

MÉTODO DE ANÁLISE HIERÁRQUICA (AHP) PARA DETERMINAR A SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NO BAIRRO DA MACAXEIRA (RECIFE-PE, BRASIL)

ANALYTIC HIERARCHY PROCESS (AHP) TO DETERMINE THE SUSCEPTIBILITY TO MASS MOVEMENTS IN BAIRRO DA MACAXEIRA (RECIFE-PE, BRAZIL)

PROCESO ANALÍTICO JERÁRQUICO (AHP) PARA DETERMINAR LA SUSCEPTIBILIDAD A LOS MOVIMIENTOS EN MASA EN EL BAIRRO DA MACAXEIRA (RECIFE-PE, BRASIL)

Amaury Gouveia Pessoa Neto

Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE
Email: agpn@poli.br

Kaliny Patricia Vaz Lafayette

Doutora em Engenharia Civil, Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC) da Escola Politécnica de Pernambuco (Poli/UPE), Universidade de Pernambuco (UPE), Recife/PE,
Email: klafayette@poli.br

Flaviana Gomes da Silva

Mestranda em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE
Email: fgas@poli.br

Vinícius Dias Ferreira

Graduando em Engenharia Civil, Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE
Email: vdf@poli.br

RESUMO: Em diversas cidades do Brasil, a expansão urbana se desenvolveu de modo acelerado, intenso e não planejado, levando à ocupação de áreas impróprias à habitação, como encostas íngremes e com solos instáveis. Além de outras consequências, esse tipo de processo, em conjunto com as condições climáticas adversas, intensifica a ocorrência de movimentos de massas, desastre que leva a danos humanos, patrimoniais e ambientais. Diante dessa problemática, este estudo buscou mapear as áreas suscetíveis a movimentos de massa no bairro da Macaxeira, município de Recife/PE. Esse mapeamento foi desenvolvido por uma das técnicas de Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios, o Método de Análise Hierárquica (AHP), aliada ao Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para isso, foram selecionados sete fatores que propiciam a ocorrência de episódios de movimentos de massa, os quais foram processados no *software* livre QGIS (v. 3.10.9) pelas técnicas de reclassificação e álgebra de mapas. Após a produção do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa na região estudada, foi verificado que as regiões que apresentam maiores propensões a esse tipo de desastre são as que possuem elevadas declividades e cotas altimétricas, solos argilosos, áreas urbanizadas e vertentes voltadas para as direções leste, sudeste e sul. A adoção dessa metodologia quanto ao mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa no bairro da Macaxeira se configurou como uma técnica eficaz quanto à aplicabilidade, possibilitando tomadas de decisões assertivas por gestores ou profissionais da área.

Palavras-chave: Álgebra de mapas; Sistema de Informações Geográficas (SIG); Tomada de Decisão por Múltiplos Critérios.

ABSTRACT: In several cities in Brazil, urban expansion has developed in an accelerated, intense and unplanned way, leading to the occupation of areas unsuitable for housing, such as steep slopes and unstable soils. In addition to other consequences, this type of process, together with adverse weather conditions, intensifies the occurrence of mass movements, a disaster that leads to human, property and environmental damage. Faced with this problem, this study sought to map the areas susceptible to mass movements in the neighborhood of Macaxeira, in the city of Recife/PE. This mapping was developed using one of the Multiple Criteria Decision Making techniques, the Analytic Hierarchy Process (AHP), combined with the Geographic Information System (GIS). For this, seven factors that favor the occurrence of mass movement episodes were selected, which were processed in the free software QGIS (v. 3.10.9) by reclassification and map algebra techniques. After producing the susceptibility map to mass movements in the region studied, it was verified that the regions that are more prone to this type of disaster are those with high slopes and elevations, clayey soils, urbanized areas and slopes facing the directions east, southeast and south. The adoption of this methodology for mapping areas susceptible to mass movements in the Macaxeira neighborhood was configured as an effective technique in terms of applicability, enabling assertive decision-making by managers or professionals in the area.

Keywords: Map algebra; Geographic Information System (GIS); Multiple Criteria Decision Making.

RESUMEN: En varias ciudades de Brasil, la expansión urbana se ha desarrollado de forma acelerada, intensa y no planificada, lo que ha llevado a la ocupación de áreas no aptas para la vivienda, como pendientes pronunciadas y suelos inestables. Además de otras consecuencias, este tipo de procesos, junto con las condiciones climáticas adversas, intensifican la ocurrencia de movimientos en masa, un desastre que conduce a daños humanos, materiales y ambientales. Frente a ese problema, este estudio buscó mapear las áreas susceptibles de movimientos masivos en el barrio de Macaxeira, en la ciudad de Recife/PE. Este mapeo fue desarrollado usando una de las técnicas de Toma de Decisiones de Criterios Múltiples, el Método de Análisis Jerárquico (AHP), combinado con el Sistema de Información Geográfica (SIG). Para ello se seleccionaron siete factores que favorecen la ocurrencia de episodios de movimiento de masas, los cuales fueron procesados en el *software* libre QGIS (v. 3.10.9) mediante técnicas de reclasificación y álgebra de mapas. Luego de elaborar el mapa de susceptibilidad a movimientos en masa en la región de estudio, se verificó que las regiones más propensas a este tipo de desastres son aquellas con altas pendientes y elevaciones, suelos arcillosos, áreas urbanizadas y pendientes orientadas hacia el este, sureste y sur. La adopción de esta metodología para el mapeo de áreas susceptibles a movimientos masivos en el barrio Macaxeira se configuró como una técnica eficaz en términos de aplicabilidad, posibilitando la toma de decisiones asertivas por parte de los gestores o profesionales del área.

Palabras clave: Álgebra de mapas; Sistema de Información Geográfica (SIG); Toma de Decisiones de Criterios Múltiples.

1. INTRODUÇÃO

A expansão urbana e sua forma de ocupação interferem nos impactos ambientais em áreas denominadas de risco, ou seja, áreas que podem ser atingidas por fenômenos, processos naturais ou induzidos, que causem efeito danoso à integridade física, 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 ambiental (RIMAL et al., 2019; JIANG et al., 2020; LI et al., 2020; PAN et al., 2020; RUSK et al., 2021; CHAO et al., 2023).

Esses processos são importantes para compreensão e identificação das rápidas transformações da paisagem, sobretudo nas encostas urbanas, e que nas últimas três décadas foram considerados bastante significativos. Inicialmente os deslizamentos eram considerados naturais, demandando ações com base em aspectos técnicos e científicos, mas posteriormente estes processos passaram a ser visualizados como socioambientais e que estão relacionados as vulnerabilidades e aos problemas decorrente do desenvolvimento urbano (SONG ZHOU; JIN; SUN, 2021). As intervenções antrópicas nesses ambientes afetam as formas do relevo e seus processos naturais operantes, podendo gerar desequilíbrio natural e catástrofes a depender da localização da área e do material constituinte.

O conhecimento sobre as características espaciais da expansão urbana são úteis para coordenar a relação entre a urbanização e o meio ambiente em uma área tão ecologicamente frágil, o que torna urgente realizar um entendimento detalhado da expansão do solo urbano no espaço e no tempo (RIMAL et al., 2019; TSAGKIS; BAKOGIANNIS; NIKITAS, 2023).

Estudos relacionados ao tema têm destacado a continuidade e frequência desses eventos, caracterizando seus elementos naturais em conjunto com as alterações antrópicas. Nesse sentido, Guimarães et al. (2008) expõem que as atividades e alterações humanas nos espaços urbanos têm se tornado de maior preocupação devido a irregular e intensa ação nas encostas como corte de sopés, retirada de taludes e da cobertura vegetal, acelerando e promovendo a ocorrência dos movimentos de massa, principalmente dos escorregamentos de solo.

