

# MAPEAMENTO DAS ÁREAS SUSCETÍVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TEJIPIÓ, EM PERNAMBUCO

*Mapping of areas susceptible to mass movements in the Tejipló river water basin, in Pernambuco*

*Mapeo de las áreas susceptibles a movimientos en masa en la cuenca hidrográfica del río Tejipló, en Pernambuco*

**Amaury Gouveia PESSOA NETO** – Universidade de Pernambuco (UPE)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6320-8066>

URL: <http://lattes.cnpq.br/6713566691047643>

EMAIL: [agpn@poli.br](mailto:agpn@poli.br)

**Simone Rosa da SILVA** – Universidade de Pernambuco (UPE)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7138-7546>

URL: <http://lattes.cnpq.br/5033340358002701>

EMAIL: [simonerosa@poli.br](mailto:simonerosa@poli.br)

**Kalinny Patrícia Vaz LAFAYETTE** – Universidade de Pernambuco (UPE)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7954-2317>

URL: <http://lattes.cnpq.br/5853695582658559>

EMAIL: [klafayette@poli.br](mailto:klafayette@poli.br)

**Ioná Maria Beltrão Rameh BARBOSA** – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE)

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5795-1398>

URL: <http://lattes.cnpq.br/3171196198128324>

EMAIL: [ionarameh@recife.ifpe.edu.br](mailto:ionarameh@recife.ifpe.edu.br)

## RESUMO

Em diversas cidades brasileiras, o fenômeno da urbanização foi desenvolvido de maneira acelerada, intensa e não planejada, levando à ocupação de áreas inadequadas à habitação, como encostas declivosas e com solos de pouca estabilidade. Além de outras consequências, esse regime de ocupação, somado às condições climáticas adversas, favorecem a ocorrência de movimentos de massas, provocando danos patrimoniais e ambientais, além perdas de vidas humanas. Dessa forma, este estudo teve por objetivo mapear as áreas suscetíveis a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejipló, em Pernambuco, devido às características físico-naturais e ao significativo índice de urbanização apresentados na região. A metodologia utilizada fundamentou-se na integração, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), de fatores condicionantes a esse tipo de processo, sendo eles: geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura e uso da terra, declividade e pluviosidade. Em seguida, foram atribuídos pesos a estes fatores, quanto ao grau de potencialidade a movimentos de massa, de modo que o produto final resultou em um mapa temático de suscetibilidade ao supracitado processo. Os principais resultados revelaram que 24,65 km<sup>2</sup> da bacia é representada por áreas altamente suscetíveis aos movimentos de massa, o que equivale a 28,10% da região, as quais apresentam uma combinação de fatores associados como elevadas hipsometria e

Histórico do artigo

Recebido: 02 outubro, 2023  
Aceito: 09 fevereiro, 2024  
Publicado: 11 março, 2024

declividade e solos argilosos. O mapeamento desenvolvido neste estudo compreende uma importante ferramenta que visa subsidiar o planejamento e a gestão do risco a fenômenos geológicos, permitindo a definição de medidas eficazes à prevenção, proteção e mitigação dos impactos negativos causados por movimentos de massa.

**Palavras-chave:** Encostas; Fenômenos Geológicos; Sistema de Informações Geográficas.

## ABSTRACT

In several Brazilian cities, the phenomenon of urbanization was developed in an accelerated, intense, and unplanned manner, leading to the occupation of areas unsuitable for housing, such as steep slopes and soils with little stability. In addition to other consequences, this occupation regime, combined with adverse weather conditions, favors the occurrence of mass movements, causing property and environmental damage, in addition to the loss of human life. Therefore, this study aimed to map the areas susceptible to mass movements in the Tejipió river basin, in Pernambuco, due to the physical-natural characteristics and the significant urbanization rate presented in the region. The methodology was based on the integration, in a Geographic Information System (GIS) environment, of factors conditioning this type of process, namely: geology, geomorphology, pedology, land cover and use, slope, and rainfall. Then, weights were assigned to these factors, regarding the degree of potential for mass movements, so that the final product resulted in a thematic map of susceptibility to the aforementioned process. The main results revealed that 24.65 km<sup>2</sup> of the basin is represented by areas highly susceptible to mass movements, which is equivalent to 28.10% of the region and presents a combination of associated factors such as high hypsometry and slope and clayey soils. The mapping developed in this study comprises an important tool that aims to support planning and risk management for geological phenomena, allowing the definition of effective measures to prevent, protect, and mitigate negative impacts caused by mass movements.

**Keywords:** Slopes; Geological Phenomena; Geographic Information System.

## RESUMEN

En varias ciudades brasileñas, el fenómeno de la urbanización se desarrolló de manera acelerada, intensa y no planificada, llevando a la ocupación de áreas no aptas para vivienda, como pendientes pronunciadas y suelos poco estables. Además de otras consecuencias, este régimen de ocupación, combinado con condiciones climáticas adversas, favorece la ocurrencia de movimientos masivos, provocando daños materiales y ambientales, además de la pérdida de vidas humanas. Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo mapear las áreas susceptibles a movimientos en masa en la cuenca del río Tejipió, en Pernambuco, debido a las características físico-naturales y al importante índice de urbanización que presenta la región. La metodología utilizada se basó en la integración, en un entorno de Sistema de Información Geográfica (SIG), de factores que condicionan este tipo de procesos, a saber: geología, geomorfología, edafología, cobertura y uso del suelo, pendiente y precipitaciones. Luego, se asignaron pesos a estos factores, en función del grado de potencial de movimientos de masas, de modo que el producto final resultó en un mapa temático de susceptibilidad al proceso antes mencionado. Los principales resultados revelaron que 24,65 km<sup>2</sup> de la región están representados por áreas altamente susceptibles a movimientos en masa, lo que equivale al 28,10% del territorio, que presenta una combinación de factores asociados como alta hipsometría y suelos de pendiente y arcillosos. El mapeo desarrollado en este estudio constituye una importante herramienta que tiene como objetivo apoyar la planificación y gestión de riesgos de fenómenos geológicos, permitiendo definir medidas efectivas para prevenir, proteger y mitigar los impactos negativos causados por los movimientos en masa.

**Palabras clave:** Pendientes; Fenómenos Geológicos; Sistema de información geográfica.



## 1 INTRODUÇÃO

O processo de urbanização ocorrido no Brasil se desenvolveu intensamente a partir da metade do século XX, quando uma significativa parte da população migrou do campo para a cidade, impulsionada pelas oportunidades advindas da industrialização (Freitas; Robaina, 2019; Lima et al., 2021; Wu et al., 2021; Carvalho et al., 2022). No entanto, na maioria dos grandes centros brasileiros, esse processo evoluiu de forma não planejada, acarretando problemas dos níveis sociais, econômicos, culturais e ambientais (Rocha; Schuler, 2016; Santos et al., 2020; Pereira; Sousa Júnior; Vieira, 2022).

O desenvolvimento urbano não planejado ocasiona consideráveis alterações na cobertura e uso da terra e nos padrões de paisagem, causando severos danos ao sistema ambiental como: perdas materiais e patrimoniais, perda de biodiversidade, emissões de carbono, escassez de água, condições meteorológicas extremas e poluição ambiental, ameaçando de uma forma geral a sustentabilidade (Santos et al., 2021; Liang et al., 2022; Chao et al. 2023; Chen et al. 2023). Intervenções antrópicas, como a remoção da vegetação em encostas para ampliação das áreas impermeabilizadas, somadas às condições climáticas adversas intensificam os episódios de movimentos de massa (Costa Junior; Cabral, 2019; Sant Ana et al., 2020). Conforme Silveira, Vettorazzi e Valente (2014), os movimentos de massa ocorridos em áreas urbanas, sobretudo em períodos chuvosos, resultam em prejuízos econômicos e ambientais, bem como na perda de vidas humanas.

