DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/1

Análise Estatística dos Escorregamentos no Município do Rio de Janeiro Entre 2010 e 2018: Implicações Geológico-Geotécnicas e Antrópicas

Raquel Batista Medeiros da Fonseca
Geóloga, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, raquelbmfonseca@gmail.com

Jenifer Roméro
Geóloga, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, jenifersromero@gmail.com

Aline Pimentel da Silva
Geóloga, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, aline.psilva@prefeitura.rio

Danielle Gondariz
Geóloga, Fundação Geo-Rio, Rio de Janeiro, Brasil, dgondariz@gmail.com

RESUMO
Os movimentos de massa constituem um dos principais processos geológico-geotécnicos responsáveis por desastres naturais em áreas urbanas densamente ocupadas, especialmente em regiões tropicais montanhosas. Este trabalho apresenta uma análise estatística integrada das ocorrências de origem geológica registradas no município do Rio de Janeiro entre 2010 e 2018, com foco em processos de instabilização de encostas. A metodologia consistiu na sistematização de 3.316 laudos técnicos da Fundação Geo-Rio, classificando variáveis como tipo de ocupação, geometria da encosta, litologia e volume mobilizado.Os resultados indicam uma forte influência antrópica, com 47,8% das ocorrências caracterizadas como escorregamentos de solo em taludes de corte e 19,2% como rupturas de estruturas de contenção. Verificou-se que a maioria dos eventos (49,9%) mobiliza volumes reduzidos (até 10 m³), mas apresenta alto risco devido à proximidade com áreas densamente povoadas, como favelas e áreas urbanas estruturadas. As conclusões reforçam a necessidade de políticas públicas voltadas à manutenção contínua e ao planejamento urbano integrado para mitigação de riscos.

PALAVRAS-CHAVE: escorregamentos, ocorrências geológico-geotécnicas, risco geotécnico, análise estatística, laudos de vistoria

ABSTRACT
Landslides represent one of the main geological and geotechnical processes responsible for natural disasters in densely populated urban areas, especially in tropical mountainous regions. The methodology involved systematizing 3,316 technical reports from the Geo-Rio Foundation, classifying variables such as occupation type, slope geometry, lithology, and mobilized volume. The results indicate a strong anthropogenic influence, with 47.8% of occurrences characterized as soil slides in cut slopes and 19.2% as failures of containment structures. It was found that most events (49.9%) involve small volumes (up to 10 m³) but pose high risk due to their proximity to densely populated areas, such as favelas and structured urban areas. The conclusions reinforce the need for public policies aimed at continuous maintenance and integrated urban planning for risk mitigation.

KEYWORDS: landslides, geological-geotechnical occurrences, geotechnical risk, statistical analysis; inspection reports

1 INTRODUÇÃO

Desastres associados a movimentos de massa representam uma das principais ameaças naturais em ambientes urbanos, gerando expressivos prejuízos sociais, econômicos e ambientais. Em regiões tropicais e montanhosas, como o município do Rio de Janeiro, a suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos é intensificada pelas características fisiográficas do terreno, aliadas à elevada pluviosidade e à ocupação antrópica desordenada das encostas. No contexto carioca, os riscos geológicos estão fortemente associados à presença de maciços rochosos, encostas íngremes e solos residuais com espessura variável, geralmente rasos nas porções de topo e meia-encosta, e progressivamente mais espessos nas áreas de sopé e fundos de vale, em função dos processos de intemperismo, transporte e acúmulo de materiais coluvionares e retrabalhados (Coelho Netto, 1995). Além disso, a ocupação irregular e a execução de cortes e aterros sem critérios técnicos adequados alteraram significativamente o equilíbrio natural das encostas, fazendo com que fatores antrópicos se sobreponham, em muitos casos, às causas naturais dos acidentes geotécnicos (Dorsi et al.,2013; Azevedo, 2011;Parizzi, 2011; Fundação GEO-RIO, 2005; Terzaghi & Peck, 1967).

