SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTOS RASOS EM AMBIENTE URBANO: BACIA DO RIACHO DO SILVA, MACEIÓ-ALAGOAS

Maria Kamila Bonfim [1]
Genisson Panta [2]
Antonio Rodrigues de Oliveira Filho [3]
Kinsey Santos Pinto [4]

RESUMO

O presente estudo teve como objetivo mapear a suscetibilidade a deslizamentos rasos na bacia hidrográfica do Riacho do Silva, localizada em Maceió (AL), utilizando o modelo determinístico SHALSTAB integrado ao software SAGA GIS. A pesquisa considerou a influência conjunta de fatores geomorfológicos, geotécnicos, hidrológicos e antrópicos na ocorrência de movimentos de massa em área urbana inserida na Formação Barreiras. Para a modelagem, foram utilizados dados topográficos do Modelo Digital de Elevação COP30, parâmetros geotécnicos obtidos em estudos anteriores e imagens de satélite de alta resolução para o mapeamento de cicatrizes de deslizamentos. Os resultados indicaram predominância da classe incondicionalmente estável, correspondendo a 79% da área da bacia, associada principalmente aos topos dos Tabuleiros Costeiros e aos Latossolos Amarelos, caracterizados pela elevada infiltração e resistência ao cisalhamento. As áreas potencialmente instáveis representaram 21% da bacia, enquanto as áreas incondicionalmente instáveis corresponderam a apenas 0,4%, concentrando-se em encostas dissecadas, margens de grotas e setores urbanizados com retirada de vegetação e drenagem inadequada. A comparação entre o modelo e as cicatrizes mapeadas demonstrou boa correspondência espacial, evidenciando a eficiência do SHALSTAB como ferramenta de apoio ao planejamento territorial, prevenção de desastres e gestão de áreas de risco em ambientes urbanos tropicais.

INTRODUÇÃO

A instabilidade de encostas é um dos principais riscos geológicos em áreas urbanas com ocupação desordenada e alta pluviosidade (Gonzalez et al., 2023). Os deslizamentos rasos são definidos pelo deslocamento de camadas superficiais de solo, e sua ocorrência está ligada à combinação de elementos morfológicos, geotécnicos, hidrológicos e antrópicos (Maes et al., 2017). O progresso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e modelos preditivos têm expandido as oportunidades de diagnóstico e prevenção desses fenômenos (Fernandes, 2010).

[1]Graduanda em Geografia pela Universidade Federal de Alagoas - UFAL, bonfimkamila99@gmail.com
[2] Doutor em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, genisson.panta@ufpe.br;
[3]Graduado em Geografia pela Universidade Federal de Alagoas - UFAL,antoniordof@gmail.com;
[4] Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS,, kinsey.pinto@igdema.ufal.br;

Cerca de 8,2 milhões de brasileiros residem em regiões com risco geológico, com alta concentração nas regiões Sudeste e Nordeste (Vieira et al., 2024). No entanto, a gestão de desastres ainda se concentra na remediação em vez da prevenção. A predominância de ações reativas prioriza o curto prazo em vez de estratégias preventivas de longo prazo, mantendo comunidades vulneráveis expostas a frequentes deslizamentos em situações de desigualdade socioespacial.

O objetivo deste artigo é avaliar a suscetibilidade a deslizamentos de terra na bacia do Riacho do Silva utilizando o modelo numérico SHALSTAB combinado com o software SAGA GIS. Buscamos combinar dados geotécnicos, topográficos e hidrológicos para identificar áreas propensas a deslizamentos rasos e comparar os resultados com registros históricos, inspeções de campo e mapeamento de cicatrizes, abordando o potencial da modelagem determinística como instrumento exploratório no Nordeste brasileiro.

