

INVENTÁRIO DE MOVIMENTOS DE MASSA NA AVENIDA NIEMEYER, RIO DE JANEIRO/RJ

INVENTORY OF MASS MOVEMENTS ON AVENIDA NIEMEYER, RIO DE JANEIRO/RJ

RESUMO

Os movimentos de massa em encostas urbanas do Rio de Janeiro são comuns na história do município, exemplificados pelos eventos marcantes nos verões de 1966, 1967, 1988, 1996, 2011 e 2019. As características geológicas e geomorfológicas indicam a predisposição a esses processos, com a água desempenhando papel crucial e a sociedade atuando como catalisadora. Apesar da existência de ações institucionais para registro das ocorrências, ainda há desencontro e dificuldade no acesso aos dados. Isso é mais evidente nas encostas da Avenida Niemeyer, importante via de ligação entre a zonas sul e oeste da cidade. Este trabalho tem por objetivo inventariar, de acordo com dados da Fundação Geo-Rio e Sistema Alerta Rio, e apresentar a distribuição das ocorrências de movimentos de massa registrados no entorno da Avenida Niemeyer, Rio de Janeiro/RJ, descrevendo os eventos (tipologia, materiais mobilizados e danos associados) e as características topográficas das encostas afetadas. Foram identificadas 35 ocorrências entre 1993 e 2022, que se concentraram, majoritariamente, de dezembro a abril, sobretudo escorregamentos envolvendo solo. A caracterização topográfica mostrou que 94% dos casos ocorreram em encostas com ângulo entre 0° e 30°, 88% se concentraram nas retilíneas e 91% estavam orientadas a sul, revelando forte controle topográfico.

Palavras-Chave: Encostas urbanas, Escorregamento Translacional, Escorregamento Rotacional.

ABSTRACT

Mass movements on urban slopes in Rio de Janeiro are common throughout the municipality's history, exemplified by significant events in the summers of 1966, 1967, 1988, 1996, 2011, and 2019. Geological and geomorphological characteristics indicate a predisposition to these processes, with water playing a crucial role and society acting as a catalyst. Despite institutional actions to record occurrences, there are still discrepancies and difficulties in accessing the data. This is more evident on the slopes of Avenida Niemeyer, an important road connecting the south and west zones of the city. This study aims to inventory and present the distribution of mass movement occurrences recorded around Avenida Niemeyer, Rio de Janeiro/RJ, describing the events (typology, mobilized materials, and associated damages) and the topographic characteristics of the affected slopes. A total of 35 occurrences were identified between 1993 and 2022, concentrated from December to April, mainly involving soil slides. Topographic characterization showed that 94% occurred on slopes with angles between 0° and 30°, 88% on straight slopes, and 91% oriented to south, revealing a strong topographic control.

Keywords: Urban hillslopes, Translational landslides, Rotational landslides.

 Juliana Soares Barbosa ¹
 Maria Carolina Villaça Gomes ²

1, 2 – Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Correspondência:

barbosa.juliana@posgraduacao.uerj.br

Recebido em: 22-07-2024

Aprovado em: 18-10-2024



Este é um artigo de acesso aberto distribuído sob os termos da Licença Creative Commons BY-NC-SA 4.0, que permite uso, distribuição e reprodução para fins não comerciais, com a citação dos autores e da fonte original e sob a mesma licença.



INTRODUÇÃO

A história do município do Rio de Janeiro é marcada pela ocorrência de movimentos de massa, em especial nos terrenos montanhosos marcados pela ocupação humana. Os eventos que afetaram severamente as encostas da cidade nos verões de 1966, 1967, 1988, 1996 e 2019, quando centenas de movimentos de massa atingiram encostas naturais e ocupadas (MEIS e SILVA, 1968; VIEIRA e FERNANDES, 2004), demonstram a forte correlação entre índices pluviométricos elevados, a variada gama de materiais e processos e a sua deflagração.

O cenário geológico-geomorfológico, por si só, já evidencia a grande predisposição aos movimentos de massa, como a presença de encostas íngremes recobertas por solos rasos (GEO-RIO, 2020), além da densa rede de descontinuidades litológicas associadas a fraturas e juntas de alívio (GEO-RIO, 2020). A elevada suscetibilidade aos movimentos de massa se torna mais evidente a partir do fim do século XIX e ao longo do século XX, como resultado do processo mais intenso de ocupação residencial dos morros, originando um tipo de habitação popular marcante na paisagem da cidade: as favelas (ABREU, 1987). A ocupação das encostas se mostra, desta forma, como um catalizador das ocorrências de movimentos de massa (MEIS e SILVA, 1968a,b; BARATA, 1969; COSTA NUNES, 1969; JONES, 1973; BLAUDT et al., 2023, NEGRI, 2023).

Em consequência dos sucessivos desastres associados não somente aos movimentos de massa, mas também a inundações, foi criada, no ano de 1966, a Fundação Geo-Rio, órgão da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro que tem por objetivo garantir a segurança geotécnica das encostas e da população (GUANABARA, 1966). Para dar suporte nas atividades da referida instituição, foi implementado, em 1996, o sistema Alerta Rio, responsável pelo monitoramento das condições meteorológicas e emissão de alertas em caso de risco a movimentos de massa e inundações (GEO-RIO, 2022).

No âmbito da Geo-Rio, uma vez solicitadas as vistorias técnicas, as ocorrências identificadas são registradas, sistematizadas em banco de dados interno da instituição e disponibilizadas, posteriormente, a partir de relatórios técnicos anuais (ALERTA RIO,

s.d). Estes contam com informações como a relação dos eventos pluviométricos significativos anuais, números de ocorrências por tipologia, volume mobilizado, bairro e avaliações de dados. No entanto, ainda que haja um registro sistemático das ocorrências, por vezes, as informações apresentam problemas e desencontros, o que, do ponto de vista da sua utilização com fins de ordenamento territorial, pode limitar sua efetividade.

Quando uma mesma localidade é atingida de forma recorrente, os problemas com os dados se mostram ainda mais significativos. Um exemplo disso é a Avenida Niemeyer, localizada na Zona Sul do município do Rio de Janeiro, que vem sofrendo com sucessivas ocorrências de movimentos de massa nas últimas décadas. A exemplo disso, o ano de 2019, por exemplo, foi significativo para a história da avenida, quando uma série de movimentos de massa atingiu as encostas adjacentes à via, resultando na morte de 2 pessoas, danos a imóveis, bens públicos e a sua interdição por cerca de 9 meses, somente sendo reaberta após a conclusão de diversas obras de contenção. A despeito disso, são raros os registros acadêmicos deste evento que marcou a história da AN e que teve grande repercussão midiática.¹

Desta forma, este trabalho tem por objetivo inventariar e apresentar a distribuição espacial das ocorrências associadas a movimentos de massa registrados no entorno da Avenida Niemeyer, no Rio de Janeiro/RJ, descrevendo os eventos (tipologia, materiais mobilizados e danos associados) e a caracterização topográfica das encostas.