Nesse contexto,os laudos de vistoria técnica elaborados pela Fundação GEO-RIO representam uma das mais consistentes bases de informação sobre ocorrências geológico-geotécnicas em ambiente urbano. Considerando a relevância da análise sistemática de dados como subsídio técnico-científico à formulação de políticas públicas, este artigo tem como objetivo caracterizar estatisticamente as ocorrências geológico-geotécnicas registradas no município do Rio de Janeiro entre os anos de 2010 e 2018, analisando a relação entre tipologia de movimento, condicionantes geológicos e geotécnicos, padrões de ocupação urbana e grau de risco, a partir dos laudos técnicos elaborados pela Fundação Geo-Rio, contribuindo assim para o entendimento integrado dos processos que desencadeiam movimentos de massa em áreas urbanas.

2 METODOLOGIA

A base de dados utilizada é composta pelos laudos técnicos de vistoria elaborados pela Fundação Geo-Rio no período de 2010 a 2018, triados de modo a manter apenas aqueles classificados como ocorrência geológico-geotécnica, resultando em 3.316 laudos. Para cada registro foram sistematizadas informações relativas à localização, tipo de ocupação, tipo de encosta, litologia, tipologia principal de movimento, volume mobilizado e grau de risco. As classificações adotadas seguem os critérios técnicos estabelecidos no Manual Técnico de Encostas da Fundação Geo-Rio (2022). A análise estatística baseou-se em estatística descritiva, com cálculo de frequências relativas e elaboração de gráficos de distribuição simples e multivariados. A tipologia principal de movimento foi adotada como variável de referência nas análises integradas, permitindo avaliar sua relação com os diferentes condicionantes físicos e antrópicos (Fell et al.,2008; Guzzetti et al.,2012).

3 CARACTERIZAÇÃO DAS OCORRÊNCIAS

3.1 Padrões de instabilidade associados ao planejamento territorial e uso e ocupação do solo

As ocorrências registradas entre 2010 e 2018 apresentam distribuição espacial concentrada principalmente nos Maciços da Tijuca (centro geográfco da cidade, abrange Zona Norte, Sul e Oeste), da Pedra Branca (Zona Oeste) e na Serra da Misericórdia (Zona Norte), refletindo a associação entre relevo acidentado e ocupação urbana, conforme figura 1. Temporalmente, o ano de 2010 concentrou 39% do total de registros do período, seguido de outro ponto alto em 2013, o que pode estar associado a eventos pluviométricos intensos. Em anos subsequentes (2014–2018) observa-se queda e estabilização em níveis mais baixos.

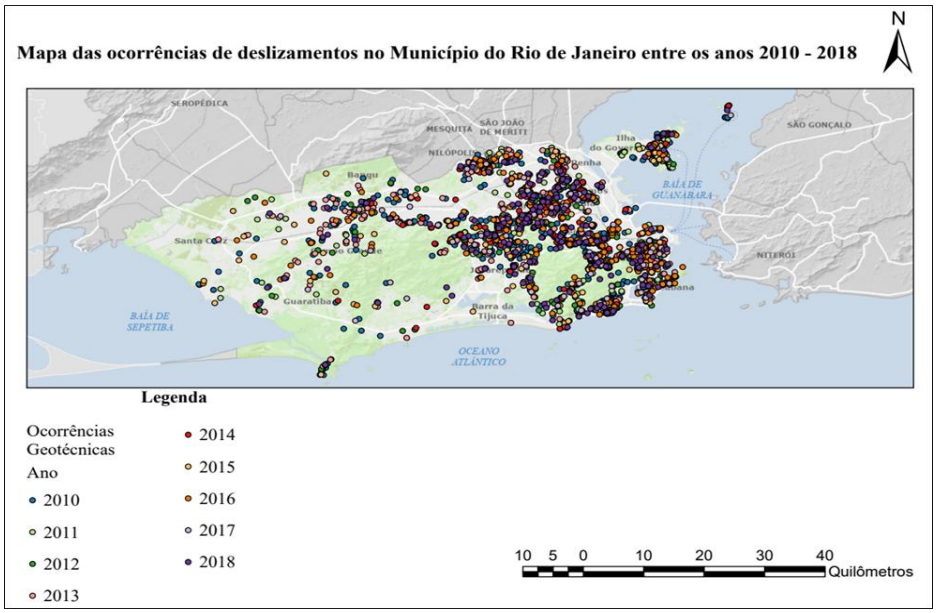


Figura 1 - Distribuição das ocorrências no município do Rio de Janeiro entre 2010 e 2018.