ÁREA DE ESTUDO

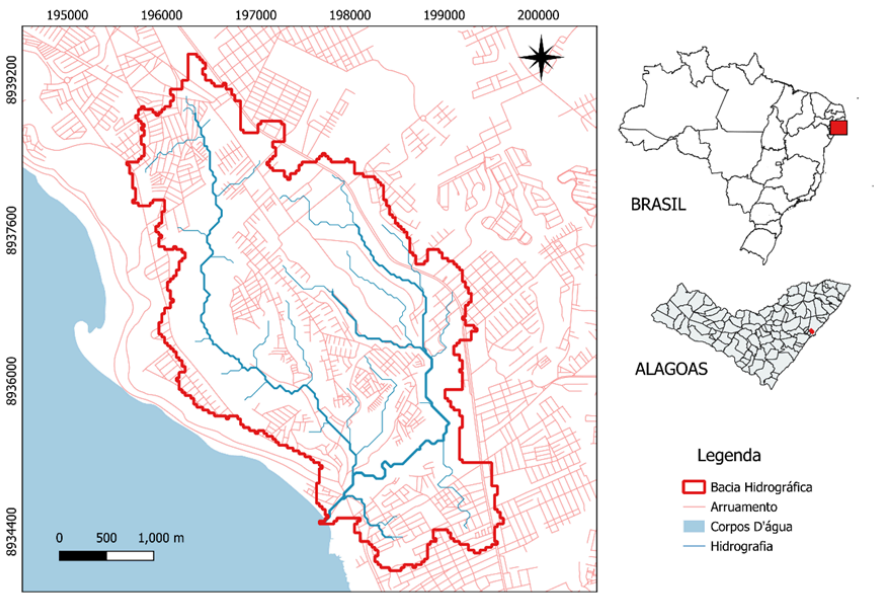
A bacia hidrográfica do Riacho do Silva (Fig. 1) localiza-se na área urbana de Maceió, capital de Alagoas. Com uma área de drenagem de cerca de 11 km², a bacia é atravessada por um curso d'água principal de 6,25 km de extensão, com uma declividade média de 8,5°. O relevo varia de 1 a 95 metros de altitude. De acordo com a Agência Nacional de Águas (2010), o clima é tropical quente e umidificado, e a precipitação média anual é de 1.550 mm. Do ponto de vista geológico, a bacia apresenta afloramentos da Formação Barreiras (Silva, 2011).

Destacam-se dois principais domínios morfoesculturais: a planície flúvio-lagunar e os Tabuleiros Costeiros). Os tabuleiros possuem vertentes erosivas, o que aumenta a suscetibilidade de deslizamentos. Em relação ao uso e ocupação do solo, prevalece o tecido urbano consolidado, geralmente sujeito a perigos de deslizamentos e inundações. Além disso, a bacia contém remanescentes significativos de vegetação nativa preservados em unidades de conservação ambiental, como o Parque Municipal de Maceió e a reserva do IBAMA (Gama e Falcão, 2023).

METODOLOGIA

Empregamos o Shallow Landsliding Stability Model (Shalstab), criado por Montgomery e Dietrich (1994), para analisar a suscetibilidade a deslizamentos rasos. Essa metodologia estabelece a suscetibilidade com base na relação entre os totais de precipitação e a transmissividade do solo em uma encosta (Melo e Kobyama, 2018; Fernandes et al., 2001). Depois, o SHALSTAB resolve a equação de equilíbrio considerando um plano de ruptura hipotético paralelo à superfície do terreno, levando em conta a saturação por escoamento subsuperficial e a homogeneidade das condições do solo. Ela funciona como uma ferramenta estratégica para o planejamento territorial e a análise exploratória da suscetibilidade a movimentos de massa.

Fig. 1 – Localização da Bacia Hidrográfica do Riacho do Silva, em Maceió



Fonte: Os autores.