ÁREA DE ESTUDO

A Avenida Niemeyer (AN) está localizada na Zona Sul do município do Rio de Janeiro e se constitui como uma importante via arterial da cidade, estabelecendo a conexão entre os bairros Leblon e São Conrado e passando pelas imediações do bairro Vidigal (Figura 1). Em grande parte de sua extensão, a AN se encontra exposta à ocorrência de diferentes tipos de processos nas íngremes encostas que pertencem ao

¹ COELHO, Gabriela. Após nove meses interditada, avenida Niemeyer é reaberta no Rio de Janeiro. CNN, Brasília, 7 mar. 2020. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/apos-nove-meses-interditada-avenida-niemeyer-e-reaberta-no-rio-de-janeiro/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

NACIONAL, Jornal. Deslizamentos na avenida Niemeyer atingem 2 ônibus e 2 pessoas morrem. G1, Rio de Janeiro, 7 fev. 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2019/02/07/deslizamentos-na-av-niemeyer-atingem-2-onibus-e-2-pessoas-morrem.ghtml>. Acesso em: 28 ago. 2024.

morro Dois Irmãos, que está em contato direto com o oceano. Por conta deste cenário, a área concentra diversas ações dos órgãos de segurança pública e geotecnia para a implementação e elaboração de medidas de prevenção e mitigação aos movimentos de massa² (GEO-RIO, s.d).

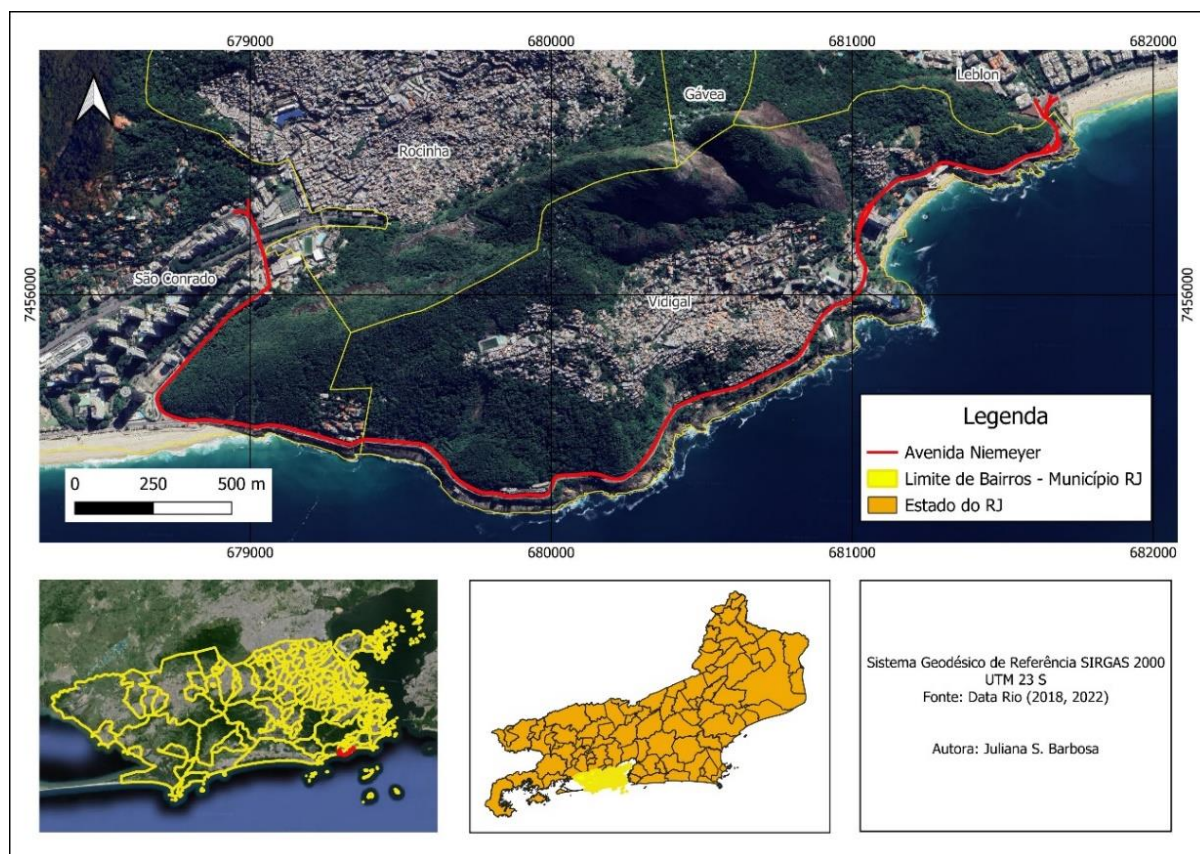


Figura 1 – Localização da Avenida Niemeyer, RJ

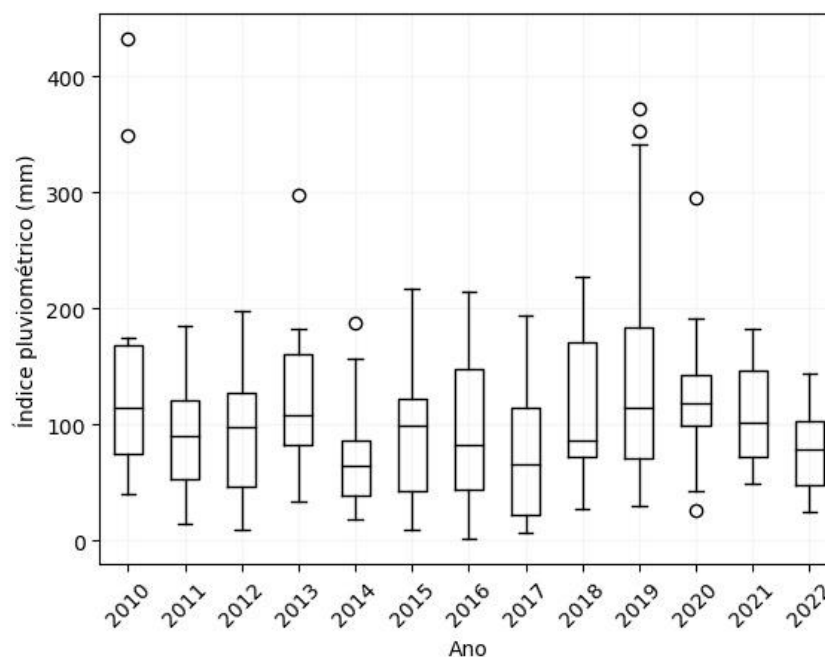
Fonte: Elaborado pela autora (2023)

No que se refere às características climáticas, a partir da classificação mais recente de Köppen para o Brasil (ALVARES et al., 2013), o Rio de Janeiro se caracteriza como um clima tropical (Aw), de verões quentes e chuvosos, inverno seco, com as temperaturas médias anuais acima de 22°C (EMBRAPA, 1986 e 1988). Dentre os fatores que condicionam estas tipologias climáticas estão a proximidade à linha de costa e orografia, que dão ao clima do município características de uma área transicional (SERRA e RATISBONNA, 1941; DE MARTONNE, 1944; BERNARDES, 1951; SERRA, 1970a; NIMER, 1989; SANT'ANNA NETO, 2005). Dados coletados entre os anos 2010 e 2022

² NIEMEYER, Avenida. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível: <https://prefeitura.rio/tag/avenida-niemeyer/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

na Estação Pluviométrica do Vidigal, disponibilizados no site do Alerta Rio, sistema de alerta de chuvas intensas e deslizamentos de encostas da Prefeitura, e da Geo-Rio, mostram valores totais acumulados de pluviosidade acima de 1.000 mm/ano, em média (Figura 2).