A análise por Áreas de Planejamento confirma esse padrão, com predominância na AP-3, seguida pelas AP-2 e AP-4, refletindo tanto a maior extensão territorial e densidade populacional quanto a ampla ocupação de encostas nessas regiões (Figura 2). Quanto ao uso e ocupação do solo, observa-se que favelas e áreas urbanas formalizadas concentram a maior parte dos registros, com comportamento tipológico semelhante, dominado por escorregamentos de solo em taludes de corte e rupturas de estruturas de contenção, contabilizando respectivamente 31,5% e 24% do total, indicando que a instabilidade não se restringe à ocupação informal (Figura 3a). Esse padrão é reforçado pela análise do tipo de encosta, que revela a predominância expressiva de ocorrências em taludes artificiais, especialmente de corte e aterro, confirmando que a modificação antrópica da geometria original do terreno constitui o principal condicionante dos processos de instabilização em encostas urbanas (Figura 3b).

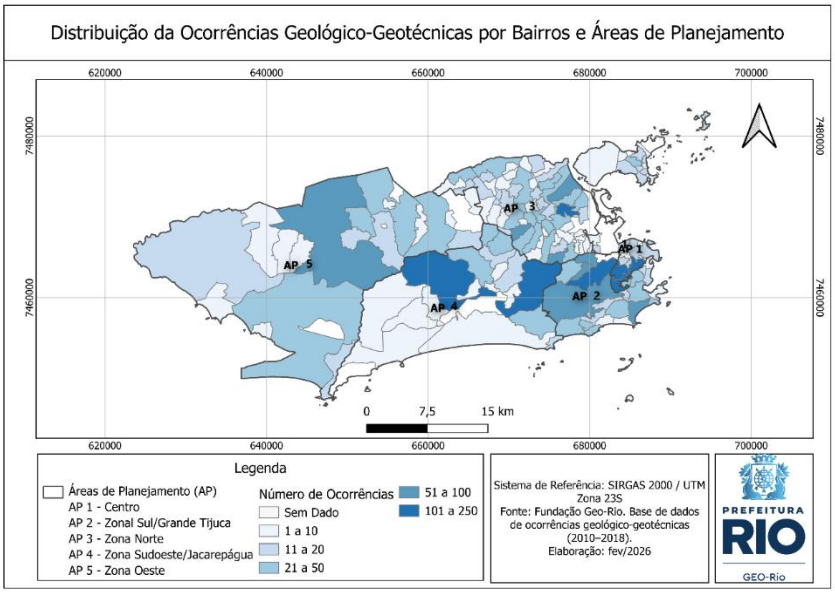


Figura 2- Distribuição das ocorrências por bairros e áreas de planejamento

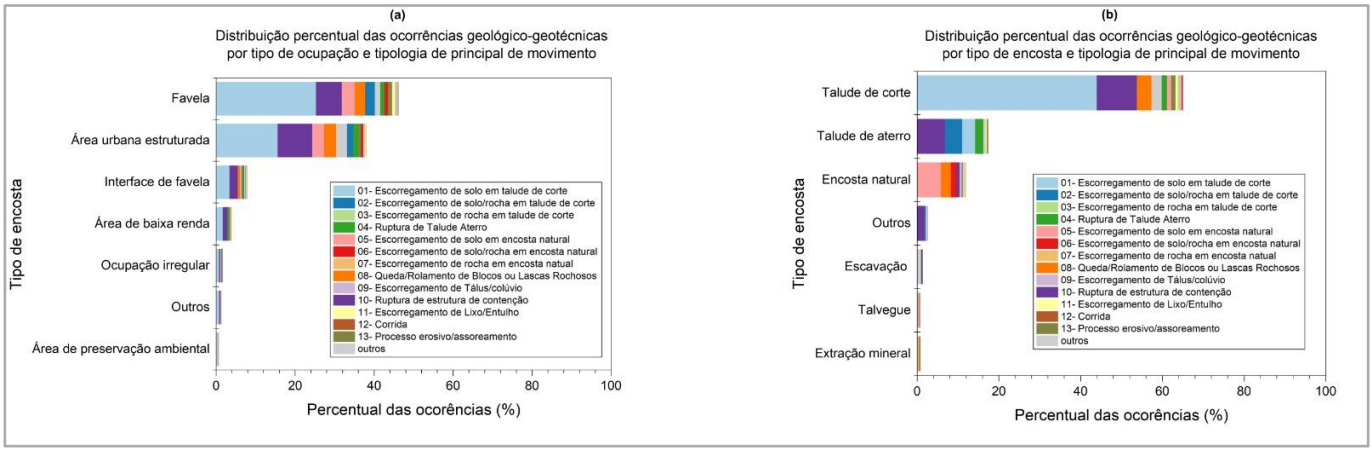


Figura 3 Distribuição das ocorrências por tipo de ocupação (a) e por tipo de encosta (b).

