



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

EDMÁRIO MARQUES DE MENEZES JÚNIOR

**SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS
ESTRUTURADA NO AHP – JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE**

Recife

2022

EDMÁRIO MARQUES DE MENEZES JÚNIOR

**SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS
ESTRUTURADA NO AHP – JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: regionalização e análise regional

Orientador: Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Leandro Diomério João dos Santos

Recife

2022

Catálogo na Fonte
Bibliotecário: Rodrigo Leopoldino Cavalcanti I, CRB4-1855

M543s Menezes Júnior, Edmário Marques de.
Suscetibilidade a escorregamentos translacionais estruturada no AHP – Jaboatão dos Guararapes/PE / Edmário Marques de Menezes Júnior. – 2022.
132 f. : il. ; tab. ; 30 cm.

Orientador : Osvaldo Girão da Silva.
Coorientador : Leandro Diomério João dos Santos.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2022.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Deslizamentos (Geologia). 3. Suscetibilidade. 4. Jaboatão dos Guararapes (PE). 5. AHP. I. Silva, Osvaldo Girão da (Orientador). II. Santos, Leandro Diomério João dos (Coorientador). III. Título.

910 CDD (22.ed.) UFPE (BCFCH2023-100)

EDMÁRIO MARQUES DE MENEZES JÚNIOR

**SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS
ESTRUTURADA NO AHP – JABOATÃO DOS GUARARAPES/PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutor em geografia.

Área de concentração: regionalização e análise regional

Aprovada em: 19/12/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Osvaldo Girão da Silva (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antônio Carlos de Barros Correa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Alcindo José de Sá (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Antonio José Teixeira Guerra (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. António José Bento-Gonçalves (Examinador Externo)
Universidade do Minho

Dedico

À energia suprema que rege o Universo e ao meu alicerce, minha família,
Mainha (Inadege Kátia da Silva Menezes),
Painho (Edmário Marques de Menezes) e
Netinho (Manoel Severino de Menezes Neto).

AGRADECIMENTOS

A Deus, causa suprema de todas as coisas.

Aos meus pais Inadege Kátia e Edmário Menezes.

Ao meu irmão Netinho, aos meus sobrinhos Ruan e Gabriel e à minha sobrinha Isadora.

À minha esposa Thais e à nossa princesa Allana.

Às minhas avós Ivanise (*in memoriam*) e Enizabete.

Ao Professor Osvaldo Girão, reiterando meu profundo respeito e admiração em virtude do seu profissionalismo, dedicação e afeição aos seus orientandos.

Ao Professor coorientador Leandro Diomério, pela serenidade acadêmica e pelas grandes contribuições, sobretudo na reta final deste trabalho.

Aos examinadores, pela disponibilidade, compromisso e cordialidade.

Aos amigos oriundos dos laboratórios de pesquisas (GEQUA e Antropogeo) e dos espaços educacionais (Espaço Ciência, Colégio Santa Maria de Abreu e Lima, Colégio e Curso Performance, Escola Municipal Dom Pedro de Alcântara e a Escola Municipal José Carneiro).

À UFPE, sobretudo ao PPGEIO, no qual cito o Eduardo Veras como um baluarte da gentileza, cordialidade, paciência e agilidade. Esse que representa e personifica também um servidor público de excelência e admirável.

E aos docentes, acadêmicos e amigos da vida que contribuíram com a minha formação até a presente etapa.

*"Quanta gente sonha em encontrar um lugarzinho ao sol e falha.
Bate, mas apanha e não tem sequer nenhum lençol que valha..."*
(TIEE; PRATEADO, 2016)

*"Associação!
Vou pegar o lotação
Pagode da Conceição
Campo de aviação
Maranguape, Maranguape, Maranguape..."*
(VASCONCELOS, 2005)

RESUMO

Ambientes declivosos, recobertos por sedimentos inconsolidados submetidos a eventos pluviais concentrados, intensos e/ou recorrentes possibilitam ou intensificam a ocorrência de escorregamentos. A compreensão desse fenômeno morfodinâmico se altera quando há interferência antrópica, sobretudo nas áreas de expansão urbana sem ordenamento. Esse cenário é reportado na Regional 01 (Jaboatão Centro), inserida no município de Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco (PE), localizando-se na porção centro-oeste da Região Metropolitana do Recife (RMR). Esta tese busca apresentar hierarquicamente a suscetibilidade aos escorregamentos translacionais a partir dos condicionantes identificados. A base metodológica se concentra no Analytic Hierarchy Process (AHP), a qual estrutura as análises qualitativas em bases quantitativas, culminando no índice de suscetibilidade aos escorregamentos. Sobre o processo morfodinâmico de deflagração e a intensidade do escorregamento, elencou-se cinco condicionantes (critérios): geologia, solo, cobertura e uso da terra, declividade e curvatura da encosta. O nivelamento da suscetibilidade ocorreu em duas etapas. A primeira decorreu da classificação dos atributos de cada critério. Nessa observou-se a concentração substancial dos níveis elevados de suscetibilidade entre os atributos pertencentes aos critérios de solo, uso e cobertura da terra e declividade. O solo reuniu 73,67% da área entre nível muito alto (44,34%) e o alto (29,33%). O critério de uso e cobertura da terra apresentou 73,84% concentrados no nível mais elevado de suscetibilidade. A declividade registrou 68,63% nos níveis mais críticos, dos quais 26,21% no nível muito alto e 42,71% no nível alto. Na segunda etapa, estruturada pelo AHP, foram avaliados os níveis de importância de forma pareada entre os condicionantes almejando a determinação do peso para a álgebra de mapas a qual determinou a suscetibilidade. Os resultados revelaram uma concentração de 91,8% entre os níveis alto (53,1%) e médio (38,7%). Ao analisar os pontos de campo, houve uma relação direta com o dado anterior, pois 88,71% concentraram-se entre os níveis médio (24,19%) e alto (64,52%). Por fim, os eventos realçaram-se em ambientes de geologia cristalina, representado pelo complexo rochoso Belém de São Francisco (90,32%), nos argissolos (85,48%), em áreas urbanas (79,03%) para a cobertura e uso da terra, em declividade de 20% a 45% (43,55%) e com curvatura retilínea-planar (32,26%).