Figura 2 – Total acumulado anual na estação Vidigal, no período 2010-2022



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Em termos geológicos, a área da AN é constituída de rochas oriundas da colisão continental Pré-Cambriana (VALERIANO, 2006; VALERIANO et al. 2007ab). Como herança dos esforços compressivos e distensivos, há uma densa rede de lineamentos, tendo como exemplo uma falha regional em direção N65E que define o limite NO do morro (SOBREIRA, 1989). Também são observadas outras falhas com direção NO/SE que cortam o morro em toda sua extensão, orientando vales e escarpas (SOBREIRA, 1989). Além disso, é notável a presença de juntas de alívio de tensão e fraturas no terço superior do morro Dois Irmãos, resultando em uma aglomeração de escarpas rochosas íngremes e domos (FERNANDES et al., 2010). Entre litologias ígneas e metamórficas, nas imediações da AN predominam os gnaisses facoidais, que compreendem biotita ortognaisses de granulação grosseira, bem foliada e de estrutura oftálmica (GEO-RIO, 2020). Frequentemente, o mergulho das rochas tem direção principal de sul.

A avenida foi construída nas imediações do morro Dois Irmãos, uma feição geomorfológica de grande destaque na paisagem carioca, que está inserido na Unidade Geomorfológica Maciço da Tijuca, circundado pelas baixadas fluviomarinhas. A unidade é caracterizada por alinhamentos de cristas na direção OSO-LNE, pelo padrão de drenagem dendrítico a retangular e aspecto dissecado do maciço (DANTAS, 2001). O morro contém intensas falhas e apresenta diversas escarpas rochosas. A morfologia das encostas está fortemente associada aos processos intempéricos, notadas por meio da esfoliação esferoidal, resultando na formação de lascas em camadas concêntricas semelhantes a cascas de cebola e depósitos nas encostas. Essa evolução geomorfológica é evidente nos afloramentos rochosos, caracterizados pelas escarpas convexas (SOBREIRA, 1989).

Em termos geotécnicos, a extensão do morro que é atravessada pela avenida é caracterizada pela presença de afloramentos rochosos do tipo fraturado, depósitos de tálus e colúvio, encostas recobertas por solos residuais maiores de 2 metros, topos com solos residuais menores de 2 metros e zonas de concentração de blocos (DOURADO et al., 1997). Em relação aos solos, são observadas associações de argissolos vermelho-amarelos eutróficos rasos, neossolos litólicos de substrato gnáissico, com cerca de 30 cm de espessura (SOBREIRA, 1989; EMBRAPA, 2018).

De acordo com mapas de cobertura vegetal e uso das terras do Data Rio (2018), as encostas da AN estão parcialmente cobertas por Floresta Ombrófila Densa em estágio médio e Vegetação Secundária, sendo esta última originada de reflorestamento. A ocupação do morro em decorrência do desenvolvimento da favela do Vidigal resultou na devastação de uma parcela expressiva da vegetação, sobretudo após a abertura da AN. Porém, sua presença ainda é muito significativa na área (SOBREIRA, 1989).

O primeiro projeto da Avenida Niemeyer como uma via de transporte foi idealizado no ano de 1891 pela Companhia Viação Férrea Sapucaí, cujo objetivo era construir uma estrada de ferro com extensão de 193 km que ligasse da Zona Sul do Rio de Janeiro ao município de Angra dos Reis (SOBREIRA, 1989). O projeto não seguiu adiante por conta das muitas dificuldades técnicas encontradas para a execução de uma obra de tamanho porte nesta condição geomorfológica (SOBREIRA, 1989). Em 1915, o projeto foi retomado e reconfigurado pelo engenheiro Conrado Jacob Niemeyer para uma

via urbana, sendo concluída e entregue em 1916 pelo então prefeito do Distrito Federal, Azevedo Sodré. A AN desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento e expansão da favela do Vidigal ao longo das últimas décadas (SOBREIRA, 1989).

A ocupação por moradias no Morro do Vidigal, antigamente conhecido como Favela da Rampa da Niemeyer, se intensifica entre as décadas 1940 e 1970, cujas principais causadoras foram a remoção de outras favelas na região metropolitana e a chegada de migrantes que, a posteriori, traziam suas famílias para morar na mesma localidade (SOBREIRA, 1989). Na atualidade, a população da favela do Vidigal conta com cerca de 13 mil habitantes (IBGE, 2010). Com sua extensão de 4.760 m, é a única via de acesso da população às suas moradias e que, quando tem suas encostas afetadas, causam grandes transtornos para a mobilidade da população.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

As etapas deste trabalho se dividiram em: (I) levantamento de ocorrências de movimentos de massa na AN; (II) caracterização pluviométrica; e (III) caracterização topográfica.

Levantamento de ocorrências de movimentos de massa na AN

Os dados referentes às ocorrências de movimentos de massa e seus atributos foram disponibilizadas pela Fundação Geo-Rio e pelo Alerta Rio, cujos registros possuem informações sobre logradouro, laudo, coordenadas, data e hora da ocorrência, data do pedido de vistoria, tipologia, volume mobilizado, consequências materiais e número de vítimas. Todos os elementos presentes na planilha têm como origem o laudo de vistoria da Geo-Rio (Figura 3). A princípio, os dados passaram por um tratamento, de forma a padronizar a planilha para sua melhor compreensão e análise.

Cabe destacar que as tipologias de movimentos de massa consideradas pela Geo-Rio (2020) são (I) queda: separação de uma massa ao longo de uma superfície sob efeito da gravidade; (II) deslizamento: movimento de massas ao longo de uma superfície de ruptura bem definida; e (III) corrida: ampla gama de movimentos semelhantes a um fluxo viscoso, com velocidade e teor de umidade variável.

Caracterização pluviométrica

Os dados de chuva utilizados são coletados a partir da Estação Pluviométrica do Vidigal, operada pelo Alerta Rio e disponibilizados na página “Relatórios Anuais de Chuva”³ no site do próprio Sistema, pertencem à série temporal 2010-2022. Este conjunto de dados foi confrontado com as informações referentes às ocorrências, de acordo com os meses e anos informado no inventário, com objetivo de verificar a correlação entre os altos índices pluviométricos e a deflagração dos movimentos de massa identificados.

