XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.4/109

Retroanálise das Ocorrências de Movimentos de Massa à Luz do Plano Municipal de Redução de Riscos (Pmrr) de Ilhéus–Ba

Gabriel Fernando Duarte de Bairros
Discente de Engenharia Civil, UESC, Ilhéus, Brasil, gfdbairros.egc@uesc.br

Daniel Miranda Ramos de Araújo
Engenheiro Civil, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Brasil, dmraraujo.ppgeca@uesc.br

Cleverson Alves de Lima
Docente, Engenheiro Civil, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, Brasil, clalima@uesc.br

Joel Pereira Felipe
Docente, Arquiteto e Urbanista, Afiliação, Universidade Federal do Sul da Bahia, Itabuna, Brasil, joel.felipe@cja.ufsb.edu.br

RESUMO: Os movimentos de massa configuram um dos principais desafios à gestão urbana em áreas tropicais úmidas do Brasil, onde a combinação entre solos residuais saturáveis, declividades acentuadas e ocupação densa intensifica a vulnerabilidade socioambiental. Em Ilhéus, a recorrência de deslizamentos revela uma forte dependência dos acumulados pluviométricos prolongados, especialmente aqueles superiores a 72 horas. Este estudo integra dados de ocorrências da Defesa Civil (2002–2024), registros pluviométricos de estações do CEMADEN e informações demográficas do Censo 2022 do IBGE. Após filtragem e validação de 1.183 eventos, foi gerado um mapa de densidade de Kernel representando a intensidade espacial dos registros. Esse produto foi comparado diretamente à distribuição da densidade populacional por setor censitário, permitindo identificar zonas críticas onde a sobreposição entre perigo e exposição atinge níveis elevados. Os resultados demonstram que os principais hotspots de instabilidade coincidem com setores urbanos altamente adensados situados sobre encostas íngremes, indicando convergência entre pressão demográfica e suscetibilidade geomorfológica. Verificou-se ainda que o aumento da frequência de eventos após o limiar de 100 mm de chuva acumulada em 72h constitui tendência clara ao longo da série histórica. A integração dessas bases, composta por dados públicos e de fácil acesso, mostra-se eficaz para aprimorar diagnósticos de risco urbano e orientar estratégias de monitoramento e prevenção em municípios com características geotécnicas similares.

PALAVRAS-CHAVE: Movimentos de massa, Pluviometria, Densidade Populacional, Gestão de Risco.

ABSTRACT: Mass-movement processes represent a persistent challenge for urban management in tropical regions of Brazil, especially where steep residual soils, high rainfall indices and densely occupied hillslopes converge. The municipality of Ilhéus, situated on a complex geomorphological framework of dissected hills and coastal plains, exhibits recurrent landslide events strongly influenced by prolonged rainfall. This study integrates disaster records from the local Civil Defense (2002–2024), 72-hour accumulated rainfall from monitoring stations of CEMADEN, and demographic data from the 2022 census provided by IBGE. After filtering and validating 1,183 landslide-related occurrences, a Kernel density surface was generated to map spatial concentrations of events. This heatmap was then compared with census-based population-density distributions to assess the interplay between hazard intensity and demographic exposure. Results indicate a clear spatial convergence between high-intensity Kernel hotspots and densely populated sectors located on steep urban slopes. Moreover, an expressive increase in event frequency was observed above the threshold of 100 mm of accumulated rainfall in 72 hours, signaling a critical hydrometeorological trigger for slope failures. The integrated analysis demonstrates the effectiveness of combining publicly accessible datasets to refine risk diagnostics and support early-warning strategies in municipalities with similar geotechnical conditions.

KEYWORDS: Mass movements, Rainfall, Population density, Risk management.

