



INVENTÁRIO MORFOMÉTRICO DE DESLIZAMENTOS: CONDICIONANTES GEOMORFOLÓGICOS DO OCORRIDO EM PETRÓPOLIS 2022

Julia Schoenche¹
Rodrigo Paixão²

RESUMO

Entre fevereiro e março de 2022, o município de Petrópolis, na Região Serrana do Rio de Janeiro, foi severamente afetado por chuvas extremas, com destaque para os acumulados de 259 mm em seis horas (15/02) e 534 mm em 24 horas (22/03), este último sendo o maior já registrado na cidade. Esses eventos desencadearam inúmeros deslizamentos de terra, intensificados pelas características morfológicas e geológicas locais, como encostas íngremes, espessos mantos de alteração e relevo típico de “mares de morro”. Este trabalho teve como objetivo identificar e analisar os condicionantes geomorfológicos e morfométricos associados às detonações dos deslizamentos ocorridos nesse período, por meio da elaboração de um inventário morfométrico. A análise foi baseada em dados de imagens do satélite CBERS-04A, curvas de nível do IBGE, e modelos geomorfométricos do Projeto TOPODATA. Foram mapeados 70 pontos de detonação, concentrados principalmente no 1º Distrito, com predomínio em áreas de alta declividade e formas de relevo convexas e divergentes. Os resultados indicam que esses parâmetros são fundamentais para a compreensão dos processos de instabilidade. Destaca-se a necessidade de estudos integrados que considerem fatores geológicos, climáticos e de ocupação urbana, visando aprimorar estratégias de prevenção e gestão de riscos.

INTRODUÇÃO

No ano de 2022, especificamente nos dias 15 de Fevereiro e 22 de Março, o município de Petrópolis registrou chuvas torrenciais intensas que ocasionaram uma intensa série de movimentos de massa, ocasionando perdas materiais e imateriais para os residentes do município. Nos dias supracitados, respectivamente, foram registrados acumulados pluviométricos de 259 mm de chuva em seis horas e 534 mm em 24 horas pelo CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais). O acumulado pluviométrico registrado no dia 22 de março foi considerado o maior já registrado no Município, superando os acumulados pluviométricos registrados no Megadesastre da Região Serrana ocorrido em 2011.

De maneira conceitual, os movimentos de massa são fenômenos de cunho geomorfológico naturais que caracterizam o deslocamento de uma massa de solo e/ou rocha sobre o embasamento de uma encosta após um processo de saturação hídrica da mesma (Christofolletti, 1980; Francisco, 1996). Podem ser comparados aos processos intempéricos e denudacionais pelo fato de servirem como modeladores da superfície terrestre, concretizando um relevante papel na evolução da paisagem (Fernandes e

¹ Graduanda do Curso de Geografia e Meio Ambiente da PUC-Rio, ju.schoenche@gmail.com;

² Doutor em Geografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, rodrigowpp1@gmail.com



Amaral, 1996; Carvalho et al., 2019) e podem ser condicionados por diversos fatores, dentre eles geomorfológicos, geológicos, pedológicos, climáticos e até mesmo por ações antrópicas ao criarem condições que aceleram a ocorrência desses movimentos (Francisco, 1996; De Barros et al., 2017).

A recorrência destes movimentos de massa no município está associada à sua localização. A Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro apresenta morfologias esculpidas sobre rochas intensamente falhadas e fraturadas, com encostas íngremes, declividades acentuadas e profundos perfis de solo em determinados pontos. Além disso, a Serra do Mar, em razão de suas elevadas cotas altimétricas, funciona como uma barreira orográfica dos ventos oriundos do litoral, ocasionando chuvas intensas e prolongadas nas vertentes. Segundo Leopold (1964), os trópicos úmidos são uma das regiões que comportam vertentes mais propícias a movimentos de massa em razão dos elevados acumulados pluviométricos e espessos mantos de alteração.

