

ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTO DE TERRA PARA UMA ÁREA AO LESTE DO RIO DE JANEIRO

Jessica Silva Pereira*

UnB/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental /Brasília/Brasil

Arthur Augusto Frasson Ramos

UnB/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental /Brasília/Brasil

Mirele Santiago Vieira

UnB/Departamento de Engenharia Civil e Ambiental /Brasília/Brasil

RESUMO

Os movimentos de massa são eventos naturais desencadeados, principalmente no Brasil, pela influência dos fatores climáticos, sendo favorecida também pelos fatores endógenos, como declividade, tipo, uso e cobertura do solo, geologia, entre outros. Os impactos da ocorrência deste tipo de evento são devastadores, especialmente nos movimentos rápidos de massa, tornando seu monitoramento e previsão tarefas essenciais para a prevenção de desastres. Neste trabalho, realizado como parte da avaliação da disciplina Geotecnia Ambiental no curso de Engenharia Ambiental na Universidade de Brasília, busca-se o mapeamento da suscetibilidade de ocorrência desses eventos em determinada área no Leste do estado do Rio de Janeiro. Utilizando softwares e plataformas de requisição de dados, o estudo teve como objetivo principal calcular a suscetibilidade e o fator de risco dessa área, avaliando a importância e a influência dos fatores responsáveis por eventos de risco geológico.

PALAVRAS-CHAVE: Suscetibilidade, Deslizamentos, Movimentos de Massa, Riscos Geológicos, Fator de Risco.

ABSTRACT

Mass movements are natural events triggered, mainly in Brazil, by the influence of climatic factors, being also favored by endogenous factors, such as slope, type, land use and cover, geology, among others. The occurrence of this type of event's impacts is devastating, especially in the fast mass movements, thus making its monitoring and forecasting an essential tasks for the prevention of that disasters. In this work conducted as part of the assessment for the Environmental Geotechnics course in the Environmental Engineering program at the University of Brasília, we aim to map the susceptibility of these events occurring in a specific area in the Eastern region of the state of Rio de Janeiro. Using software and data acquisition platforms, the study's main objective was to calculate susceptibility and risk factors in this area, assessing the importance and influence of factors responsible for geological risk events.

KEYWORDS: *Susceptibility, Landslides, Mass Movements, Geological Hazards, Risk factor.*

1. INTRODUÇÃO

Deslizamentos de terra são eventos que representam um grande risco para as atividades humanas e que muitas vezes causam perdas econômicas substanciais e danos materiais (Hong et al. 2007; Nadim et al.2006). Associado ao risco de morte, há o

problema ambiental, que é gerado pela remoção do solo, e o favorecimento da erosão. Assim, é comum associar os deslizamentos aos prejuízos ambientais e a manutenção de alto custo, bem como lesões ou fatalidades.

De modo geral, utiliza-se o termo deslizamento, para designar movimentos de massas de solo e/ou

*Autor correspondente: jessica.sjpr@gmail.com

rocha, compreendendo rastejos, corridas de massa, escorregamentos e quedas/tombamentos. Os deslizamentos são fenômenos dinâmicos que geram rupturas definidas entre a região movimentada e a não movimentada, esses tipos de movimento de massa ocorrem em função principalmente de fenômenos climatológicos.

Segundo Guidicini e Nieble (1984), um deslizamento ocorre quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material que compõe o solo e a tensão de cisalhamento na superfície decresce até atingir uma unidade no momento do escorregamento, ou seja, no momento em que a força gravitacional vence o atrito interno das partículas, que é o que torna a superfície estável, a massa de solo então desliza encosta abaixo.

Esse evento está quase sempre associado a eventos pluviométricos em combinação com características de encostas favoráveis ao deslizamento como: inclinação das vertentes, cobertura do solo, presença de vegetação e qualidade do material.

A intensa urbanização no Brasil, em conjunto com a falta de acompanhamento de ações governamentais eficientes para o uso e ocupação do solo, leva a populações mais carentes a ocupar áreas suscetíveis a este risco geológico sem nenhum preceito técnico

para adequar essa ocupação. O mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra está entre as soluções para compreender as relações de causa e efeito dos eventos e prever perigos futuros e evitar sua ocorrência ou mitigar seus impactos.