1 INTRODUÇÃO

A cidade de Ilhéus, situada no litoral sul da Bahia, apresenta um cenário geomorfológico complexo, caracterizado por colinas dissecadas, vertentes íngremes e superfícies convexizadas, resultantes de longos processos de intemperismo atuando sobre rochas metamórficas. A presença de mantos espessos de alteração laterítica e solos residuais profundamente intemperizados, combinada com um regime pluviométrico tropical úmido e de alta intensidade, estabelece condições naturais de elevada suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa (VARGAS, 1971). Tais materiais, com elevada capacidade de saturação e redução significativa de resistência ao cisalhamento sob fortes chuvas, tornam-se especialmente instáveis durante episódios de precipitação extrema, como acumulados críticos de 72 horas (GUIDICINI e IWASA, 1977). A expansão urbana de Ilhéus historicamente direcionou-se para vertentes médias e superiores, ocupadas de forma progressivamente densa e, muitas vezes, sem a infraestrutura necessária para a estabilização de taludes ou drenagem adequada. O registro histórico de deslizamentos demonstra padrões espaciais estreitamente associados a gatilhos hidrometeorológicos, sobretudo chuvas intensas e concentradas. A distribuição socioespacial do município, marcada pela concentração de populações de baixa renda em áreas de maior declividade, reforça a sobreposição entre vulnerabilidade estrutural e condições naturais de instabilidade.
Este estudo fundamenta-se na necessidade de compreender a relação entre chuvas extremas, distribuição demográfica e recorrência de movimentos de massa no município. Para isso, realizou-se uma análise espacial comparando a mancha de calor (Kernel) gerada pelos registros de deslizamentos com o acumulado de precipitação de 72 horas e com o mapa de densidade populacional do Censo 2022, permitindo identificar setores onde a coincidência entre alta exposição humana e elevada incidência de eventos torna o risco significativamente ampliado. Essa abordagem busca aprimorar o entendimento dos padrões espaço-temporais de instabilidade e oferecer subsídios técnicos para ações de gestão urbana e proteção civil.

2 METODOLOGIA

Embora o município de Ilhéus possua uma vasta extensão territorial, a área de estudo delimitada concentra-se na região central e nos seus 'Altos' circundantes. Essa escolha justifica-se pelo fato de esta zona representar o núcleo histórico e demográfico de maior adensamento urbano sobre relevo acidentado. Diferente das extensas áreas rurais ou das planícies costeiras do município, a região central apresenta a maior sobreposição entre declividades acentuadas e exposição humana, onde a pressão demográfica forçou a ocupação de vertentes críticas. Portanto, a escala de análise adotada prioriza os setores onde a vulnerabilidade socioambiental e a recorrência histórica de desastres atingem os níveis mais elevados, tornando-a a área mais representativa para a gestão de riscos geodinâmicos no município.

2.1. Levantamento, Filtragem e Validação (Análise do Gráfico)

A metodologia foi estruturada em etapas de obtenção, filtragem e integração de bases multitemporais. Inicialmente, foram extraídos do sistema S2iD todos os registros de desastres ocorridos em Ilhéus entre 2002 e 2024, totalizando 1.634 ocorrências brutas. Para garantir consistência temática, aplicou-se um protocolo de filtragem voltado exclusivamente a movimentos de massa e ocorrências associadas à instabilidade de encostas, resultando em 1.250 registros de deslizamentos, desabamentos e solicitações de medidas estruturais emergenciais. Tipologias não relacionadas ao escopo geotécnico, como enxurradas, enchentes e queda de árvores isoladas, foram descartadas.
Os dados pluviométricos foram obtidos a partir das estações do CEMADEN e do INMET. A base foi processada para o cálculo dos acumulados de chuva em janelas de 24h, 48h e 72h. O cruzamento temporal entre as séries resultou na remoção de 67 registros com inconsistências ou ausência de dados meteorológicos na janela temporal da ocorrência. A amostra final, composta por 1.183 eventos validados, serviu de base para a construção do gráfico de frequência (Figura 1). Observa-se um comportamento acentuado no volume de ocorrências a partir de 40 mm em 72h, evidenciando um limiar crítico de saturação do solo e justificando o uso dessa janela temporal nas análises subsequentes.