Na cidade de Recife, as áreas de riscos estão irregularmente ocupadas e comumente por população de menor poder aquisitivo, logo, de maior vulnerabilidade. A falta de planejamento específico ou qualquer tipo de fiscalização vigente pelos órgãos competentes se faz necessário, no intuito de realizar estudos voltados não só para a identificação e hierarquização dos riscos mencionados, mas também para a caracterização socioeconômica da população residente, para que haja subsídio para políticas públicas de prevenção e mitigação de desastres naturais.

Atualmente, existem conjuntos de dados disponíveis para analisar as características espaciais e as mudanças em áreas de risco para a gestão urbana e planejamento, viabilizadas a partir de avanços tecnológicos dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e do Sensoriamento Remoto (HUANG et al., 2020). A utilização de métodos multicritérios é principalmente devido a importância e agilidade em promover resultados mais específicos, de qualidade e indicados para problemas de ordenamento territorial (uso da terra, vegetação, geologia, geomorfologia, demografia e entre outros), que possibilitam cenários de crescimento futuro, (ZAMBON et al., 2005; PISANI; ALVES, 2018).

Diante das características físico-naturais e da elevada taxa de urbanização conferidas ao bairro da Macaxeira, no município de Recife/PE, o presente estudo buscou mapear as áreas suscetíveis a movimentos de massa por meio do SIG, em conjunto com o Método de Análise Hierárquica (AHP), a fim de contribuir como instrumento para a elaboração de políticas públicas mitigadoras desse tipo de desastre.

2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

O bairro de Macaxeira está localizado no município de Recife, capital do estado pernambucano, como apresenta a Figura 1. Conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o bairro possui uma distância entre o Marco Zero igual a 8,76 km e uma área equivalente a 125,00 hectares, com população residente correspondente a 20.313 habitantes, obtendo uma densidade demográfica de 162,25 hab/ha (IBGE, 2023).

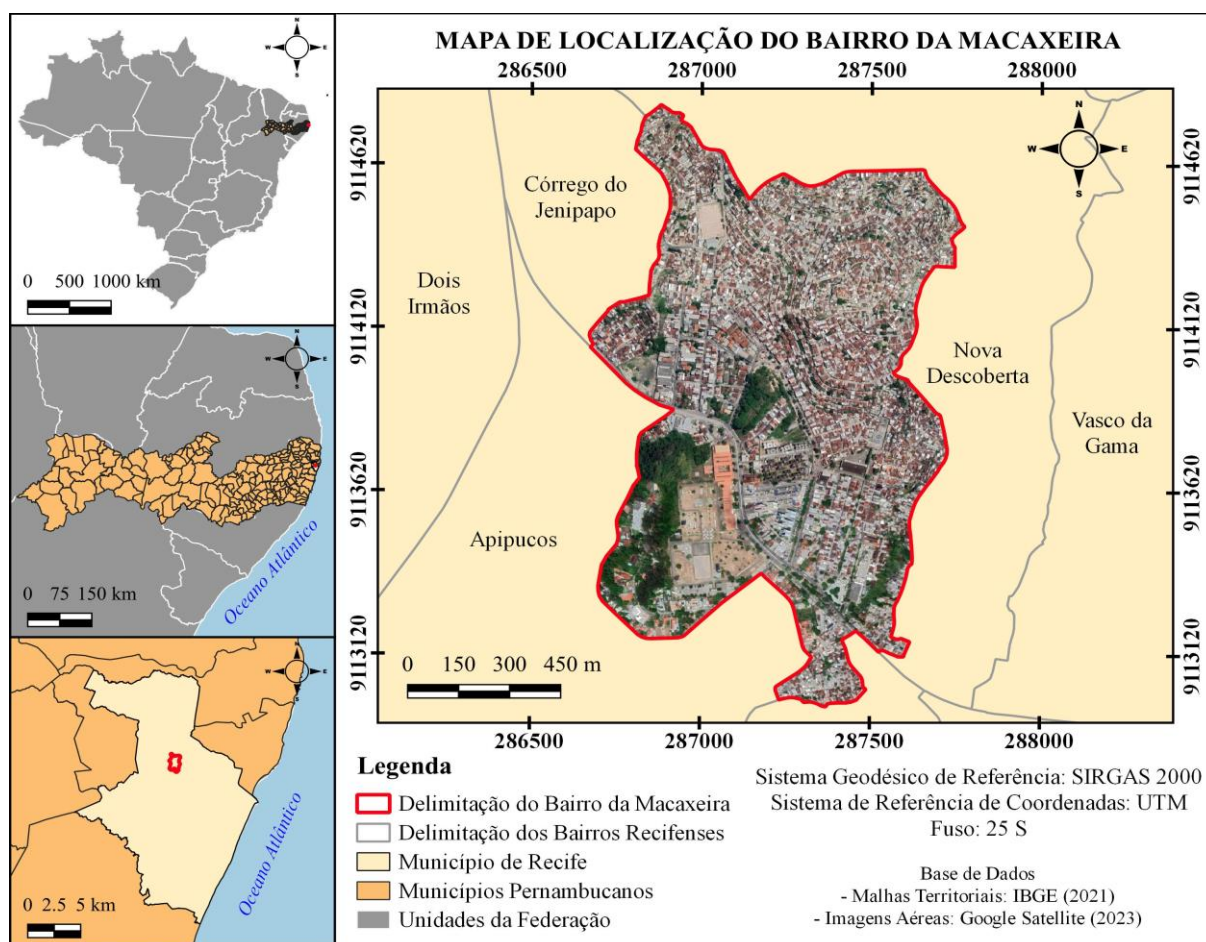


Figura 1 – Localização do bairro da Macaxeira, Recife/PE. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Conforme Santana et al. (2019), o bairro da Macaxeira passou por profundas transformações espaciais nas últimas décadas, contemplando o aumento da taxa de urbanização, sobretudo em áreas de encostas. Esse processo intenso de urbanização se desenvolveu a partir da década de 1980, ocasionado pela implantação da Fábrica de Tecidos Apipucos, o que acarretou na modernização da região e, conseqüentemente, o acelerado processo de ocupação do bairro (SANTANA et al., 2019; SANTOS et al., 2023).

Quanto à geomorfologia, o bairro da Macaxeira é caracterizado por apresentar tabuleiros costeiros dissecados ao norte e área de planície flúvio-oceânica ao sul, que é vulnerável às inundações ocasionadas pelo rio Capibaribe. O tabuleiro costeiro se caracteriza por uma altitude média que varia entre 50 e 100 metros. Os Tabuleiros ao longo da costa nordestina incluem planaltos de origem sedimentar, ora com vales estreitos e declives acentuados, ora com declives suaves abertos e fundo com amplas várzeas (EMBRAPA, 2022).

Segundo Villa Verde e Santos (2019), a cidade de Recife apresenta uma formação geológica bastante diversificada, contemplando rochas cristalinas, rochas vulcânicas e

sedimentares das Bacias Pernambuco e Paraíba, bem como, sedimentos diversos friáveis e erodíveis. A porção norte do bairro da Macaxeira é constituída por sedimentos Miocênicos da Formação Barreiras, típicos de deposição fluvial, enquanto a parte sul da região é formada por sedimentos fluviais lagunares (depósitos Quaternários) (SANTANA et al., 2019).

Em relação à pedologia, o desenvolvimento urbano apresentado no bairro da Macaxeira acarretou a modificação de grande parte do solo natural, porém ainda se observa uma significativa presença do Argissolo Amarelo, solo que apresenta como característica principal um horizonte de acumulação de argila, além de baixos teores de ferro e baixa fertilidade natural (SILVA; LAFAYETTE; SILVA, 2023; EMBRAPA, 2021).