Palavras-chave: deslizamentos; suscetibilidade; Jaboatão dos Guararapes; AHP.

ABSTRACT

Sloping environments, covered by unconsolidated sediments subjected to concentrated, intense and/or recurrent rainfall events, enable or intensify the occurrence of landslides. The understanding of this morphodynamic phenomenon changes when there is anthropogenic interference especially in areas of urban expansion without planning. This scenario is reported in Regional 1 (Jaboatão Centro), inserted in the municipality of Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco (PE), located in the central-west part of Recife Metropolitan Region (RMR). This thesis seeks to hierarchically present the susceptibility to translational slips based on the identified conditions. The methodological basis focuses on Analytic Hierarchy Process (AHP), which structures the qualitative analyses on quantitative bases, culminating in the landslide susceptibility index. Regarding the morphodynamic process of the outbreak and the intensity of the landslide, five constraints (criteria) were listed: geology, soil, land use and cover, slope and slope curvature. The leveling of susceptibility took place in two stages. The first one resulted from the classification of the attributes of each criterion. In this one, a substantial concentration of high levels of susceptibility was observed among the attributes belonging to the criteria of soil, land use and cover, and slope. The soil gathered 73.67% of the area between very high (44.34%) and high (29.33%) levels. The criterion of land use and land cover presented 73.84% concentrated in the highest level of susceptibility. The slope registered 68.63% at the most critical levels, of which 26.21% at the very high level and 42.71% at the high level. The second stage, structured by the AHP, evaluated the levels of importance in a paired way between the conditions aiming at determining the weight for the map algebra which determined the susceptibility. The results revealed a concentration of 91.8% between high (53.1%) and medium (38.7%) levels. When analyzing the field points, there was a direct relationship with the previous data, as 88.71% were concentrated between the medium (24.19%) and high (64.52%) levels. Finally, the events were highlighted in environments of crystalline geology represented by the rocky complex Belém de São Francisco (90.32%), in argisols (85.48%), in urban areas (79.03%) for the cover and land use, on a slope of 20% to 45% (43.55%) and with rectilinear-planar curvature (32.26%).

Keywords: landslides; susceptibility; Jaboatão dos Guararapes; AHP.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Conceito de Hidrogeomorfologia	22
Figura 2 –	Classificação dos taludes	31
Figura 3 –	Escorregamento translacional	38
Figura 4 –	Interação entre os condicionantes de estabilidade da vertente na identificação do fator de segurança acerca do tempo	47
Figura 5 –	Localização da área de estudo	48
Figura 6 –	Mapa geológico	50
Figura 7 –	Unidades pedológicas	51
Figura 8 –	Bacias hidrográficas e a rede de drenagem	55
Figura 9 –	Fluxograma metodológico	59
Figura 10 –	Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério geológico	73
Figura 11 –	Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério pedológico	76
Figura 12 –	Mapa de cobertura e uso da terra	77
Figura 13 –	Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério de Cobertura e uso da terra	80
Figura 14 –	Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério de Declividade	83
Figura 15 –	Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério de Curvatura da encosta	85
Figura 16 –	Suscetibilidade aos escorregamentos translacionais	88
Figura 17 –	Pontos de escorregamentos e a suscetibilidade	90
Figura 18 –	OS05: Murro de arrimo com manta de concreto após escorregamento; PS28: Escorregamento em talude de corte em área de expansão urbana desordenada	93
Figura 19 –	Escorregamento do PS31 em encosta com sucessivos taludes de corte em aterros	94
Figura 20 –	Modificação da encosta por moradias com destaque aos escorregamentos PS21 e PS32	97
Figura 21 –	PS16 (à direita) e talude de corte verticalizado (centro)	97

Figura 22 –	Escorregamentos PS10, PS14, PS17 e PS25 em área urbana sob instalação urbana desordenada	98
Figura 23 –	Escorregamentos do PI46 e PI53 em área de cobertura florestal e com indícios de retomada da vegetação na cicatriz	100
Figura 24 –	Escorregamento PI38 em corte de talude para abertura de estrada	103
Figura 25 –	Escorregamento PI37 em ambiente de corte de talude seguido de área descampada provavelmente oriunda de mineração	103
Figura 26 –	Escorregamento PI40 em área de mineração e abertura de estrada	104
Figura 27 –	Escorregamento PI51 em um contexto de talude de corte e aterro acrescido por vazamento de água servida	105
Figura 28 –	Escorregamento PI58 em talude de corte em plantação de cana-de-açúcar	105
Figura 29 –	Escorregamento PI57 em corte de estrada inserido em ambiente florestal	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Comparação das classificações dos movimentos gravitacionais de massa por autor	33
Quadro 2 –	Agentes e causas dos escorregamentos	39
Quadro 3 –	Principais causas dos deslizamentos	40
Quadro 4 –	Agentes condicionantes dos deslizamentos	41
Quadro 5 –	Classificação da cobertura e uso da terra	61
Quadro 6 –	Classificação da declividade	61
Quadro 7 –	Classificação das curvaturas de encostas	62
Quadro 8 –	Classificação do índice de suscetibilidade	64
Quadro 9 –	Matriz quadrada entre os Critérios do AHP	65
Quadro 10 –	Intensidade de importância entre os Critérios do AHP	66
Quadro 11 –	Matriz de normalização do AHP	66
Quadro 12 –	Suscetibilidade por Unidade geológica	72
Quadro 13 –	Suscetibilidade por Unidade Pedológica	76
Quadro 14 –	Classificação de suscetibilidade por cobertura e uso da terra	79
Quadro 15 –	Suscetibilidade por declividade	82
Quadro 16 –	Suscetibilidade por curvatura da encosta	84
Quadro 17 –	Símbolos dos critérios / subcritérios para a análise dos PS e PI	91
Quadro 18 –	Suscetibilidade criterial nível 2 – PS	92
Quadro 19 –	Suscetibilidade criterial nível 3 – PS	95
Quadro 20 –	Suscetibilidade criterial nível 4 – PS	99
Quadro 21 –	Escorregamentos translacionais – Pontos do Inventário (PI)	100
Quadro 22 –	Suscetibilidade criterial nível 1 – PI	101
Quadro 23 –	Suscetibilidade criterial nível 2 – PI	102
Quadro 24 –	Suscetibilidade criterial nível 3 – PI	107
Quadro 25 –	Suscetibilidade criterial nível 4 – PI	109