2.2. Análise Pluviométrica e Identificação de Gatilhos (72h)

A literatura geotécnica demonstra que, em ambientes tropicais com solos residuais profundamente intemperizados, o acumulado de 72 horas é o indicador mais representativo para deflagração de movimentos de massa (GUIDICINI e IWASA, 1977), pois reflete a perda de sucção matricial e o consequente aumento da pressão neutra. mecanicamente, a infiltração contínua ao longo desse período preenche os vazios do solo, eliminando a coesão aparente gerada pela tensão capilar e reduzindo a tensão efetiva do maciço. Embora as janelas de 24h e 48h tenham sido calculadas, o recorte de 72h foi selecionado por capturar de forma mais eficaz o processo de infiltração lenta e progressiva da frente de saturação, responsável por reduzir a resistência ao cisalhamento em taludes naturais e antropizados.

2.3. Geoprocessamento e Estatística Espacial

As etapas de processamento cartográfico foram realizadas no software ArcGIS Pro, seguindo os procedimentos:

• Modelagem de Densidade de Kernel (Heatmap): Utilizou-se a técnica de densidade de Kernel para transformar a distribuição pontual de ocorrências em uma superfície contínua de intensidade espacial. Cada evento recebeu peso associado ao acumulado de precipitação de 72h, permitindo identificar zonas críticas de recorrência de instabilidade.

• Mapa Coroplético de Densidade Populacional: Com base nos setores censitários do IBGE (Censo 2022), foi calculada a densidade demográfica por área (km²). A equação utilizada foi:

$$D = \frac{V0001}{Area}$$

onde *V0001* corresponde à população residente. A representação adotou escala de tons de cinza para ressaltar gradientes de adensamento, garantindo contraste visual com o heatmap de ocorrências.

• Integração de Relevo e Ortoimagens: Foram sobrepostas curvas de nível (equidistância de 5 m) e ortofotos em formato ECW, possibilitando avaliar se os hotspots de calor coincidem com áreas de maior declividade, presença de taludes residuais e ocupação urbana consolidada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Dados utilizados

A análise estatística permitiu gerar modelos de correlação linear que descrevem o comportamento dos movimentos de massa frente aos diferentes acumulados pluviométricos. O cruzamento entre a frequência de registros e a precipitação acumulada em 72h revelou padrões distintos para cada tipologia monitorada pela Defesa Civil de Ilhéus.