Na equação, q [mm] representa a precipitação crítica necessária para uma ruptura, T [m²/dia] indica a transmissividade do solo, a [m²] refere-se à área de drenagem a montante, b [m] é o comprimento do contorno da célula, C' [Pa] é a coesão do solo, θ [°] é o ângulo de inclinação da encosta, ρw [kN/m³] é a densidade da água, ρs [kN/m³] é a densidade do solo, g [m/s²] é a aceleração gravitacional, z [m] é a espessura

do solo e, por fim, ϕ [°] é o ângulo de atrito interno. Empregamos um Modelo Digital de Elevação - COP30 da ESA, com resolução espacial de 30 m (Open Topography, 2025).

$$\log\frac{q}{T} = \left(\frac{\sin\theta}{a/b}\left(\frac{C'}{\rho_w g z \cos^2\theta \tan\phi} + \frac{\rho_s}{\rho_w}\left(1 - \frac{\tan\theta}{\tan\phi}\right)\right)\right)$$

Para aplicar o Shalstab, utilizamos o software SAGA GIS 2.3.2, com a parametrização geotécnica fundamentada em levantamentos de campo conduzidos por Anjos (1992) e Santos et al. (2019). Desconsiderando a coesão das raízes e o efeito da carga da vegetação, a parametrização do modelo utilizou os seguintes valores uniformes (Tabela 1):

Tabela 1 – Parametrização do modelo a partir de dados publicados por

Parâmetro	Unidade	Valor
$\rho_{s\text{ - min}}$ – Densidade mínima do material	[g/cm³]	1,4
$\rho_{s\text{ - max}}$ – Densidade máxima do material	[g/cm³]	1,8
K – Condutividade hidráulica	[m/h]	0,08
z – Espessura do solo	[m]	3
ϕ – Ângulo de fricção	[°]	30

Fonte: Marques dos Anjos (1992) e Santos et al., (2019).

Por último, utilizamos imagens de satélite de alta resolução fornecidas pelo Google Earth Pro para mapear cicatrizes de deslizamento. Essas imagens foram georreferenciadas e sobrepostas aos resultados do modelo para avaliar a confiabilidade e a capacidade preguiçosa do Shalstab. Neste estudo, priorizamos a definição da área de origem, excluindo o local onde o material foi movido e possivelmente depositado na base da encosta. Ao concentrarmos na área de origem, reduzimos a influência de elementos secundários, como a topografia de deposição e reconfiguração pós-evento, que poderiam introduzir ruídos na validação espacial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

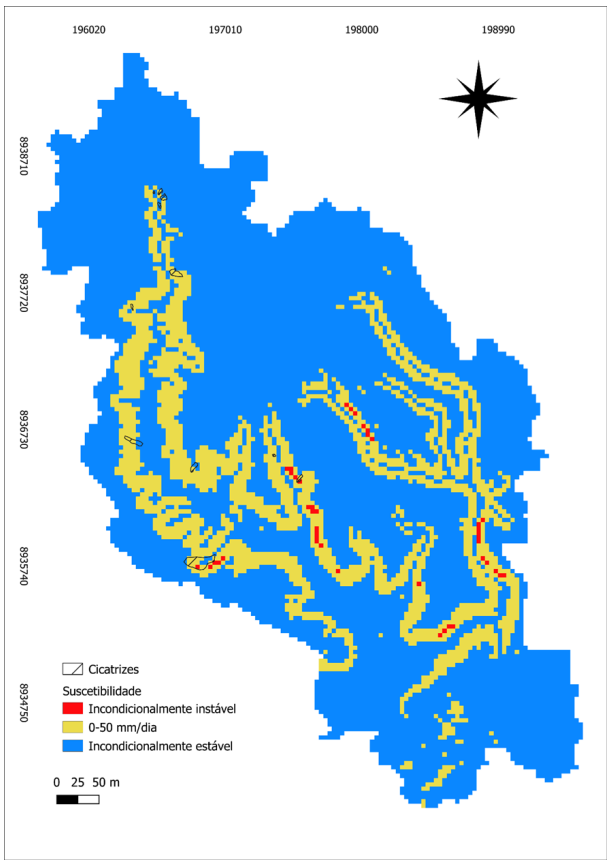
Uma vez que a parametrização do modelo foi realizada com dados secundários, os resultados foram agrupados em três classes: instável incondicionalmente,

potencialmente instável e incondicionalmente estável. Essa simplificação buscou reduzir as incertezas relacionadas à variação dos parâmetros geotécnicos, como profundidade do solo, condutividade hidráulica e ângulo de cisalhamento, permitindo uma análise mais consistente. Além disso, o procedimento facilitou o cruzamento com dados empíricos, como cicatrizes mapeadas e registros históricos de deslizamentos, aumentando a confiabilidade da validação.