Através de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, são tecnologias hoje encontradas disponíveis gratuitamente em softwares como QGIS e Spring, imagens de satélite CBERS (China-Brazil Earth Satellite) e Landsat 8, e radares como SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission). Além disso, há dados meteorológicos e estatísticos que qualquer um, mesmo órgãos públicos sem muitos recursos financeiros, podem utilizar em seus projetos acadêmicos e governamentais.

Segundo Macedo e Sandre (2022), o Rio de Janeiro é o estado brasileiro onde ocorreram mais mortes por deslizamentos entre os anos de 1988 e 2022, tendo sido observados deslizamentos em várias regiões do estado, desde encostas até áreas serranas.

Diante disso, o presente trabalho tem como finalidade usar ferramentas de geoprocessamento para assim avaliar o fator de segurança aliado a suscetibilidade a movimento de terra para uma área localizada ao leste do Rio de Janeiro. A área de estudo é mostrada na Figura 1.

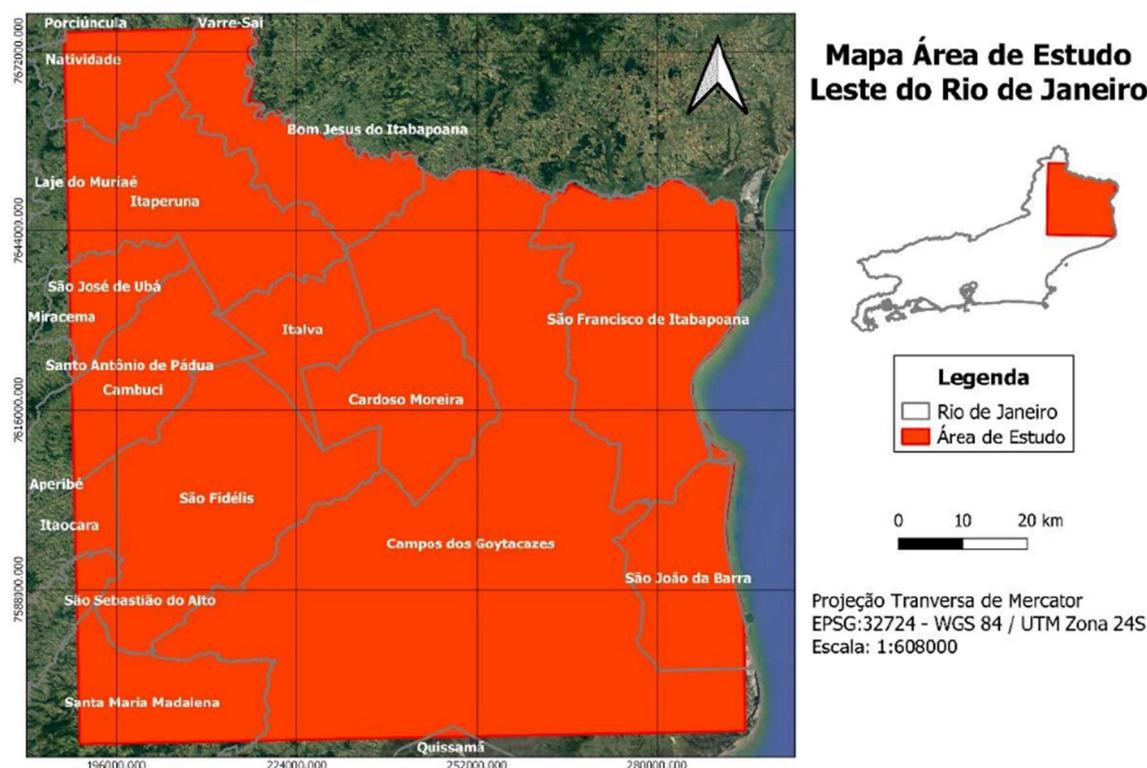


Figura 1. Mapa da área de estudo (Escala 1:608000)

Fonte: Autores.

2. MATERIAIS E MÉTODO

Neste trabalho, foi elaborado um mapa de suscetibilidade a movimentos de massa utilizando ferramentas de uso gratuito e alta eficiência. O software Quantum GIS (QGIS) é uma ferramenta gratuita de geoprocessamento com uso amplamente aceito para a realização de análises e estudos dos mais diversos temas. Logo, foi utilizado o mesmo com a intenção de obter os mapas e utilizar as opções de processamento de dados que serão demonstrados com mais detalhes durante os próximos tópicos. Os dados utilizados foram extraídos da plataforma USGS (United States Geological Survey), uma instituição dedicada a estudos topográficos.

