XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/59

DINÂMICA DE DESPLACAMENTOS ROCHOSOS EM AMBIENTES URBANOS: INFLUÊNCIA DE FRATURAS E VARIAÇÕES TÉRMICAS EM EVENTO DE MAIO DE 2024 NA COMUNIDADE FAZENDA CATETE, RIO DE JANEIRO

Maria Luisa de Faria Simões
Engenheira Civil, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, marial.simoes@prefeitura.rio

Rodrigo Ferreira França
Geólogo, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, rodrigo.franca@prefeitura.rio

Mariana Duarte dos Santos
Engenheira Geotécnica, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, m.dsantos@prefeitura.rio

Marcus Bergman
Engenheiro Geotécnico, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, marcus.bergman@prefeitura.rio

RESUMO: Este trabalho apresenta a análise de um evento geotécnico incomum ocorrido em maio de 2024 na encosta do Morro Nova Cintra, no Rio de Janeiro. O evento foi caracterizado pela queda abrupta de lascas rochosas de grande porte de uma escarpa de gnaisse leptinítico. Diferentemente da maioria dos desastres em encostas, geralmente associados a chuvas intensas, este incidente ilustra a relevância da variação térmica e da presença de descontinuidades geológicas (juntas de alívio e foliação), como gatilhos para instabilidades em maciços rochosos urbanos, especialmente em períodos de baixa pluviosidade. As análises da Fundação GEO-RIO indicaram elevado potencial de novos deslocamentos, levando à interdição preventiva de moradias. Discute-se a subestimação desses fenômenos e a necessidade urgente de expansão dos mapeamentos de risco para incluir áreas suscetíveis a quedas de blocos rochosos influenciadas por processos termoclásticos, complementando os sistemas de alerta existentes. Propõe-se a integração de geotecnologias, monitoramento termal e critérios rigorosos de zoneamento para mitigar esses “riscos ocultos” e garantir a segurança urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Riscos geológicos; queda de blocos; termoclastia; geologia de engenharia; Rio de Janeiro; mapeamento de risco.

ABSTRACT: This paper presents an analysis of an unusual geotechnical event that occurred in May 2024 on the slope of Morro Nova Cintra, in Rio de Janeiro. The event was characterized by the abrupt fall of large rock fragments from a leptinitic gneiss escarpment. Unlike most slope disasters, which are generally associated with intense rainfall, this incident illustrates the relevance of thermal variation and the presence of geological discontinuities (relief and foliation joints) as triggers for instabilities in urban rock masses, especially during periods of low rainfall. Analyses by the GEO-RIO Foundation indicated a high potential for further displacements, leading to the preventive closure of homes. The underestimation of these phenomena and the urgent need to expand risk mapping to include areas susceptible to rockfalls influenced by thermoclastic processes, complementing existing warning systems, are discussed. The proposal suggests integrating geotechnologies, thermal monitoring, and rigorous zoning criteria to mitigate these "hidden risks" and ensure urban safety.

KEYWORDS: Geological Risks; Rockfall; Thermal Weathering; Engineering Geology; Rio de Janeiro; Risk Mapping.

1 INTRODUÇÃO

A cidade do Rio de Janeiro, com sua topografia acidentada e densa ocupação de encostas, é historicamente vulnerável a desastres geotécnicos. Grande parte dos eventos de maior impacto registrados no estado, como as tragédias na Região Serrana (2010), Morro do Bumba (2011) e Petrópolis (2022), está associada a eventos pluviométricos extremos que deflagram escorregamentos e fluxos de detritos. No entanto, o incidente de maio de 2024 na encosta do Morro Nova Cintra (Comunidade Fazenda Catete, Zona Sul do Rio de Janeiro) evidencia uma tipologia de instabilidade geotécnica frequentemente negligenciada: a queda de lascas rochosas de grandes dimensões por processos não diretamente associados à saturação hídrica do maciço, mas induzida por variações térmicas em contexto de baixa pluviosidade (figuras 1 e 2).



Figura 1 – Vista geral do local do evento. Imagem panorâmica da encosta do Morro Nova Cintra, onde ocorreu o desprendimento abrupto de lascas rochosas em maio de 2024, destacando a área afetada e a localização na Zona Sul do Rio de Janeiro.

Apesar de tradicionalmente tratadas como “atípicas” em mapeamentos urbanos, as instabilidades induzidas por termoclastia não devem ser consideradas exceções. Este trabalho apresenta a caracterização técnica da ruptura, discute os resultados de análises numéricas e de campo, e propõe diretrizes para mitigação de riscos semelhantes, reforçando a importância de ampliar a abordagem predominante centrada na chuva para incluir outros gatilhos.