A maior parte da bacia foi classificada como incondicionalmente estável, correspondendo a 79% da área total (8,89 km²). As áreas potencialmente instáveis representam 21% (2,30 km²) e abrangem setores suscetíveis à saturação do solo e ao aumento da poro-pressão durante eventos pluviométricos intensos. Já a classe incondicionalmente instável apresentou menor expressão espacial, com apenas 0,4% da área (0,04 km²), concentrando setores críticos onde o colapso dos taludes pode ocorrer independentemente das condições prévias de saturação.

A classe incondicionalmente estável predomina nos topos planos dos Tabuleiros Costeiros, associados aos Latossolos Amarelos. De acordo com a Embrapa (2025), esses solos apresentam elevada profundidade, boa capacidade de infiltração e retenção de água, além de estrutura bem desenvolvida, fatores que favorecem a estabilidade das encostas. Nos fundos de vale da bacia do Riacho do Silva também ocorrem Gleissolos, Neossolos Quartzarênicos e Latossolos Acinzentados (Parahyba, 2008), associados a áreas de baixa declividade e elevada saturação hídrica. Assim, na Fig 2 nota-se a espacialização dos resultados obtidos.

Fig 2 – Resultado da modelagem com Shalstab.



Fonte: Os autores.

Em termos geológicos, as áreas mais propensas a deslizamentos rasos estão ligadas à Formação Barreiras, composta por sedimentos inconsolidados e heterogêneos. Santos (2022) e Santos et al. (2022) conduziram a mais recente caracterização geotécnica dessa unidade em Maceió, utilizando dados de sondagens SPT. O estudo revelou que materiais argilosos predominam nas encostas, particularmente nas reentrâncias dissecadas e margens de grotas. Esses materiais exibem um comportamento coesivo, porém são propensos à perda de resistência quando submetidos a condições de saturação prolongada. De acordo com Anjos (1992), os solos da Formação Barreiras apresentam baixa coesão (8 kPa), um ângulo de atrito interno relativamente elevado (39°) e teores de umidade natural em torno de 15%. Isso indica que são sensíveis a mudanças no conteúdo de água do solo, o que propicia a formação de planos de ruptura

rasos, principalmente em encostas com vegetação degradada e sistemas de drenagem inadequados.

No mapeamento de cicatrizes, a análise de imagens de satélite identificou 11 superfícies de ruptura pretéritas. Gama e Falcão (2023), utilizando critérios metodológicos mais extensos, registraram 117 deslizamentos associados principalmente a intervenções humanas, abrangendo uma área total de 11.741 m², como cortes de estrada, ocupação urbana, remoção de vegetação e obras de drenagem. As cicatrizes mapeadas neste estudo foram comparadas às classes do modelo SHALSTAB, observando-se predominância nas áreas potencialmente e incondicionalmente instáveis, o que reforça a capacidade do modelo em representar setores críticos. Destaca-se ainda um evento com aspectos de ruptura mais profunda e formação de voçoroca (Fig 3).

Fig 3 – Voçoroca na bacia do Riacho do Silva (A, Google Earth).



Deslizamento com vítima fatal na Grota Santa Helena (B, G1 – 2021), deslizamento no condomínio Morada dos Palmares, Tabuleiro dos Martins (C, G1 – 2017).
Fonte: Os autores.