Usando a plataforma USGS foi feito o download de uma banda (imagem) no formato tiff no qual continha a informação de elevação do terreno escolhido, que fica a leste do RJ. Utilizando o software QGIS foi feito um mapa de declividade usando a própria ferramenta do programa de nome "declividade", adotando-se as classes de declive: A (0-3%), B (3-8%), C (8-15%), D (15-25%), E (25-45%) e F (maior que 45%).

A definição de intervalos de classe utilizada está de acordo com as características morfoestruturais da área, a escala e aos interesses de precisão e objetivos que se quer atingir.

As classes de relevo podem ser classificadas como (EMBRAPA, 2018):

- Plano – área de topografia horizontal, com desníveis muito pequenos e declividade menor que 3%.
- Suave ondulado – área de topografia pouco acidentada, constituída de colinas ou outeiros, com diferenças de níveis de 50 a 100 m e com declividades de 3 a 8%.
- Ondulado – área de topografia pouco acidentada, constituída de colinas ou outeiros, com declividades de 8 a 20%.
- Forte ondulado – área de topografia acidentada, formada de outeiros ou morros, com diferenças de níveis de 100 a 200 m e declividade de 20 a 45%.
- Montanhoso – área de topografia acidentada, constituída de morros e montanhas, com declividades de 45 a 75%.
- Escarpado – áreas escarpadas (apareado, itaimbé, frente de costa, falésia e flanco de serra), com declividades maiores que 75%.

Para as classes de declividade foi usada as

seguintes definições, de acordo com Calderano Filho et al. (2004):

- Declive A - de 0 a 3%: superfície plana, em que o escoamento superficial é lento ou muito lento. Não há significativa erosão por água, exceto em encostas muito longas e de solos altamente erodíveis.
- Declive B - de 3 a 8%: superfície pouco inclinada, em que o escoamento superficial é lento ou médio. A erodibilidade varia amplamente com o solo.
- Declive C - de 8 a 14%: superfície inclinada, em que o escoamento superficial é médio ou rápido. A erodibilidade sob cultivo varia amplamente com o solo e as práticas de manejo.
- Declive D - de 14 a 20%: superfície muito inclinada, em que o escoamento superficial é rápido ou muito rápido na maioria dos solos. Os solos provavelmente sofrem erosão sob cultivo, exceto os permeáveis.
- Declive E - de 20 a 45%: superfície fortemente inclinada, em que o escoamento é muito rápido para a maioria dos solos.
- Declive F - declividade maior que 45%: Superfície muito íngreme.

Para o cálculo do fator de segurança, foi necessário calcular a espessura do solo da porção de terra que está sendo analisada. Utilizou-se o modelo *z* proposto por Saulnier et al. (1997) e usado em outros estudos como o de Azevedo et al. (2015), no qual a espessura do solo é obtida através da relação de elevação e profundidade do solo (Equação 1).

$$H_i = \frac{H_{máx} - (Z_i - Z_{mín})}{(Z_{máx} - Z_{mín}) \cdot (H_{máx} - H_{mín})} \quad (1)$$

Onde:

H_i: espessura do solo (m);

Z: elevação do solo obtido através da banda extraída do USGR e reprojeta na zona 24S;

H_{máx} e *H_{mín}*: são as profundidades previstas mínima e máxima de solo.

Ao se trabalhar com mapas e análises espaciais, é essencial especificar em qual zona o local de estudo está situado. No contexto deste trabalho, a área de estudo está localizada na zona 24S, que representa a 24ª zona de longitude ao sul do equador, conforme definido pelo sistema UTM (Universal Transverse Mercator).

A 'zona 24S' indica uma área geográfica

delimitada dentro do sistema de projeção cartográfica UTM. Nesse sistema, a Terra é dividida em zonas retangulares para facilitar o mapeamento e a representação precisa da superfície terrestre. (IBRAHIN, 2014, p. 59)

Utilizou-se a calculadora raster do QGIS para a

obtenção da espessura do solo de cada pixel (Hi). Obtendo assim, Zmin como -5 e Zmáx como 1647, Hmín como 0,3m e Hmáx como 3,5m.