3.2 Tipologias de Movimento de Massa e sua relação com a litologia

A análise da distribuição das tipologias principais de movimento de massa evidencia o predomínio de escorregamentos de solo em talude de corte (47,8%) no conjunto das ocorrências, seguida por ruptura de estrutura de contenção (19,2%) e, em menor proporção, por escorregamentos em encosta natural (7,2%) e quedas de blocos (6,4%). Quando analisada em conjunto com a litologia, figura 4, observa-se que os escorregamentos de solo em talude de corte concentram-se majoritariamente em áreas desenvolvidas sobre rochas gnáissicas e graníticas, refletindo a geologia do município, nas quais predominam solos residuais de espessura variável e heterogênea, favorecendo a ocorrência de rupturas rasas e recorrentes. Destacam-se as unidades Biotita Gnaisse, Gnaisse migmatítico, Gnaisse facoidal e Granito Cinza Porfirítico, 10,22%, 9,4%, 6,9% e 5,1% do total geral, respectivamente. Observa-se participação significativa de rupturas de estruturas de contenção, indicando que a instabilização não decorre apenas de falhas de projeto ou execução, mas também da operação dessas obras sob condições distintas das originalmente previstas, em função de alterações no uso do solo, deficiência de manutenção, modificações na drenagem e introdução de sobrecargas.

Do ponto de vista geotécnico, a predominância de escorregamentos de solo em taludes de corte nas unidades gnáissicas e graníticas está associada à presença de espessos solos residuais heterogêneos e ao controle estrutural herdado da rocha sã. A execução de cortes artificiais expõe perfis originalmente não saturados, que sob a infiltração de água durante eventos de precipitação intensa, sofrem elevação do grau de saturação e redução da resistência ao cisalhamento. A presença de descontinuidades estruturais, aliada a geometrias de corte íngremes, favorece a formação de superfícies preferenciais de ruptura, resultando na recorrência de escorregamentos rasos e localizados. Além disso, a ocorrência significativa de rupturas de estruturas de contenção indica que a instabilidade decorre não apenas do comportamento do maciço natural, mas também da evolução das condições de contorno, incluindo alterações no uso do solo, deficiência de manutenção, modificações na drenagem e introdução de sobrecargas.

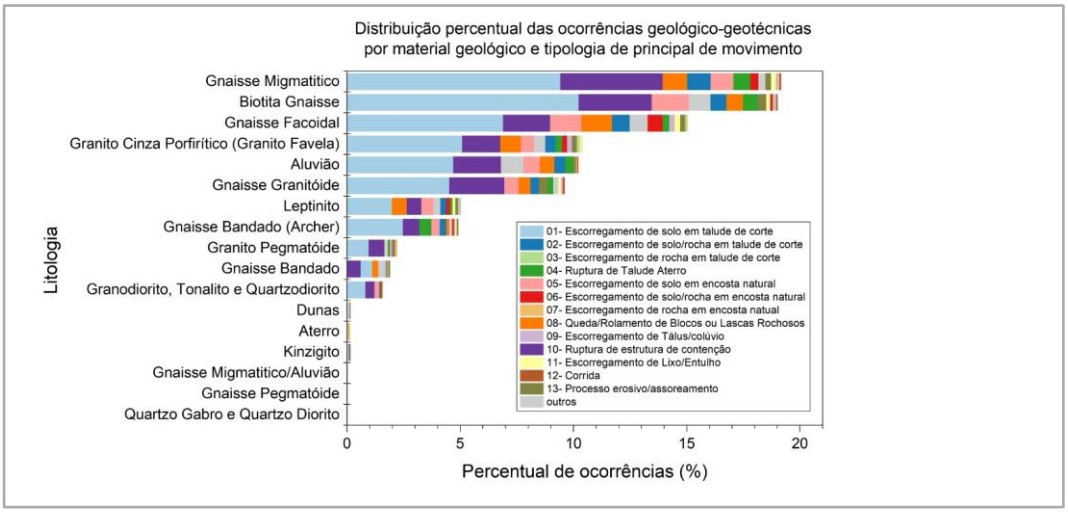


Figura 4 Relação entre litologia e tipologia principal de movimento de massa.