Caracterização topográfica

Com objetivo de identificar as características topográficas das áreas afetadas pelos movimentos de massa registrados, foram utilizados os dados espaciais de pontos cotados, isolinhas e hidrografia, disponibilizados pelo Instituto Pereira Passos (IPP) e pelo Data Rio na escala 1:10.000, de forma a gerar um modelo digital de elevação (MDE), utilizando a ferramenta “Topo to raster”.

A partir do MDE e com a utilização do software ArcMap, foram gerados os seguintes atributos topográficos: (I) declividade, utilizando a ferramenta “Slope”; (II) curvatura, a partir da ferramenta “Curvature” e; (III) aspecto, utilizando a ferramenta “Aspect” (Figura 4). Após a criação das bases, foram alteradas a simbologia e caracterização de cada um, de forma a tornar mais clara sua interpretação e análise. Foram adotadas classes para cada atributo topográfico com base em outros trabalhos que investigaram o controle geomorfológico na deflagração de movimentos de massa (ex. VIEIRA *et al.*, 2010; NERY e VIEIRA, 2014).

³ RIO, Alerta. Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível: <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/documentos/relatorios-de-chuva/>. Acesso em: 28 ago. 2024.

Figura 3 – Modelo de laudo de vistoria

- 1** – Local (AA, AP, Favela, Setor); 1.1 – Ponto de referência; 1.2 – UTM (23K; SIRGAS 2000);
- 2** – Data do pedido; Data da vistoria;
- 3** – Origem/Motivo do pedido;
- 4** – Solicitante; Telefone;
- 5** – Tipo de ocorrência (ocorrência geotécnica, possibilidade de ocorrência); Data; Hora
- 6** – Aspectos regionais:
- 6.1 – Tipo de ocupação (favela, área urbana estruturada, área de preservação ambiental, área não ocupada, loteamento irregular, interface de favela, outras); 6.1.2 – Densidade ocupacional (alta, média, baixa);
- 6.2 – Tipo de vegetação (arbórea, arbustiva, rasteira, nenhuma); 6.2.1 Densidade (alta, média, baixa)
- 6.3 – Drenagem (natural, construída, inexistente); 6.3.1 – Condições (satisfatória, insuficiente, obstruída, danificada)
- 6.4 – Relevo (escarpado, montanhoso, ondulado, suave); 6.4.1 – Perfil da encosta (côncavo, convexo, retilíneo)
- 7** – Características locais:
- 7.1 – Sítio vistoriado (encosta natural, talude de corte, talude de aterro, talvegue, escavação, extração mineral, outros);
- 7.2 – Geometria (altura, largura, inclinação);
- 7.3 – Obras de contenção (sim – pública/privada, não);
- 7.4 – Condições de umidade (seco, úmido, saturado, com surgência, tubulação rompida);
- 7.5 – Natureza do material: rocha (sã, alterada, fraturada), solo (com trincas, sem trincas) / espessura estimada (m); bloco (tipo de apoio, forma, volume); tálus, lascas, aterro, entulho, lixo;
- 8** – Características da ocorrência ou situação:
- 8.1 – Situação (possibilidade de ocorrência com atingimento de moradias, prédios ou bens públicos; possibilidade de ocorrência sem atingimento de moradias, prédios ou bens públicos; ocorrências); Volume (m³); 8.1.1 – Grau de risco (alto, médio, baixo, inexistente); 8.1.2 – Número de pessoas beneficiadas; 8.1.3 – Nº de interdições (unidade habitacional, acessos, outros); 8.1.4 – Nº de solicitações para demolição;
- 8.2 – Tipologia da ocorrência (escorregamento de solo, escorregamento de lixo/entulho; escorregamento de rocha; escorregamento em tálus/colúvio; ruptura de talude de corte; ruptura de talude aterro; ruptura de obras de contenção; deslocamento de blocos ou lascas; corridas de massa; processo erosivo; outros);
- 8.3 – Possível ocorrência (escorregamento de solo, escorregamento de lixo/entulho; escorregamento de rocha; escorregamento em tálus/colúvio; ruptura de talude de corte; ruptura de talude aterro; ruptura de obras de contenção; deslocamento de blocos ou lascas; corridas de massa; processo erosivo; outros);
- 8.4 – Superfície de deslizamento (sobre solo, sobre rocha, sem superfície definida);
- 8.5 – Consequências (obstrução de vias, danos a bens particulares, danos a bens públicos, riscos para terceiros, sem danos);
- 8.6 – Vítimas (vítimas fatais; vítimas não fatais); Número;
- 8.7 – Descrição da ocorrência ou situação;
- 9** – Providências

Fonte: Modificado Geo-Rio (2019)

Figura 4 – Classes adotadas para cada base temática

Mapa	Classes
Declividade (°)	0 – 30 / 30 – 40 / 40 – 50 / 50 – 70
Curvatura	Côncava / Retilínea / Convexa
Aspecto	N / NE / E / SE / S / SO / O / NO

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

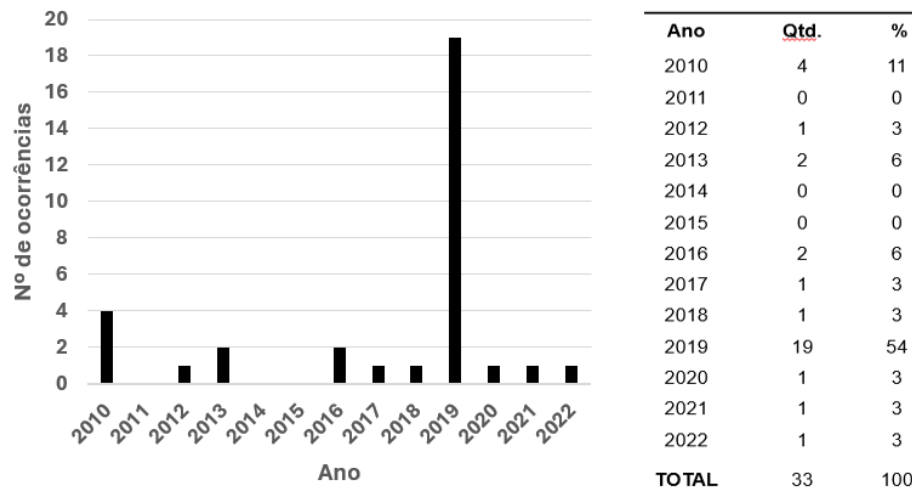
RESULTADOS

A partir da análise dos dados supramencionados, foram encontrados os registros de 35 ocorrências de movimentos de massa na Avenida Niemeyer entre os anos 1993 e 2022. Destas, 33 foram descritas pela Fundação Geo-Rio a partir do registro nos laudos de vistoria pós-evento, enquanto 2 ocorrências, datadas de 1993 e 1996, possuem descrição em documentos oficiais do Alerta Rio, mas não dados de localização. Outras 5 ocorrências constam nos relatórios anuais de escorregamentos do Alerta Rio entre os anos 2010 e 2015, porém, como o levantamento foi feito com base nos bairros adjacentes à avenida, não é possível saber se as encostas atingidas estão às margens da AN e, portanto, não foram contabilizadas neste trabalho.