A área abrange um clima quente e úmido, apresentando um índice pluviométrico médio anual superior a 2.307,50 mm (SANTANA et al., 2019; SILVA; BARBOSA; DUARTE, 2019). Na região, o índice pluviométrico máximo mensal ocorre, comumente, durante o mês de junho, podendo ser superado na ocorrência de eventos extremos. Em virtude desse registro, geralmente, nesse período é bastante comum a ocorrência de movimentos de massa, bem como inundações e alagamentos, resultando em significativos danos humanos, patrimoniais e ambientais.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia aplicada no desenvolvimento deste estudo é apresentada na Figura 2. O mapa de suscetibilidade a movimentos de massa foi elaborado a partir dos fatores condicionantes a este tipo de desastre, os quais foram selecionados a partir da recorrência em estudos semelhantes. Em seguida, foram atribuídas notas aos fatores por meio do processo de reclassificação, de acordo com o nível de suscetibilidade a movimentos de massa, para que o AHP pudesse ser aplicado. Por fim, foi realizado o processo de álgebra de mapas, resultando no mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.

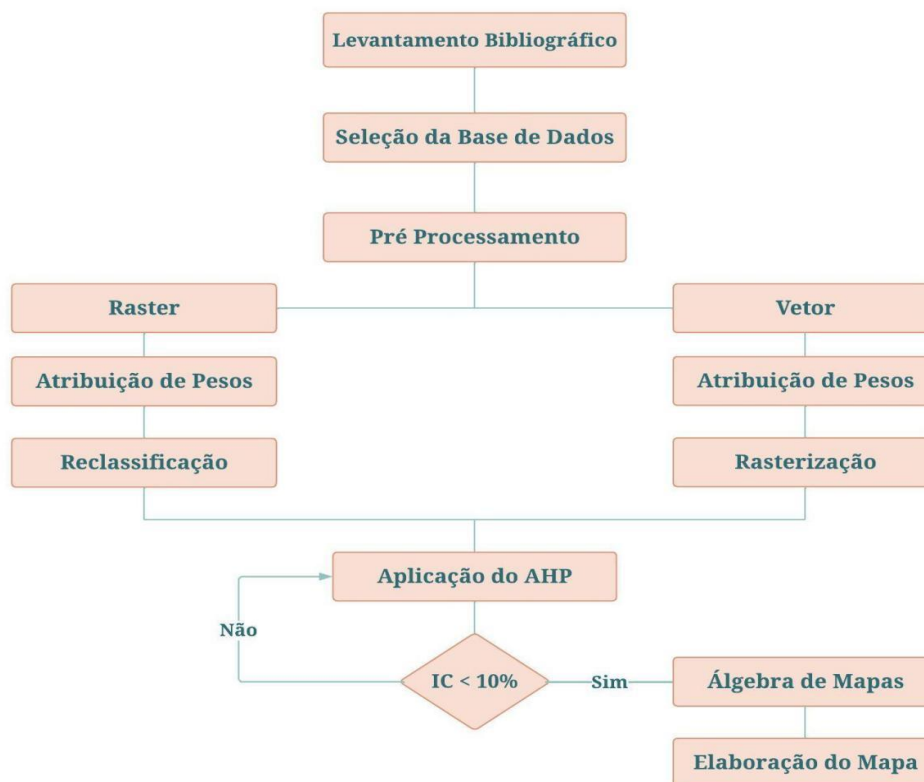


Figura 2 – Sintetização dos procedimentos metodológicos aplicados no estudo. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

3.1. Seleção dos fatores condicionantes à suscetibilidade a movimentos de massa

A realização desta etapa consistiu na seleção de fatores condicionantes a movimentos de massa a partir de estudos similares provenientes do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e da plataforma *Google Scholar*.

Nessa análise, foi verificado que os fatores declividade, hipsometria, uso e cobertura da terra, pedologia, litologia e orientação e formato das vertentes foram os mais recorrentes (HE et al., 2019; MEENA; MISHRA; PIRALILOU, 2019; BISPO et al., 2020; YU; CHEN, 2020; DEVARA; TIWARI; DWIVEDI, 2021; ASLAM et al., 2022; MANTOVANI et al., 2023; ÖCÜL; ŞIŞMAN, 2023; SAHA et al., 2023). Devido aos registros verificados na literatura, esses fatores foram selecionados para serem utilizados neste trabalho.

Outros fatores também foram abordados nos estudos analisados, como a densidade de drenagem, o índice de precipitação, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e as distâncias entre rodovias e corpos hídricos, entretanto não apresentaram uma frequência relevante. Portanto, por não apresentarem uma relevância significativa na análise, esses fatores não foram considerados neste trabalho.

3.2. Coleta e tratamento dos dados espaciais para a elaboração dos mapas temáticos

A obtenção dos dados espaciais utilizados para a elaboração dos mapas temáticos dos fatores condicionantes à suscetibilidade a movimentos de massa se deu por meio de plataformas virtuais (sítios *on-line*) de órgãos oficiais. O Quadro 1 apresenta a descrição dos métodos empregados para produção desses mapas.

Quadro 1 – Fontes de obtenção dos dados espaciais e métodos para elaboração dos mapas temáticos

Mapa	Fonte dos dados e métodos
Declividade	Proveniente do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D), que produziu Modelos Digitais de Elevação (MDE) com resolução espacial de 1 metro para todo o estado pernambucano, a partir de perfilamento a laser aerotransportado (LiDAR). As declividades apresentadas no mapa foram representadas na forma de porcentagem e agrupadas em seis categorias, propostas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).
Hipsometria	Elaborado por meio do MDE proveniente do PE3D. As cotas altimétricas foram representadas em metros e agrupadas em cinco intervalos.
Uso e cobertura da terra	Obtido pela Coleção 6 do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomass), no formato matricial e com resolução espacial de 30 metros. As classes de uso e cobertura da terra utilizadas para região estudada foram área urbana e vegetação florestal.
Pedológico	Oriundo da plataforma virtual da EMBRAPA no formato vetorial (<i>shapefile</i>).
Litológico	Obtido no formato vetorial pela plataforma do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA).
Orientação das vertentes	Elaborado a partir do MDE proveniente do PE3D. As orientações das vertentes foram representadas nas oito direções cardeais, além da superfície plana.
Formato das vertentes	Adquirido junto ao Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), pelo qual foi obtido o arquivo matricial das formas das vertentes relativo à quadrícula 08S36, numa resolução de 30 metros.

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

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

3.3. Reclassificação dos fatores quanto à suscetibilidade a movimentos de massa

Nesta etapa, os fatores elencados foram submetidos a um processo de reclassificação, conforme a associação de notas. Os valores dessas notas foram compreendidos entre os números inteiros 1 e 10, de maneira que o valor 1 foi associado às classes dos fatores menos suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa e o 10, às mais suscetíveis. O Quadro 3 apresenta a atribuição das notas às classes (ou distâncias) dos fatores para a realização da etapa de reclassificação.

Quadro 2 – Reclassificação dos critérios dos fatores, conforme a suscetibilidade a movimentos de massa

Mapa	Classes	Nota	Mapa	Classes	Nota
Declividade (%)	0 - 3	1	Litologia	Barreiras	1
	3 - 8	3		Depósitos Fluvio-marinhos Cenozóicos Costeiros	1
	8 - 20	5			
	20 - 45	8			
	45 - 75	9			
	> 75	10			
Hipsometria (m)	6,13 - 22,00	1	Orientação das vertentes	Plano	1
	22,00 - 38,00	3		Norte	2
	38,00 - 54,00	6		Nordeste	5
	54,00 - 70,00	8		Leste	10
	70,00 - 86,92	10		Sudeste	7
Uso e cobertura da terra	Áreas Vegetadas	1		Sul	8
	Área Urbanizada	10		Sudoeste	4
Pedologia	Argissolos	7		Oeste	2
	Área Urbana	10		Noroeste	1
				Formato das vertentes	Convexo
			Plano		6
			Côncavo		9

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de revisão bibliográfica (2023).

A etapa de reclassificação, segundo a associação de notas apresentada no Quadro 3, foi realizada no *software* livre QGIS (versão 3.10.9). As camadas representadas pelo formato vetorial foram convertidas para o *raster*, possibilitando a realização desse tipo de procedimento.