Esses movimentos são processos que apresentam como característica principal o transporte de material rochoso e/ou de solo, tendo a força gravitacional como o agente deflagrador fundamental (He et al., 2019; Kormann; Robaina, 2019). Diante dos transtornos provocados à sociedade por movimentos de massa, torna-se primordial o conhecimento sobre as características com metodologias que abordem a urbanização com os movimentos de massa, sendo úteis para codenar a relação com o meio ambiente em uma área tão ecologicamente frágil, ficando evidente um estudo detalhado da expansão do solo urbano no espaço e no tempo (Costa Junior; Cabral, 2019; Tsagkis; Bakogiannis; Nikitas, 2023).

O Geoprocessamento, sobretudo a tecnologia do Sistema de Informações Geográficas (SIG), permite efetuar a coleta, o armazenamento e o processamento de dados e a realização de análises espaciais, resultando na elaboração de mapas temáticos (Pessoa Neto; Silva; Barbosa, 2023). Essa versatilidade faz com que o SIG seja primordial na gestão de riscos e desastres, possibilitando a produção de informações que identifiquem

regiões com potencial de movimento de massa (Amaya et al., 2021; Lima; Avanzi; Silva, 2021). A avaliação da suscetibilidade a movimentos de massa tem sido conferida em diversos estudos que, em conjunto com o SIG, englobam estatística, análise multi-critério e/ou machine learning (Rocha; Schuler, 2016; Meirelles; Dourado; Costa, 2018; He et al., 2019; Vojteková; Vojtek, 2020; Devara; Tiwari; Dwivedi, 2021; Aslam et al., 2022; Pessoa Neto et al., 2023).

A bacia hidrográfica do rio Tejupiό, situada no estado de Pernambuco, enfrenta profundas mudanças no espaço devido à expansão não planejada da malha urbana (Silva et al., 2017). Segundo Pessoa Neto, Silva e Barbosa (2023), é bastante comum verificar na região problemas como a ocupação irregular de moradias e o lançamento de resíduos sólidos e efluentes domésticos não tratados em locais inapropriados, como encostas. Essas ações contribuem diretamente no aumento dos episódios de movimentos de massa.

Além do considerável índice de urbanização, a bacia do rio Tejupiό apresenta características físico-naturais que a condiciona fortemente a apresentar áreas suscetíveis ao processo de movimentos de massa. Sob essa perspectiva, o presente trabalho visou utilizar as técnicas de geoprocessamento em um ambiente SIG para desenvolver um mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejupiό, no estado de Pernambuco.

## 2 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Tejupiό está localizada totalmente na Região Metropolitana do Recife (RMR), em Pernambuco. Compreende-se entre as coordenadas UTM (Fuso 25 S) 9.097.732,1422mN e 9.111.398,6828mN e 274.515,6117mE e 293.463,6738mE (Figura 01) e drena uma área de aproximadamente 90 km<sup>2</sup> (Silva et al., 2017).

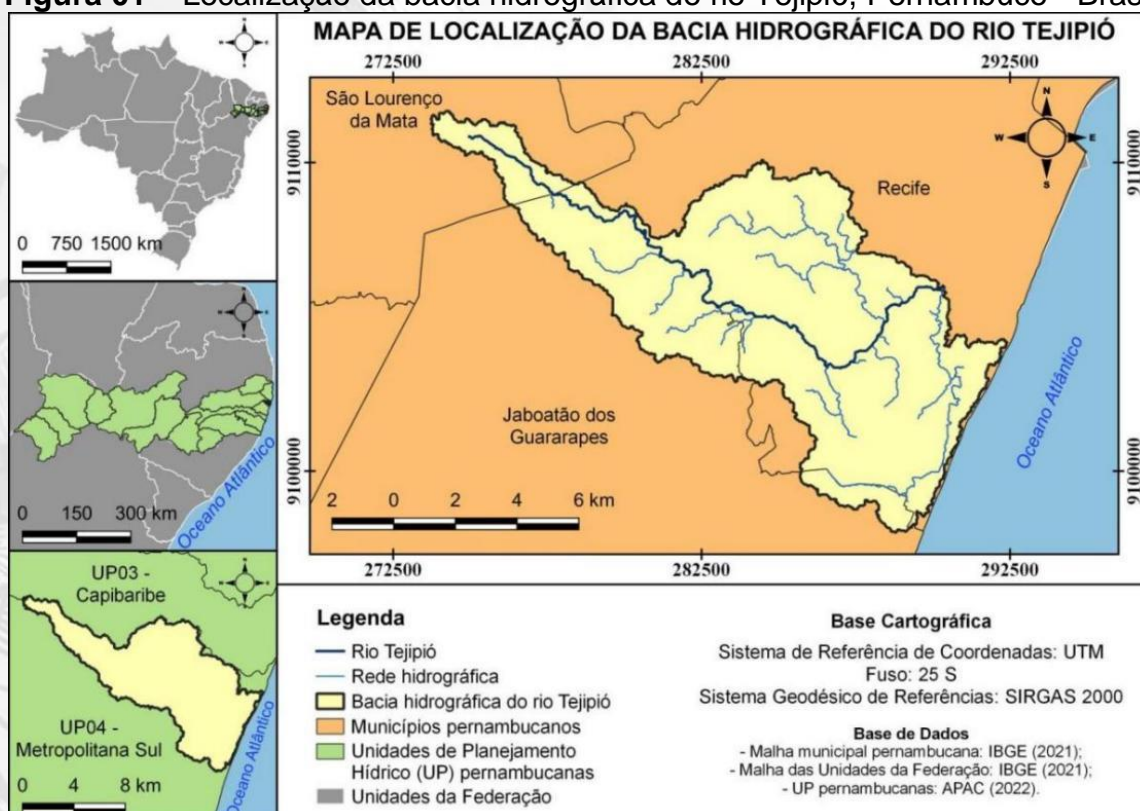
Conforme a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), a bacia do rio Tejupiό está inserida na Unidade de Planejamento Hídrico 04 - UP04, denominada Metropolitana Sul (APAC, 2022). O rio Tejupiό, que configura seu canal principal, possui uma extensão aproximada de 25 km, apresenta sua nascente no município de São Lourenço da Mata e percorre os municípios de Jaboatão dos Guararapes e Recife até seu exutório, na bacia do Pina (Silva et al., 2017).

Segundo Pessoa Neto, Silva e Barbosa (2023), essa bacia hidrográfica apresentou índices pluviométricos médios máximo e mínimo mensais respectivos a 333,53 mm e 29,85



mm e média anual de 1.897,94 mm, para um período de 18 anos, compreendido entre 1º de janeiro de 2004 e 31 de dezembro de 2021. Os índices máximos mensais de precipitação ocorrem na região, geralmente, durante o mês de junho, mas podem ser superados na ocorrência de eventos extremos, como ocorrido no dia 28 de maio de 2022, cujo o valor acumulado de chuva para esse dia apresentou volumes superiores a 200 mm, o que acarretou significativos danos patrimoniais, ambientais e humanos, promovidos por movimentos de massa e inundações (Silva *et al.*, 2023).

**Figura 01** – Localização da bacia hidrográfica do rio Tejupiό, Pernambuco - Brasil



**Fonte:** Pessoa Neto, Silva e Barbosa, 2023.

Acerca da geomorfologia, a bacia hidrográfica apresenta morros em seus alto e médio cursos e planícies costeiras em seu baixo curso. Em relação ao uso e cobertura da terra, a urbanização é a classe que predomina no local, equivalendo a 67,40% de sua área total; a vegetação representa 22,50% da bacia, abrangendo resquícios de Mata Atlântica secundária; a agricultura constitui 4,50% da região, contemplando, principalmente, o cultivo de cana-de-açúcar; os manguezais englobam uma área que configura 5,20% do território; por fim, 0,40% da área total é pertencente aos corpos hídricos, sobretudo massas d'água, como açudes e lagos (Silva *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2017).