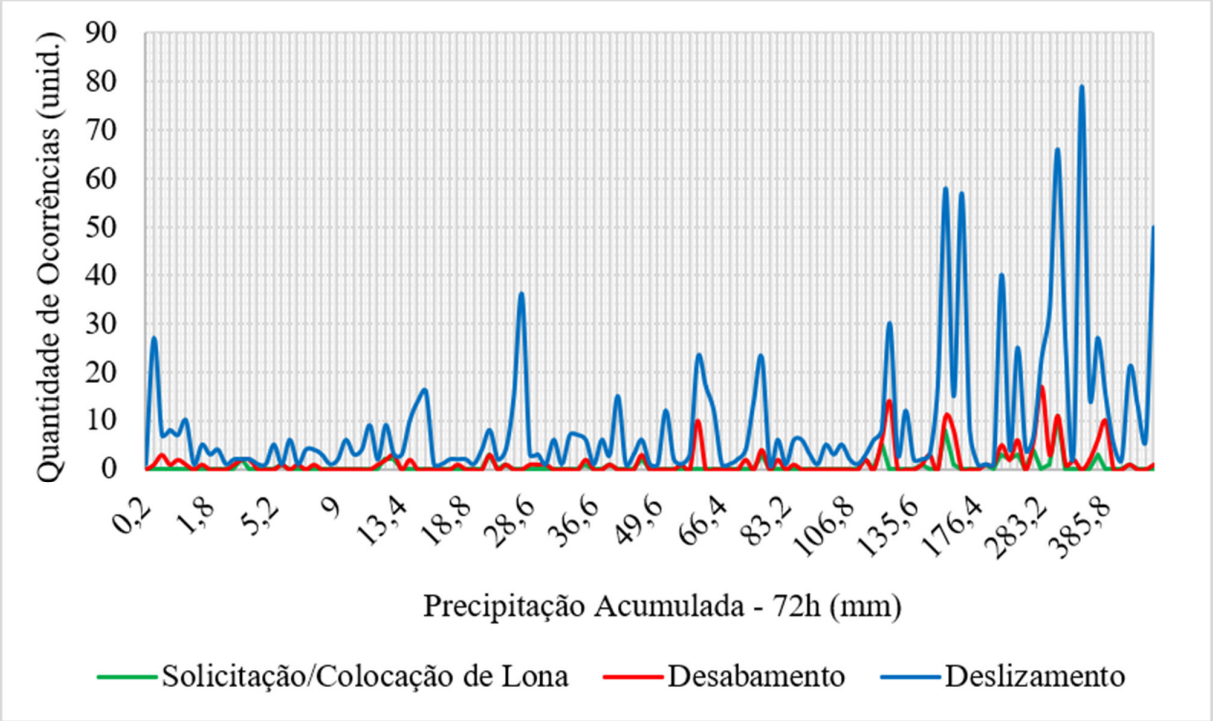


Figura 1. Correlação entre precipitação acumulada e tipologia de registros nos Altos de Ilhéus.

A Figura 1 apresenta o gráfico de dispersão correlacionando o acumulado de 72h com a frequência de eventos. Observa-se uma tendência positiva clara para a tipologia “Deslizamentos”, indicando que o aumento da precipitação está diretamente associado ao crescimento do número de ocorrências. Embora a chuva funcione como o gatilho primário, a deflagração dos movimentos de massa permanece condicionada a variáveis físico-ambientais e antrópicas, como a eficiência da drenagem urbana, o estado dos taludes e o padrão de ocupação dos “Altos”. Esses fatores modulam a estabilidade local e explicam a variabilidade na resposta das encostas diante de volumes semelhantes de precipitação.

A tendência geral é inequívoca: há um incremento expressivo da frequência de registros acima do limiar de 100 mm acumulados em 72h. Esse comportamento valida localmente o conceito de limiar crítico de deflagração estabelecido na literatura nacional por Tatizana et al. (1987), indicando o ponto onde a frequência de escorregamentos dispara. Esse comportamento se acentua em eventos extremos, como o observado em abril de 2023, quando uma precipitação superior a 332,6 mm desencadeou 79 deslizamentos simultâneos. Sob a perspectiva geotécnica, um evento dessa magnitude eleva drasticamente o peso específico do solo por saturação e gera pressões neutras elevadas na base do manto de alteração, reduzindo a tensão efetiva (VARGAS, 1971). Como a ruptura nesses cenários extremos ocorre em faixas mais profundas do talude, as medidas paliativas superficiais, como a instalação de lonas, mostram-se ineficazes para conter o colapso estrutural, revelando limites estruturais à resiliência dessas áreas.