3.4. Aplicação do AHP

O AHP, método proposto para este estudo, foi desenvolvido por Thomas Saaty em 1980 e fornece uma base para comparar múltiplos critérios de tomada de decisão em uma estrutura matemática, criando uma estrutura hierárquica (ÖCÜL; ŞIŞMAN, 2023). Essa metodologia possibilita ao tomador de decisões estabelecer prioridades, obtendo a melhor escolha (MOREIRA-FRANCO; ORTEGA-ORDÓÑEZ, 2021; RODRÍGUEZ-PERAL; GÓMEZ FRANCO; GARCÍA MANSO, 2022).

Aplicando o AHP, os fatores condicionantes a movimentos de massa foram dispostos numa Matriz de Comparação Pareada (Quadro 3), em que foram comparados paritariamente.

Quadro 3 – Matriz de Comparação Pareada

Fator	Fator 1	Fator 2	Fator 3	...	Fator n
Fator 1	1	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}
Fator 2	a_{21}	1	a_{23}	...	a_{2n}
Fator 3	a_{31}	a_{32}	1	...	a_{3n}
...
Fator n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	1

Fonte: Adaptado de Öcül e Şişman (2023).

Para essas comparações paritárias, os fatores foram julgados quanto à influência à ocorrência de movimentos de massa. Para isso, foram atribuídos valores conforme os critérios de importância da Escala Fundamental de Saaty, como apresenta o Quadro 4.

Quadro 4 – Escala de julgamento de importância do AHP

Valores	Descrição da importância	Justificativa
1	Igual	Ambos fatores contribuem equitativamente.
3	Moderada	O fator comparado é um pouco mais importante que o outro.
5	Essencial ou forte	Julgamento favorecendo fortemente um fator sobre o outro.
7	Muito forte	Um fator é fortemente favorecido, com demonstração na prática.
9	Extrema	O fator comparado apresenta uma importância maior do que o outro em maior nível possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários	Quando há uma condição intermediária entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1977).

Após o preenchimento da Matriz de Comparação Pareada, foi possível definir o vetor de pesos relacionado a essa matriz (Quadro 5). Nesse vetor, cada elemento representa a importância relativa de cada fator, quando comparado aos demais.

Quadro 5 – Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada

Fator	Fator 1	Fator 2	Fator 3	...	Fator n	Auto-vetor	Pesos
Fator 1	1	a_{12}	a_{13}	...	a_{1n}	$\bar{g}_1 = \sqrt[n]{1 \times a_{12} \times a_{13} \times \dots \times a_{1n}}$	$\omega_1 = \frac{\bar{g}_1}{S}$
Fator 2	a_{21}	1	a_{23}	...	a_{2n}	$\bar{g}_2 = \sqrt[n]{a_{21} \times 1 \times a_{23} \times \dots \times a_{2n}}$	$\omega_2 = \frac{\bar{g}_2}{S}$
Fator 3	a_{31}	a_{32}	1	...	a_{3n}	$\bar{g}_3 = \sqrt[n]{a_{31} \times a_{32} \times 1 \times \dots \times a_{3n}}$	$\omega_3 = \frac{\bar{g}_3}{S}$
...
Fator n	a_{n1}	a_{n2}	a_{n3}	...	1	$\bar{g}_n = \sqrt[n]{a_{n1} \times a_{n2} \times a_{n3} \times \dots \times a_{nn}}$	$\omega_n = \frac{\bar{g}_n}{S}$
Soma (ωS)	$\sum_{i=1}^n a_{i1}$	$\sum_{i=1}^n a_{i2}$	$\sum_{i=1}^n a_{i3}$...	$\sum_{i=1}^n a_{in}$	$S = \sum_{i=1}^n \bar{g}_i$	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Posteriormente, segundo determinação do método, foi preciso verificar a consistência dos pesos gerados (SAATY, 1977). Para isso, foi realizado o cálculo da Razão de Consistência (RC), parâmetro que relaciona o Índice de Consistência (IC) e o Índice Randômico (IR), como apresenta a Equação 1.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad (1)$$

O IC é determinado pelo modelo disposto na Equação 2 e o IR varia em função da quantidade “n” de fatores selecionados para Matriz de Comparação Pareada.

$$IC = \frac{\lambda_{\text{máx}} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Onde:

n é a quantidade de fatores e

$\lambda_{\text{máx}}$ é o Autovalor máximo, que é obtido através da Equação 3.

$$\lambda_{\text{máx}} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n \frac{\omega S_i}{\omega_i} \quad (3)$$

Onde:

$\sum_{i=1}^n \frac{\omega S_i}{\omega_i}$ representa o Vetor Coerência (C),

ω_i é o Coeficiente de Ponderação (peso) e

ωS_i é o Vetor Soma, sendo esses parâmetros obtidos conforme o Quadro 5.

Acerca da obtenção do IR, Saaty (1987) propôs uma tabela que relaciona a quantidade “n” de fatores a valores, demonstrados em laboratório, correspondentes. A Tabela 1 apresenta essa relação para matrizes de ordens que variam de 1 a 10. Para este estudo, que foram utilizados 7 fatores, o valor correspondente ao IR foi de 1,32.

Tabela 1 – Índices Randômicos (IR)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1987).

Segundo Saaty (1987), se a RC resultar em um valor inferior ou igual a 0,10, é considerado que os resultados obtidos estão adequados na comparação dos pares, ou seja, os juízos são consistentes.

3.5. Aplicação da álgebra de mapas e verificação da eficiência do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa

Nesta etapa, as camadas reclassificadas dos fatores condicionantes a movimentos de massa selecionados para este estudo foram associadas ao vetor de pesos determinado na etapa de aplicação do AHP. Para isso, foi utilizado o modelo matemático apresentado pela Equação 4.

$$M = \omega_D \times D + \omega_H \times H + \omega_U \times U + \omega_P \times P + \omega_L \times L + \omega_O \times O + \omega_F \times F \quad (4)$$

Onde:

M representa o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa,

D é a declividade,

H é a hipsometria,

U é o uso e cobertura da terra,

P é a pedologia,

L é a litologia,

O é a orientação das vertentes,

F é o formato das vertentes e

ω é o peso do respectivo fator, que é obtido pela aplicação AHP.

Em seguida, o produto gerado pela álgebra de mapas, ou seja, o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa foi reclassificado em função dos valores de seus *pixels*, conforme os critérios estabelecidos na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios para reclassificação do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa

Valor do <i>pixel</i>	Valor da reclassificação	Nível de suscetibilidade
0 – 2	2	Muito baixa
2 – 4	4	Baixa
4 – 6	6	Média
6 – 8	8	Alta
8 – 10	10	Muito Alta

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Para verificar a eficiência do método empregado neste estudo, o mapa de suscetibilidade a movimentos de massa no bairro da Macaxeira foi validado por meio da espacialização das ocorrências realizadas à Secretaria Executiva de Defesa Civil da Cidade de Recife (SEDEC) no período de 23 de novembro de 2021 a 31 de maio. Essas ocorrências foram relacionadas aos seus respectivos registros fotográficos, que foram adquiridos junto à SEDEC.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do ambiente SIG foi possível elaborar os mapas que representam o comportamento do bairro da Macaxeira quanto aos fatores que contribuem na suscetibilidade a movimentos de massa elencados para este estudo (Figura 3). São eles: declividade (A), hipsometria (B), uso e cobertura da terra (C), pedologia (D), litologia (E), orientação das vertentes (F) e formato das vertentes (G).

Declividade e hipsometria: Quanto a topografia, é possível verificar que as regiões do bairro que apresentam as maiores cotas altimétricas, também contemplam as suas porções mais íngremes. Da mesma forma que as áreas de menores altimetria são as consideradas planas.