Nesse contexto, destaca-se a necessidade de monitoramento contínuo das áreas suscetíveis a deslizamentos por meio de sensoriamento remoto, inspeções de campo e

medições hidrológicas e geotécnicas, auxiliando ações preventivas da Defesa Civil e do planejamento urbano. Ressalta-se também a importância da reserva do IBAMA e do Parque Municipal de Maceió, cujos fragmentos de Mata Atlântica contribuem para a infiltração da água, redução do escoamento superficial e proteção do solo contra a erosão. Dessa forma, a gestão territorial deve integrar controle do uso do solo, contenção de encostas, recuperação de áreas degradadas e preservação das áreas verdes urbanas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou que o modelo SHALSTAB, integrado ao SAGA GIS, constitui uma ferramenta eficiente para o mapeamento de áreas suscetíveis a deslizamentos rasos na bacia do Riacho do Silva, em Maceió (AL). Os resultados evidenciaram a influência de fatores geomorfológicos, pedológicos e antrópicos na instabilidade das encostas, destacando a Formação Barreiras como importante condicionante das rupturas superficiais. Embora a classe incondicionalmente estável predomine na bacia, os setores potencialmente e incondicionalmente instáveis demandam monitoramento contínuo devido aos riscos associados à ocupação urbana em encostas íngremes. Além disso, a comparação entre o modelo e o mapeamento de cicatrizes demonstrou boa aderência espacial, reforçando a confiabilidade da modelagem, apesar da sensibilidade do SHALSTAB à qualidade dos dados de entrada.

Os resultados também indicaram que os deslizamentos estão associados à retirada da vegetação, cortes de taludes, deficiência na drenagem urbana e ocupação de áreas ambientalmente frágeis, fatores que devem ser incorporados ao planejamento territorial. Nesse contexto, os mapas de suscetibilidade configuram importante instrumento para ações preventivas da Defesa Civil, recuperação de áreas degradadas e educação ambiental. Destaca-se ainda a relevância do Parque Municipal de Maceió e da reserva do IBAMA na estabilização das encostas e manutenção do equilíbrio hidrológico. Assim, recomenda-se o monitoramento permanente das áreas críticas, a

ampliação dos estudos geotécnicos e a implementação de políticas públicas voltadas à redução da vulnerabilidade socioambiental.

Palavras-chave: Modelagem, SHALSTAB, Movimentos de massa.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a FAPEAL pelo apoio na execução do projeto “Rios invisíveis: análise ambiental do Riacho do Silva, Maceió” e a Defesa Civil de Maceió por apoiar a iniciativa e pelo apoio logístico em campo.

REFERÊNCIAS

ÁGUAS–ANA (BRASIL), AGÊNCIA NACIONAL DE. **Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água: Panorama nacional**. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape, Brasília, , 2010.

ALVALÁ, Regina CS; BARBIERI, ALISSON FLÁVIO. Desastres naturais. **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar. São José dos Campos, SP: Inpe**, v. 1, p. 203–230, 2017.

AMARASINGHE, M. P. *et al.* Risk assessment and management of rainfall-induced landslides in tropical regions: A review. **Natural Hazards**, v. 120, n. 3, p. 2179–2231, 2024.

ANJOS, Carlos Alberto Marques dos. **Estudo da estabilidade de encostas em Maceió.** Campina Grande: UFCG, 1992.

BISPO, Carlos O. ; LISTO, Fabrizio de Luiz Rosito; DA SILVA, Danielle Gomes. PREVISÃO DE ESCORREGAMENTOS RASOS A PARTIR DO MODELO SHALSTAB NA BORDA ORIENTAL DA CHAPADA DO ARARIPE. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 35, n. 4, 2018.

EMBRAPA. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas (ZAAL) - Portal Embrapa**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1931/zoneamento-agroecologico-do-estado-de-alagoas-zaal>. Acesso em: 6 maio. 2026.

FERNANDES, Nelson F. Zoneamento de susceptibilidade a escorregamentos em encostas aplicado à bacia de drenagem urbana do Córrego do Independência-Juiz de Fora (MG). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 2010.

FERNANDES, Nelson Ferreira *et al.* 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, 2001.