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 –	Escorregamentos por Unidade geológica	110
Gráfico 2 –	Escorregamentos por classes de solo	111
Gráfico 3 –	Escorregamentos por tipo de cobertura e uso da terra	112
Gráfico 4 –	Escorregamentos por intervalos de declividade	112
Gráfico 5 –	Escorregamentos por curvatura da encosta	113
Gráfico 6 –	Escorregamentos associados à incidência dos subcritérios	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Índices pluviométricos de Jaboatão dos Guararapes	54
Tabela 2 –	Dados demográficos da Regional 1 – Jaboatão dos Guararapes	57
Tabela 3 –	Níveis de suscetibilidade a partir do IBGE (2019)	70
Tabela 4 –	Classificação percentual dos níveis de suscetibilidade	70
Tabela 5 –	Ponderação dos níveis de suscetibilidade das unidades geológicas aos escorregamentos	71
Tabela 6 –	Unidades geológicas – Correlação dos pesos de suscetibilidade acerca do IBGE (2019)	72
Tabela 7 –	Cobertura e uso da terra – Correlação dos pesos de suscetibilidade	78
Tabela 8 –	Classes de declividade – Correlação dos pesos de suscetibilidade	81
Tabela 9 –	Matriz comparativa dos critérios	86
Tabela 10 –	Matriz de Normalização	86
Tabela 11 –	Espacialização dos níveis de suscetibilidade	87
Tabela 12 –	Escorregamentos translacionais – Pontos da SUPDC (PS)	92
Tabela 13 –	Consolidado dos escorregamentos (PS e PI)	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	Analytic Hierarchy Process
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
BHRJ	Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão
BHRP	Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama
BHRT	Bacia Hidrográfica do Rio Tejipió
SGB/CPRM	Serviço Geológico do Brasil
DOL	Distúrbio Ondulatório de Leste
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FIDEM	Fundação de Desenvolvimento Municipal de Pernambuco
FPA	Frente Polar Atlântica
GATE	Sistema de Informações Geoambientais da Região Metropolitana do Recife
GEGEP	Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDHM	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
MDT	Modelo Digital de Terreno
PE3D	Projeto Pernambuco Tridimensional
POA	Perturbação Ondulatória nos Alísios
RMR	Região Metropolitana do Recife
SUPDC	Superintendência de Proteção e Defesa Civil
UNDRR	United Nations Office for Disaster Risk Reduction
UNDRR	Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
WP/WLI	Unesco Working Party on World Landslide Inventory
ZAPE	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
ZCPE	Zona de Cisalhamento Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1	MORFODINÂMICA DOS INTERFLÚVIOS E INFLUÊNCIAS ANTROPOGÊNICAS NAS ENCOSTAS	20
2.2	EVENTOS NATURAIS E O ELEMENTO ANTRÓPICO	26
2.3	ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS EM AMBIENTES TROPICAIS ÚMIDOS	30
2.3.1	Escorregamento Translacional (Shallow ou Raso)	37
2.3.2	Elementos contributivos aos escorregamentos	39
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	48
3.1	ASPETOS AMBIENTAIS FÍSICO-NATURAIS	49
3.1.1	Geologia	49
3.1.2	Pedologia	51
3.1.3	Dinâmica climática	53
3.1.4	Hidrografia	55
3.2	ASPECTOS HUMANOS	56
4	MATERIAIS E MÉTODOS	59
4.1	MATERIAL CARTOGRÁFICO	60
4.2	ANÁLISE DE PROCESSOS HIERÁRQUICOS	62
4.3	PONTOS DE ESCORREGAMENTOS	68
4.4	ATIVIDADE DE CAMPO	68
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	69
5.1	SUSCETIBILIDADE DOS ATRIBUTOS POR CRITÉRIO	69
5.1.1	Critério geológico	70
5.1.2	Critério pedológico	74
5.1.3	Critério de cobertura e uso da terra	77
5.1.4	Critério da declividade	81
5.1.5	Critério de curvatura da encosta	83
5.2	ANÁLISE DOS PROCESSOS HIERÁRQUICOS (AHP) E A ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE AOS ESCORREGAMENTOS	85

5.3	PONTOS DE ESCORREGAMENTOS E OS NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE	90
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
	REFERÊNCIAS	116

1 INTRODUÇÃO

Dentre os diversos processos geomorfológicos, os escorregamentos se inserem no segmento morfodinâmico atrelado aos movimentos gravitacionais de massa. Em essência, correspondem a um fenômeno natural ocasionado pela ruptura da estabilidade do material. Esse, ao se “desprender” da encosta, desliza sobre a superfície inclinada no sentido descendente.

Tais eventos passaram a ter maior atenção à medida que foram percebidos pela sociedade devido às consequências adversas iniciais para a mobilidade, mas também, econômicas, psicológicas, políticas e, por vezes, ceifando vidas. Além dos elementos e fatores naturais, os quais emolduram o processo morfodinâmico da encosta, há de se considerar o envolvimento do elemento antrópico, não apenas como agente passivo ao ser impactado, mas também como partícipe na deflagração ou intensificação, haja vista as transformações executadas na paisagem por diversos tipos de usos, alterando as condições ambientais e culminando na variação da estabilidade.

As investigações acerca do tema se expandem pela dinâmica dos movimentos, pelos mapeamentos para a identificação de eventos pretéritos, na mecânica de contensão, nas subclassificações acerca da velocidade e geometria da ruptura, dentre outros campos. Dessas, há uma que busca compreender os níveis de suscetibilidade aos escorregamentos a partir da identificação e ponderação dos elementos envolvidos no processo.