Conforme Meirelles, Dourado e Costa (2018), quanto maior o ângulo formado entre a encosta e o plano horizontal, mais instável é essa região, o que contribui diretamente na ocorrência de movimentos de massa.

Para Meena et al. (2019), muitos processos de origem geomorfológica e geológica são controlados pela hipsometria. Regiões com elevadas cotas altimétricas, de maneira geral, são mais suscetíveis a movimentos de massa (VOJTEK; VOJTEKOVÁ, 2020).

Uso e cobertura da terra: A classe que representa áreas urbanizadas prevalece na região. Enquanto que a formação florestal, verificada na porção sudoeste, é constituída pela Área de Proteção Ambiental (APA) que circunda o açude de Apipucos, bairro adjacente ao da Macaxeira.

A impermeabilização de áreas vegetadas acarretam numa maior propensão a movimentos de massa (JAZOULI; BARAKAT; KHELLOUK, 2019). Pois a vegetação exerce uma função primordial na estabilização das encostas, visto que o sistema radicular preenche os vazios do solo, processo que retarda a infiltração das águas pluviais (SILVEIRA; VETTORAZZI; VALENTE, 2014).

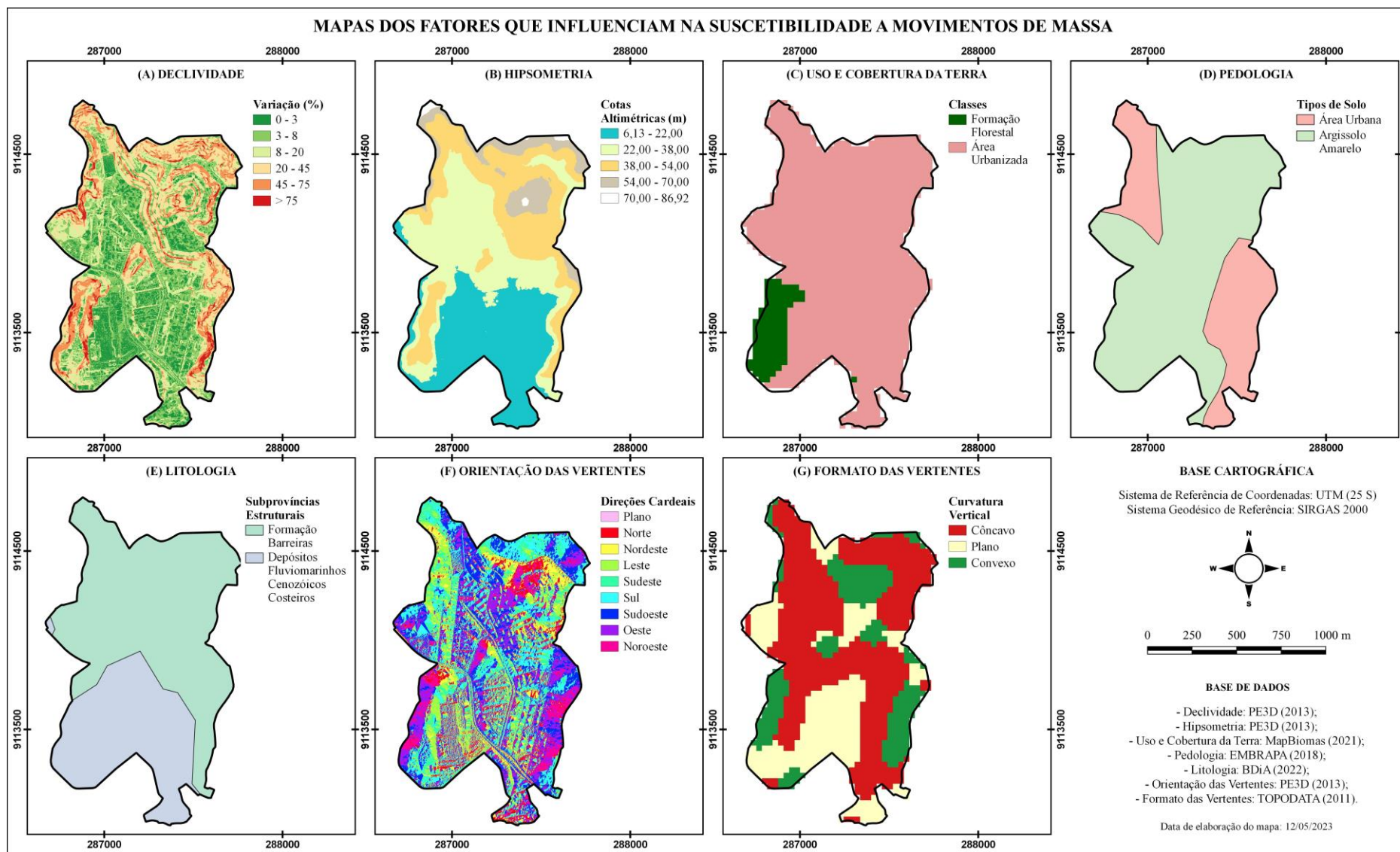


Figura 3 – Representação dos fatores, selecionados para este estudo, que influenciam na suscetibilidade a movimentos de massa. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Pedologia e litologia: A parte norte do bairro da Macaxeira é caracterizada pela presença de sedimentos miocênicos da Formação Barreiras, apresentando na parte inferior camadas mais arenosas e na parte superior camadas intercaladas de areia e argila, provenientes de depósitos fluviais (SANTANA, 2019). Ao sul existem sedimentos fluviais lagunares ricos em argila orgânicas, areia e silte.

Em virtude de sua caracterização relacionada à textura, estrutura, permeabilidade e densidade, os solos podem ser afetados por processos erosivos que propiciam os movimentos de massa (MEIRELLES; DOURADO; COSTA, 2018). De acordo com Aslam et al. (2022), solos argilosos são mais propensos a movimentos de massa, pela sua grande capacidade de absorção de água. Esse processo eleva o peso da camada do solo e a probabilidade de ruptura das encostas.

A litologia se caracteriza como outro fator que pode ser incluído nos estudos de movimentos de massa, pois as unidades litológicas possuem índices distintos de resistência geológica, permeabilidade e suscetibilidade à falha (MEENA et al., 2019).

Orientação das vertentes: Para o bairro da Macaxeira, maior parte das vertentes estão direcionadas, respectivamente, aos sentidos sudoeste, sul e oeste. As direções planas, nesse sentido, são as menos frequentes.

Segundo Meirelles, Dourado e Costa (2018), a orientação das vertentes está diretamente relacionada aos fenômenos de direção dos ventos e insolação, o que repercute na quantidade da concentração de água em suas formações. Dessa forma, as porções das encostas de maior umidade apresentam maiores instabilidades e, conseqüentemente, se tornam mais propensas a movimentos de massa.

Formato das vertentes: A tipologia de curvatura vertical côncava abrange maior parte região estudada, seguida pelas curvaturas plana e convexa.

Conforme Meirelles, Dourado e Costa (2018), em função do formato das vertentes, as regiões podem contribuir na concentração e acúmulo de escoamento. Assim, à medida que o fluxo de água aumenta, há uma elevação no transporte de material dendrítico, fazendo com que as partículas superficiais do solo sejam deslocadas para redes de drenagem a jusante e, conseqüentemente, propiciando os movimentos de massa (MEIRELLES; DOURADO; COSTA, 2018).

O Quadro 6 apresenta a Matriz de Comparação Pareada contemplada para este estudo. A partir da definição dos pesos de cada fator, foi preciso conferir se os mesmos estavam consistentes. Assim, calculados os IC e RC, que resultaram, respectivamente, em 0,10 e 7,32%. Pelo fato de a RC resultar em um valor menor que 0,10, os resultados alcançados puderam ser considerados como coerentes, de acordo com os critérios determinados por Saaty (1987).

