadinho entre o km 560,00 e o km 583,00, foi mapeado como risco R5.

Posteriormente, foram adicionados para cada ano pontos no mapeamento de risco geotécnico. Ou seja, em 2018 (Figura 4b), foram feitos levantamentos em pontos além dos já realizados em 2017 e/ou redundantes (na mesma posição dos anteriores) para aumentar a abrangência do mapeamento de risco geotécnico e retificar (e/ou ratificar) alguns pontos anteriormente analisados. O mesmo foi feito para 2019 e 2020, complementando e retificando (e/ou ratificando) alguns pontos do mapa geotécnico de 2018 e 2019, respectivamente. Desta forma, cumulativamente nos cenários futuros (2018, 2019 e 2020), observa-se a partir do acréscimo de novos dados cadastrais (representados pelos pontos na Figura 4) a densificação nos trechos entre os km 570,15–579,87 e km 509,17–507,46 nos cenários de 2018, e a inclusão de novos pontos cadastrados entre km 532,19–534,39, km 544,10–544,80 e km 603,81–616,37 com mapeamento de risco R5 nos cenários de 2019 e 2020.

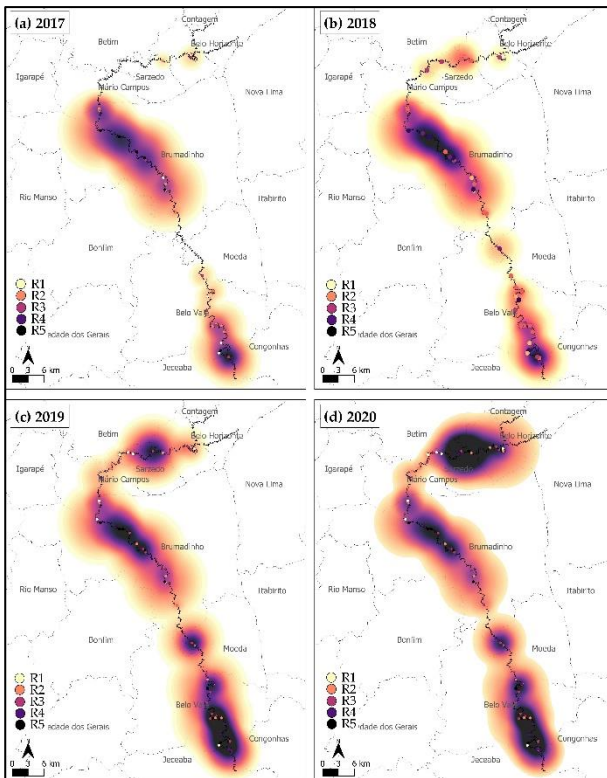


Fig. 1 Mapeamento do Risco Geotécnico do trecho do Ramal do Paraopeba, MG, para os anos de 2017, 2018, 2019 e 2020, categorizados em R1, R2, R3, R4 e R5.

A Figura 4 demonstra, portanto, a importância da realização de um mapeamento do risco geotécnico para os trechos da ferrovia e a necessidade de complementação de informações ao longo de todo o trecho e da ratificação e/ou retificação dos pontos já analisados. Este mapeamento serve para melhorar o gerenciamento do trecho em operação e para auxiliar a definição dos futuros pontos a serem analisados (de forma a densificar as informações e aumentar a cobertura de dados sobre o todo o trecho). Esses mapas são, portanto, fundamentais para a tomada de decisão e a implantação de sistemas de alerta, pois permitem informar aos gestores e autoridades o risco da ocorrência de deslizamentos.

Adicionalmente, uma vez realizado o mapeamento de risco geotécnico do trecho em estudo, realizou-se um estudo do histórico de pluviometria na região para buscar analisar uma correlação das ocorrências de deslizamentos registrados com os índices pluviométricos históricos da região. Foram, portanto, utilizados os dados de chuva disponíveis na região (ver Figura 3) durante os meses de Dezembro-Janeiro-Fevereiro devido

à maior pluviometria e maior ocorrência de deslizamentos registradas no trecho (Tabela 1). A partir desses dados com base em um inventário histórico do período de 1977 a 2006, utilizou-se o método do inverso da potência das distâncias, IDW (Inverse Distance Weighting), para a criação das isoietas da região analisada.

A Figura 5 apresenta as isoietas geradas para a região em estudo, considerando os trimestres de Dezembro-Janeiro-Fevereiro, os pontos onde foram registrados deslizamentos de terra afetando a operação da linha durante o período de 2015 a 2018 (ver Tabela 1), e o mapeamento de risco geotécnico resultante em 2020.