Essa diretriz de investigação, incorporada à identificação antecipada de áreas sujeitas aos escorregamentos, as quais buscam mensurar a probabilidade de ocorrência, direciona-se em discernir os componentes envolvidos, bem como ponderar a participação destes na deflagração ou resistência e na amplificação ou redução da magnitude do evento. Vários elementos são arrolados como partícipes dessa dinâmica morfológica. Entretanto, a geologia (lineamentos, fraturas, litologia), a declividade e a pluviosidade eram postas em destaque em detrimento de uma análise mais holística e ponderada. Esta realidade se justifica por causa da participação mais efetiva, ainda que inicialmente, da Engenharia Civil e da Geologia.

Contraopondo-se a essa realidade cartesiana, observa-se a contribuição do solo interferindo no padrão de infiltração e/ou escoamento ou na capacidade de reter água em alguma camada promovendo uma descontinuidade mecânica. As condições geométricas das encostas dispersando ou concentrando o fluxo ou na variação da velocidade desse se apresentam também como elemento relevante na interpretação do fenômeno.

Outro aspecto relevante advém da transformação econômica local, que reverberou nas relações espaciais, através dos processos de urbanização e metropolização do Recife e áreas

adjacentes. Esse fenômeno foi impulsionado pelas políticas habitacionais no início do governo militar, na década de 1960. A modificação da paisagem de forma deliberada interferiu substancialmente na dinâmica ambiental e promoveu espaços urbanos sem infraestrutura adequada, conforme atesta Santos (1993). Portanto, as análises dos tipos de uso e a cobertura da terra passaram a ser imperativas ao passo que se buscava uma melhor acurácia para classificar a suscetibilidade dos escorregamentos.

Mediante o cenário complexo, uma alternativa metodológica seria o campo dos métodos matemáticos (quantitativos), revelando uma alternativa investigativa viável. Contudo, a complexidade interpretativa, materializada na variabilidade de condicionantes envolvidos no processo de escorregamento, apresenta-se isoladamente como um fator limitante para uma metodologia estritamente quantitativa. Em virtude das peculiaridades locais, as quais exigem um tratamento qualitativo, cabe uma investigação em maior grau proximal por parte do investigador.

Diante da complexidade da dinâmica geomorfológica acerca dos escorregamentos, em virtude dos diversos elementos envolvidos (geologia, solo, uso e cobertura da terra, declividade e curvatura), sobretudo no limiar dicotômico da interferência antrópica, é praticável espacializar a suscetibilidade de tais eventos compreendendo a participação e a intensidade de cada condicionante? Outro questionamento eclode da real contribuição das ações antrópicas sobre o meio na deflagração, redução, ou intensificação, dos escorregamentos.

Esta pesquisa acredita que as transformações antrópicas alteram substancialmente o padrão de estabilidade das encostas, embora os condicionantes naturais estejam supostamente sinalizando uma redução da suscetibilidade aos escorregamentos. À vista disso, busca-se exprimir, a partir da avaliação multicriterial, da ponderação hierárquica dos condicionantes, e do inventário de escorregamentos, a possibilidade de calcular os índices de suscetibilidade aos escorregamentos e espacializá-los.

É nesse contexto que a Regional 01 (Jaboatão Centro), pertencente ao município de Jaboatão dos Guararapes, inserida na Região Metropolitana do Recife (RMR) – PE, passa a ser o objeto de estudo. Assim como a RMR, a área investigada reúne o histórico de ocupação colonial baseado na economia canavieira e atualmente com atividades agropecuárias, industriais, de extração mineral, intervenção antrópica urbana majoritariamente desordenada e áreas ainda disponíveis para a expansão urbana.

O interesse dessa pesquisa reside no histórico de escorregamentos e a possibilidade de ocupação de novos espaços desconsiderando os níveis de suscetibilidade aos escorregamentos a partir de uma compreensão correlacionada entre os condicionantes. Este cenário oportuniza

essa investigação, ainda não realizada na área nos moldes apresentados anteriormente, de modo que os resultados servirão como ferramentas para a gestão pública, no que cerne ao planejamento territorial, acerca da previsibilidade espacial de áreas suscetíveis aos eventos ora investigados.

Nessa direção o trabalho tem por objetivo principal avaliar a suscetibilidade aos escorregamentos translacionais utilizando a metodologia dos Processos Hierárquicos Analíticos (AHP) como forma de classificar os elementos de controle responsáveis por tais eventos na Regional 01 (Jaboatão Centro), pertencente ao município de Jaboatão dos Guararapes/PE, através, especificamente, dos seguintes objetivos:

- Ponderar hierarquicamente os condicionantes envolvidos na morfodinâmica dos escorregamentos;
- Interpretar os níveis de suscetibilidade aos escorregamentos a partir da correlação entre os condicionantes;
- Investigar a relação entre pontos de escorregamentos pretéritos, elementos condicionantes e a espacialização da suscetibilidade;
- Avaliar a contribuição das ações antrópicas acerca da suscetibilidade geomorfológica aos escorregamentos.

Este trabalho se desenvolve a partir de quatro segmentos, sendo o primeiro a abordagem teórica acerca da morfodinâmica dos interflúvios, os eventos naturais e inserção do fator antrópico, e a questão dos escorregamentos em ambientes tropicais úmidos. O segundo compartimento apresenta a seção a ser investigada a partir da sua localização e dos seus elementos ambientais e sociais. O terceiro segmento estabelece os parâmetros metodológicos e procedimentais acerca dos mapeamentos, classificação dos níveis de suscetibilidade, álgebra para a análise dos processos hierárquicos, tratamento dos pontos de escorregamentos e a atividade de campo. Por fim, a última etapa reúne os resultados e as discussões que permeiam a suscetibilidade dos atributos de cada critério, o desenvolvimento do AHP, e a sua espacialização, a investigação dos pontos de ocorrência dos eventos, os tratamentos dos dados obtidos com a atividade de campo e a correlação estatística e factual dos dados produzidos como forma de validação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A natureza e sua dinâmica entrelaçam processos os quais desenvolvem um mecanismo complexo o qual observar e compreender admitem uma condição, no mínimo, intrigante. Não obstante, este contexto também se faz presente nos movimentos de massa, sobretudo nos escorregamentos.