A deposição de resíduos sólidos e efluentes domésticos não tratados diretamente

em encostas e a ocupação de moradias em locais inadequados (Figura 02) potencializam os episódios de movimentos de massa na região, que são agravados durante eventos extremos de precipitação. Esse fato foi comprovado durante o evento extremo ocorrido na região no dia 28 de maio de 2022, que atingiu um índice acumulado de precipitação de 292,80 mm, equivalendo 96,40% da média mensal (APAC, 2022). Além de movimentos de massa, esse evento extremo também provocou inundações, resultando em consideráveis danos patrimoniais e ambientais, além da perda de vidas humanas.

**Figura 02** – Registros de fatores que potencializam o risco a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejupiό



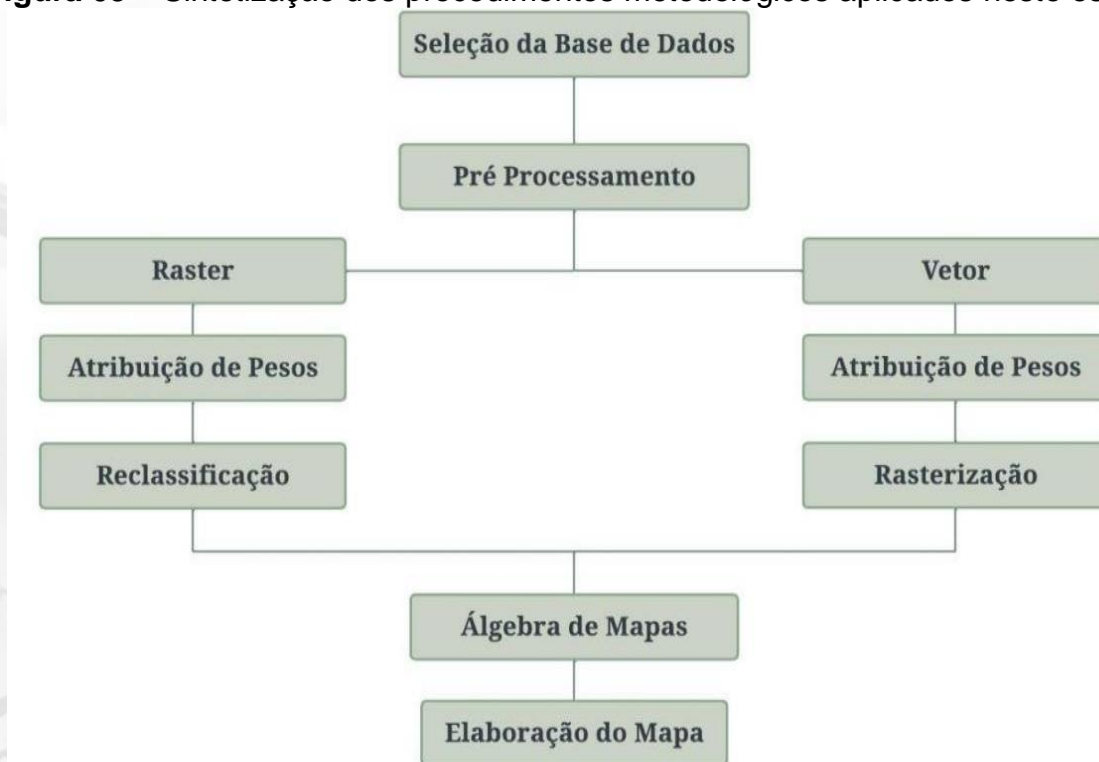
**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

A sintetização da metodologia aplicada neste estudo pode ser verificada na Figura 03. O mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejupiό foi produzido a partir da seleção de fatores que condicionam a região a esse tipo de processo, sendo esses fatores predispostos pelo IBGE (2019). Em seguida, conforme o nível de propensão a movimentos de massa, valores (pesos) foram atribuídos aos fatores através do processo de reclassificação. Por fim, pela álgebra de mapas, os dados espaciais reclassificados foram combinados a um modelo matemático definido pelo IBGE (2019) para que fosse gerado o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.



**Figura 03** – Sintetização dos procedimentos metodológicos aplicados neste estudo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

### 3.1 Seleção, coleta e tratamento dos fatores condicionantes a movimentos de massa

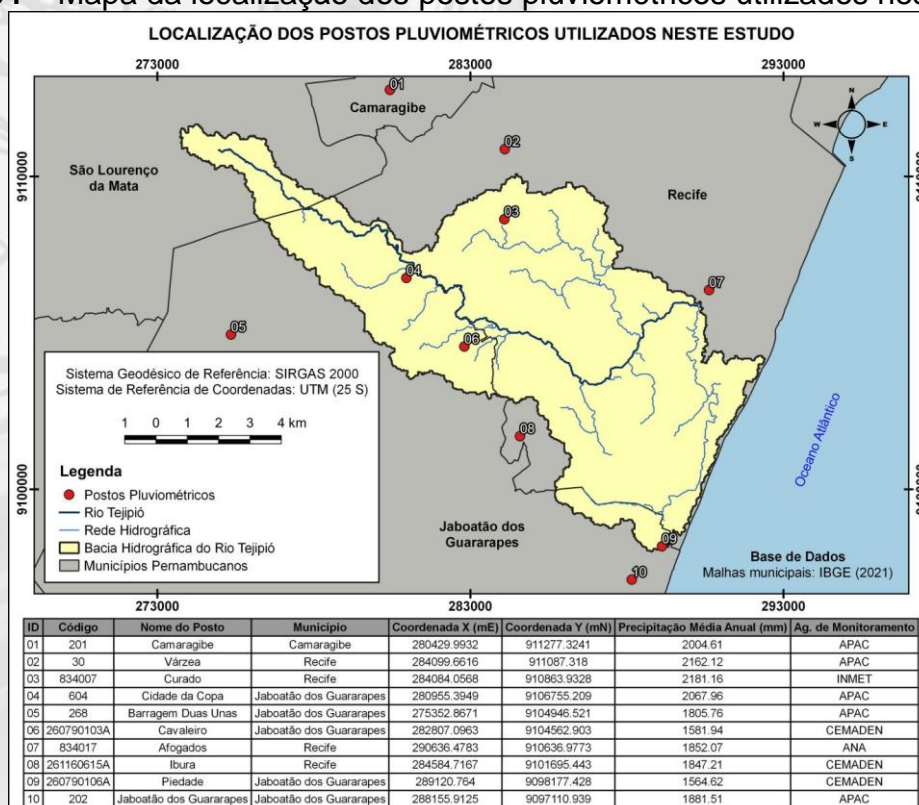
O mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejupió foi elaborado a partir da seleção dos fatores condicionantes a esse processo predispostos pelo IBGE (2019), são eles: geologia, geomorfologia, pedologia, cobertura e uso da terra, declividade e pluviosidade. Foram adquiridos dados espaciais por meio de sítios on-line de órgãos oficiais, sendo coletados e processados da seguinte maneira:

- Geologia e Geomorfologia: Os dados referentes à geologia e à geomorfologia da bacia do rio Tejupió foram obtidos no formato vetorial (shapefile) através da plataforma do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA), ambos na escala 1:250.000 (BDIA, 2019).
- Pedologia: Pela plataforma da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) foi adquirido o arquivo vetorial (shapefile), na escala 1:100.000, da distribuição espacial dos solos do estado de Pernambuco (EMBRAPA, 2018).
- Cobertura e uso da terra: Os dados espaciais foram advindos do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass) no formato matricial (raster), numa resolução de 30 metros (MAPBIOMASS, 2021).
- Declividade: O mapa de declividade foi produzido em formato raster, em grade regular,

a partir de Modelo Digital de Elevação (MDE) proveniente do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), com resolução espacial de 30 metros e oriundo de perfilamento a laser aerotransportado (LiDAR) (PE3D, 2013). As classes de declividades foram definidas em formato de porcentagem e agrupadas em seis classes, segundo classificação determinada pela EMBRAPA (2018).