Quadro 6 – Vetor de pesos associado à Matriz de Comparação Pareada dos fatores, selecionados para este estudo, que influenciam na suscetibilidade a movimentos de massa

Fator	A	B	C	D	E	F	G	Pesos
Declividade (A)	1	3	6	4	4	7	5	0,37
Hipsometria (B)	1/3	1	7	2	3	8	5	0,24
Uso e cobertura da terra (C)	1/6	1/7	1	1/5	1/4	3	1/3	0,04
Pedologia (D)	1/4	1/2	5	1	2	5	3	0,15
Litologia (E)	1/4	1/3	4	1/2	1	5	3	0,11
Orientação das vertentes (F)	1/7	1/8	1/3	1/5	1/5	1	1/6	0,02
Formato das vertentes (G)	1/5	1/5	3	1/3	1/3	6	1	0,07

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Conforme a atribuição de pesos apresentada na Matriz de Comparação Pareada, foi considerado que a declividade representa o fator mais importante. Em seguida, a hipsometria e a pedologia. A orientação das vertentes foi classificada como o fator de menor importância.

A partir da análise de consistência do vetor de pesos, foi elaborado o modelo matemático que subsidiou a produção do mapa das áreas suscetíveis a movimentos de massa no bairro da Macaxeira, o qual é apresentado pela Equação 4. Esse modelo foi submetido ao processo de álgebra de mapas, o que resultou no mapa exibido na Figura 4.

$$M = 0,37 \times D + 0,24 \times H + 0,04 \times U + 0,15 \times P + 0,11 \times L + 0,02 \times O + 0,07 \times F \quad (4)$$

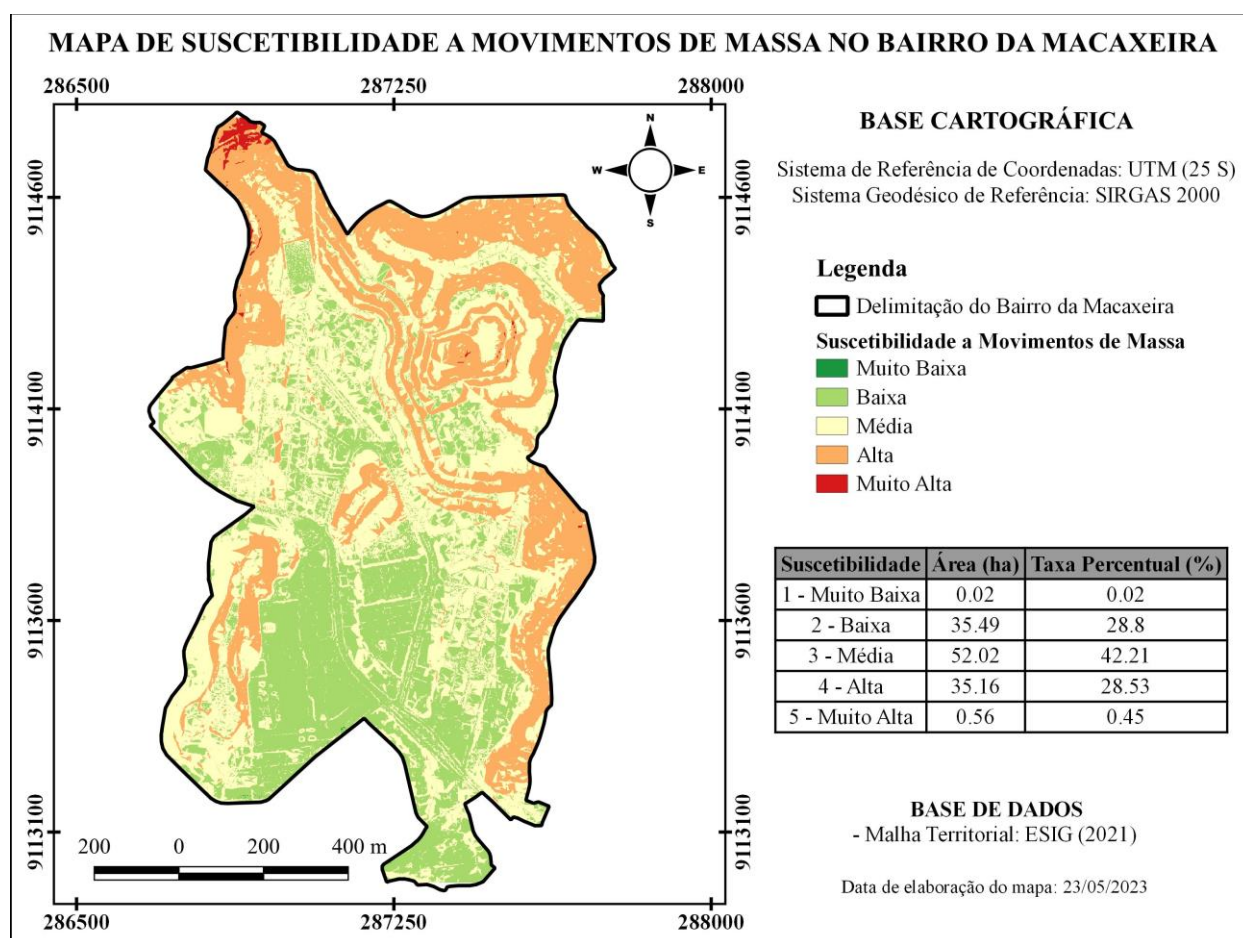


Figura 4 - Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa no bairro da Macaxeira. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Analisando a região mapeada, pode ser constatado que considerável parte do bairro da Macaxeira configura uma suscetibilidade mediana a movimentos de massa, representando 42,21% do território, ou seja, uma porção de 52,02 ha. As partes do bairro que apresentam baixas propensões a movimentos de massa abrangem 28,80% da região, localizando-se, principalmente, em áreas planas, com baixa altimetria e que apresentam curvaturas verticais planas.

As áreas mais suscetíveis a movimentos de massa da região estudada totalizam uma área territorial de 35,72 ha, equivalendo a 28,98% do bairro. Esse grau de suscetibilidade pode ser verificado, sobretudo, em regiões que configuram declividades maiores 45,00%, elevadas cotas altimétricas, solos argilosos, áreas urbanizadas e vertentes voltadas para as direções leste, sudeste e sul.

Corroborando essas constatações, o estudo de Santana et al. (2019) apresentou que 83,00% das áreas declivosas do bairro da Macaxeira sofreram intervenções antrópicas, sobretudo por meio da ocupação de edificações, geralmente, caracterizadas por moradias de baixa renda e que apresentam infraestrutura inadequada, favorecendo a ocorrência de movimentos de massa. Para Barros e Lombardo (2013), a Zona Climática Urbana que o bairro da Macaxeira está inserido, denominada “Morro Edificado”, é composta por áreas periféricas do Recife e nela há uma alta propensão a movimentos de massa. De acordo com os autores, essa característica se dá pelo fato de a região apresentar declividades superiores a 30,00%, supressão da vegetação e taxa de solo exposto elevada, alta densidade de drenagem e encostas com forma côncava.

Em estudo semelhante, Rocha e Schuler (2016), utilizando o AHP, verificaram que as áreas de alta suscetibilidade a movimentos de massa nas microrregiões Jordão e Ibura, no Recife/PE, são aquelas compostas por elevadas declividades, encostas com perfil côncavo, ocupadas por edificações e que apresentam solos argilosos. Esses dados foram validados por meio do inventário das áreas impermeabilizadas com lonas plásticas (áreas fragilizadas) da região, correspondendo a um nível de exatidão de 89,94%.