Diante da necessidade de compreensão dos condicionantes de deflagração dos movimentos de massa e mitigação de impactos de eventos futuros, diversas metodologias têm sido empregadas. Dentre estas, destacam-se os inventários de cicatrizes que, sinteticamente, são produtos responsáveis em agrupar variadas informações acerca das cicatrizes de um evento pretérito de deslizamento. Possuem objetivos e finalidades distintas, variando do objetivo do pesquisador, e agrupam informações variadas destes deslizamentos, como tipologia, área das cicatrizes, características morfométricas, geológicas e geomorfológicas relacionados à estes. Estes inventários são considerados metodologias capazes de avaliar padrões e mecanismos que desencadeiam movimentos de massa em determinadas regiões, servindo como fontes de informações para a melhor compreensão de processos ocorridos nas encostas atingidas (Guzzetti, 2000).

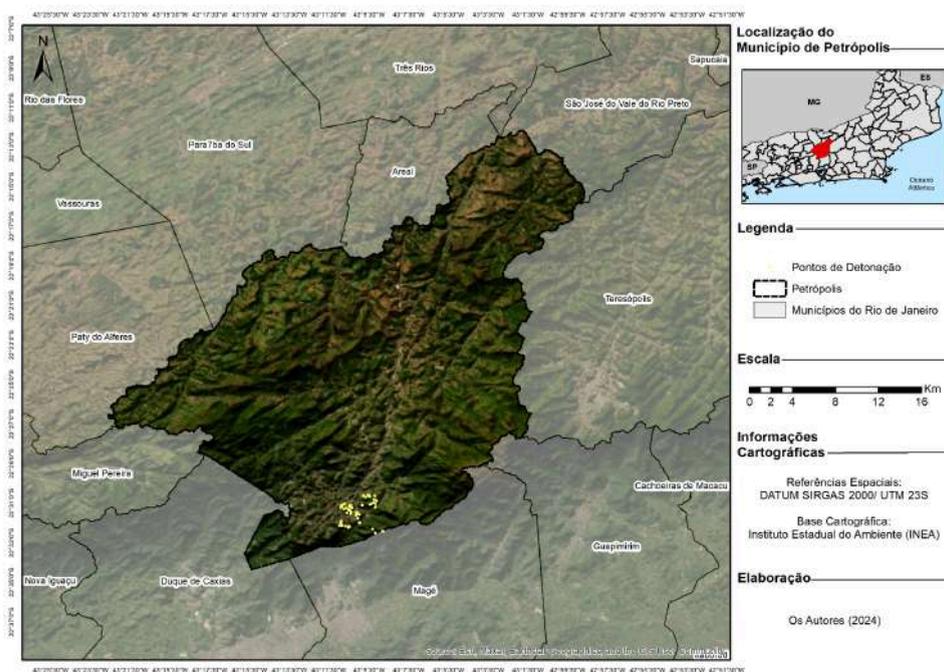
Outro aspecto crucial inserido nos inventários de deslizamentos é a inserção da localização dos pontos de deflagração de deslizamentos nos inventários de cicatrizes. A inclusão destes dados configura-se como elemento essencial para a compreensão das características morfométricas que favorecem e condicionam a ocorrência desses processos. Tal informação é indispensável, uma vez que a previsão de deslizamentos requer a identificação e a análise criteriosa das condições predisponentes à instabilidade dos declives (Highland e Bobrowsky, 2008). Ademais, a elaboração de inventários de cicatrizes constitui um instrumento técnico-científico fundamental para subsidiar a atuação do poder público na delimitação de áreas de risco e no processo de tomada de decisão (Guzzetti, 2000).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é identificar e analisar os condicionantes geomorfológicos e morfométricos das detonações dos deslizamentos ocorridos no município de Petrópolis entre fevereiro e março de 2022, a partir da elaboração de um inventário morfométrico dos pontos de detonação destes deslizamentos. Para isso, será feita uma caracterização do município através dos vieses geológico, geomorfológico, hidrológico e climático.