3.2. Distribuição Espacial e Tipologias de Risco

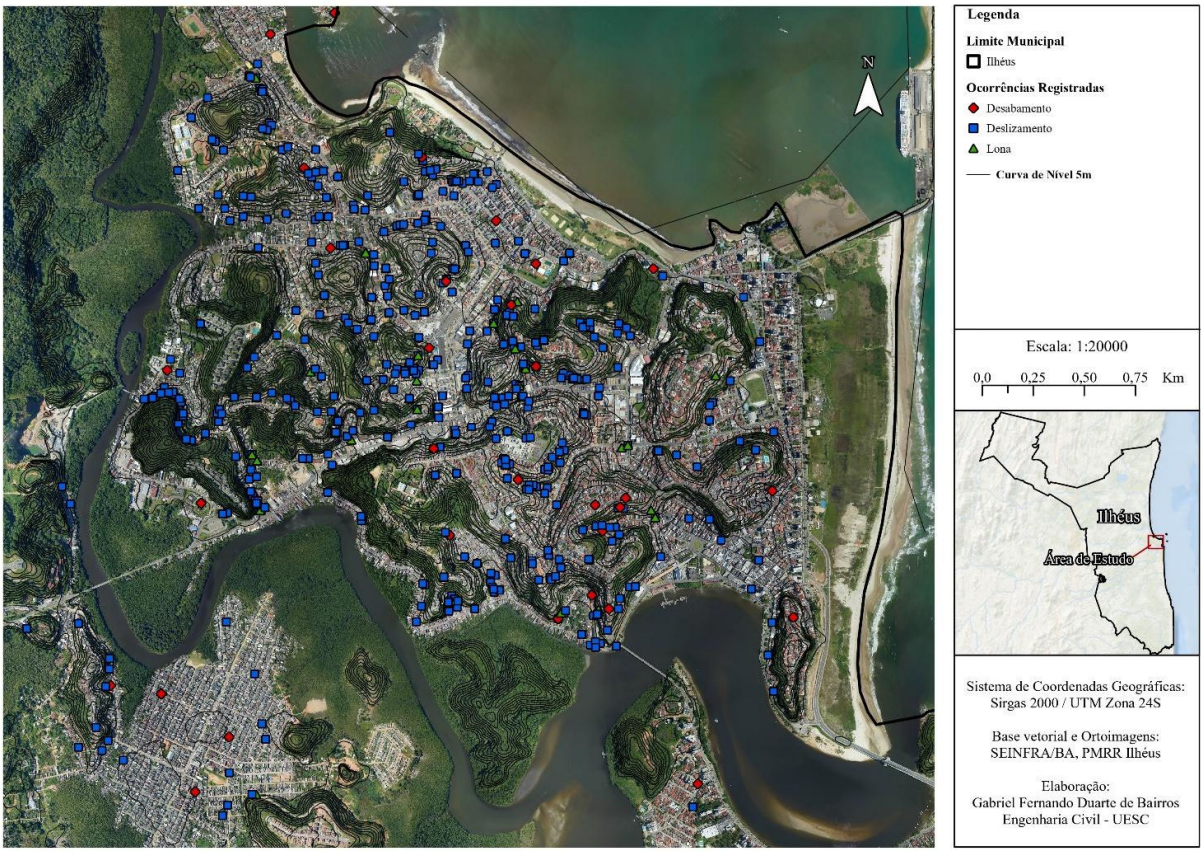


Figura 2. Espacialização dos registros validados por tipologia.

A Figura 2 ilustra a distribuição espacial dos 1.183 eventos validados. A predominância de deslizamentos ocorre nas vertentes com maior declividade, enquanto as ocorrências classificadas como “Colocação de Lonas” funcionam como um indicador precoce de vulnerabilidade, refletindo a percepção comunitária de movimentação superficial do solo. A distribuição espacial acompanha fielmente a malha dos “Altos” do município, confirmando que a pressão demográfica sobre encostas íngremes é um elemento catalisador essencial do perigo geodinâmico na cidade.