São variadas as diretrizes teóricas nas quais se desenvolvem raciocínios e métodos almejando elucidar os processos naturais. Nesta investigação pontual, o protagonismo se materializa na morfodinâmica dos interflúvios, a qual se insere o sistema das encostas, correspondendo ao fragmento espacial desta pesquisa. Além de reconhecer a interferência antrópica como agente modificador da paisagem alterando o equilíbrio sistêmico.

Ainda que não esteja sob a influência das ações antrópicas, a dinâmica dos elementos naturais e a sua magnitude eventual atuam remodelando a paisagem e intensificando os processos. Portanto, compreender a dinâmica dos eventos naturais, assim como a probabilidade da sua ocorrência é salutar, pois conseguir mensurar a suscetibilidade de um evento natural, perpassando pela investigação e ponderação dos elementos responsáveis, fornece um arcabouço de informações e conhecimento importante na compreensão dos fenômenos que regem a natureza, bem como os seus possíveis impactos na sociedade.

Essa interação entre sociedade-natureza sob a ótica dos eventos naturais, sobretudo os eventos extremos de elevada magnitude, constrói na sociedade uma percepção acerca do impacto dessas ocorrências. Por exemplo, os episódios de escorregamentos que consigo acarretam medo e, na efetivação do evento, dano. Neste sentido, termos como perigo e risco surgem como forma de representar o sentimento e a condição dos envolvidos nesse processo.

2.1 MORFODINÂMICA DOS INTERFLÚVIOS E INFLUÊNCIAS ANTROPOGÊNICAS NAS ENCOSTAS

Na busca pela melhor compreensão da dinâmica sistêmica de uma paisagem, acerca da integridade dos componentes resultantes dos processos geomorfológicos, percebe-se a bacia hidrográfica como uma unidade de escala (um recorte/secção) salutar no atendimento a esse objetivo. Pois, as bacias hidrográficas contíguas, de qualquer ordem hierárquica, estão interligadas pelos seus divisores interfluviais, que drenam material sólido e dissolvido ao ponto terminal nos domínios propriamente fluviais (CUNHA; GUERRA, 2009).

Contudo, o sistema de drenagem é classificado como um sistema aberto, com entrada e saída de energia e de matéria. Com este entendimento, de caráter holístico e sistêmico, pode-se inferir que os aspectos naturais e antrópicos são condicionantes potenciais para as alterações sofridas no sistema hidrográfico, que abarca os domínios interfluviais e fluviais. Tal dinâmica reproduz uma paisagem singular de elevado interesse natural e cultural, composta por usos e problemas específicos, os quais culminam na reconfiguração sistêmica (PRIOCHA; HOLGADO MOLINA; RIBEIRO, 2014).

Em caráter introdutório, segrega-se os elementos integrantes do sistema hidrológico (solo, água, ar, vegetação etc.) e os processos atuantes (infiltração, escoamento, erosão etc.), como propõe Botelho e Silva (2010). Nesse direcionamento é possível progredir com análises de qualidade ambiental, identificação de processos e gestão ambiental.

Esse entendimento se abarca nos preceitos de Tricart (1977) acerca da análise morfodinâmica que busca investigar taxonomicamente os elementos e processos atuantes na área de interesse a partir dos aspectos morfogenéticos, os processos naturais atuais e a participação dos *inputs* antropogênicos.

Dentre as áreas ligadas a esse segmento de investigação geomorfológica identifica-se a Geomorfologia Fluvial, que por sua vez tem por interesse geral estudar os processos e as formas em virtude do escoamento das redes de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980). Entretanto, a morfodinâmica envolvida nos movimentos de massa, ainda que inserida nesse objeto de estudo, concentra-se nos interflúvios. Esse conflito epistemológico acerca do objeto de estudo e a ciência ou o campo específico da análise se faz presente e, segundo Goerl, Kabiya e Santos (2012), conduziram Scheidegger (1973) a ser o pioneiro ao apresentar o termo hidrogeomorfologia, o qual abarca as questões processuais da paisagem evidenciando a água e as formas do relevo como elementos em destaque. Na sequência, o mesmo termo compôs os trabalhos de Gregory (1979) e Richards (1988).

A partir da década de 1990, a hidrogeomorfologia ganhou relevância e tornou-se objeto de investigação bibliográfica por parte de Okunishi (1994), Sidle e Onda (2004), Goerl *et al.* (2012), Grigorie (2014), entre outros. Os referidos trabalhos abordam terminologias, conceitos, aplicabilidade e até a possibilidade da gênese de uma nova ciência. Devido a juventude do debate, justificam-se as divergências entre os diversos elementos ora citados. Entretanto, dois destes se destacam: nomenclatura e definição.

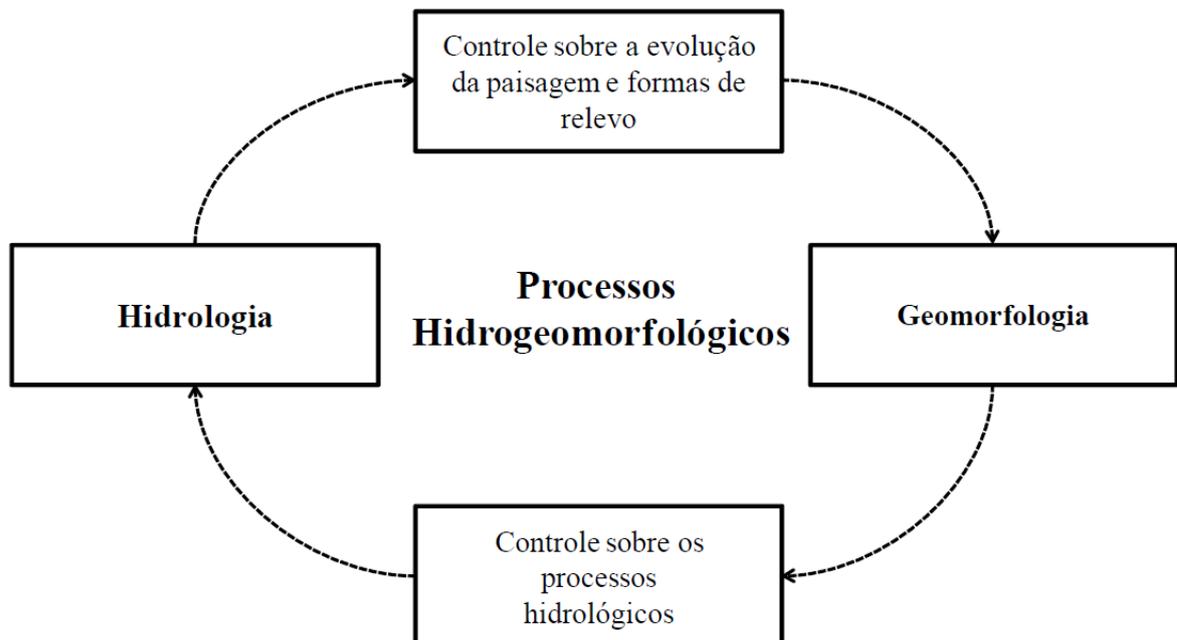
No campo da nomenclatura, Goudie (2004 apud GOERL; KABIYAMA; SANTOS, 2012) utiliza o termo "Geomorfologia hidrológica", enquanto Montgomery e Bolton (2003) define como Hidrogeomorfologia. A Rodrigues (2010) apresenta, ainda no título do seu