É possível observar na Figura 5 uma distribuição dos números de ocorrências ao longo do período considerado, porém há uma concentração significativa no ano 2019, em que uma série de escorregamentos atingiu as encostas da AN no dia 7 de fevereiro e culminou na obstrução da via, danos a bens e 2 óbitos ⁴. Com relação à distribuição por mês, verifica-se uma maior concentração das ocorrências a partir de dezembro até abril, com destaque para fevereiro, no qual geralmente se concentram os maiores índices de chuva (Figura 6). Com os dados mensais obtidos do Alerta Rio sobre a pluviometria na estação do Vidigal, verifica-se que, para o ano 2019, houve um acúmulo de 372,8 mm em fevereiro, 352,6 mm em abril e 111,2 mm em maio. Já para 2010, o segundo ano com maiores quantidades de ocorrências, o mês mais chuvoso foi abril, no qual ocorreram 3 dos 4 casos identificados, com acumulado mensal de 432,6 mm.

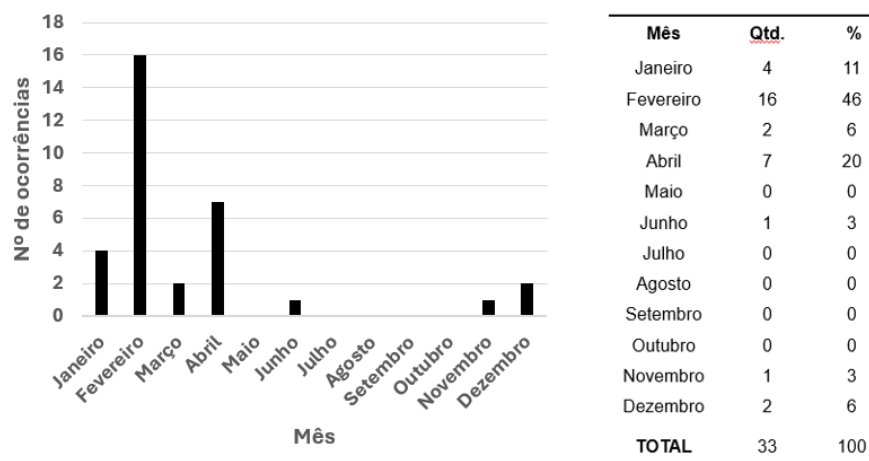
⁴ ARAÚJO, G. Avenida Niemeyer é interditada após novo deslizamento de terra. G1, 2019. Disponível em: <<https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2019/05/16/avenida-niemeyer-e-fechada.ghml>>. Acesso em: 29 de maio de 2023.

Figura 5 – Quantidade de ocorrências por ano



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Figura 6 – Número de ocorrências por mês



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

As tipologias dos movimentos de massa descritas nos relatórios pós-evento se caracterizam, resumidamente, em: escorregamentos, deslocamento de blocos e lascas, ruptura de talude, corridas de massa, processo erosivo e ruptura de obras de contenção/canaletas. É notório que os escorregamentos são a tipologia majoritária, concentrando 28 ocorrências, sendo o solo o material mobilizado, em sua maioria (Tabela 1). Destaca-se que, no ano de 2019, aquele que com o maior número de ocorrências, além do solo, também foram registrados lascas, árvores, lixo e entulhos como materiais deslocados em todos os casos do dia 07 de fevereiro. Observa-se que o registro da tipologia “Ruptura de Obras de Contenção/Canaletas”, presente em 8 ocorrências, não se encaixa nas classificações de movimentos de massa mais usuais.

Tabela 1 – Quantidade por tipologia e por material (Cabe destacar que uma mesma ocorrência pode se encaixar em mais de uma tipologia)

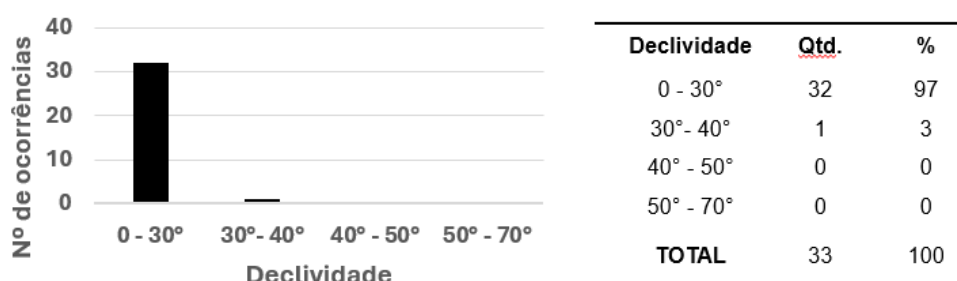
Tipologia	Qtd.	%
Escorregamentos	28	80
Ruptura de obras de contenção	8	23
Deslocamento de blocos ou lascas	5	14
Ruptura de talude corte	2	6
Processo erosivo	20	57
Ruptura de canaleta	1	3
Material	Qtd.	%
Solo	28	80
Lixo e entulho	17	49
Lascas	20	57
Árvores	17	49
Tálus/colúvio	3	9
Blocos	4	11
TOTAL	35	100

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

No que se refere às características topográficas das áreas afetadas pelos movimentos de massa nas encostas adjacentes à AN, observou-se que o morro Dois Irmãos possui seus picos com declividade máxima de 72°, que se torna mais suave à medida que as elevações diminuem, com valores entre 0° na zona costeira e 30°. Embora a face do morro voltada para SE, parcialmente ocupada pela favela do Vidigal, apresente uma declividade menor do que a face voltada para o quadrante norte, ou seja, para a favela da Rocinha e para São Conrado, predominam valores médios elevados, variando entre 0° e 50°. As ocorrências de movimentos de massa se concentraram em aproximadamente 94% nas declividades entre 0° e 30°, seguida por pontuais registros entre 30° e 40° (Figura 8). Nessas áreas, predominam as classes de cobertura vegetal Floresta Ombrófila Densa, Formação Pioneira com influência marinha, Vegetação arbórea não florestal (DATA RIO, 2018) e os afloramentos rochosos, principalmente os gnaisses facoidais, marcados por fraturas (DOURADO et al., 1997).

As encostas possuem uma significativa heterogeneidade no que tange à sua curvatura, possuindo uma acentuada convexidade nos topos e ombros do morro Dois Irmãos, enquanto do na encosta predominam as curvaturas retilíneas e na base da encosta vertentes côncavas. As ocorrências identificadas se concentraram em cerca 88% nas formas retilíneas (Figura 9), uma vez que os setores convexos estão associados aos topos e as curvaturas côncavas estão muito concentradas em áreas fortemente urbanizadas (impermeabilizadas), o que dificulta o processo de infiltração de água no solo e, conseqüentemente, o desencadeamento de movimentos de massa nestes setores das encostas.