Com isso, obteve-se o primeiro dado espacial necessário referente a a espessura do solo mostrado na Figura 2.

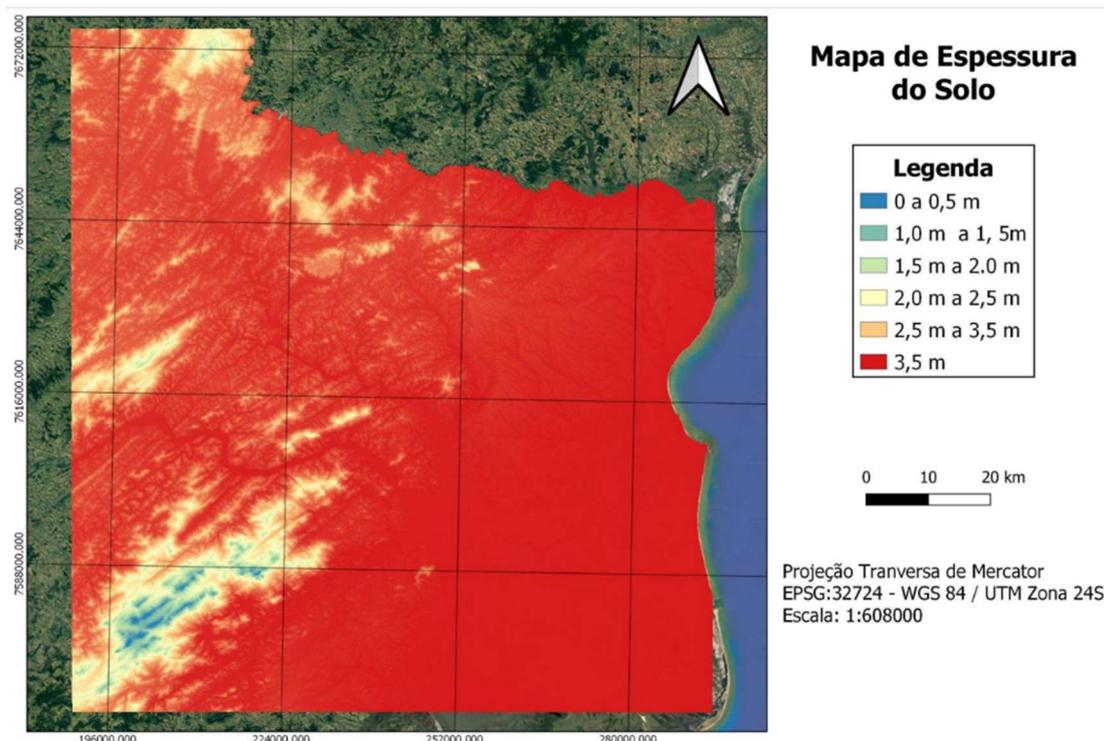


Figura 2. Representação do mapa de espessura do solo da área de estudo (Escala 1:608000)

Fonte: Autores.

Segundo NBR 11.682 (ABNT, 2009), “Fator de Segurança” (FS) é valor da razão entre a resistência (tensão cisalhante máxima disponível) e a resistência mobilizada (tensão cisalhante atuante ao longo da superfície de ruptura)”. Portanto, para o cálculo do FS foi usada a Equação 2, evidenciada abaixo.

$$FS = \frac{c' + (\gamma \cdot H \cdot \cos^2 \beta \cdot \tan(\varphi))}{\gamma \cdot H \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta} \quad (2)$$

Onde:

γ = peso específico do material da encosta (kN/m³);

β = inclinação do talude(rad);

φ = ângulo de atrito (°);

c' = coesão do solo (kPa);

H = espessura do talude (m).

A escolha da Equação 2 para avaliar o fator de segurança na área foi motivada pelo seu amplo uso na geotecnia, especialmente em análises de estabilidade de taludes (Orlando, 2018). Destaca-se ainda que o

estudo adotou uma abordagem exploratória e simplista devido à limitação dos dados disponíveis, que foram obtidos de forma secundária.