- **Pluviosidade:** Foram utilizados dados históricos mensais de precipitação de dez postos pluviométricos correspondentes a um período de 18 anos, compreendido de 1º de janeiro de 2004 a 31 de dezembro de 2021. Vale salientar que esse intervalo de tempo foi utilizado de modo a minimizar o preenchimento de lacunas (falhas) nas séries históricas dos postos pluviométricos. Na identificação de falhas, para o complemento da ausência dos dados, foi adotado o método da ponderação regional, cuja obtenção dos dados estimados é realizada a partir das medições de pelo menos três estações que se localizem em uma região climática semelhante à estação a ser complementada. Dos postos utilizados, cuja localização pode ser verificada na Figura 04, cinco são monitorados pela APAC, um, pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), um, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e os demais, pelo Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN).

**Figura 04 – Mapa da localização dos postos pluviométricos utilizados neste estudo**



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.



Após obtenção e tratamento das séries históricas, foi utilizado o método aritmético para a determinação da precipitação média anual de cada posto. Em seguida, no QGIS (versão 3.10.9), foi utilizada a ferramenta “Interpolação IDW” para produzir o mapa da espacialização da precipitação na região estudada.

Todos os dados espaciais utilizados neste trabalho foram processados no software livre QGIS (versão 3.10.9), em coordenadas UTM (Fuso 25 S) e no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000).

Apesar da importância dos fatores condicionantes a movimentos de massa utilizados neste estudo, vale salientar que alguns outros puderam ser verificados em trabalhos similares (ASLAM et al., 2022; BHAGYA et al., 2023; ÖCÜL; ŞIŞMAN, 2023; PESSOA NETO et al., 2023), como orientação e formato das vertentes, intensidade sísmica, distância entre corpos hídricos, proximidade às rodovias, fluxo acumulado de água e o Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

De forma geral, estudos que adotam a temática do mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa são elaborados em função do objetivo do trabalho, da metodologia utilizada e do foco da aplicação, o que permite abordar diversas combinações de fatores ambientais, físicos e/ou socioeconômicos da região em estudo (MEENA; MISHRA; PIRALILLOU, 2019; VOJTEK; VOJTEKOVÁ, 2020; PESSOA NETO et al., 2023).

### 3.2 Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade a movimentos de massa

O processo de reclassificação dos fatores elencados na etapa anterior foi realizado conforme uma técnica de hierarquização das suas variáveis (classes). Essa hierarquização foi executada a partir da correspondência entre a potencialidade das variáveis ao processo de movimentos de massa a valores inteiros (notas) compreendidos entre um e dez e determinadas pelo IBGE (2019), sendo o valor unitário representado pelas variáveis menos favoráveis à ocorrência de movimentos de massa e o valor dez, as variáveis mais propensas a esse tipo de processo. A Tabela 01 apresenta a associação das notas realizadas nesse processo de hierarquização para consequente reclassificação.

**Tabela 01** – Reclassificação das variáveis dos fatores, quanto à suscetibilidade a movimentos de massa

Fatores	Variáveis (Classes)	Notas
	Barreiras	1
	Cobertura Cenozóica Indiscriminada	1

Geologia (Subprovíncias Estruturais)	Corpo D'Água Continental	1
	Depósitos Sedimentares Cenozóicos Costeiros	1
	Pernambuco-Alagoas	8
	Zona Transversal	8
Geomorfologia (Unidades Geomorfológicas)	Litoral Oriental Nordeste	1
	Tabuleiros Orientais do Nordeste (Dc41)	6
	Tabuleiros Orientais do Nordeste (Dc51)	6
	Tabuleiros Orientais do Nordeste (Dc52)	7
Pedologia (Tipos de Solo)	Área Urbana	10
	Argissolo Vermelho-Amarelo	7
	Gleissolo Háptico	6
	Latossolo Amarelo	3
	Neossolo Flúvico	1
	Solos de Mangue	2
	Rio	1
Cobertura e Uso da Terra	Área Agrícola	9
	Área Artificial	10
	Corpo Hídrico	1
	Mangue	2
	Solo Exposto	5
	Vegetação Campestre	2
	Vegetação Florestal	1
Declividade (%)	0 – 3	1
	3 – 8	3
	8 – 20	5
	20 – 45	8
	45 – 75	9
	> 75	10
Pluviosidade (mm)	1.500 - 2.000	8
	2.000 - 2.500	9

Fonte: Elaborada pelos autores, a partir de IBGE (2019)

A reclassificação dos dados espaciais, segundo a atribuição de notas apresentada na Tabela 1, foi realizada a partir do QGIS (versão 3.10.9). Os arquivos representados em formato vetorial foram convertidos para o matricial, para que fosse possível a realização desse procedimento.

### 3.3 Álgebra de mapas e verificação da eficiência do mapeamento quanto à suscetibilidade a movimentos de massa

A álgebra de mapas foi aplicada através da correlação das camadas reclassificadas na etapa anterior a pesos determinados pelo IBGE (2019). Como subsídio para essa etapa, foi desenvolvido o modelo matemático apresentado na Equação 1. Conforme o IBGE (2019), o cálculo da suscetibilidade foi realizado pela integração das informações temáticas e pela elaboração de algoritmo para o respectivo cálculo. Os pesos foram ponderados de



acordo com simulações realizadas e avaliadas pelo conhecimento técnico-científico da equipe que compõe o órgão, de modo que foram excluídas as que apresentaram dados anormais e preservadas as demais, e, por processo de eliminação, foi definido o conjunto pesos que melhor representou a condição de suscetibilidade a movimentos de massa (IBGE, 2019).

$$M = 0,15 \times GL + 0,20 \times GM + 0,15 \times PE + 0,10 \times UT + 0,35 \times DE + 0,05 \times PL \quad (1)$$

Onde: M = Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, GL = Geologia, GM = Geomorfologia, PE = Pedologia, UT = Cobertura e uso da terra, DE = Declividade, PL = Pluviosidade.

Por fim, o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa, produzido pela álgebra de mapas, foi reclassificado segundo os critérios apresentados na Tabela 02.

**Tabela 02** – Critérios para reclassificação do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa

Valor do Pixel	Valor da Reclassificação	Nível de Suscetibilidade
0 - 3,50	1	Muito baixa
3,51 - 4,50	2	Baixa
4,51 - 5,50	3	Média
5,51 - 6,50	4	Alta
6,51 - 10	5	Muito alta

**Fonte:** Elaborada pelos autores, a partir de IBGE (2019).

Pretendendo verificar a eficiência da metodologia aplicada neste estudo, o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejupió foi validado por meio da espacialização de 361 ocorrências realizadas à Secretaria de Defesa Civil do Jaboatão dos Guararapes (SEDC) no período de 28 de maio de 2022 a 02 de junho de 2022, as quais foram registradas diretamente em uma planilha, que foi obtida diretamente no órgão.

Essas ocorrências foram reflexo do evento extremo de precipitação ocorrido na região no dia 28 de maio de 2022. O evento meteorológico atuante na referida data decorreu de Distúrbios Ondulatórios de Leste, apresentando volumes de chuva superiores a 200 mm, sendo esses elevados volumes de precipitação associados a desastres como alagamentos,

inundações, deslizamentos de encostas e perdas econômicas (Silva et al., 2023).

Para esse tipo de validação, foram considerados como assertivos os pontos de ocorrência que coincidiram em estar localizados nas áreas identificadas no mapeamento como altamente suscetíveis a movimentos de massa, o que definiu o seu nível de exatidão. Complementando a etapa de validação, foi realizada uma comparação do mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa com seis registros fotográficos, datados de 03 de junho de 2022 a 14 de julho de 2022, que retrataram episódios desse tipo de processo que ocorreram na região.

Vale salientar que apesar de a bacia do rio Tejupiό também abranger os municípios de Recife e São Lourenço da Mata, não foi possível obter informações relativas aos movimentos de massa nessas regiões como as oriundas do município de Jaboatão dos Guararapes, pois os órgãos responsáveis pelas informações não retornaram às solicitações em tempo hábil.