Araújo et al. (2022) identificaram, por meio do AHP, que as classes muito alta e alta suscetibilidade do estado de Alagoas são verificadas na parte litorânea e no nordeste do território, regiões que apresentam declividades mais acentuadas, maiores médias de precipitação anual e solos argilosos. De acordo com os referidos autores, essas áreas, classificadas como altamente suscetíveis a movimentos de massa, coincidiram com as áreas do estado que apresentam alto risco de deslizamento, conforme classificação realizada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

De modo similar, Sant Ana et al. (2020) revelaram que os locais de maiores propensões a movimentos de massa da bacia hidrográfica do rio Cedro, em Santa Catarina, são aqueles representados por maiores altimetrias e declividades, sobretudo as regiões fortemente onduladas e montanhosas. Após a obtenção desses resultados, foram constatadas *in loco* várias cicatrizes provenientes de movimentos de massa no local, as quais coincidiram com as áreas mapeadas como altamente suscetíveis a esse tipo de desastre.

Analogamente, o estudo de Bhagya et al. (2023) avaliou a suscetibilidade a movimentos de massa no distrito de Kottayam, na Índia, utilizando o AHP. Os autores constataram que as zonas altamente suscetíveis configuram declividades mais íngremes, solos argilosos, uso e cobertura da terra representados por área agrícola e solo exposto e colinas denudacionais. Os resultados produzidos foram comparados com mapas existentes de suscetibilidade a deslizamentos da região, confeccionados pelo modelo *GIS Tool for Infinite Slope Stability Analysis* (GIS-TISSA) e pelo Centro Nacional de Estudos de Ciências da Terra (NCESS), conferindo um nível de precisão acima de 80,00%.

A fim de comprovar os resultados alcançados neste estudo, seis registros de ocorrências de movimentos de massa no bairro da Macaxeira disponibilizados pela SEDEC foram espacializados sobre o mapa de suscetibilidade. Esses dados, que estão apresentados na Figura 5, coincidem de se localizarem nas áreas definidas como altamente suscetíveis.

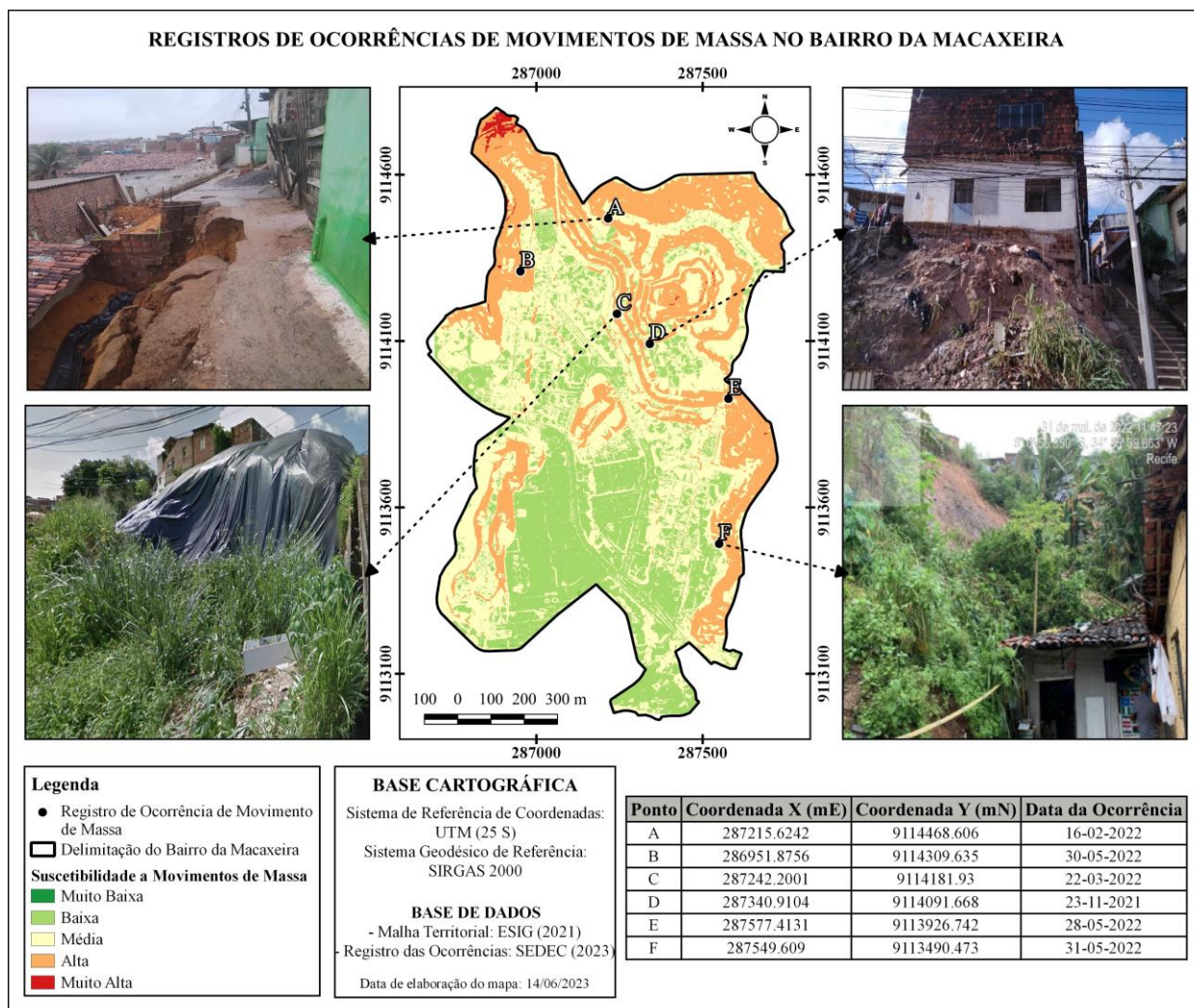


Figura 5 - Registros fotográficos de ocorrências de movimentos de massa no bairro da Macaxeira. Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os episódios de movimentos de massa ocorridos no bairro da Macaxeira verificados na Figuras 5 asseveram a eficácia do método utilizado neste estudo, validando sua elevada precisão. Essa comprovação possibilita a utilização do mapeamento produzido neste estudo por órgãos competentes, subsidiando a elaboração de políticas públicas mitigadoras desse tipo de desastre.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo realizar o mapeamento das áreas suscetíveis a movimentos de massa no bairro da Macaxeira, município de Recife/PE. A metodologia empregada para produzir esse mapeamento baseou-se na utilização de Sistema de Informações Geográficas, aliado ao Método de Análise Hierárquica. Para isso, foram considerados diversos fatores que propiciam a esse tipo de desastre, são eles: a declividade, a hipsometria, o uso e cobertura da terra, a pedologia, a litologia e o formato e orientação das vertentes.

Pelos resultados, foi constatado que uma parcela de 52,02 ha (42,21%) da região estudada apresenta moderada suscetibilidade a movimentos de massa. As regiões que configuram menores e maiores propensões a esse tipo de desastre equivalem a 28,80% e 28,98% do território, respectivamente. As áreas identificadas como altamente suscetíveis a movimentos de massa são as que possuem elevadas declividades e cotas altimétricas, solos argilosos, áreas urbanizadas e vertentes voltadas para as direções leste, sudeste e sul.

A utilização dessa metodologia quanto ao mapeamento de áreas suscetíveis a movimentos de massa se configura como uma técnica eficaz quanto à aplicabilidade, possibilitando tomadas de decisões assertivas por gestores ou profissionais da área. Entre as vantagens do emprego dessa técnica se destacam o baixo custo de aquisição e o prático processamento dos dados, o que permite ser aplicada em diversos tipos de regiões, sobretudo onde acesso é deficitário.

Por fim, destaca-se a importância da elaboração desse tipo de estudo, no intuito de subsidiar a implementação de um planejamento urbano e territorial adequado, de forma a mitigar ou até mesmo impedir a ocorrência de movimentos de massa ou desastres de qualquer outra ordem. Além disso, vale salientar que esse tipo de fenômeno pode ser evitado, a partir de ações que visem a conservação das condições naturais do meio, como a preservação da vegetação nativa, a deposição adequada do resíduo sólido e uso e ocupação do solo de forma apropriada.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, R. C.; MEDEIROS, P. R.; SILVA, R. J. S.; LUCENA, R. L. Mapeamento da suscetibilidade a movimentos de massa no estado de Alagoas, Brasil. **Cadernos do LOGEPA**, v.10, n.1, p. 2-21, 2022.