Em estudos anteriores (Souza, 2019), apesar dessa abordagem simplificada, a Equação 2 tem se mostrado eficaz ao fornecer resultados satisfatórios. Essa equação baseia-se nos princípios do método de Bishop, que considera a distribuição das tensões ao longo do talude para estimar o fator de segurança. (BISHOP, 1995)

Salienta-se que a poropressão não é explicitamente avaliada na equação, mas é considerada implicitamente devido aos parâmetros de coesão efetiva e peso específico utilizados no cálculo do fator de segurança (FS). Esses parâmetros refletem a resistência do solo sob condições de tensão efetiva, levando em consideração os efeitos da pressão intersticial da água nos poros do solo, como discutido por Souza (2019).

A maior parte dos solos da região em estudo são do tipo: PVAe - Argissolos vermelho-amarelos

eutróficos, PVe - Argissolos vermelhos eutróficos, PAd - Argissolos amarelos distróficos e LVAd - Latossolos vermelho-amarelos distróficos. Portanto, com base no trabalho de Da Silva (2008) e D'Hyppolito (2017) e no mapa de solos do Brasil de Santos et al. (2011) podemos estimar um valor médio para o ângulo de atrito efetivo da região em $\phi'=33^\circ$ e uma coesão efetiva sendo $c'=29$ kPA. O peso específico do material na região da encosta foi adotado como $18,32$ kN/m³ através dos estudos de Orlando (2018).

Os valores de inclinação do talude foram

obtidos por meio da ferramenta 'declividade' do QGIS, aplicada à banda importada do USGS. Esses valores podem ser expressos em graus ou em porcentagem. Como os dados obtidos estão em graus, é necessário convertê-los antes. Para isso, utilizou-se a calculadora raster do QGIS, que realiza os cálculos usando senos e cossenos em radianos, para efetuar essa conversão.

Portanto, obteve-se o segundo dado espacial necessário referente a declividade mostrado na Figura 3.

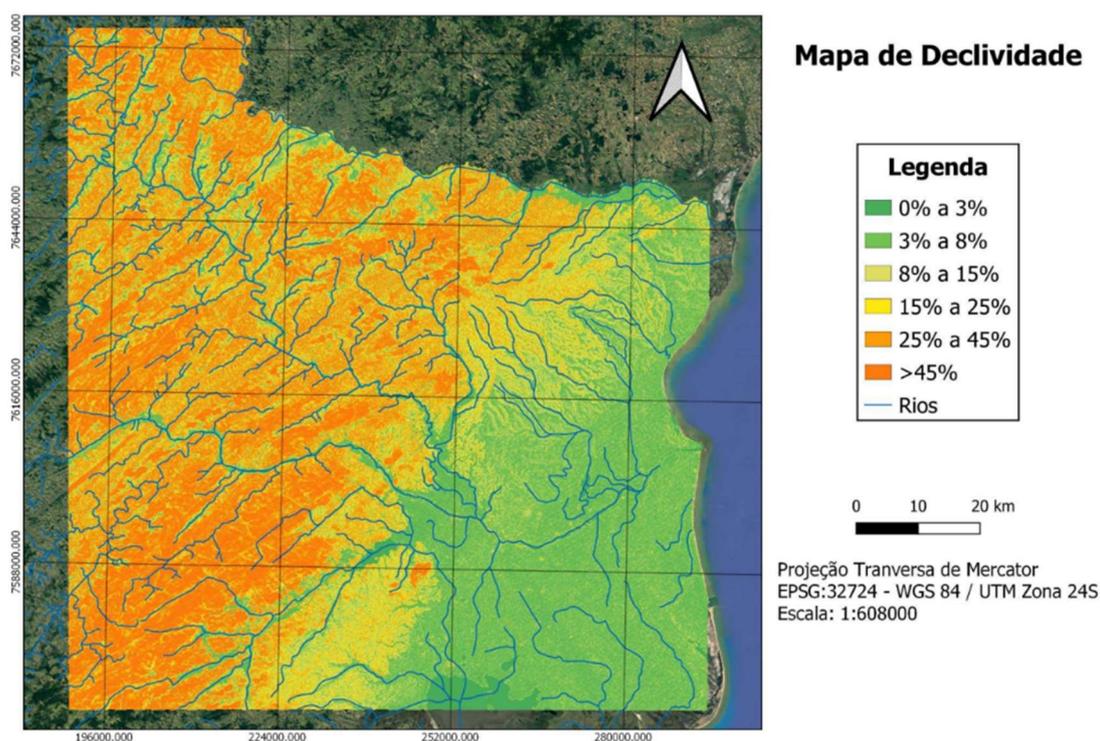


Figura 3. Representação do mapa de declividade da área de estudo (Escala 1:608000)