3.3. Hotspots de Perigo e Exposição Demográfica

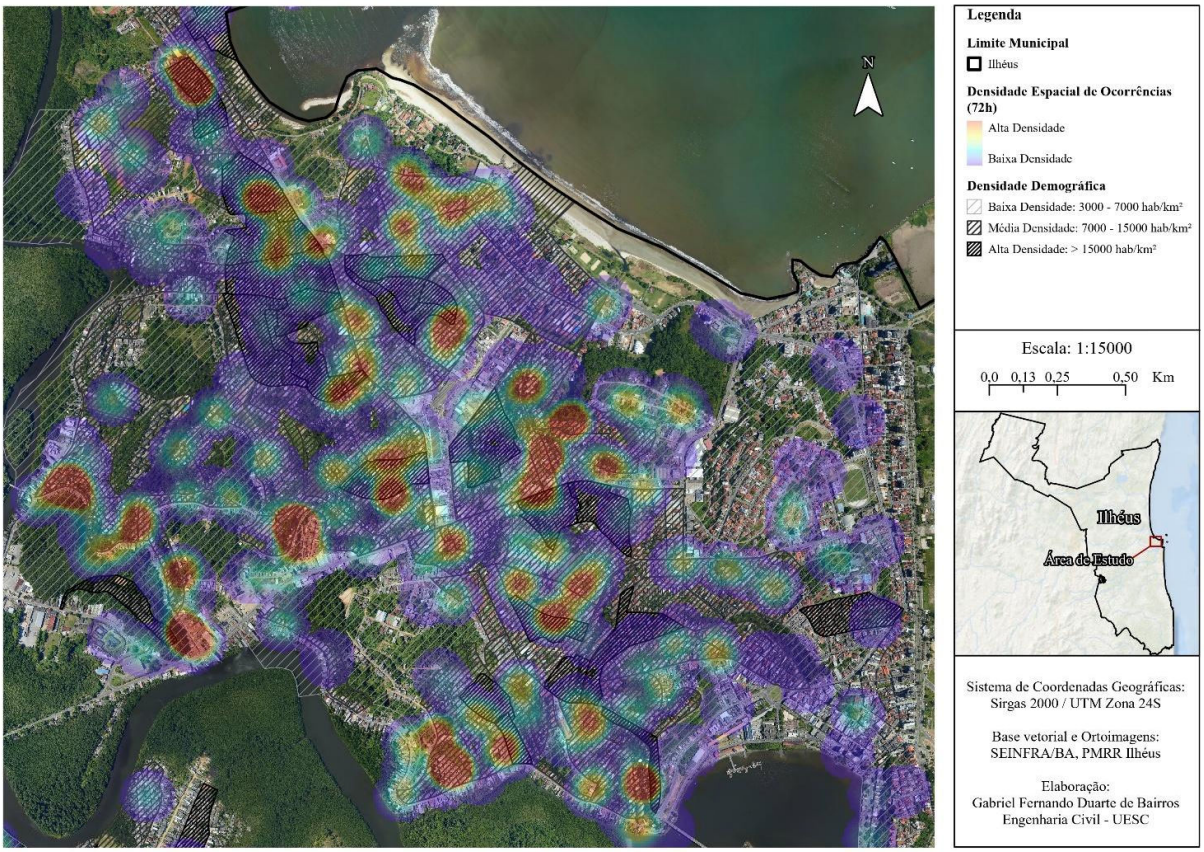


Figura 3. Mapa de calor (Kernel) dos movimentos de massa integrados à densidade populacional.

O mapa de calor evidencia núcleos de criticidade particularmente intensos nos bairros Alto da Conquista, Tapera e Coqueiro. Ao filtrar as classes de baixa densidade, observa-se que setores censitários com densidade superior a 15.000 hab/km² apresentam convergência espacial quase total com os hotspots do Kernel. Mesmo áreas com densidade intermediária (5.000–10.000 hab/km²) demonstram alta incidência de eventos quando situadas sobre encostas íngremes, o que reforça o papel decisivo da morfologia do terreno na amplificação do risco.

A análise das curvas de nível revela que a expansão urbana atingiu o limite técnico de estabilidade das vertentes, onde autoconstruções e sistemas de drenagem insuficientes não suportam a carga dinâmica imposta pelos movimentos de massa desencadeados pelos acumulados de 72h. Para além da declividade natural observada nos bairros Alto da Conquista, Tapera e Coqueiro, a severidade desses hotspots decorre de intervenções antrópicas que aceleram os mecanismos de ruptura descritos por Vargas (1971). A execução de cortes verticais sem obras de contenção para a criação de platôs residenciais expõe faces vulneráveis do solo. Além disso, a ausência de microdrenagem formal faz com que a água de calhas e sarjetas seja descartada diretamente na crista das encostas, concentrando o fluxo de infiltração. Esse cenário é agravado pelo uso de fossas sépticas rudimentares, que injetam efluentes continuamente no subsolo, mantendo o maciço em um estado permanente de pré-saturação e reduzindo consideravelmente o volume de chuva necessário para deflagrar o cisalhamento. A sobreposição entre alta densidade populacional, declividade acentuada e núcleos de saturação hídrica caracteriza um cenário de risco composto, onde perigos naturais e vulnerabilidades antrópicas se combinam para intensificar o potencial de danos.