3.3 Magnitude e Risco dos Movimentos de Massa

A correlação entre a tipologia principal de movimento e a categoria de volume mobilizado evidencia o predomínio de eventos de pequeno porte, especialmente aqueles com volumes inferiores a 10 m³, figura 5a, associados majoritariamente aos escorregamentos de solo em taludes de corte, 29,9%. Embora esses eventos sejam individualmente de pequena magnitude, sua elevada frequência confere relevância significativa no contexto da gestão do risco, especialmente quando associados à presença de edificações, vias de circulação e redes de infraestrutura. A recorrência de processos de pequeno volume reflete um estado crônico de instabilidade em diversos setores do município, mais do que a ocorrência esporádica de eventos extremos. Ressalta-se que eventos da categoria D, embora raros, correspondem a situações de elevada severidade, associadas à saturação do maciço sob precipitações intensas, com mobilização de grandes volumes e alto potencial de impacto.

Quando analisada a relação entre tipologia principal e grau de risco, reforça as interpretações anteriores, ao demonstrar que as áreas classificadas como alto risco e médio risco concentram a maior parcela das ocorrências, figura 5b, com predomínio novamente dos escorregamentos de solo em talude de corte concentram a maior parcela das ocorrências classificadas como alto e médio risco,com 43,57 % do total. Esse resultado indica que o grau de risco não está diretamente relacionado apenas à magnitude do evento, mas sobretudo à elevada exposição de elementos vulneráveis nas áreas afetadas, como edificações, vias e infraestrutura urbana. Assim, a combinação entre alta frequência, recorrência espacial e intensa ocupação das encostas faz com que eventos de pequeno volume assumam relevância significativa do ponto de vista da gestão

do risco geotécnico, reforçando a necessidade de estratégias preventivas voltadas à manutenção, monitoramento e controle das intervenções em taludes urbanos.

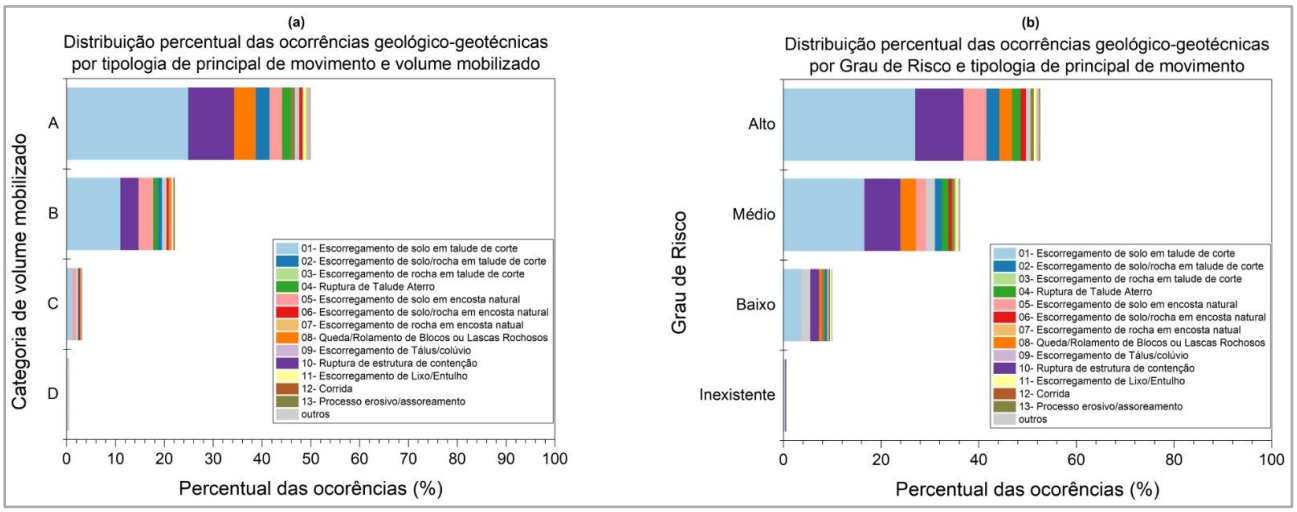


Figura 5 Distribuição de ocorrências de acordo com o volume mobilizado (a) e grau de risco (b).