Fonte: Autores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da Figura 3, pode-se destacar que a região possui em sua maior parte áreas com declividade entre as cores amarela e laranja, provavelmente são áreas onduladas e montanhosas. Temos também uma grande parte em verde, essas partes são mais planas e se encontram mais perto do nível do mar. A maior parte da região analisada é cortada pelo Rio Paraíba do Sul, portanto existe uma diversidade de usos e cobertura do solo variando entre áreas urbanas, agrícolas e vegetação preservada.

Já de acordo com a Figura 2, no mapa de espessura do solo, pode-se observar que as regiões vermelhas são as que possuem a maior espessura do

solo, pois é onde ocorre maior depósito e acúmulo de materiais por serem mais planas. As áreas com menor espessura de solo são as em azul e como se nota são mínimas comparada com as demais.

Logo, segundo a Equação 2 foi possível elaborar o mapa do fator de segurança (Figura 4) no qual se evidencia que o valor mínimo de FS obtido para a região estudada foi de 1,5, no caso do fator de segurança quanto mais perto de 1, menor é a segurança; portanto, menor estabilidade e, consequentemente, maior propensão a deslizamento.

É possível constatar que os valores entre 1,5 e 2,0 de fator de segurança são nas áreas em que a declividade é maior, assim como a espessura do solo é menor.

Quanto à composição do solo na região, especialmente nas áreas de maior declividade, predominam Latossolos: solos minerais, homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas; e Argissolos: solos minerais

com nítida diferenciação entre as camadas ou horizontes com teores de argila. Com características tanto distróficas (saturação base < 50%) quanto eutróficas (saturação base ≥ 50%).

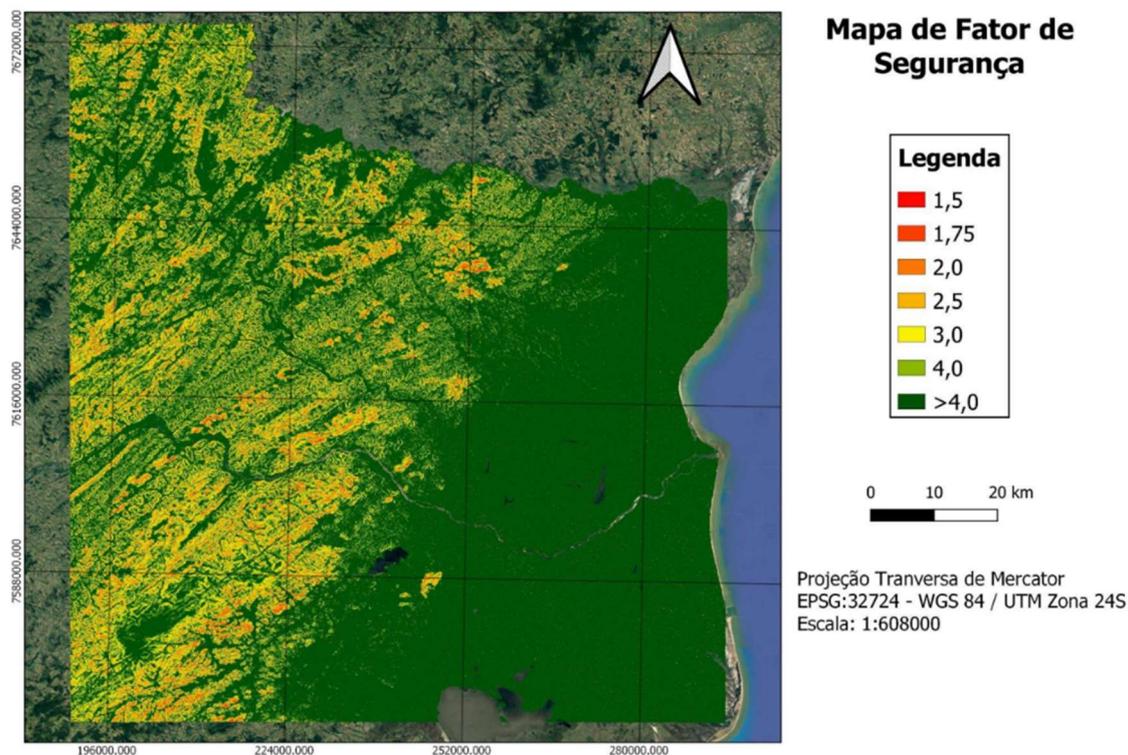


Figura 4. Representação do mapa de fator de segurança da área de estudo (Escala 1:608000)
Fonte: Autores.