ÁREA DE ESTUDO

O município de Petrópolis está localizado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1), possui área de mais de 795Km² e é subdividido em 5 distritos, sendo eles: Petrópolis (sede), Cascatinha, Itaipava, Pedro do Rio e Posse.

Figura 1: Mapa de Localização do Município de Petrópolis.



Fonte: Autoria Própria.

Do ponto de vista geológico, o município de Petrópolis encontra-se no contexto da Faixa Móvel Ribeira, cuja evolução tectônica está associada aos eventos da Orogenia Brasileira (Heilbron et al., 2004). Nesse cenário, destaca-se a presença da Suíte Intrusiva Serra dos Órgãos que, segundo Heilbron et al. (2016), designa-se um conjunto batolítico composto por ortognaisses relacionados ao Arco Magmático Rio Negro, além de granitos e granodioritos homogêneos intrusivos. Segundo Ebert (1968) e Rosier (1965), essa unidade geológica é interpretada como resultado da remobilização de gnaisses arqueanos durante os ciclos tectônicos brasileiros. Durante o Cenozoico, a região foi submetida a eventos tectônicos distensivos que promoveram o soerguimento e abatimento de blocos, configurando a extensa escarpa da Serra do Mar no Estado do Rio de Janeiro. A complexa configuração geológica da região, marcada por processos de dobramento, reativação de falhas e deslocamentos de blocos, foi determinante na modelagem do relevo atual de Petrópolis (Gonçalves, 1998). Como consequência, predominam formações rochosas intensamente fraturadas e compartimentadas, cuja influência sobre a topografia local é significativa (DRM, 1981; Penha et al., 1981).

Considerando a configuração geomorfológica do município, o padrão de relevo e drenagem são fortemente condicionados pela estrutura geológica, pelo fraturamento das rochas e pela sua localização em relação à escarpa da Serra do Mar. Essa



configuração estrutural resulta na formação de vales estreitos e alongados, trechos de drenagem retilínea que seguem as estruturas geológicas, maciços graníticos proeminentes, cristas e cumeadas dispostas paralelamente, além de feições marcadas por expressivos desníveis altimétricos, escarpas com declividades abruptas e alvéolos intermontanos (Guerra et al., 2007).

O município está inserido em um padrão climático classificado como tropical de altitude. A interação entre sua localização geográfica, a elevada altimetria, a complexidade do relevo, a influência da maritimidade e os sistemas de circulação atmosférica promove significativas variações nas condições climáticas, refletidas em oscilações nos índices de temperatura e precipitação ao longo do ano (Nimer, 1989). O relevo acidentado da região exerce papel determinante na dinâmica atmosférica local, funcionando como um fator de ascensão orográfica, especialmente durante a atuação de frentes frias e linhas de instabilidade. Nesses eventos, o ar úmido é forçado a subir, resfriando-se e resultando em precipitações intensas e duradouras (Guerra et al., 2007).

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a identificação e mapeamento dos pontos de detonação dos deslizamentos, utilizou-se a técnica de fointerpretação de uma imagem pancromática (WPM) do satélite CBERS-04A (04/2022), com resolução espacial de 25 metros. Para auxiliar a foto interpretação, foram utilizadas curvas de nível disponibilizadas pelo IBGE (2006), na escala de 1:25.000, possibilitando a marcação das “coroas” das cicatrizes dos deslizamentos. Em seguida, foram selecionados e integrados planos de informação geomorfométricos, sendo estes de altimetria, declividade, curvatura vertical e curvatura horizontal, oriundos do Projeto TOPODATA (Valeriano, 2008). Esses produtos, de natureza matricial, foram derivados do Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido pela missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM).