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.

BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. Zoneamento climático urbano da cidade do Recife: uma contribuição ao planejamento urbano. **Geosp: Espaço e Tempo (Online)**, n.33, p. 186-197, 2013.

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.

BISPO, C. O.; LISTO, F. L. R.; FALCÃO, N. A. M.; SILVA, D. G. Previsão de escorregamentos no município de Maceió (AL) a partir do modelo AHP. **Geography Department University Of Sao Paulo**, v. 39, p. 88-101, 2020.

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

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. **Território Mata Sul Pernambucana**: Argissolos Amarelos. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/argissolos-amarelos#:~:text=S%C3%A3o%20solos%20que%20apresentam%20como,e%20croma%20maiores%20que%204>. Acesso em: 19 jul. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Embrapa Solos**: Atributos do Solo. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs/atributos-do-solo/outrosatributos#:~:text=Rela%C3%A7%C3%A3o%20silte%20Fargila&text=%C3%89%20empregad%20em%20solos%20de,textura%20argilosa%20ou%20muito%20argilosa>. Acesso em: 14 jun. 2023.

GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. Movimentos de Massa. In: **Geomorfologia conceitos e tecnologias atuais** (FLORENZANO, T. G.). p. 159-184. 2008.

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, 266, 2019.

HUANG, X.; LI, J.; YANG, J.; ZHANG, Z.; LI, D.; LIU, X. 30 m global impervious surface area dynamics and urban expansion pattern observed by Landsat satellites: From 1972 to 2019. **Science China Earth Sciences**, v.64, n.11, p. 1922-1933, 2021.

HUANG, X.; HUANG, J.; WEN, D.; LI, J. An updated MODIS global urban extent product (MGUP) from 2001 to 2018 based on an automated mapping approach. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, v.95, 102255, 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE Cidades**: Recife. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/recife/panorama>. Acesso em: 14 jun.2023.

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, p. 1-12, 2019.

JIANG, W.; LÜ, Y.; LIU, Y.; GAO, W. Ecosystem service value of the Qinghai-Tibet Plateau significantly increased during 25 years. **Ecosystem Services**, v.44, 101146, 2020.

LI, X.; GONG, P.; ZHOU, Y.; WANG, J.; BAI, Y.; CHEN, B.; HU, T.; XIAO, Y.; XU, B.; YANG, J. Mapping global urban boundaries from the global artificial impervious area (GAIA) data. **Environmental Research Letters**, v.15, n.9, 094044, 2020.

MANTOVANI, J. R.; BUENO, G. T.; ALCÂNTARA, E.; PARK, E.; CUNHA, A. P.; LONDE, L.; MASSI, K.; MARENGO, J. A. Novel Landslide Susceptibility Mapping Based on Multi-criteria Decision-Making in Ouro Preto, Brazil. **Journal Of Geovisualization And Spatial Analysis**, v.7, n.1, 7, 2023.

MEENA, S.; MISHRA, B.; PIRALILLOU, 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 Paqueta-RJ. **Geo Uerj**, n.33, e26037, 2018.

MOREIRA-FRANCO, L. F.; ORTEGA-ORDÓÑEZ, C. F. Análisis jerárquico aplicado a la determinación de la fragilidad ambiental de la subcuenca del Río Carrizal. **Polo del Conocimiento**, v.6, n.3, p. 15-39, 2021.

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.

PAN, X.; WANG, Y.; LIU, Z.; HE, C.; LIU, H.; CHEN, Z. Understanding urban expansion on the Tibetan Plateau over the past half century based on remote sensing: The case of Xining city, China. **Remote Sensing**, v.13, n.1, p. 46, 2020.

PISANI, R. J.; ALVES, G. M. R. Análise multitemporal da expansão urbana do município de Taubaté-SP entre os anos de 1986 a 2016. **Revista Cerrados**, v.16, n.1, p. 23-39, 2018.

RIMAL, B.; SHARMA, R.; KUNWAR, R.; KESHTKAR, H.; STORK, N.E.; RIJAL, S.; RAHMAN, S.A.; BARAL, H. Effects of land use and land cover change on ecosystem services in the Koshi River Basin, Eastern Nepal. **Ecosystem Services**, v.38, 100963, 2019.

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 Iburá, Recife-PE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.68, n.9, p. 1747-1770, 2016.

RODRÍGUEZ-PERAL, E. M., GÓMEZ FRANCO, T. Y GARCÍA MANSO, A. Aplicación del Proceso Analítico Jerárquico en la comunicación digital de los organismos públicos durante la pandemia de la COVID-19. **Revista Latina de Comunicación Social**, v.80, p. 89-117, 2022.

RUSK, J.; MAHARJAN, A.; TIWARI, P.; CHEN, T.; SHNEIDERMAN, S.; TURIN, M.; SETO, K.C.

Multi-hazard susceptibility and exposure assessment of the Hindu Kush Himalaya. **Science Of The Total Environment**, v.804, 150039, 2021.

SAHA, A.; VILLURI, V. G. K.; BHARDWAJ, A.; KUMAR, S. A Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) Approach for Landslide Susceptibility Mapping of a Part of Darjeeling District in North-East Himalaya, India. **Applied Sciences**, v.13, n.8, 5062, 2023.

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

SANTANA, J. K. R. Análise evolutiva da ocupação dos morros da cidade do Recife. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA URBANA, 16., 2019, Vitória. **Anais [...]**. Vitória: Teatro da UFES e CCHN, 2019. p. 3754-3768.

SANTANA, J. K. R.; SILVA, D. R. D.; SANTOS, E. M.; SANTOS, G. F. S.; LISTO, F. L. R. Análise da evolução das áreas de perigo a escorregamentos no bairro da Macaxeira, Recife (PE). **Revista Equador**, v.8, n.2, p. 240-256, 2019.

SANTOS, I. S.; SILVA, M. C. C.; AZEVEDO, G. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, S. R. Avaliação espaço-temporal do processo de uso e ocupação de uma encosta no bairro de Macaxeira - Recife / PE - Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, v.40, n.1, p. 334-358, 2023.

SILVA, F. A. A.; BARBOSA, B. G. S.; DUARTE, C. C. Análise da interação entre eventos pluviométricos e ações antrópicas como agentes deflagradores de deslizamentos na Zona Norte do Recife. **Revista de Geociências do Nordeste**, v.5, n.especial, p. 01-11, 2019.

SILVA, F. G. A.; LAFAYETTE, K. P. V.; SILVA, R. G. P. Temporal Analysis of the Occupation of Urban Space in an Area of Physical and Environmental Vulnerability: A Case Study in the Neighborhood of Macaxeira, Recife-PE. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.17, n.2, e03219, 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.

SONG, J.; ZHOU, Y.; JIN, L.; SUN, Y. Evaluating Sustainability of Urbanization from a Multidimensional Perspective: A Case Study of 11 National Urban Agglomerations in China. **Journal of Urban Planning and Development**, v.147, n.4, p. 050210471-0502104712, 2021.

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.

VILLA VERDE, V. G. R.; SANTOS, A. C. Riscos geológicos urbanos nos morros da cidade de Recife – Pernambuco. **Revista de Geografia (Recife)**, v.36, n.3, p. 160-178, 2019.

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.

YU, C.; CHEN, J. Application of a GIS-Based Slope Unit Method for Landslide Susceptibility Mapping in Helong City: comparative assessment of icm, AHP, and rf model. **Symmetry**, v.12, n.11, 1848, 2020.

ZAMBON, K. L. et al. Análise de decisão multicritério na localização de usinas termoelétricas utilizando SIG. **Revista Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, v.25, n.2, p.183-199, 2005.