Figura 2 - Fotografia detalhada do local, a partir de drone, mostrando o depósito dos blocos desprendidos, ilustrando o grau de desagregação dos fragmentos e sua dispersão no terreno adjacente.

2 METODOLOGIA

Este estudo foi desenvolvido por meio da análise geológico-geotécnica detalhada da ruptura ocorrida na encosta do Morro Nova Cintra, na comunidade Fazenda Catete, Zona Sul do Rio de Janeiro. Os procedimentos adotados abrangeram levantamento de campo, análise cinemática e aplicação de geotecnologias, estruturando a investigação do evento e permitindo uma avaliação qualificada dos riscos associados.

Realizaram-se vistorias in loco para descrição geológica da escarpa, identificação da litologia predominante (gnaisse leptinítico), análise estrutural das foliações e juntas de alívio, além do mapeamento da morfologia local (Figuras 3 e 4). Essa avaliação técnica de campo permitiu fundamentar a caracterização da ruptura, especialmente sobre o processo de queda de lascas rochosas, definindo a geometria dos blocos desprendidos e sua área de deposição.



Figuras 3 e 4 - Detalhes das formações rochosas e fraturas identificadas na escarpa, com ênfase nas juntas de alívio e foliação que contribuíram para a instabilidade.

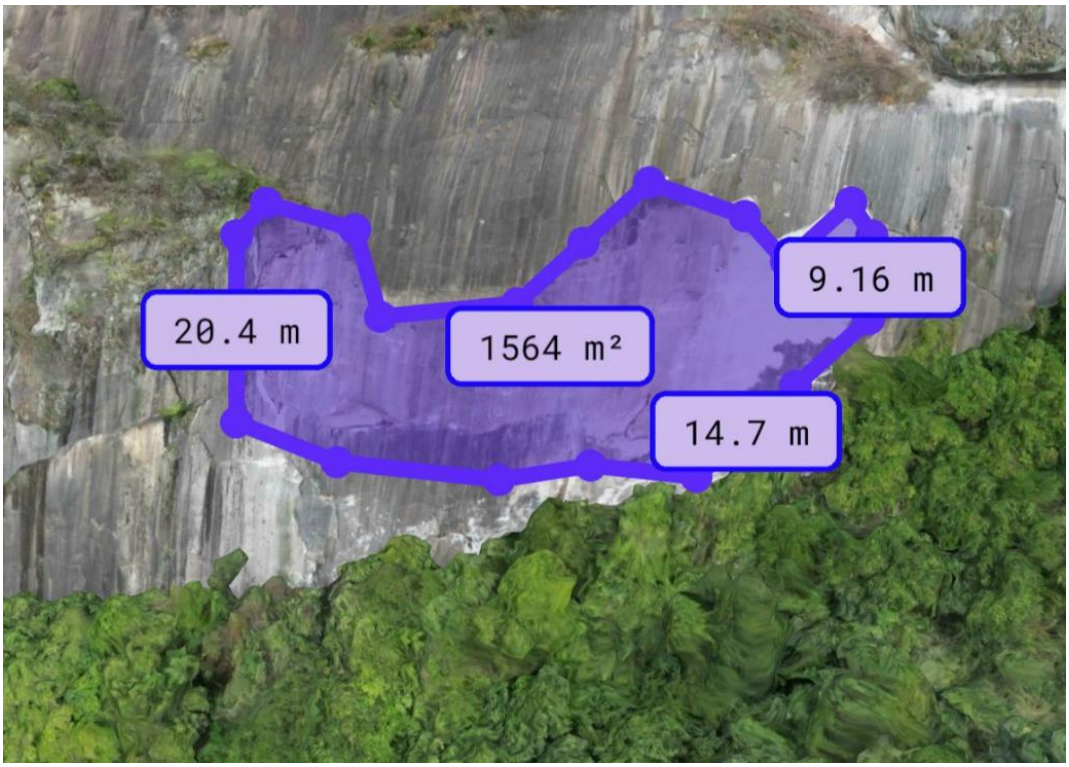


Figura 5 - Imagem superior obtida através de foto de drone, um dia após o acidente. Já a inferior, uma estimativa de área gerada a partir de modelo 3D.