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos são compatíveis com os modelos conceituais clássicos de instabilização de encostas em ambientes tropicais urbanizados, nos quais a interação entre condicionantes geológicos, regime pluviométrico e intervenções antrópicas desempenha papel central na deflagração dos movimentos de massa (Terzaghi et al., 1996; Wolle & Carvalho, 1989; Azevedo, 2011; Dorsi et al., 2013).

O predomínio de escorregamentos de solo em taludes de corte (47,8%) confirma que a modificação artificial da geometria natural das encostas constitui um dos principais fatores de instabilização. A remoção do suporte lateral para a implantação de moradias altera drasticamente o equilíbrio de tensões do maciço, reduzindo significativamente o seu fator de segurança. Somado a isso, outro achado de elevada relevância geotécnica é a expressiva taxa de rupturas de estruturas de contenção (19,2%). O colapso dessas obras indica, fundamentalmente, duas situações recorrentes: execução empírica sem critérios técnicos adequados e ausência crônica de manutenção associada a sistemas de drenagem ineficientes. A obstrução de drenos e a falha na condução de águas superficiais promovem elevação de pressões neutras no maciço, conduzindo à ruptura estrutural (Guidicini & Nieble, 1984).

A execução de cortes inadequados e a ineficiência das contenções expõem diretamente o maciço à ação contínua dos agentes intempéricos e à dinâmica de infiltração. Nesses cortes, frequentemente expõem-se perfis de solos residuais gnáissico-graníticos originalmente não saturados. Conforme estabelecido classicamente por Barata (1969) e Costa Nunes (1969) para a realidade carioca, e por Lumb (1975) em solos residuais tropicais, a estabilidade temporária de cortes quase verticais nesses materiais é garantida, fundamentalmente, pela sucção matricial. Contudo, sob condições de precipitação intensa, a dinâmica de infiltração atua diretamente na redução dessa sucção à medida que o grau de saturação do solo aumenta. A combinação crítica entre precipitação acumulada antecedente e eventos intensos subsequentes é o principal motor das rupturas, conforme demonstram os estudos clássicos no Sudeste brasileiro (Guidicini e Iwasa, 1976; Tatizana et al., 1987; Pedrosa, 1994; D'Orsi et al., 2013).

O impacto prático desses limiares pluviométricos fica evidente ao se constatar que 39% das ocorrências se concentraram no ano de 2010. Naquele ano, a anomalia pluviométrica de abril causou a saturação generalizada do manto de intemperismo, o que induziu poropressões positivas na interface solo-rocha e deflagrou o movimento ao longo de superfícies de fraqueza pré-existentes.

A interação hidráulica e estrutural, em áreas densamente ocupadas, explica o paradoxo "baixo volume versus alto risco", no qual 49,9% dos eventos mobilizam menos de 10 m³ e, ainda assim, mantêm alto potencial destrutivo. Devido ao adensamento urbano desordenado, mesmo pequenos volumes de solo atingem diretamente a infraestrutura local, maximizando o risco. Corroborando essa dinâmica, Fernandes e Amaral

(1996) e Coelho Netto et al. (2011) destacam que, em relevos com intensa ocupação antrópica, movimentos de massa de pequena magnitude já são suficientes para gerar impactos significativos.

Assim, a instabilidade das encostas urbanas não pode ser atribuída exclusivamente ao comportamento do maciço natural, mas resulta da interação dinâmica entre encosta, obra e ocupação, reforçando o caráter progressivo da degradação geotécnica ao longo do tempo.

6 CONCLUSÃO

A análise estatística dos 3.316 laudos técnicos da Fundação Geo-Rio (2010–2018) demonstra que a instabilidade das encostas no município do Rio de Janeiro está intrinsecamente vinculada ao modelo de expansão urbana e adensamento territorial, abrangendo tanto favelas quanto áreas urbanas estruturadas. Os resultados indicam que a suscetibilidade natural do relevo foi amplificada pelas intervenções antrópicas, refletindo-se no predomínio de escorregamentos em taludes artificiais de corte (47,8%) e na significativa participação de rupturas de estruturas de contenção (19,2%).