Figura 8 – Quantidade de ocorrências por classe de declividade



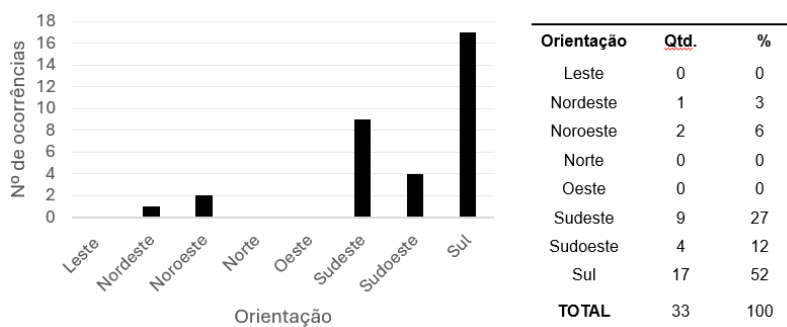
Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Figura 9 – Quantidade de ocorrências por classe de curvatura



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Figura 10 – Quantidade de ocorrências por classe de orientação.



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

Realizando uma avaliação mais aprofundada nas principais tipologias identificadas através dos dados levantados, nas ocorrências registradas como “escorregamentos de solo” houve a mobilização de volumes entre 8 e 400 m³, tendo provocado danos a bens públicos e particulares, riscos para terceiros e obstrução de vias. No que se refere às suas características topográficas, se concentraram na classe de declividade de 0° a 30°, sobretudo no terço médio das encostas.

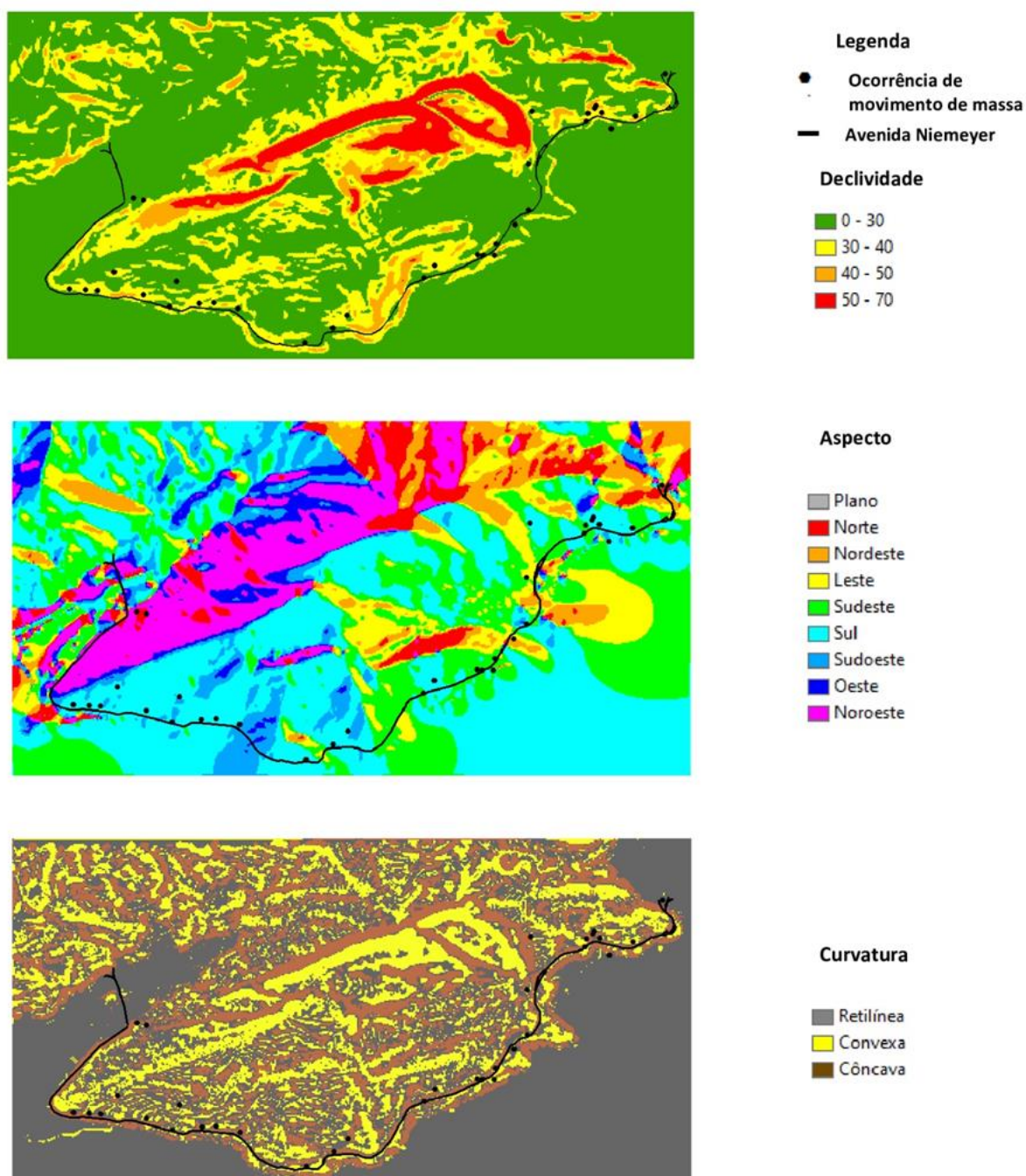
Por sua vez, os casos que foram catalogados como “escorregamentos tálus/colúvio” tiveram o volume de materiais mobilizado variando entre 12 e 40 m³, provocando danos a bens públicos e particulares e obstrução de vias. Em relação à sua classificação de declividade, os casos se concentram nas angulações de 0° a 30°, principalmente próximo ao sopé das encostas.

As ocorrências classificadas enquanto “deslocamento de blocos e lascas” variam com o volume de materiais deslocados de 0,01 a 8 m³, tendo como consequências os danos a bens públicos e obstrução de vias, sobretudo. Em relação à declividade, estas ocorrências se concentram mais próximas à base das encostas, também entre as angulações de 0° e 30°.

Os episódios registrados como “ruptura de contenção” tiveram volume mobilizado variando entre 0,01 e 20 m³, provocando danos a bens públicos e particulares e obstrução de vias. Acerca de sua classificação de declividade, enquadram-se entre as angulações de 0° e 30°, concentrando-se do meio para a base das encostas.

Por fim, nas ocorrências classificadas enquanto “escorregamento de solo / escorregamentos translacionais (solo sobre rocha) carreando lascas, árvores, lixo e entulho em alguns pontos”, sendo esta classificação mais frequente nos registros da Geo-Rio, houve mobilização de material com volume variando entre 20 e 2000 m³, causando consequências como danos a bens públicos e particulares, riscos para terceiros, obstrução de vias e casos de mortes. Sobre suas características topográficas, os casos concentraram-se entre as angulações de 0° e 40° em variadas posições das encostas, mas, principalmente, no terço médio.