Para quantificar os volumes deslocados, recorreu-se à fotogrametria baseada em imagens obtidas por drone, gerando modelos digitais de terreno que subsidiaram a estimativa volumétrica dos blocos (Figura 5). As análises cinemáticas foram conduzidas exclusivamente utilizando o software *RockFall*. Parâmetros de entrada, como massa estimada dos fragmentos e características geométricas, foram definidos a partir das observações de campo e dos dados resultantes da fotogrametria.

As análises focaram na determinação da trajetória dos blocos e na energia de impacto potencial, fatores cruciais para mensurar o alcance e o perigo às edificações situadas a jusante. A figura 6 mostra a trajetória analisada e as residências em maior risco (primeira zona de impacto), a figura 7 representa o resultado de uma simulação estatística de 1.000 quedas via software *RockFall*, onde as linhas vermelhas demarcam o alcance dos fragmentos de rocha, para cada lançamento simulado. A avaliação de risco específica para essas estruturas fundamentou medidas preventivas, como a interdição temporária de unidades habitacionais em área adjacente à zona de ruptura.

Por fim, foram propostas diretrizes de mitigação para os riscos identificados, incluindo a instalação de contenções específicas, apresentadas nas figuras 8 e 9 (intervenções 1 e 2 - Barreiras de Impacto, intervenções 3, 4 e 5 – Contrafortes, intervenção 6 – tela de alta resistência), além de supressão de blocos instáveis, gerenciamento territorial e remoção planejada de ocupações em áreas de risco, integrando a análise técnica com ações práticas de segurança.



Figura 6 - Mapa com ortofoto mostrando a localização da seção topográfica utilizada na simulação das trajetórias dos fragmentos e áreas de risco.

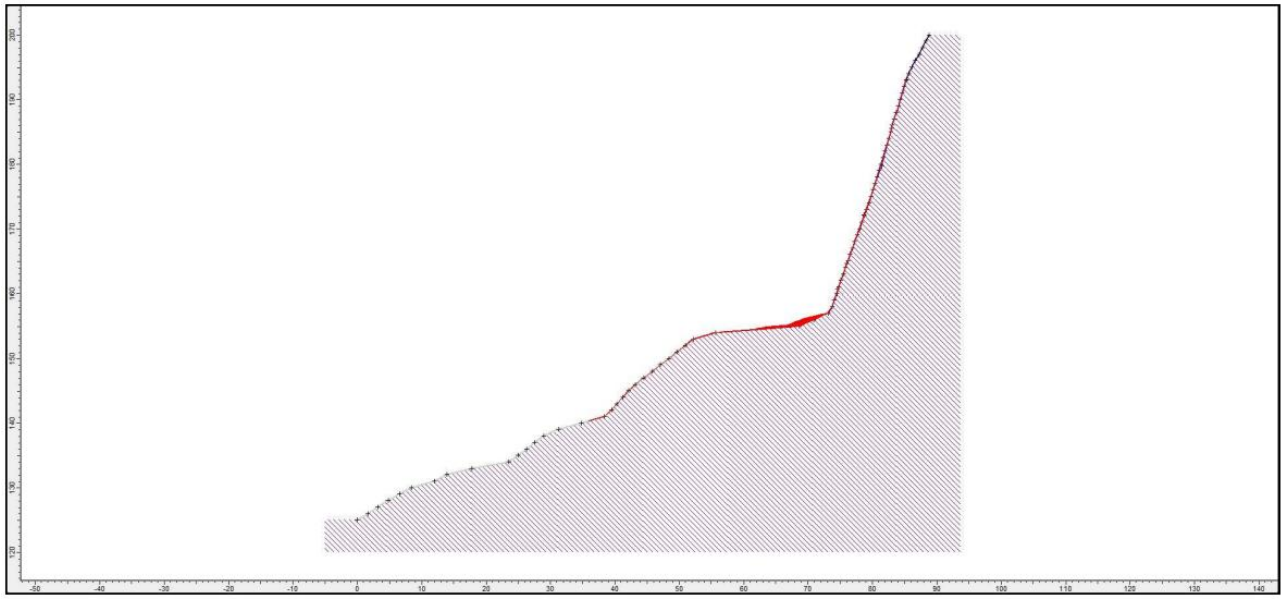


Figura 7 - Resultado da análise cinemática (*RockFall*): simulação da queda de fragmentos ao longo da seção (figura 6), indicando alcance e comportamento dos blocos.