trabalho, o termo *hidro-geomorfológico*. Contudo, ao orientar o leitor sobre o que entendia acerca dos sistemas hidro-geomorfológicos, em nota de rodapé, faz uso do termo hidrogeomorfológico, corroborando com a visão de Montgomery e Bolton (2003). Grigorie (2014) consegue harmonizar os diversos olhares a partir de uma reconstrução cronológica e espacial acerca do uso do termo, suas variações e utilizações diversas, de modo que transcende a compreensão ao passo que se associa a sua definição.

No âmbito conceitual, DeBarry (2004 apud GOERL; KOBIYAMA; SANTOS, 2012) compreende que a hidrogeomorfologia seria a análise dos processos hidrológicos sobre a superfície. Enquanto Babar (2005 apud GOERL; KOBIYAMA; SANTOS, 2012) define por ser a interrelação da água, rochas e a superfície na dinâmica e na remodelagem do relevo. Ao reunir as ideias dos referidos autores, entende-se que a hidrogeomorfologia tem por interesse a compreensão processual e sistêmica da paisagem, através da dinâmica hídrica sobre o relevo e a produção de uma nova paisagem a partir desta interação, sobretudo quando atreladas às dinâmicas antrópicas (LOMBANA e MARTÍNEZ-GRAÑA, 2021).

O diagrama abaixo (Figura 1) representa a relação entre hidrologia, geomorfologia e os processos atrelados à hidrogeomorfologia:

Figura 1 – Conceito de Hidrogeomorfologia



Fonte: Goerl *et al.* (2012)

Em se tratando da modelagem da paisagem em ambientes úmidos, a erosão e a deposição dos sedimentos, devido a ação das águas, a partir dos processos de infiltração e/ou escoamento, refletem a dinâmica das encostas interfluviais (GOERL; KOBIYAMA; SANTOS, 2012). Nesse sentido, Botelho e Silva (2010) listam inundações, deslizamentos, fluxos hiperconcentrados, fluxos de detritos, queda de blocos como processos relacionados à hidrogeomorfologia que ocorrem na morfodinâmica das bacias hidrográficas em ambientes tropicais úmidos.

Corroborando com a associação da dinâmica superficial em interflúvios, com a ocorrência de movimentos de massa e os processos hidrogeomorfológicos, tal relação foi demonstrada nos estudos de Hungr *et al.* (2001), Montgomery e Bolton (2003), Silde e Onda (2004) e Sakals *et al.* (2006), Carotenuto *et al.* (2017) e Moreno-de-las-Heras *et al.* (2019).

A dinâmica da encosta está atrelada, especialmente, ao condicionante climático e a alguns aspectos relacionados às características físicas e morfométricas da encosta, que incluem a geologia, o grau de intemperismo, o tipo de solo, os usos e ocupações, a topografia e as formas (CUNHA e GUERRA, 2009). A chuva, por sua vez, assume o papel de maior relevância na dinâmica das encostas, sendo necessário analisar a variação espacial e sazonal da intensidade das precipitações (volume), e a frequência do evento (concentração ou espaçamento entre os meses), uma vez que estando o evento pluvial de elevada intensidade ligado a uma área de alto declive, é aguçada a probabilidade de processos como erosão e movimentos de massa (CUNHA e GUERRA, 2009).

Outros processos merecem destaque na dinâmica da encosta, como, por exemplo, a erosividade da chuva, a erodibilidade dos solos, a natureza geológica, a cobertura vegetal e a geometria da encosta (GUERRA, 2012). Esses alteram as condições conjunturais nos interflúvios e a partir da conexão com o canal fluvial, o qual responde aos *inputs* daquele setor hidrogeomorfológico, o que altera o perfil de equilíbrio do sistema como um todo. Tal equilíbrio foi identificado inicialmente por Gilbert, em 1887, como a harmonização dos setores de um mesmo rio com outros elementos da rede de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Essa orientação percorreu até os fundamentos teóricos dos sistemas abertos, com fluxos de energia e matéria, quando entendeu-se que o rio equilibrado corresponde ao estado de estabilidade sobre determinado período de tempo, em que a água e a carga detrítica que adentram ao sistema são compensadas pelas águas que deles também saem, sendo esse um sistema autorregulador na medida que qualquer variação de energia ou matéria promoverá uma mudança proporcional (MARISAWA, 1968).

Com esse endendimento, a atuação antrópica passa a se identificar como um fator relevante para o desequilíbrio em uma bacia hidrográfica, mediante a sua atuação como elemento modificador da paisagem. Essa constatação denuncia a necessidade do sistema hidrogeomorfológico persistir na readaptação em um período mais curto do que a natureza precisaria para recompor a sua harmonia processual/funcional.