GAMA, Walber Mendes; FALCÃO, Nivaneide Alves M. Suscetibilidade a deslizamentos pelo método estatístico bivariado na bacia hidrográfica do riacho do Silva, Maceió, Alagoas, Brasil. **Revista Contexto Geográfico**, v. 8, n. 16, p. 46–61, 2023.

GONZALEZ, Ricardo Jaramillo *et al.* Physically-based model applied to rainfall thresholds for shallow landslides: Literature review. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, v. 80, n. 2, p. 164–178, 2023.

KIRSCHBAUM, Dalia; STANLEY, Thomas; ZHOU, Yaping. Spatial and temporal analysis of a global landslide catalog. **Geomorphology**, v. 249, p. 4–15, 2015.

MAES, Jan *et al.* Landslide risk reduction measures: A review of practices and challenges for the tropics. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 41, n. 2, p. 191–221, abr. 2017.

MARTINS, Tiago Damas; OKA-FIORI, Chisato; VIEIRA, Bianca Carvalho. MAPEAMENTO DE CICATRIZES DE ESCORREGAMENTOS UTILIZANDO IMAGEM MULTIESPCTRAL. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 30, p. 96–109, 2015.

MELO, Carla Moreira; KOBIYAMA, Masato. APLICAÇÃO DO MODELO SHALSTAB NO ESTUDO DE ESCORREGAMENTOS NO BRASIL: REVISÃO. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 19, n. 4, 1 out. 2018b.

MONTGOMERY, David R.; DIETRICH, William E. A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. **Water Resources Research**, v. 30, n. 4, p. 1153–1171, abr. 1994.

OPENTOPOGRAPHY. **OpenTopography - Find Topography Data**. Disponível em: <https://portal.opentopography.org/datasets>. Acesso em: 6 maio. 2026.

PARAHYBA, R. *et al.* **Solos do Município de Maceió-AL**. Manejo e conservação do solo e água no contexto das mudanças ambientais: Rio de Janeiro, 2008.

SILVA, Valdir Martiniano Ferreira da. **Efeito das ações antrópicas na qualidade da água da bacia do Riacho do Silva, em Maceió-AL**. Dissertação de Mestrado - Recursos Hídricos—Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2011.

SANTOS, Juciela Cristina dos. **Mapeamento e caracterização Geotécnica da formação barreiras no município de Maceió, Alagoas**. doctoralThesis—*[S.l.]*: Universidade Federal de Pernambuco, 9 nov. 2022.

SANTOS, Juciela Cristina dos; COUTINHO, Roberto Quental; MARQUES, Juliane Andréia Figueiredo. Typical geotechnical profiles of the main soil deposits found in the Maceio city, Alagoas, from SPT boreholes. **Soils and Rocks**, v. 45, p. e2022000122, 2022.

SANTOS, Edwilson Medeiros; LISTO, Fabrizio de Luiz Rosito. Escorregamentos translacionais rasos no município de Camaragibe, região metropolitana do Recife: Uma análise preliminar a partir do modelo SHALSTAB. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 5, n. 2, p. 131–145, 2019.

SANTOS, Jonathan Tenório et al. VARIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA DO SOLO EM DIFERENTES PROFUNDIDADES. In: 2019. Disponível em: <http://icolibri.com.br/2019/public/anais/TC1160406.pdf>. Acesso em: 6 maio. 2026.

UNDRR. **UNDRR Annual report 2020 | UNDRR**. Disponível em: <https://www.undrr.org/publication/undrr-annual-report-2020>. Acesso em: 6 maio. 2026.

VIEIRA, Bianca Carvalho *et al.* Assessing shallow landslide hazards using the TRIGRS and SHALSTAB models, Serra do Mar, Brazil. **Environmental earth sciences**, v. 77, p. 1–15, 2018.

VIEIRA, Bianca Carvalho *et al.* How far have we come? Review of main public policies to reduce landslide impacts in Brazil. **Journal of Mountain Science**, v. 21, n. 9, p. 2891–2904, Acesso em: 6 maio. 2026.