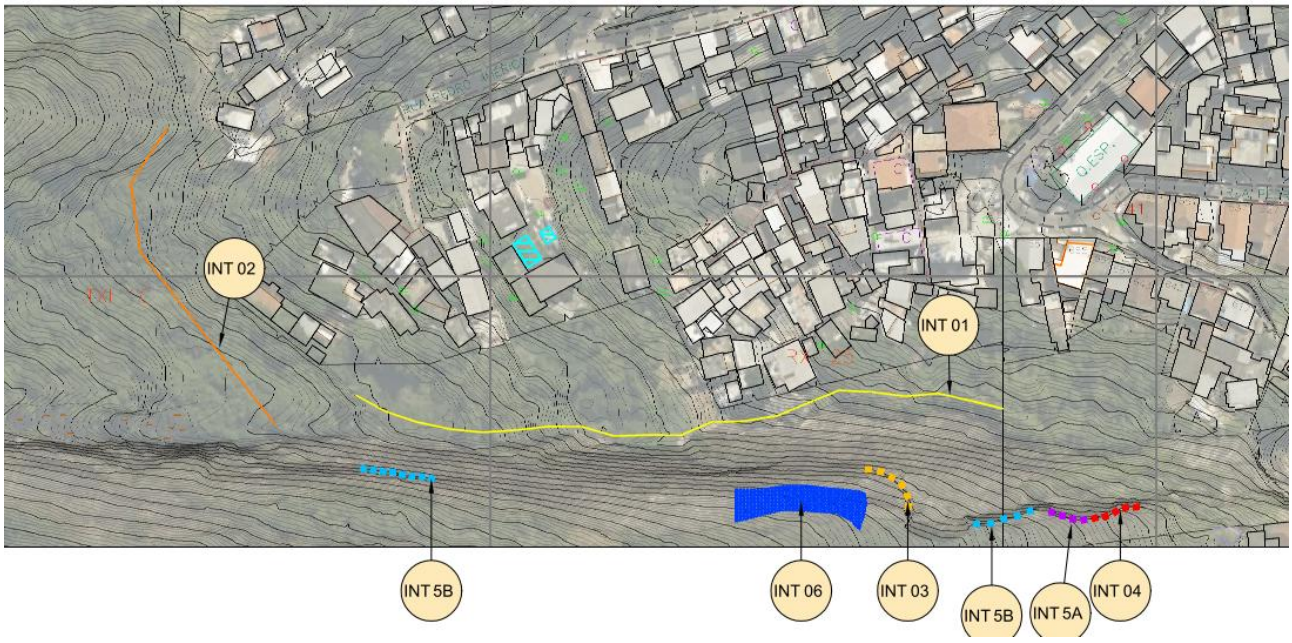


Figura 8 – Planta de locação das intervenções propostas.

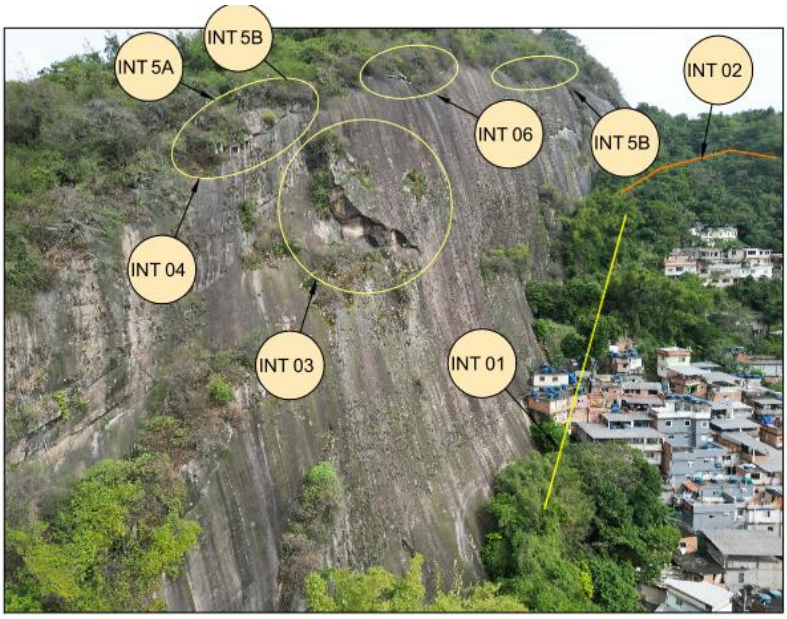


Figura 9 – Locação das intervenções.

3 DISCUSSÕES

Os resultados obtidos neste estudo destacam a relevância das instabilidades geotécnicas induzidas por variações térmicas em contextos urbanos vulneráveis, especialmente aquelas não diretamente relacionadas a eventos pluviométricos extremos. A queda de grandes lascas rochosas na escarpa do Morro Nova Cintra evidencia um mecanismo de ruptura que, embora tradicionalmente subestimado, pode representar risco significativo para as comunidades em encostas densamente ocupadas.