Estudos como os de Girão (2007), Botelho e Silva (2010), e Guerra e Jorge (2013), ratificam a participação da sociedade na morfodinâmica das bacias hidrográficas, tais como aumento do escoamento superficial das águas da chuva, redução da infiltração da água mediante o processo expansivo de impermeabilização, aumento da incidência de enchentes, inundações e alagamentos. Nos mesmos trabalhos, os autores destacam algumas consequências nos interflúvios, como a elevação da taxa de erosão, o aumento da recorrência dos escorregamentos de massa oriundos, de maneira geral, do corte indevido das encostas; do rompimento de tubulações de água; da ocupação de áreas geomofologicamente impróprias ou que demandariam um maior planejamento para a inserção da população; um gerenciamento mais proeminente das autoridades competentes.

Fica evidente que a busca da sociedade pelo progresso, desenvolvimento ou qualquer outro termo que justifique a utilização da natureza (ambiente natural) para obtenção, não apenas da sua existência, mas também de dividendos, lucros ou qualquer acúmulo de riqueza, resulta na alteração das condições de equilíbrio que essa se encontrava. Promove novos *inputs* energéticos ou a retirada desses, assim como modifica a carga e descarga de matéria, alterando as condições normais que apresentava. Como exemplo tem-se a produção agropecuária de larga ou pequena escala, fazendo uso do desmatamento para abertura de áreas de plantio e/ou de pastagem. Tais impactos também podem ser observados nos ambientes urbanos com a impermeabilização do solo, a retificação de canais, aterros, cortes nas encostas, entre outros exemplos.

Estudos relativos à interferência antrópica sobre a dinâmica das paisagens surgem como um elemento relevante a ser analisado, pois essas contribuições demandam a readequação do entendimento da dinâmica processual das paisagens. Claudino-Sales (2020) ratifica esse entendimento à medida que defende a classificação do Antropoceno no enquadramento cronológico do planeta Terra, visto a comprovação da participação de diversos seres vivos na evolução deste planeta como, por exemplo, a origem do oxigênio livre alterando a composição da atmosfera e, por conseguinte, a temperatura média, o que desencadearia outras alterações.

Vislumbrando uma melhor compreensão acerca da participação da sociedade na transformação da paisagem, as pesquisas passaram a selecionar as bacias hidrográficas como

um recorte justificável a fim de analisar tais processos e impactos decorrentes das alterações antrópicas (BOTELHO; SILVA, 2010).

Qualquer que seja a participação antrópica na dinâmica dos domínios fluviais e interfluviais de uma bacia de drenagem, motivada por atividades agropecuárias ou urbanas, essa promoverá a variação das taxas relativas ao balanço hidrológico, assim como nos processos morfodinâmicos.

Botelho e Silva (2010) debatem o tema a partir de duas perspectivas distintas quando abordam a interferência antrópica em bacias hidrográficas em áreas rurais (não urbanizadas) e em áreas urbanas. De pronto já é salutar o entendimento quanto à necessidade de segregar essa discussão acerca do tipo de uso na área a ser investigada, mesmo em se tratando da ação antrópica como elemento determinante.

Tal percepção é apresentada inicialmente comparando as áreas rurais com áreas florestadas, alicerçando o debate através dos parâmetros naturais, buscando comparar as áreas rurais produtivas com as áreas florestadas, utilizando elementos diversos, como a taxa de infiltração (BALDISSERA *et al.*, 1994), perda de solo e água pelo tipo de uso (BERTONI; LOMBARDI NETO, 1990), plantio (CASSOL, 1984) e velocidade de infiltração (CINTRA; MIELNICZUK; SCOPEL, 1983). Nas abordagens supracitadas verifica-se que na comparação entre áreas florestadas e qualquer outra diferente dessa, mas ainda no âmbito agrário, a primeira apresenta os melhores parâmetros com maior taxa de infiltração, menor perda de solo e de água por escoamento. Ao comparar áreas de plantio direto com as de preparo convencional, a primeira tem índices reduzidos de perda de solo e de água.

Observa-se que quanto menor for a modificação do ambiente físico-natural, a dinâmica processual apresentará pequenas variações, culminando em um impacto negativo menor e, por sua vez, reorganizações sistêmicas de magnitude reduzida para o ambiente físico-natural e para a sociedade. Isso foi ratificado por Pepe *et al* (2019) quando constataram as variações dos processos hidrológicos e geomorfológicos em áreas agrícolas abandonadas, as quais tiveram uma redução significativa da estabilidade dos taludes, sobretudo quando submetidas a eventos chuvosos extremos. Logo, sob a ótica naturalista, a interferência antrópica modularia os processos morfodinâmicos ao desestabilizar a organização natural.

No âmbito das áreas urbanas, mediante o foco do uso divergente das áreas rurais, outras características, processos e fenômenos podem ser verificados, geralmente até intensificados. Inicialmente evidencia-se a retirada progressiva da vegetação natural, expondo o solo a processos erosivos mais intensos. Cortes de estrada, retificação de canais, produção de aterros, cortes de encostas, impermeabilização em larga escala, concentração de fluxo pluvial e

supressão de cursos fluviais são exemplos da intensa modificação da paisagem em virtude da produção do ambiente urbano.

Após as atividades antrópicas que modificam os processos naturais em benefício do progresso da ocupação urbana, nota-se a recorrência e o aumento da intensidade de eventos como enchentes, inundações, alagamentos, movimentos de massa, processos erosivos, assoreamentos de canais etc. (LI *et al.*, 2017). Nesse sentido, é perceptível que tais dinâmicas modificam diretamente o contexto da paisagem, uma vez que a modificação dos espaços naturais e a pressão exercida pela sociedade urbana cada vez mais demandam a aplicação de políticas públicas direcionadas ao planejamento e gestão de cunho ambiental e territorial (CUNHA; GUERRA, 2009).

Ao considerar os ambientes de encosta nas áreas urbanas, a geometria da superfície é alterada objetivando a ocupação antrópica, comumente sem a anuência do poder público ou do especialista. Essa interferência decorre da retirada de solo e/ou sedimento, produto este que pode ser utilizado para ampliar o patamar em forma de aterro. Essa prática, neste ambiente, é a principal fomentadora dos depósitos tecnogênicos (SUERTEGARAY *et al.*, 2008). Tais depósitos advêm do processo de remobilização do material por parte da sociedade, desconectando o material da sua gênese, resultando na quebra do equilíbrio dinâmico (MIYAZAKI, 2014).