Figura 11 – Características topográficas das encostas ao longo da AN



Fonte: Elaborado pela autora (2024)

DISCUSSÃO

O site do Alerta Rio dispõe de relatórios anuais de escorregamentos no município do Rio de Janeiro de 2010 a 2015, fazendo um levantamento de todas as ocorrências no período em questão, relação dos eventos pluviométricos significativos (EPS), acumulados pluviométricos e número, tipologia e categoria do volume mobilizado por bairro. Por meio destes documentos disponibilizados publicamente foi possível realizar um levantamento prévio das ocorrências de movimentos de massa nos bairros adjacentes à Avenida Niemeyer, no entanto, como os registros são generalizados por bairro, não foi possível reconhecer se as encostas atingidas em todos os casos estão às margens da AN. A partir do ano de 2016, só foi possível obter os dados a partir da base de dados da Fundação Geo-Rio, uma vez que os relatórios de anos recentes não estão disponíveis para consulta no site. Com o cruzamento dos dados advindos dos relatórios e da planilha, foi obtido o total das 35 ocorrências consideradas.

Acerca dos percentuais levantados das tipologias e materiais deslocados em relação às 35 ocorrências, ficaram em evidência os escorregamentos em solo residual, respectivamente, estando de acordo com o manual da Geo-Rio que afirma que o processo de “Deslizamentos de Solo Residual, Depósitos de Tálus/Colúvio e Lixo” é a tipologia predominante no município do Rio de Janeiro. Importante também destacar as numerosas ocorrências com menção ao lixo e entulho como material deslocado (49%), uma vez que seu acúmulo junto às encostas, em especial em ambientes urbanos, geralmente está correlacionado ao alto risco de escorregamentos (GUERRA et al., 1995).

Em relação aos resultados relativos à declividade das encostas, resultados semelhantes foram encontrados na literatura, como foi o caso de Meis e Silva (1968), Lacerda e Sandroni (1985) e Fernandes et al. (2004). Nestes trabalhos, as investigações sobre movimentos de massa no Rio de Janeiro mostraram uma concentração de ocorrências em encostas com até 50°. Uma vez que os setores mais íngremes das encostas estão associados a solos mais rasos sobre a rocha sã ou mesmo afloramentos rochosos, há um claro limite do ângulo para os escorregamentos, o que foi verificado neste contexto geológico-geomorfológico por Fernandes et al. (2004).

As informações referentes ao número de óbitos em decorrência dos movimentos de massa nas encostas não contam com o registro das vítimas de nenhuma das ocorrências

do ano de 2019, quando 2 pessoas morreram após o soterramento do ônibus em que estavam presentes e que trafegava na via durante o forte temporal. Além disso, as ocorrências citadas da década de 1990 somaram 10 vítimas fatais e 33 pessoas feridas. Os registros também não abarcam o número de pessoas removidas e moradias interditadas.

Diante desse cenário, é evidente como a elaboração contínua de inventários e a compreensão aprofundada das características das ocorrências emerge como um elemento crucial para o desenvolvimento de estratégias eficazes de prevenção, intervenção e resposta a eventos de movimentos de massa. A continuidade desses estudos é fundamental para aprimorar políticas públicas e destinar verbas públicas de forma mais efetiva, podendo ser endereçadas para obras de contenção de encostas em locais estratégicos, visando à segurança e bem-estar da população em áreas propensas a tais fenômenos, contribuindo assim para a construção de cidades mais resilientes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo inventariar as ocorrências associadas a movimentos de massa nas encostas adjacentes à Avenida Niemeyer no Rio de Janeiro/RJ, datadas do período 1993-2022, apresentar sua distribuição espaço-temporal e fazer a caracterização da topografia da região e, principalmente, das áreas atingidas. Dessa forma, buscou-se identificar a existência de padrões na deflagração das ocorrências, se houveram áreas de maior concentração e, conseqüentemente, a existência de controle topográfico.

Na etapa do inventário das ocorrências de movimentos de massa, foram identificados 35 casos que se concentraram em aproximadamente 94% nas declividades entre 0° e 30°. As encostas retilíneas foram as mais atingidas (88% das ocorrências), embora as curvaturas predominantes sejam convexas e côncavas. Quanto ao aspecto, também houve uma forte concentração das ocorrências, das quais 91% estão associadas ao quadrante sul, demonstrando, junto aos demais resultados, o forte controle topográfico na distribuição dos casos. As características da morfometria das encostas, junto a estudos geológicos, geomorfológicos, climatológicos, pedológicos e hidrológicos da região permite com que sejam feitas avaliações e interpretações mais complexas dos condicionantes diretos e indiretos que contribuem com as ocorrências.

Durante o desenvolvimento do trabalho foi notável o quanto as dificuldades e demora no acesso aos dados sobre as ocorrências interferiram no andamento da elaboração do inventário e sua aplicação junto às avaliações de fatores condicionantes dos movimentos de massa. Este cenário se mostra como uma deficiência crônica em outros trabalhos científicos utilizados como referência, demonstrando a importância da elaboração e desenvolvimento de uma base de dados sólida.

Em um contexto de mudanças climáticas, aumento de eventos extremos e levando-se em conta a relação das fortes chuvas com a deflagração de movimentos de massa, ressalta-se a importância do desenvolvimento de pesquisas voltadas para a previsão, prevenção e mitigação dos impactos relacionados aos processos, sobretudo dentro do âmbito do planejamento urbano e gestão territorial. Diante desse cenário desafiador, a promoção de iniciativas colaborativas entre entidades governamentais, comunidades locais e instituições de pesquisa emerge como um caminho promissor para fortalecer a resiliência das áreas suscetíveis a movimentos de massa, visando a construção de um ambiente urbano mais seguro e preparado para enfrentar os desafios futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. Evolução urbana do Rio de Janeiro. Iplanrio, 1987.
- ALVARES, C.A. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, [s. l.], v. 22, p. 711-728, 6 jan. 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263088914_Koppen's_climate_classification_map_for_Brazil. Acesso em: 29 ago. 2024.
- ARAÚJO, G.R.M. de; CORSI, A.C; MACEDO, E.S de; FUTAI, M.M. A transformação digital no contexto do monitoramento de encostas: uma visão geral sobre o tema a partir de uma revisão. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 8, 2022, Porto de Galinhas. Anais. 10 p.
- ARMOND, N.B. Entre eventos e episódios: as excepcionalidades das chuvas e os alagamentos no espaço urbano do Rio de Janeiro. 2014. xx, 239 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2014. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/124041>>.
- BARATA, F.E. Landslides in the tropical region of Rio de Janeiro. 7th Int. Confer. Pm Soil Mech. And Foun. Eng., Mexico. ISSMFE, London, pp. 507-516, 1969.
- BERNARDES, L. Regime pluviométrico do Estado do Rio de Janeiro. *Boletim Geográfico – IBGE*, Rio de Janeiro, 8(96): 1456-1457, mar. 1951.
- BLAUDT, L.M et al. Desastre ocorrido em Petrópolis no verão de 2022: aspectos gerais e dados da Defesa Civil. *Revista Geociências*, São Paulo, p. 1-13, 7 jun. 2022.