A altimetria foi utilizada como indicativo da frequência dos intervalos altimétricos das ocorrências, possibilitando a identificação das cotas altimétricas mais representativas e suas correlações com outros fatores condicionantes já mencionados neste trabalho. A declividade, definida como a relação entre a inclinação do terreno e o plano horizontal (Valeriano, 2008), influencia diretamente os processos de infiltração, escoamento superficial e fluxos de massa. Para sua classificação, adotaram-se as categorias propostas pela EMBRAPA (1999): Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado. As curvaturas vertical e horizontal, conforme descritas por Valeriano (2008), foram utilizadas para representar a morfologia das encostas em projeções distintas. A curvatura vertical expressa o perfil da vertente (Muito Convexa, Convexa, Retilínea, Côncava e Muito Côncava), enquanto a curvatura horizontal caracteriza o comportamento das linhas de fluxo em planta, variando entre Muito Convergente, Convergente, Planar, Divergente e Muito Divergente.

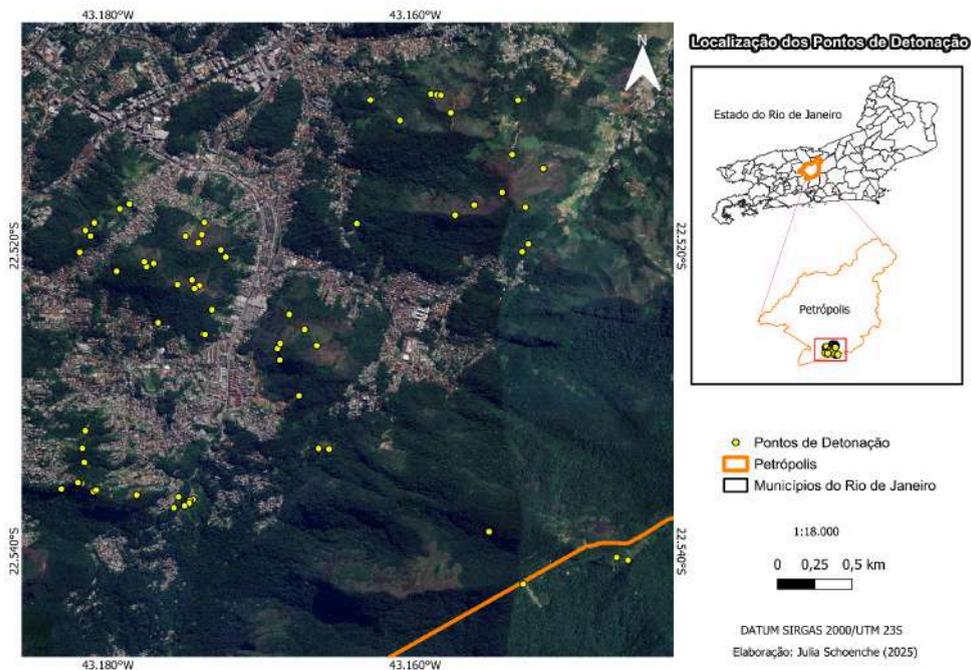
Posteriormente, foi realizada a extração de valores a partir da sobreposição e relação dos pontos de ruptura com os dados morfométricos e, para isto, foi utilizado a ferramenta *Extract Values to Points* do software *ArcGis 10.8*. Por fim, os resultados alcançados dos procedimentos supracitados foram analisados e interpretados por meio

de gráficos e mapeamentos, sendo relacionados com pesquisas previamente desenvolvidas acerca desta temática.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Defesa Civil do município de Petrópolis totalizou 269 ocorrências de deslizamentos entre os meses de fevereiro e março de 2022 (Referencia). Contudo, levando em consideração o estágio em que esta pesquisa se encontra, optou-se por analisar apenas 70 pontos de detonação em relação ao total de ocorrências. Ainda assim, a confecção do inventário possibilitou a análise de características geomorfométricas distintas destes pontos de detonação, que estão concentrados no 1º distrito do município (Figura 2).