A análise geológico-geotécnica combinada com as simulações cinemáticas da trajetória e energia de impacto, baseadas em dados coletados de campo e fotogrametria, forneceram um panorama consistente do evento, permitindo oferecer subsídios técnicos para avaliação de risco e a proposição de medidas mitigadoras.

Entretanto, ressalta-se que o estudo apresenta limitações inerentes à ausência de investigações geotécnicas laboratoriais e de campo mais aprofundadas que poderiam auxiliar na modelagem mais precisa da ruptura. Tais investigações forneceriam parâmetros adicionais para calibrar as simulações e estimar com maior exatidão as condições mecânicas do maciço rochoso, contribuindo para a robustez técnica e científica do estudo de caso.

Assim, futuras pesquisas incorporando ensaios laboratoriais e análises geotécnicas detalhadas são recomendadas para aprimorar o entendimento dos mecanismos de instabilidade e aprimorar as estratégias de mitigação em áreas urbanas similares.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo demonstrou que instabilidades induzidas por variações térmicas, como a termoclastia, podem representar risco significativo em áreas urbanas de encostas, mesmo em períodos de baixa pluviosidade, desafiando a abordagem tradicional que associa prioritariamente tais eventos às chuvas intensas.

A integração das análises geológico-geotécnicas de campo, fotogrametria e análise cinemática da trajetória dos blocos possibilitou uma avaliação robusta da ruptura ocorrida e dos riscos associados à comunidade Fazenda Catete, oferecendo subsídios importantes para ações de mitigação.

Contudo, destaca-se que a ausência de investigações geotécnicas laboratoriais e estudos aprofundados limitou a modelagem da ruptura e a precisão das simulações. Portanto, a realização de investigações geotécnicas complementares e ensaios laboratoriais representaria um ganho significativo para estudos futuros,

permitindo maior detalhamento, calibração e fidelidade das análises, além de promover estratégias mais eficazes de mitigação do risco.

Como avanço potencial para estudos futuros, destaca-se a possibilidade de utilizar drones equipados com tecnologia LiDAR para a obtenção de modelos digitais tridimensionais de alta resolução da área estudada. Essa abordagem permitiria estimar com maior precisão o volume dos blocos desprendidos e o alcance real das quedas, mesmo em regiões cobertas por vegetação densa. O uso do LiDAR complementaria as técnicas de fotogrametria utilizadas, aprimorando a modelagem da ruptura e o entendimento dos mecanismos de instabilidade. Assim, a implementação dessa tecnologia contribuiria para a calibração e validação das análises cinemáticas, aumentando a confiabilidade das simulações e a efetividade das estratégias de mitigação de riscos em áreas urbanas vulneráveis.

Esse aprimoramento é fundamental para avanços técnicos e científicos em estudos de instabilidade de encostas urbanas, contribuindo para a segurança das populações e a sustentabilidade do desenvolvimento urbano em regiões de risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Eppes, M. C.; Keanini, R. (2017). *Mechanical weathering and rock erosion by climate-driven thermal stress.* Nature Reviews Earth & Environment, 2, 1-16. https://doi.org/10.1038/s41561-017-0018-6

Oliveira, F. A.; Gontijo, C. R. (2005). *Termoclastia em regiões tropicais e seu papel na evolução de escarpas*. Revista Brasileira de Geomorfologia, 6(1), 11-22.

CPRM (2012). *Atlas Nacional de Desastres Naturais*. Brasília: CPRM

Fundação GEO-RIO (2020). *Manual de Monitoramento e Estabilidade de Encostas Urbanas*. Prefeitura do Rio de Janeiro

Hencher, S. R.(2015). *Practical Engineering Geology*. CRC Press.

Le Roux, J. P.; Vargas, G. (2005). *Hydraulic behavior of rockfall on slopes with variable weathering*. Engineering Geology, 78(1-2),147-158.

IBGE (2023). *Estatísticas de Desastres Naturais no Brasil*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

Pires, Jonas Machado. *Uso do Lidar (Light Detection and Ranging) para Estimação da Altura de Árvores em Povoados de Eucalipto*. Universidade Federal de Viçosa, 2005.

Rocscience inc. Rockfall - *Rockfall Analysis Software*, versão 4.0. Disponível em: https://www.rocscience.com/software/rocfall.