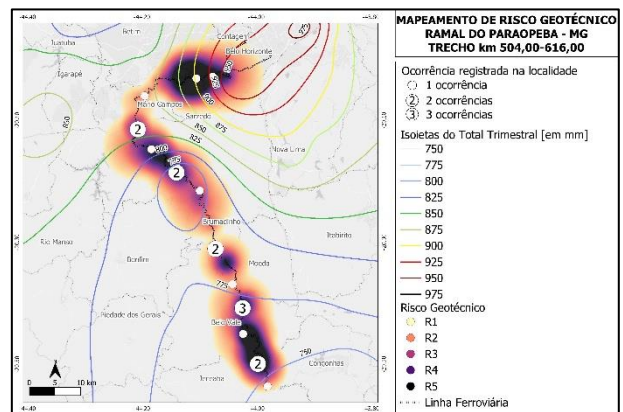


Fig. 5 Identificação dos gatilhos geotécnicos de movimentação de massa nos taludes ferroviários do Ramal do Paraopeba – MG (km 504,00–616,00)

Percebe-se na Figura 5 uma boa correlação entre as localizações das ocorrências de deslizamentos de terra registrados ao longo do trecho estudado do ramal de Paraopeba – MG e o mapeamento de risco geotécnico do trecho realizado neste estudo. Além disso, é importante verificar que a maior parte dessas ocorrências (entre os km 504,00-584,00) se deu em região de cambissolos que apresentam horizontes pouco desenvolvidos e alta susceptibilidade a erosão [10]. Com relação às isoietas apresentadas, verificou-se uma boa correlação da ocorrência registrada mais ao Norte (no final do trecho) com os altos índices pluviométricos para a região. No entanto, apesar de alguns estudos apontarem uma importante associação entre eventos de chuvas fortes com maior susceptibilidade de ocorrência de deslizamentos [5], constatou-se que os demais pontos de registros de deslizamentos estão localizados em regiões

com índices pluviométricos historicamente menores.

Cabe ressaltar, entretanto, que Campos e Paz [14] verificaram a importância da espacialização dos dados pluviométricos, principalmente para estudos de eventos extremos. E, no caso deste estudo, conforme demonstrado na Figura 3, a distribuição espacial dos pluviômetros ativos nesta região é demasiadamente esparsa (especialmente nas proximidades da via, onde apresentou apenas um pluviômetro em atividade). Torna-se, portanto, necessário otimizar a obtenção desses dados pluviométricos, seja aumentando a densidade da distribuição espacial dos pluviômetros, seja através da utilização de radares meteorológicos. Este é um estudo que poderá futuramente ser realizado, possibilitando a complementação das informações obtidas em campo (como demonstrado pelo mapeamento geotécnico) de forma a otimizar a prevenção e redução de riscos de deslizamentos na região.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento das encostas naturais, assim como dos corpos de aterro e dos taludes de corte, é uma importante ferramenta para a redução dos impactos e prevenção de deslizamentos de terra durante eventos de instabilidade geotécnica, principalmente nas estações de maior incidência pluviométrica. Destaca-se, assim, que os deslizamentos de solo estão entre os mais abundantes entre os deslizamentos superficiais. Apesar do seu tamanho limitado, eles podem acarretar obstrução das vias, com impactos no índice de Trem Hora Parada (THP) e, até mesmo, em perdas do produto transportado.

Por esse motivo, a avaliação de riscos de deslizamentos de terra tornou-se uma tarefa urgente que pode ajudar as autoridades a reduzir os danos causados por deslizamentos de terra através de um gerenciamento adequado do uso da terra para o desenvolvimento de infraestruturas e proteção ambiental. Esse conhecimento é crucial para desenvolver melhores estratégias de alerta para mitigar o risco geo-hidrológico e reduzir os danos socioeconômicos. Este artigo fornece uma contribuição para desenvolver melhores estratégias de alerta para mitigar os riscos

relacionados à ocorrência de deslizamentos de terra.