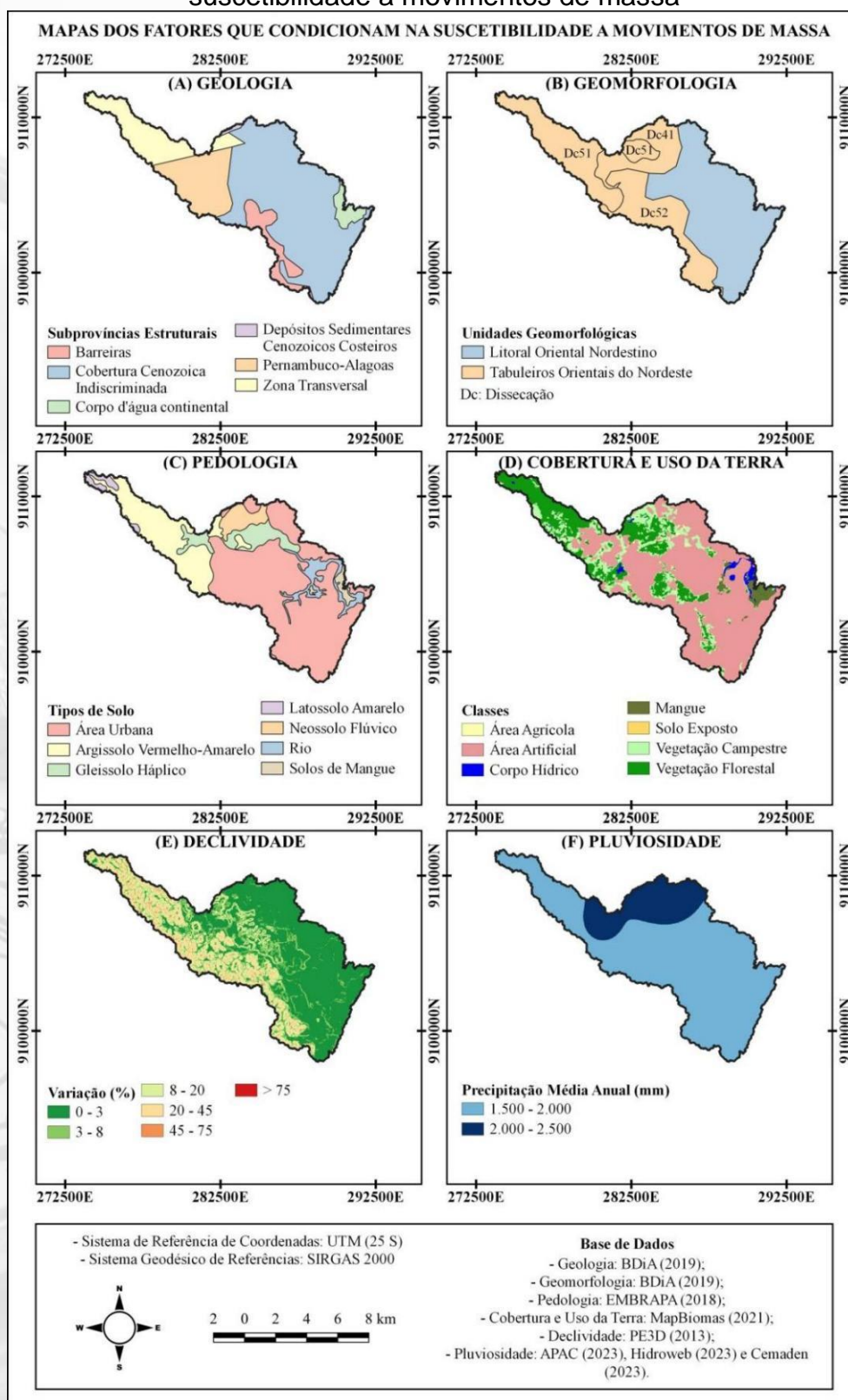
#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Com auxílio do SIG, os mapas que representam o comportamento da bacia hidrográfica do rio Tejupiό quanto aos fatores que condicionam na suscetibilidade a movimentos de massa selecionados para este estudo foram elaborados, como apresenta a Figura 04, sendo: geologia (A), geomorfologia (B), pedologia (C), cobertura e uso da terra (D), declividade (E) e pluviosidade (F).

Analisando a Figura 05, constata-se que quanto à geologia (A), as subprovíncias estruturais referentes às coberturas Cenozóicas predominam o território estudado; as subprovíncias Pernambuco-Alagoas e Zona Transversal, que favorecem a suscetibilidade a movimentos de massa, localizam-se na porção norte da região; e as relativas a Barreiras, Corpos d'água continental e Depósitos Sedimentares Cenozóicos Costeiros aparecem em pequenas quantidades. De acordo com Meena, Mishra e Piralilou (2019), a geologia representa um fator considerável no tocante à abordagem de movimentos de massa, pois as unidades geológicas apresentam níveis variados de resistência, permeabilidade e propensão à falha.



**Figura 05** – Mapas dos fatores, selecionados para este estudo, que condicionam na suscetibilidade a movimentos de massa



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Em relação à geomorfologia (B), a região compreende duas unidades de relevo: o Litoral Oriental Nordestino, que abrange as planícies costeiras, e os Tabuleiros Orientais

do Nordeste, localizados na parte oeste da região, constituído por formas tabulares e com cotas altimétricas mínima e máxima de 30 e 130 metros, respectivamente. As áreas com cotas altimétricas mais elevadas, geralmente, apresentam maiores propensões ao processo de movimentos de massa (Vojtek; Vojteková, 2020).

Quanto à pedologia (C), a área urbana prevalece na bacia, sobretudo na sua parte costeira. O Argissolo Vermelho-Amarelo e o Gleissolo Háptico, que são solos mais argilosos, são encontrados, respectivamente, nas porções oeste e centro-norte da região. Já os solos mais arenosos, o Latossolo Amarelo e o Neossolo Flúvico, são identificados a noroeste e norte, respectivamente. Conforme Aslam et al. (2022), os solos argilosos apresentam maior suscetibilidade a movimentos de massa, devido a sua alta capacidade de absorção de água. Esse processo aumenta o peso da camada do solo e contribui com a ruptura das encostas.

No tocante à cobertura e uso da terra (D) da bacia do rio Tejupiό, a classe da área artificial, que favorece os movimentos de massa, predominam as partes litorânea e central do território. Já a formação florestal, que representa a classe que menos condiciona ao processo de movimentos de massa, abrange, sobretudo, a porção noroeste, no alto curso da bacia. A conversão de áreas vegetadas em áreas impermeáveis acelera o processo de movimentos de massa, pois a vegetação é responsável pela estabilização das encostas, uma vez que o sistema radicular tem a função de preencher os vazios do solo, retardando o processo de infiltração das águas pluviais (Silveira; Vettorazzi; Valente, 2014; Jazouli; Barakat; Khellouk, 2019).

Sobre a topografia, as diversas classes de declividade (E) são distribuídas no território de modo que as regiões planas englobam a parte leste da bacia, que é preenchida, sobretudo, pelas áreas urbanizadas. As regiões mais íngremes são apresentadas a noroeste da bacia. De acordo com Meirelles, Dourado e Costa (2018), quanto maior a declividade da região, maior será sua instabilidade, o que potencializa os movimentos de massa.