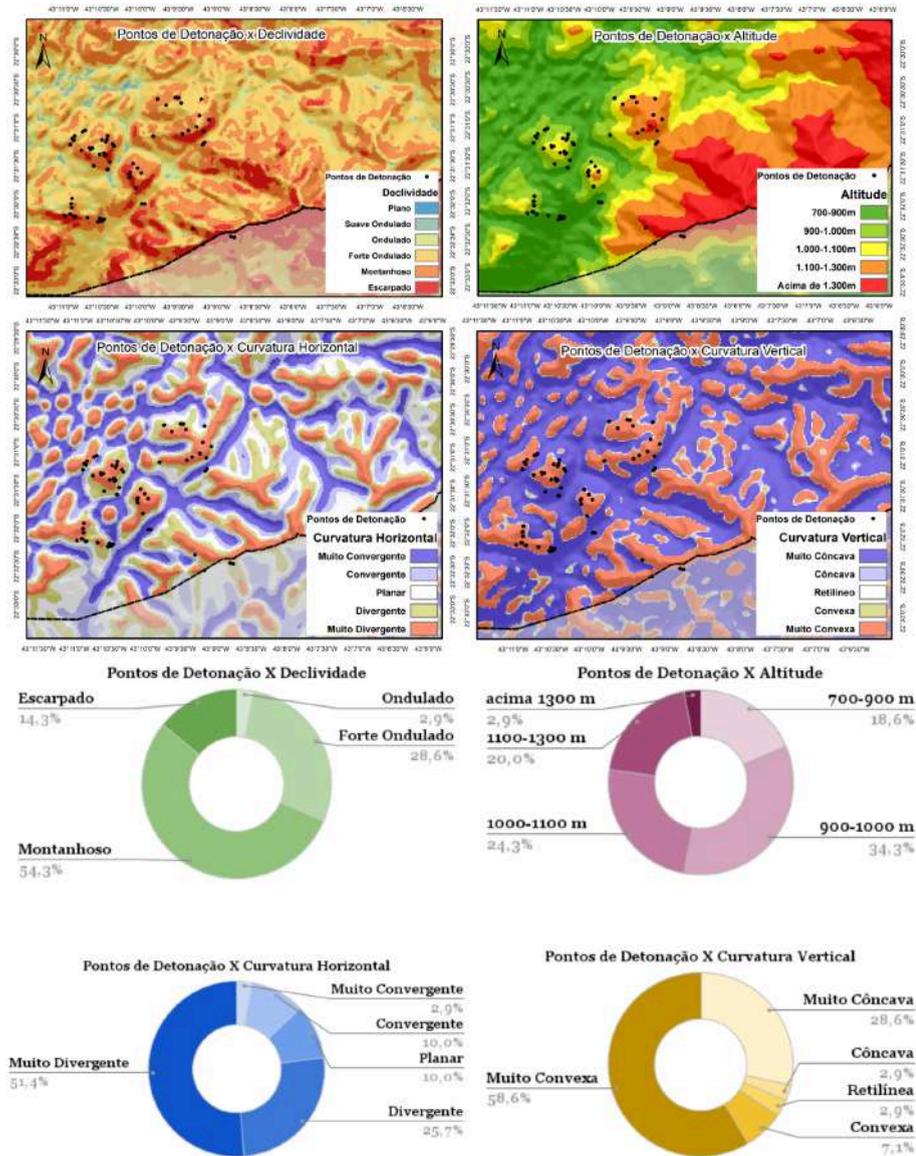
Figura 2: Mapa de Localização dos Pontos de Detonação dos Movimentos de Massa Ocorridos em Petrópolis no ano de 2022.



Fonte: Autoria Própria.