- COSTA NUNES, A.J. Landslides in soils of decomposed rock due to intense rainstorms. 7th Int. Confer. Pm Soil Mech. And Foun. Eng. ISSMFE, London, pp. 547-554, 1969.
- COBERTURA Vegetal e Uso da Terra 2018. Rio de Janeiro, 26 mar. 2021. Disponível em: <https://www.data.rio/datasets/c32974e0db954842b7af9a4816d7a821/about>. Acesso em: 10 set. 2024.
- DE MARTONNE, E. Problemas morfológicos do Brasil tropical atlântico. Revista Brasileira de Geografia. Ano VI, n2. Rio de Janeiro: IBGE, 1944.
- DIAS, H.; BATEIRA, C.V. M; PISSATO, E.; MARTINS, T.D.; VIEIRA, B.C. Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos Rasos com Base na Aplicação de Estatística Bivariada: Resultados Preliminares. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, 24 jul. 2018. Volume Especial do II Workshop do Programa de Pós-Graduação em Geografia Física (2018), p. 34-42.
- DOURADO, A.F.; SIGRITO, L. Mapeamento geológico-geotécnico do município do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: [s. n.], 1997. Carta geológica-geotécnica. Escala 1:10000. Disponível em: <https://www.rio.rj.gov.br/web/georio/geologia>. Acesso em: 10 set. 2024.
- FERNANDES, N.F.; AMARAL, C.P. do. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. da. Geomorfologia e Meio Ambiente. 10ª. ed. [S. l.]: Bertrand Brasil, 2011. cap. 3, p. 123 – 186.
- FERNANDES, N.F.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, n. 1, p. 51–71, 2001.
- FERNANDES, N.F; GUIMARÃES, R.F; GOMES, R.A.T; VIEIRA, B.C.; MONTGOMERY, D.R.; GREENBERG, H. Topographic controls os landslides in Rio de Janeiro: field evidence and modeling. Elsevier – Earth Science Reviews, Volume 55, Issue 2, 20 January 2004, Pages 163-181.
- FERNANDES, N.F. Rio de Janeiro: A Metropolis Between Granite-Gneiss Massifs. Geomorphological Landscapes of the World (pp.89-100) Edition: 1. Publisher: Springer. Editors: Piotr Migon. 2009.
- GAO, J. 1993. Identification of Topographic Settings Conductive to Landsliding From Nelson County, Virginia, U.S.A. Earth Surface Processes and Landforms: 579-591.
- GUANABARA. Decreto nº 609, de 12 de maio de 1966. Emitido pelo Governador Francisco Negrão de Lima. Diário Oficial do Estado da Guanabara, Rio de Janeiro, RJ, 12 maio 1966.

- GUZZETI, F.; MONDINI, A.C.; CARDINALI, M.; FIORUCCI F.; SANTANGELO M.; CHANG, K.T. Landslide inventory maps: New tools for an old problem. Elsevier - Earth-Science Reviews, Volume 112, Issues 1–2, April 2012, Pages 42-66. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825212000128?via%3Dihub>>
- JONES, F.O. Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras escarpment. Brazil. U.S. Geological Survey Professional Paper 697, 42, 1973.
- LACERDA, W.A; SANDRONI, S.S. Movimentos de massa coluviais. Mesa redonda: "Aspectos geotécnicos de encostas", Rio de Janeiro, p. 1 - 7, 1985.
- MANUAL TÉCNICO DE ENCOSTAS DA FUNDAÇÃO GEO-RIO. Fundação Instituto de Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <<https://www.rio.rj.gov.br/web/georio/exibeconteudo?id=11237592>>. Acesso em: 03 de julho de 2023.
- MEIS, M.R.M de; SILVA, J.X da. Considerações geomorfológicas a propósito dos movimentos de massa ocorridos no Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Geografia, [S. l.], p. 55 - 72, 30 jan. 1968.
- NEGRI, R.C.R de. Mapeamento da geodiversidade da Bacia hidrográfica do rio Palatino, Petrópolis – RJ: caracterização do meio físico aplicada à susceptibilidade a movimentos de massa e inundações. 2023. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2023.
- NERY, T.D.; VIEIRA, B.C. Susceptibility to shallow landslides in a drainage basin in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil, predicted using the SINMAP mathematical model. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, [s. l.], Maio 2014.
- PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO (RJ). GEO-RIO. História - Fundação Instituto de Geotécnica - GEO-RIO. Rio de Janeiro, 21 dez. 2022. Disponível em: <https://georio.prefeitura.rio/historia/>. Acesso em: 10 set. 2024.
- PREFEITURA MUNICIPAL DO RIO DE JANEIRO (RJ). Alerta Rio. Quem somos – Alerta Rio. Rio de Janeiro, s.d. Disponível em: <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/institucional/quem-somos/>. Acesso em: 10 set. 2024.
- SANT'ANNA NETO, J.L. O decálogo da climatologia do Sudeste brasileiro. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, pp. 43-60, 2005.
- SELBY, M. J. Mass Wasting of Soils. In: Hillslope Materials and Processes. 2. ed. [S. l.]: Oxford University Press, USA, 1993. cap. 13, p. 249-298.
- SERRA, A. O clima da Guanabara. Boletim Geográfico, v. 214, pp. 80-111, 1970a.
- SERRA, A; RATISBONNA, L. O clima do Rio de Janeiro. Serviço de Meteorologia, Ministério da Agricultura. 1941.
- SOBREIRA, F.G. Estudo de encostas ocupadas desordenadamente na cidade do Rio de Janeiro – A favela do Vidigal. Orientador: Josué Alves Barroso. 1989. XI, 120 p. 29,7 cm (Instituto de Geociências-UFRJ, M. Se., Programa de Pós-graduação em Geologia, 1989).

- VIEIRA, B.C.; FERNANDES, N.F. Landslides in Rio de Janeiro: The role played by variations in soil hydraulic conductivity. Wiley InterScience, [S. l.], p. 791 - 805, 2004.
- VIEIRA, B.C.; FERNANDES, N.F.; FILHO, O.A. Shallow landslide prediction in the Serra do Mar, São Paulo, Brazil. European Geosciences Union, [s. l.], Set. 2010..
- VIEIRA, B.C. Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas. Orientadores: Nelson Ferreira Fernandes e Oswaldo Augusto Filho. Rio de Janeiro, 2007. 193p. (Programa de Pós-Graduação - Universidade Federal do Rio de Janeiro em Geografia, 2007).
- VALERIANO, C.M. 2006. A Odisséia do Pão de Açúcar - As rochas contam sua história... Projeto Caminhos Geológicos. DRM-RJ. [online]. Disponível: <<http://www.drm.rj.gov.br>>.
- VALERIANO, C.M.; HEILBRON, M.; NASCIMENTO, V.; MANSUR, K.L. 2007a. A geologia do morro do Corcovado. Projeto Caminhos Geológicos. DRM-RJ. [online]. Disponível: <<http://www.drm.rj.gov.br>>.
- VALERIANO, C.M.; HEILBRON, M.; NASCIMENTO, V.; MANSUR, K.L. 2007b. De braços abertos para a geologia. Projeto Caminhos Geológicos. DRM-RJ. [online]. Disponível: <<http://www.drm.rj.gov.br>>.