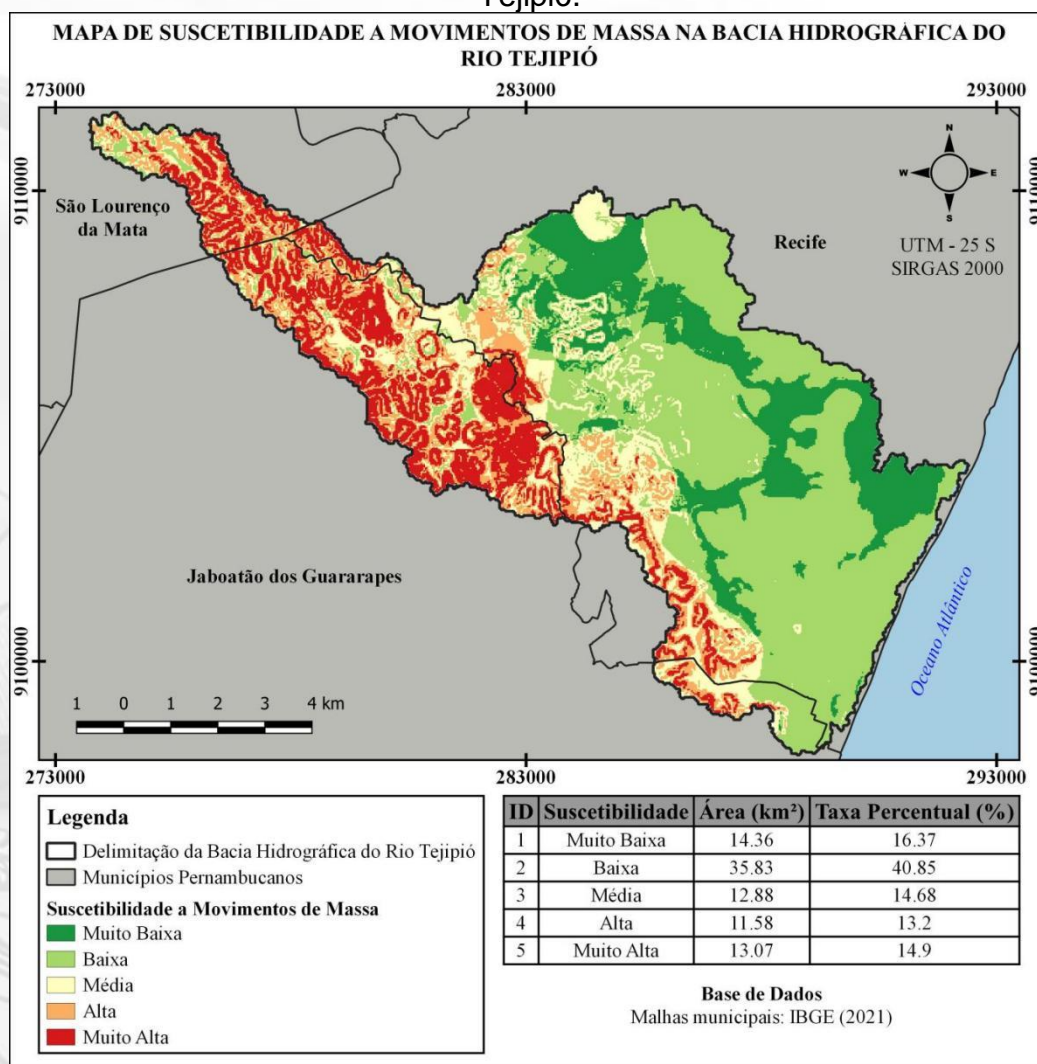
Sobre a variabilidade da precipitação média anual, os maiores índices pluviométricos (F) verificados (superiores a 2.000 mm) estão presentes na parte centro-norte da região. A precipitação é o principal elemento do ciclo hidrológico de entrada de água numa bacia hidrográfica. Eventos extremos de precipitação resultam na saturação do solo e, conseqüentemente, no processo de movimento de massa, pois, nessas condições, as encostas apresentam dificuldade em absorver a água em excesso.

A figura 06 apresenta o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa resultante



da reclassificação dos fatores condicionantes, obtidos pela álgebra de mapas.

**Figura 06** – Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejupió.



**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

Por meio do mapeamento da região em estudo quanto à suscetibilidade a movimentos de massa, é possível verificar que as classes de menores propensão ao processo totaliza 50,19 km<sup>2</sup>, o que equivale a 57,22% do território. As áreas pertencentes a essa classe estão localizadas no município do Recife e representam as regiões planas e com menores cotas altimétricas. As áreas mais suscetíveis a movimentos de massa, representadas pelas classes alta e muito alta, abrangem 28,10% da bacia e estão distribuídas, geralmente, nos municípios de Jaboatão dos Guararapes e São Lourenço da Mata, representando as regiões mais íngremes, de maiores altitudes e que apresentam solos mais argilosos.

Conforme Xavier, Listo e Nery (2022), as áreas mais favoráveis a movimentos de

massa da RMR caracterizam-se por apresentar uma acelerada expansão urbana em terrenos de sedimentação Cenozóica, os quais são mais propensos a esse tipo de processo. Ainda conforme os referidos autores, grande parte desse tipo de ocupação é consolidada no local com infraestrutura precária, o que colabora com a instabilidade de encostas, sobretudo declivosas, caracterizadas pelos glaciais de acumulação da Formação Barreiras.

A partir de análise bibliográfica, entrevistas e levantamento de campo, Silva et al. (2017) verificaram que a ocorrência de movimentos de massa na bacia do rio Tejupiό estão relacionadas aos seguintes fatores: dinâmica climática e geomorfológica favoráveis ao processo, retificações nos cursos fluviais e ocupações em encostas declivosas e pouco vegetadas.

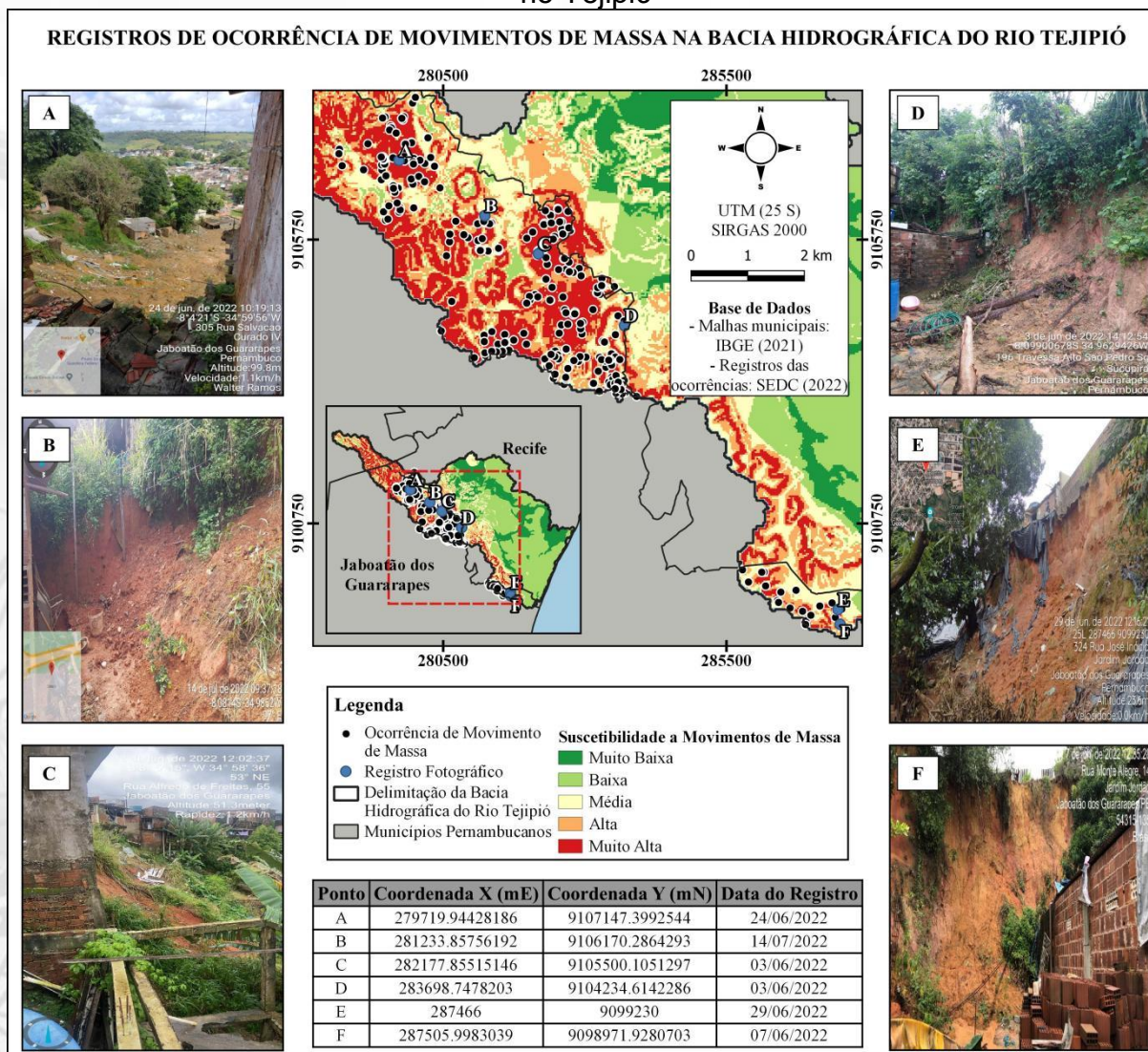
Em outras regiões, abrangendo características similares às observadas na bacia hidrográfica do rio Tejupiό, foram verificados resultados semelhantes. Como o estudo de Rodríguez, Flores e Santana (2021) que constatou que as áreas mais favoráveis a movimentos de massa no município de Anganguero, México, apresentam um substrato geológico frágil e solos propensos à erosão. Já Soares Júnior, Barradas e Franchi (2022) verificaram que as áreas do município de Mairiporã, em São Paulo, onde a suscetibilidade a movimentos de massa é potencializada são as de alta declividade e ausência de cobertura vegetal.