Quanto à altimetria, observou-se uma concentração significativa de pontos de detonação na faixa altimétrica de 900 e 1.000 metros (Figura 3), correspondendo a 34% do total identificado. Por outro lado, as altitudes superiores a 1.300 metros apresentaram baixa incidência, representando apenas 3% dos registros, o que indica uma menor frequência de detonações nesse intervalo altimétrico.

Figura 3: Mapeamento e Distribuição percentual dos pontos de detonação sobre as classes das características geomorfométricas estabelecidas.



Fonte: Autoria Própria.

No que tange à declividade, observou-se predominância de pontos de detonação na classe Montanhosa, que concentra 54% das ocorrências, localizadas na faixa de inclinação entre 45% e 75% (Figura 3), conforme a classificação da EMBRAPA (1999). Na sequência, verificou-se uma incidência relevante de pontos na classe Forte Ondulada, correspondendo a 29% dos casos, situados entre 20% e 45% de declividade. As demais classes apresentaram baixa expressividade em relação à ocorrência de deslizamentos.

As classes predominantes de declividade identificadas neste estudo caracterizam-se por elevados gradientes de inclinação, condizentes com padrões observados em outras investigações. Avelar et al. (2011), ao analisar mais de três mil



cicatrizes de deslizamentos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, verificou que a maioria dos eventos ocorreu em áreas com declividades médias a altas. Esses resultados corroboram a análise de Bigarella et al. (2003), que apontam que, no Brasil, a maioria dos eventos catastróficos associados a movimentos de massa ocorre em terrenos com acentuadas declividades.

No que se refere às curvaturas do terreno, os dados indicaram predominância de pontos de detonação em áreas classificadas como muito divergentes no parâmetro de curvatura horizontal, concentrando 51% das ocorrências, conforme apresentado na figura 3. As demais classes apresentaram distribuição decrescente à medida que se migra de formas divergentes para convergentes.

Em relação à curvatura vertical, observou-se maior concentração de detonações em vertentes muito convexas, correspondendo a 59% dos casos, seguida por encostas muito côncavas, que totalizaram 29% das ocorrências (Figura 3). As demais classes apresentaram baixa representatividade no conjunto analisado.

De modo geral, os resultados evidenciam que a maioria dos deslizamentos foi deflagrada em encostas convexas e divergentes. Embora Fernandes e Amaral (1996) destaquem que encostas côncavas e convergentes apresentam maior suscetibilidade a deslizamentos por constituírem zonas de concentração de fluxos hídricos, resultados semelhantes aos observados neste estudo foram reportados por Schoenche et al. (2022). Esses autores, ao elaborarem um inventário morfométrico dos pontos de detonação na Sub-bacia do Rio Grande, durante o megadesastre ocorrido na Região Serrana do Rio de Janeiro, identificaram predominância de vertentes muito divergentes (37%) e muito convexas (56%).

Cabe ressaltar que a precipitação atípica registrada no município atuou como fator determinante para a deflagração de deslizamentos em áreas que, sob condições pluviométricas usuais, não apresentariam instabilidade. A morfologia acentuada e as características litológicas da região, já discutidas anteriormente, constituem elementos fundamentais para a compreensão da dinâmica desses processos. Christofolletti (1974) explica que, em ambientes com clima predominantemente úmido, os processos exógenos tendem a moldar as rochas em formas convexas, o que resulta em compartimentos topográficos verticais, como as serras, caracterizadas por vertentes longas, alta altimetria e elevada declividade. Dessa forma, terrenos com tais atributos tornam-se mais suscetíveis à deflagração de deslizamentos quando submetidos a eventos pluviométricos extremos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da análise morfométrica, foi possível identificar com precisão as áreas do município mais suscetíveis a deslizamentos, especialmente diante de eventos extremos de precipitação, como o ocorrido em 2022. Parâmetros como altimetria, declividade, curvatura do relevo e orientação das vertentes se mostraram essenciais para



compreender os condicionantes desses processos. Observou-se que os deslizamentos se concentram, majoritariamente, em encostas com alta declividade e morfologia convexa e divergente, o que evidencia a influência direta da configuração geomorfológica e das características litológicas locais.