Constatou-se um cenário de vulnerabilidade caracterizado por elevada frequência de eventos de pequena magnitude, mas com alto potencial de impacto devido à proximidade com edificações e infraestrutura. Nesse contexto, o risco geotécnico decorre menos da magnitude isolada dos eventos e mais da combinação entre recorrência espacial, exposição e vulnerabilidade urbana.

O banco de dados da Fundação Geo-Rio consolida-se, portanto, como instrumento estratégico de diagnóstico do espaço urbano carioca. Contudo, sua utilidade não deve restringir-se à resposta emergencial em anos de extremos pluviométricos. Ao contrário, deve subsidiar políticas públicas permanentes de planejamento urbano integrado, priorizando: o controle da expansão habitacional em encostas; a manutenção contínua de obras de estabilização e drenagem; a fiscalização de intervenções; e a promoção de programas de educação comunitária voltados à percepção e mitigação de risco.

A gestão do risco em encostas urbanas deve ser compreendida como processo contínuo e preventivo, fundamentado na integração entre geotecnia e planejamento territorial, de modo a reduzir a recorrência e os impactos dos movimentos de massa no município do Rio de Janeiro.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro (Fundação Geo-Rio) por todo o suporte institucional e pela disponibilização do banco de dados que viabilizou esta pesquisa. Um agradecimento especial à todos os técnicos da instituição que, com dedicação e rigor, atuaram arduamente nas vistorias de campo e na elaboração dos mais de três mil laudos técnicos aqui analisados, cujo trabalho é a base para a gestão do risco geológico-geotécnico e para a preservação de vidas no município do Rio de Janeiro

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Augusto Filho, O. (1995) Escorregamento em encostas naturais e ocupadas: Análise e controle. In: Bitar, O. Y. (Ed.) *Curso de Geologia Ambiental*. São Paulo: ABGE/IPT, p. 77-100.

Azevedo, G. F. (2011) Análise da Relação Chuva-Escorregamentos em Regiões Tropicais Montanhosas Urbanas, Caso de Estudo Rio de Janeiro, Brasil. Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 120 p.

Barata, F. E. (1969) Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro. In: Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, México, v. 2, p. 507-516.

Carvalho, C. S., Macedo, E. S., Ogura, A. T. (Orgs.) (2007) Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. 1. ed. Brasília: Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT).

Coelho Netto, A. L., et al. (2011) January 2011: the extreme landslide disaster in Brazil. In: Proceedings of the Second World Landslide Forum, Roma, Itália.

Costa Nunes, A. J. (1969) Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. In: Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, México, v. 2, p. 547-554.

D'Orsi, R. N. (2011) Correlação entre Pluviometria e Escorregamentos no Trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 287 p.

D'Orsi, R. N., Magalhães, M. A., Coelho, R. S., Paes, N. M., Costa, L. C. (2013) Análise dos Escorregamentos em Encostas do Município do Rio de Janeiro Deflagrados por Chuvas Intensas no Ano de 2010. In: VI Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, Angra dos Reis. Anais... p. 453-460.

Fell, R., et al. (2008) Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology, 102 (3-4), p. 85-98.

Fernandes, N. F., Amaral, C. P. (1996) Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: Guerra, A. J. T., Cunha, S. B. (Orgs.) Geomorfologia e Meio Ambiente. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 123-194.

Fundação Geo-Rio (2022) Manual Técnico de Encostas. Rio de Janeiro.

Guidicini, G., Iwasa, O. Y. (1976) Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 48 p. (Publicação 1080).

Guidicini, G., Nieble, C. M. (1984) Estabilidade de taludes naturais e de escavação. São Paulo: Edgard Blücher / Ed. da Universidade de São Paulo.

Guzzetti, F., et al. (2012) Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Earth-Science Reviews, 112, p. 42-66.

Jones, F. O. (1973) Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras Escarpment, Brazil. Washington: United States Geological Survey Professional Paper 697, 42 p.

Lumb, P. (1975) Slope failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, 8, p. 31-65.

Parizzi, M. G., et al. (2010) Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG. Geografias, Belo Horizonte, 6 (2), p. 49-68.

Pedrosa, M. G. A. (1994) Análise de correlações entre pluviometria e escorregamentos de taludes. Tese de Doutorado em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 343 p.

Tatizana, C., Ogura, A. T., Cerri, L. E. S., Rocha, M. C. M. (1987) Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, município de Cubatão. In: 5º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo: ABGE. Anais... v. 2, p. 225-236.