A figura 07 foi elaborada a partir dos 361 registros de episódios de movimentos de massa na região em estudo, fornecidas pela SEDC. Os registros fotográficos (identificados pelas letras A, B, C, D, E e F) retrataram as adversidades causadas por processos de movimentos de massa decorrentes do evento extremo de precipitação que ocorreu no dia 28 de maio de 2022, no local de estudo.

A partir das constatações apresentadas na Figura 07, foi observado que das 361 ocorrências de movimentos de massa, 72 estão situadas em áreas classificadas pelo mapeamento como de alta suscetibilidade e 257, em áreas de muito alta suscetibilidade (Tabela 03). Essa análise confere ao mapeamento um nível de confiabilidade (acurácia) superior a 91,00%, verificando uma elevada consistência ao método empregado. A respeito dos seis registros fotográficos levados em consideração, foi verificado que todos coincidem em estar localizados nas áreas definidas pelo mapeamento como de muito alta suscetibilidade ao processo.



**Figura 07 – Registros de ocorrências de movimentos de massa na bacia hidrográfica do rio Tejupió**



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

**Tabela 03 – Nível de confiabilidade do mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa, conforme as ocorrências registradas à SEDC durante os meses de maio e junho de 2022**

Nível de suscetibilidade a movimentos de massa definido pelo mapeamento	Quantidade de ocorrências
Muito baixa	zero
Baixa	1
Média	31
Alta	72
Muito alta	257
<b>Total</b>	<b>361</b>
<b>Acurácia</b>	<b>91,14%</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos resultados foi verificado que uma parcela de 12,88 km<sup>2</sup> da região em estudo é representada por áreas de moderada suscetibilidade a movimentos de massa, o que equivale a 14,68% da área. Já as que apresentam baixas e altas propensões correspondem, respectivamente, a 57,22% e 28,10% do território. As regiões categorizadas pelo mapeamento de alta propensão a movimentos de massa são as que possuem uma combinação de fatores correlacionados, como elevadas altitude e declividade e solos mias argilosos.

A metodologia empregada neste trabalho quanto ao mapeamento à suscetibilidade a movimentos de massa retrata uma alternativa viável quanto à eficiência e aplicabilidade, possibilitando que gestores e/ou profissionais da área realizem tomadas de decisões mais assertivas. Essa viabilidade é concedida, principalmente, pela facilidade de acesso, armazenamento e manipulação de informações espaciais, o que permite uma vasta combinação de procedimentos e aplicações. Assim, é possível fundamentar o planejamento e medidas preventivas e mitigadoras quanto aos movimentos de massa, reduzindo os impactos negativos causados por esse processo.

Um mapeamento consistente quanto à suscetibilidade a movimentos de massa pode ser considerado como um importante instrumento que fundamenta o planejamento e a gestão do risco a fenômenos geológicos, o que possibilita o desenvolvimento de medidas eficazes à prevenção, proteção e mitigação dos impactos negativos causados por esse tipo de processo.

Por fim, vale ressaltar que processos de movimentos de massa na área de estudo podem ser minimizados por ações que visem a conservação das condições naturais do meio, como a manutenção da vegetação nativa, promovendo o uso e cobertura da terra de maneira adequada.

## REFERÊNCIAS

AMAYA, A.; NTOUMBE, M.; DIGUIM, A. K.; KAH, E. Cartographie de la susceptibilité aux inondations par la méthode de l'analyse multicritère hiérarchique (AHP) combinée au Système d'Information Géographique (SIG): Cas du Département du Diamaré (Extrême-nord, Cameroun). **International Journal of Innovation and Applied Studies**, v. 33, n. 3, p. 491-501, 2021.

APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacias Hidrográficas**. 2022. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/bacias-hidrograficas>



ASLAM, B.; MAQSOOM, A.; KHALIL, U.; GHORBANZADEH, O.; BLASCHKE, T.; FAROOQ, D.; TUFAIL, R. F.; SUHAIL, S. A.; GHAMISI, P. Evaluation of Different Landslide Susceptibility Models for a Local Scale in the Chitral District, Northern Pakistan. **Sensors**, v. 22, n. 9, 3107, 2022.

BDiA - Banco de Dados e Informações Ambientais. **Temas**. 2019. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home>. Acesso em: 17 set. 2023.

BHAGYA, S. B.; SUMI, A. S.; BALAJI, S.; DANUMAH, J. H.; COSTACHE, R.; RAJANEESH, A.; GOKUL, A.; CHANDRASENAN, C. P.; QUEVEDO, R. P.; JOHNY, A. Landslide Susceptibility Assessment of a Part of the Western Ghats (India) Employing the AHP and F-AHP Models and Comparison with Existing Susceptibility Maps. **Land**, v. 12, n. 2, 468, 2023.

CARVALHO, R. G.; SOARES, I. A.; PAIVA, A. C. Q.; FERREIRA FILHO, J. M. F. Importância das áreas verdes urbanas no contexto da pandemia da Covid-19: Estudo no parque municipal Maurício de Oliveira – Mossoró – Rio Grande do Norte. **Revista Geográfica Acadêmica**, v.16, n. 2, p. 24-37, 2022.

CHAO, Z.; SHANG, Z.; FEI, C.; ZHUANG, Z.; ZHOU, M. Spatio temporal Analysis of Urban Expansion in the Mountainous Hindu Kush Himalayas Region. **Land**, v. 12, n. 3, 576, 2023.

CHEN, W.; WANG, G.; ZENG, J. Impact of urbanization on ecosystem health in Chinese urban agglomerations. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 98, 106964, 2023.

COSTA JUNIOR, H.; CABRAL, S. C. Tecnologias no mapeamento de áreas de risco de deslizamento em Teófilo Otoni. **Research, Society And Development**, v. 8, n. 12, e018121353, 2019.

DEVARA, M.; TIWARI, A.; DWIVEDI, R. Landslide susceptibility mapping using MT-InSAR and AHP enabled GIS-based multi-criteria decision analysis. **Geomatics, Natural Hazards And Risk**, v. 12, n. 1, p. 675-693, 2021.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de Solos do Brasil**. 2018. Disponível em: [http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil\\_solos\\_5m\\_20201104](http://geoinfo.cnps.embrapa.br/layers/geonode%3Abrasil_solos_5m_20201104). Acesso em: 17 set. 2023.