Diante disso, destaca-se a necessidade de abordagens integradas que considerem, além dos aspectos morfológicos e geológicos, fatores climáticos, pedológicos e padrões de ocupação do solo, visando uma compreensão mais ampla dos riscos associados. Estudos futuros podem aprofundar a análise temporal e empregar modelos preditivos que contribuam para o planejamento urbano e estratégias mais eficazes de prevenção e gestão de riscos relacionados a deslizamentos de terra.

REFERÊNCIAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê editorial, 2003.

AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L.; LACERDA, W. A.; BECKER, L. B.; MENDONÇA, M. B. **Mechanisms of the recent catastrophic landslides in the mountainous range of the Rio de Janeiro, Brazil**. In: WORLD LANDSLIDE FORUM, 2, 2011, Roma: Landslide Sci. and Practice. Berlin: Springer-Verlag, 2011, v. 4, p. 265-270.

BIGARELLA, J. J. e MOUSINHO, M. R. **Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas**. Boletim Paranaense de Geografia. v. 16/17, p. 153-197, 1965.

BIGARELLA, J. J, et al. (2003). **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Vol3. (s.e) Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina. Cap.8, p.1026-1098.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. Editora Blucher, 1974.

DE BARROS, L. R. L.; DA COSTA, R. V. C.; AVELAR, A. S. **A Influência da Geologia nos Estudos dos Movimentos de Massa Ocorridos na Região de Nova Friburgo em 2011, Estado do Rio de Janeiro**. Anuário do Instituto de Geociências, v. 40, n. 3, p. 377-385, 2017.

VALERIANO, Márcio. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Inpe, v. 73, 2008.

DRM. Departamento de Recursos Minerais. Projeto Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro. **Folhas Cava, Miguel Pereira, Paraíba do Sul e Três Rios: relatório final**. Niterói: GEOSOL, v. 1, 1981.

EBERT, H. 1968. **Ocorrência da fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência de sua estrutura orogênica: Hipótese sobre sua origem**. Anais Academia Brasileira de Ciências, 40, 215-229.

FERNANDES, Nelson Ferreira; AMARAL, CP do. **Movimentos de massa: uma abordagem**



geológico-geomorfológica. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Bertrand, Rio de Janeiro, p. 123-194, 1996.

GONÇALVES, L. F. H. **Avaliação e diagnóstico da distribuição espacial e temporal dos movimentos de massa com a expansão da área urbana em Petrópolis-RJ**. Rio de JaneiroRJ: UFRJ, 1998.

NIMER, Edmon. **Climatologia do Brasil**. IBGE, 1989.

PENHA, H.M. ; FERRARI, A.L.; JUNHO, M.C.S.; SOUZA , S.L.A. & BRENNER, T.L. - 1981 - **Projeto Folha Itaipava**, reI. fin., vol. I. Projeto Carta Geologica do RJ, DRMIIG-UFRJ, 177 pag., inedito,

ROSIER, G.F. 1965. **Pesquisas geológicas na parte oriental do Estado do Rio de Janeiro e na parte vizinha do Estado de Minas Gerais**. Rio de Janeiro Brasil. DGM - DNPM/MME, Boletim, 222, 41p.

SCHOENCHE, Julia et al. **Inventário Morfométrico dos Deslizamentos do Megadestastre'11 na Sub-Bacia do Rio Grande, Nova Friburgo-RJ**. XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2022, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 2022, pag. 77-81.

SCHWARZ, Heron et al. **Uso de caracterização morfométrica e geomorfológica na análise de mapeamentos de cicatrizes de escorregamentos**. **Revista brasileira de geomorfologia**. Vol. 24, n. 1 (jan./mar. 2023), 20 p., 2023.