4. CONCLUSÃO

A integração entre o histórico de ocorrências da Defesa Civil, os acumulados pluviométricos de 72 horas e a densidade demográfica dos setores censitários de Ilhéus permitiu identificar padrões espaciais e dinâmicas de resposta típicas de áreas urbanas implantadas sobre vertentes íngremes. A análise demonstrou que a precipitação prolongada atua como o gatilho primário para a deflagração dos movimentos de massa, mas a variabilidade da frequência dos eventos está fortemente condicionada a fatores locais, como a eficiência dos sistemas de drenagem, o estado dos taludes e o padrão de ocupação característico dos "Altos".

O comportamento ascendente da curva de ocorrências acima do limiar de 100 mm em 72h confirma a sensibilidade das encostas à saturação hídrica. Eventos extremos, como o registrado em abril de 2023, evidenciam a rápida perda de estabilidade das estruturas de solo residual quando submetidas a volumes excepcionais de precipitação. Esses episódios ilustram que a vulnerabilidade urbana não decorre apenas da intensidade da chuva, mas da interação entre fatores geodinâmicos e a pressão antrópica sobre o relevo.

A espacialização dos hotspots revelou que os núcleos de criticidade se concentram em "Altos" inseridos em alguns dos bairros mais populosos do município, incluindo Conquista, Tapera, Malhado, Barra, Esperança e Basílio. A coincidência entre adensamento populacional e manchas de calor provenientes do Kernel reforça que a exposição ao risco é amplificada pela ocupação de áreas morfologicamente desfavoráveis. Encostas densamente habitadas, sujeitas a drenagem insuficiente e autoconstruções sem critérios técnicos, apresentam maior propensão à ocorrência simultânea de deslizamentos durante períodos de chuva persistente.

De forma geral, os resultados demonstram que a combinação de dados acessíveis, como registros do S2iD, pluviometria do CEMADEN/INMET e malha populacional do Censo 2022, constitui uma abordagem eficiente para caracterizar risco de forma integrada. Ao evidenciar a sobreposição entre perigo geodinâmico e vulnerabilidade social, o estudo contribui para fundamentar ações de monitoramento, planejamento urbano e priorização de intervenções públicas. A relação direta entre precipitação acumulada, instabilidade das encostas e densidade habitacional confirma que os processos gravitacionais em Ilhéus seguem padrões previsíveis e espacialmente concentrados, indicando que o foco das futuras medidas de redução de risco deve considerar tanto a dinâmica pluviométrica quanto a organização territorial dos "Altos".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2iD)**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Disponível em: https://s2id.mi.gov.br.

CBPM – COMPANHIA BAIANA DE PESQUISA MINERAL. **Mapa Geológico do Estado da Bahia. Escala 1:1.000.000**. Salvador, 2003. Disponível em: https://rigeo.sgb.gov.br/items/ff6c853a-03dd-4e42-b99b-09c515eb4256.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2022: Resultados Preliminares por Setores Censitários**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?localidade=BR.

GUIDICINI, G.; IWASA, J. Tentativa de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em encostas tropicais. **Boletim da Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE)**, n. 4, p. 13-29, 1977.

TATIZANA, C. et al. Análise da correlação entre chuvas e escorregamentos de encostas na Serra do Mar, Município de Cubatão. In: **Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia**, 5, 1987, São Paulo. Anais... São Paulo: ABGE, v. 2, p. 225-236, 1987.

VARGAS, M. Effect of rainfall and groundwater levels on stability of natural slopes in residual soils. In: **Proceedings of the 4th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering**, Puerto Rico, v. 2, p. 131-145, 1971.