O estudo de caso do ramal do Paraopeba, trecho ferroviário sob operação da MRS em Minas Gerais, foi utilizado para analisar a elaboração de gatilhos geotécnicos de movimentos de massa em taludes devido à grande quantidade de ocorrências de deslizamentos de terra, ocasionando impactos na operação da via. Através do cadastramento geológico-geotécnico dos taludes marginais, da obtenção de histórico de índices pluviométricos da região, e de registros dos deslizamentos de terra provocando acidentes na via, buscou-se realizar correlações de forma possibilitar a previsão/prevenção de potenciais ocorrências de deslizamentos. Os resultados deste trabalho identificaram uma boa associação entre os registros de deslizamentos e o mapeamento de risco geotécnico, porém uma baixa associação entre os mesmos registros e as isoietas geradas com base no histórico pluviométrico da região (devido à baixa densidade de dados pluviométricos e à má distribuição dos pluviômetros ativos na região). Portanto, este trabalho demonstra que as identificações dos gatilhos geotécnicos auxiliam os gestores na tomada de decisões, e permitem a adoção de medidas operacionais de circulação de trens mais eficientes às condições locais.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa MRS Logística pelo fornecimento do material que embasaram este estudo e ao LabFer, do Instituto Militar de Engenharia, pela concessão da bolsa de pesquisa.

#### 6. REFERÊNCIAS

- [1] Mukenga, W., Havenith, H.-B., Eko, R. M., e Bissaya, R. (2017) *Geotechnical Assessment of Potential Mass Movement Occurrence in a Zone at Risk Around Yaoundé-Cameroon*. Advancing Culture of Living with Landslides (p. 455–463). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-53498-5\_52
- [2] Quang, L. H., Loi, D. H., Sassa, K., Takara, K., Ochiai, H., Dang, K., Abe, S., Asano, S., e Ha, D. N. (2018) *Susceptibility assessment of the precursor stage of a*

- landslide threatening Haivan Railway Station, Vietnam. *Landslides*, 15(2), 309–325. doi:10.1007/s10346-017-0870-3
- [3] Winter, M. G., Palmer, D., Sharpe, J., Shearer, B., Harmer, C., Peeling, D., e Bradbury, T. (2014) Economic impact assessment of landslide events. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment* (Vol. 1, p. 217–222). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-04999-1\_28
- [4] Xu, Q., e Zhang, L. (2010) The mechanism of a railway landslide caused by rainfall. *Landslides*, 7(2), 149–156. doi:10.1007/s10346-010-0195-y
- [5] García-Delgado, H., Machuca, S., e Medina, E. (2019) Dynamic and geomorphic characterizations of the Mocoa debris flow (March 31, 2017, Putumayo Department, southern Colombia). *Landslides*, 16(3), 597–609. doi:10.1007/s10346-018-01121-3
- [6] Altın, T. B., e Gökkaya, E. (2018) Assessment of landslide-triggering factors and occurrence using morphometric parameters in Geyraz basin, tokat, Northern Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 77(4), 1–20. doi:10.1007/s12665-018-7315-8
- [7] Cogan, J., Gratchev, I., e Wang, G. (2018) Rainfall-induced shallow landslides caused by ex-Tropical Cyclone Debbie, 31st March 2017. *Landslides*, 15(6), 1215–1221. doi:10.1007/s10346-018-0982-4
- [8] Silva, F. dos S., Corsino, C. M., Guimarães, R. de M., e Zanibone, R. A. P. (2020) Patrimônio Ferroviário em Minas Gerais - Bens Imóveis. IPHAN. Obtido 20 de junho de 2020, de [http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Patrimonio\\_Ferrovuario\\_MG.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/Patrimonio_Ferrovuario_MG.pdf)
- [9] Valeriano, M. D. M. (2008) TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais. Inpe-15318-Rpq/818.
- [10] Santos, H. G. dos, Jacomine, P. K. T., Anjos, L. H. C. dos, Oliveira, V. A. de, Lumbreras, J. F., Coelho, M. R., Almeida, J. A. de, Araujo Filho, J. C. de, Oliveira, J. B. de, e Cunha, T. J. F. (2018) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos (5o ed). Brasília, DF.
- [11] Campos, P. C. O. (2019) Avaliação do efeito da variação da umidade no comportamento mecânico de um trecho da Estrada de Ferro Carajás. Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia.
- [12] Campos, P. C. O., Silva, B. A., e Marques, M. E. S. (2019) Caracterização geotécnica dos solos de subleito ferroviário: investigações de campo e laboratoriais. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 10(6), 178–193. doi:10.6008/CBPC2179-6858.2019.006.0016
- [13] Lee, W.-S., Chun, J. A., e Kang, K. (2014) Development and application of GIS-based PRISM integration through a plugin approach. *Journal of Hydrology*, 513, 58–67. doi:10.1016/j.jhydrol.2014.03.029
- [14] Campos, P. C. O., e Paz, I. (2020) Spatial Diagnosis of Rain Gauges' Distribution and Flood Impacts: Case Study in Itaperuna, Rio de Janeiro—Brazil. *Water*, 12(4), 1120. doi:10.3390/w12041120