FREITAS, R. B.; ROBAINA, L. E. S. Estudo e cadastro de zonas de risco de inundação na área urbana do município de Restinga Sêca-RS. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 85-105, 2019.

HE, H.; HU, D.; SUN, Q.; ZHU, L.; LIU, Y. A Landslide Susceptibility Assessment Method Based on GIS Technology and an AHP-Weighted Information Content Method: a case study of southern anhui, China. **Isprs International Journal Of Geo-Information**, v. 8, n. 6, p. 266, 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Suscetibilidade a Deslizamentos do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro, RJ: IBGE, 2019.

JAZOULI, A. E.; BARAKAT, A.; KHELLOUK, R. GIS-multicriteria evaluation using AHP for landslide susceptibility mapping in Oum Er Rbia high basin (Morocco). **Geoenvironmental Disasters**, v. 6, n. 1, 3, 2019.

KORMANN, T. C.; ROBAINA, L. E. S. Parâmetros geomorfométricos para análise da suscetibilidade a movimentos de massa na área urbana de Blumenau, Santa Catarina. **Geografia Ensino & Pesquisa**, n. 23, 42, 2019.

LIANG, C.; ZENG, J.; ZHANG, R.; WANG, Q. Connecting urban area with rural hinterland: a stepwise ecological security network construction approach in the urban-rural fringe. **Ecological Indicators**, n. 138, 108794, 2022.

LIMA, V. H. R.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N. Áreas de risco de erosões do tipo movimento de massa do solo em Lagoa Dourada, Minas Gerais – Brasil. **Brazilian Journal Of Development**, v. 7, n. 1, p. 3603-3620, 2021.

LIMA, D. F.; SOUSA JUNIOR, A. M.; LIMA JUNIOR, F. O.; QUEIROZ, J. H. M. Expansão urbana de São Miguel/RN: Análise no recorte temporal de 2000 a 2017. **Caminhos de Geografia**, v. 22, n. 80, p. 182-200, 2021.

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. **Coleções MapBiomias**. 2021. Disponível em: [https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama\\_set\\_language=pt-BR](https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR). Acesso em: 17 set. 2023.

MEENA, S.; MISHRA, B.; PIRALILOU, S. T. A. Hybrid Spatial Multi-Criteria Evaluation Method for Mapping Landslide Susceptible Areas in Kullu Valley, Himalayas. **Geosciences**, v. 9, n. 4, 156, 2019.

MEIRELLES, E. O.; DOURADO, F.; COSTA, V. C. Análise Multicritério para mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa na bacia do rio Paquequer- RJ. **Geo Uerj**, n. 33, e26037, 2018.

ÖCÜL, M.; ŞIŞMAN, A. Landslide susceptibility analysis with multi criteria decision methods; a case study of Taşova. **Advanced GIS**, v. 3, n. 1, p. 14-21, 2023.

PE3D - Projeto Pernambuco Tridimensional. **Mapeamento do Território Pernambucano**. 2013. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/mapa.php>. Acesso em: 17 set. 2023.

PEREIRA, G.; SOUSA JUNIOR, A.; VIEIRA, A. Marco Legal da Urbanização no Brasil: reflexos na função social da propriedade. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p. 77-94, 2022.

PESSOA NETO, A. G.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, F. G. A.; FERREIRA, V. D. Método de Análise Hierárquica (AHP) para determinar a suscetibilidade a movimentos de massa no bairro da Macaxeira (Recife-PE, Brasil). **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 17, n. 1, p. 5-22, 2023.



PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R. da.; BARBOSA, I. M. B. R. Mapeamento das áreas suscetíveis a inundações na bacia hidrográfica do rio Tejupiό, em Pernambuco, Brasil. **Entorno Geográfico**, n. 26, e22413055, 2023.

ROCHA, A. P.; SCHULER, C. A. B. Avaliação espaço temporal da suscetibilidade a movimentos de massa utilizando ortofotocartas e modelagem espacial multicritério na dinâmica de áreas de risco nas Microrregiões do Jordão e Ibura, Recife - PE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 9, p. 1747-1770, 2016.

RODRÍGUEZ, L. M. E.; FLORES, G. D. G.; SANTANA, J. R. H. Deslizamientos y resiliencia comunitaria en Anganguero-Michoacán, México. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 30, n. 1, p. 257-273, 2021.

SANT ANA, W.; PEREIRA, J.; PEREIRA, J.; VOLPATO, S.; BACK, A.; LADWIG, N. Suscetibilidade a escorregamentos na bacia hidrográfica do rio Cedro/SC. In: LADWIG, N. I.; CAMPOS, J. B. (orgs.). **Planejamento e Gestão Territorial: inovação, tecnologia e sustentabilidade**. Criciúma: UNESCO, 2020. p. 337-359.

SANTOS, K.; FORMIGA, K.; BRAGA, V.; FARIA, K. Mudanças morfológicas na bacia hidrográfica do Córrego Barreiro ao longo do processo de urbanização, Goiânia -GO. **Urbe, Revista Brasileira de Gestão Urbana**, n. 13, e20200047, 2021.

SANTOS, M.; OLIVEIRA de JESUS; M., LISBOA, G.; PIRES, M. Ações mitigadoras na desocupação de área de preservação permanente em Itajuípe, Bahia (Brasil). **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 29, n. 2, p. 412-426, 2020.

SILVA, C. S.; BISPO, C. O.; SANTANA, G. A. C.; GIRÃO, O. Deslizamentos e enchentes na bacia do rio Tejupiό: percepção e resiliência frente a riscos geomorfológicos. **OKARA: Geografia em debate**, v. 11, n. 2, p. 316-337, 2017.

SILVA, C. S.; BISPO, C. O.; SILVA, S. B.; GIRÃO, O. Análise do sistema fluvial frente ao uso e ocupação da terra na bacia do rio Tejupiό – Região Metropolitana do Recife. In: LISTO, F. de L. R.; MÜTZENBERG, D. S.; TAVARES, B. A. C. (Orgs.). **E-book do I Workshop de Geomorfologia e Geoarqueologia do Nordeste**. Recife: GEQUA, 2016. p. 89-100.

SILVA, T. L. V.; LOPES, Z.; FERREIRA, R.; GUEDES, R.; PEREIRA, R.; PRESTRELO, F.; FERREIRA, A.; GOMES, J.; WANDERLEY, C.; SANTOS, E. Previsão de extremos de chuva em Pernambuco: os eventos de maio de 2022. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 1, p. 646-671, 2023.

SILVEIRA, H. L. F.; VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. A. Avaliação multicriterial no mapeamento da suscetibilidade de deslizamentos de terra. **Revista Árvore**, v. 38, n. 6, p. 973-982, 2014.

SOARES JÚNIOR, A. V., BARRADAS, T. F., FRANCHI, J. F. Dados geológicos e de sensoriamento remoto aplicados ao mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa: estudo de caso em Mairiporã, Estado de São Paulo – Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 80, n. 2, p. 166-187, 2022.

TSAGKIS, P.; BAKOGIANNIS, E.; NIKITAS, A. Analysing urban growth using machine learning and open data: an artificial neural network modelled case study of five greek cities. **Sustainable Cities And Society**, v. 89, 104337, 2023.

VOJTEKOVÁ, J.; VOJTEK, M. Assessment of landslide susceptibility at a local spatial scale applying the multi-criteria analysis and GIS: a case study from Slovakia. **Geomatics, Natural Hazards And Risk**, v. 11, n. 1, p. 131-148, 2020.

WU, S.; SUMARI, N.; DONG, T.; XU, G.; LIU, Y. Characterizing Urban Expansion Combining Concentric-Ring and Grid-Based Analysis for Latin American Cities. **Land**, v. 10, n. 5, 444, 2021.

XAVIER, J. P. S.; LISTO, F. L. R.; NERY, T. D. Landslides in the state of Pernambuco. **Mercator**, v. 21, n. 1, p. 1-16, 2022.

\*\*\*