4. CONCLUSÃO

Este estudo teve como proposição avaliar o fator de segurança aliado a suscetibilidade a movimento de terra para uma área localizada ao leste do Rio de Janeiro. As ferramentas de geoprocessamento e equações usadas se mostraram eficazes na identificação das áreas mais impactadas por esse fenômeno.

Conclui-se que a área estudada possui baixa suscetibilidade a movimentos de massas. Contudo, em algumas regiões com declividade mais elevada e fator de segurança próximo ao limite, é crucial realizar um estudo mais aprofundado e específico. Recomenda-se uma atenção mais detalhada e, se possível, a realização de uma pesquisa de campo para uma avaliação mais precisa dessas áreas.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2009) NBR

11682. Estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro.
- Azevedo, G.F. et al. (2015) Estimativa da profundidade do solo pelo uso de técnicas de geoprocessamento, estudo de caso: Setor Pajarito, Colômbia. Paraíba, Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR.
- Bishop, A.W., 1955, The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Earth Slopes, *Geotéchnique*, vol. 5, n.1, pp. 7-17.
- Calderano Filho, B.; Santos, H.G. dos; Claessen, M.E.C.; Motchi, E.P.; Wittern, K.P.; Luz, L.D.; Calderano, S.B.; Carvalho Junior, W. de; Chagas, C. da S. (2004). Levantamento semidetalhado dos solos da microbacia do córrego da tábuá, no município de São Fidélis, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 86 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; n. 48).
- Da Silva, M.A. (2008) Aplicação de lógica nebulosa para previsão do risco de escorregamentos de taludes em solo residual. Tese de Doutorado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- D'Hyppolito, L.C.B. de S. (2017) Relações Empíricas para estimativa da resistência ao arrancamento de ancoragens. Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia.

- Guidicini, G. e Nieble, C.M. (1984) Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação. São Paulo, Ed. Edgard Blücher Ltda.
- Hong Y, Adler R, Huffman G (2007) Uso de dados de sensoriamento remoto por satélite no mapeamento da suscetibilidade global a deslizamentos de terra. *Riscos Nat* 43:245–256. doi: 10.1007/s11069-006-9104-z.
- Ibrahin, F.I.D. (2014). Introdução ao geoprocessamento ambiental. Saraiva Educação SA.
- Orlando, G.L.K. (2018). Diferentes Abordagens na Determinação do Fator de Segurança de uma Estrutura em Solo Grampeado Aplicadas a um Caso Real. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Macedo, E.S. de; Sandre, L.H. (2022). Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 12, n. 1, p. 110-117.
- Nadim F., Kjekstad O., Peduzzi P., Herold C., Jaedicke C. (2006) Locais globais de deslizamentos de terra e avalanches. *Deslizamentos de terra* 3:159–173. doi: 10.1007/s10346-006-0036-1.
- Santos, H.G. dos; Carvalho Junior, W. de; Dart, R. de O.; Aglio, M.L.D.; Sousa, J.S. de; Pares, J.G.; Fontana, A.; Martins, A.L. da S.; Oliveira, A.P. de. (2011). O novo mapa de solos do Brasil: legenda atualizada. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 67 p. (Embrapa Solos. Documentos, 130.) 1 mapa, color. Escala 1:5.000.000.
- Saulnier, G.M.; Beven, K.; Obled, C. (1997) Including spatially variable effective soil depths in TOPMODEL, *Journal of Hydrology*, Vol. 202, p.158–172.
- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. (2018) Humberto Gonçalves dos Santos [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa.
- Souza, G. de O. (2019) Análise comparativa entre métodos de análise de estabilidade de taludes. BS thesis. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.