Assim, percebe-se a intensidade da interferência do elemento antrópico nos ambientes naturais, bem como a evolução de um espaço ainda mais suscetível a futuros impactos a partir da dinâmica social. As evidências se concretizam tanto nas causas (desmatamento, corte nas encostas, retificação de canais, aterros etc.), como nas consequências (alagamentos, movimentos de massa, enchentes etc.), o que torna imprescindível o planejamento e gerenciamento do ambiente natural para o uso antrópico ou apenas a manutenção desse para a preservação.

2.2 EVENTOS NATURAIS E O ELEMENTO ANTRÓPICO

Para Christofolletti (1999), a natureza é um sistema complexo, dinâmico, não-linear e caótico. Diante dessa realidade, o autor infere que a ciência futura caminha para o estudo das complexidades ao passo que se distancia dos métodos de investigação de cunho mecanicista e cartesiano, contribuindo para a elucidação de fenômenos naturais ainda desconhecidos ou esclarecendo aqueles ainda não compreendidos em sua amplitude.

É nesse entendimento de dinamicidade e complexidade da natureza que se observam os eventos naturais. Normalmente apresentam dinâmicas temporais inerentes, bastante complexas e de difícil predição (REID *et al.*, 2018), convergindo ao pressuposto elencado por Christofolletti (1999).

Acerca das tipificações, Bitar (1995) destaca que o evento natural pode ser entendido como um acontecimento derivado da dinâmica natural a nível atmosférico, litosférico e hidrosférico e que a sua gênese está ligada ao sistema físico ao qual pertence. Enquanto para Marandola Jr. e Hogan (2004) os eventos podem ser geológicos e atmosféricos, como também a interseção entre esses. Ressalta-se que isso não desqualifica as peculiaridades e desmembramentos dos tipos e causas dos eventos para uma investigação mais aprofundada.

Bitar (1995) e Ogura e Macedo (2000) ponderam que tais ocorrências estão relacionadas à dinâmica natural, da causa à consequência, não sendo o condicionante antrópico partícipe de sua origem natural. Todavia, ainda que a atividade humana sobre o espaço não seja interpretada por tais autores como uma participação efetiva na gênese do evento natural, há de se considerar que essa ação pode amplificar o impacto ou suas consequências. Por esse prisma, a sociedade se faz presente no tempo e no espaço, independentemente do debate acerca da sua caracterização nesse processo.

Por essa perspectiva, na qual os eventos naturais se relacionam com a sociedade, White (1974) classifica como *Natural hazard* e os define como eventos ocorridos em ambientes onde coexistem a interação do sistema natural e humano, cujos próprios sistemas se rearranjam em um equilíbrio momentâneo. Esse também é o entendimento do *United Nations Office for Disaster Risk Reduction*¹ visto que trata a questão afirmando ser processos ou fenômenos naturais que agem na biosfera podendo desencadear prejuízo, como, por exemplo, lesões, mortes, danos materiais e/ou ambientais etc. (UNISDR, 2004).

Marandola Jr. e Hogan (2004) ratificam os preceitos anteriores quando entendem que *hazard* não é natural em essência, visto que coexiste na conexão entre sociedade-natureza. E ainda concluem ponderando que o *natural hazard* apresenta esta especificidade para destacar a origem do fenômeno nos elementos geofísicos, o qual denomina como força motriz. Contudo, deixam claro que eventos e eventos extremos estão reservados ao fenômeno físico sem impacto ou consequências à sociedade, em consonância com a percepção de Bitar (1995) e Ogura e Macedo (2000).

¹ A United Nations Office for Disaster Risk Reduction reformulou a sigla de UNISDR para UNDRR.

O conflito que permeia a definição não se estrutura somente no âmbito da divergência teórica. Kelman (2018) sinaliza que a inconformidade também possui ceara na questão linguística, resultando em compreensões distorcidas na França, Espanha e América Latina. Logo, para este trabalho, o *hazard* ou *hazard natural* correspondem ao evento natural em conexão com a sociedade. Mas, sem a participação ou intervenção da sociedade na gênese, quais os desdobramentos ao inserir a população nesse processo?

Pois, ao submeter a população às consequências da dinâmica física do planeta, sobretudo ao considerar os eventos extremos, torna-se imperativo a ocorrência de danos. A fragilidade humana acerca de tais eventos é constatada na robustez dos dados do *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction* (UNDRR, 2019), que, além do relatório factual, debate as ações futuras em prol da mitigação de tais impactos sobre a sociedade, sobremaneira às que apresentam maiores dificuldades estrutural, política e financeira.

Hubp e Inbar (2002) relatam que os países da América Latina, na segunda metade do século XX, sofreram muitos danos econômicos e perdas de vida a partir de eventos naturais. Contudo, esses impactos na sociedade estariam mais relacionados à frequência dos eventos e a vulnerabilidade social do que efetivamente com a intensidade dos eventos (eventos extremos).

No âmbito nacional, verificou-se que entre 1991 e 2010 a década de 2000 concentrou o maior número percentual de desastres (UFSC, 2012), sendo o movimento de massa a ocorrência mais expressiva, apresentando um aumento de 21,7 vezes, contrapondo-se ao aumento médio de seis vezes. Em Pernambuco os dados também sinalizam um cenário preocupante, sobretudo na região metropolitana do estado (UFSC, 2011).

Os dados apresentados anteriormente alegorizam um cenário de eventos naturais provocando prejuízos financeiros e sociais, caracterizando-se como desastres naturais (MOURA; SILVA, 2008; TOMINAGA, 2009; OLIMPIO; ZANELLAL, 2017; ALMEIDA; ROCHA; SILVA, 2018; ZHOU *et al.*, 2018). Os desdobramentos dessas consequências danosas se expandem no tempo e no espaço, haja vista a promoção imediata do pânico, estresse, perdas de vida, etc. Posteriormente demandam a reorganização financeira e estrutural dos imóveis fortuitamente atingidos, além de imprimir nos envolvidos e nas gerações futuras, a partir da perspectiva histórico-cultural, condições psicológicas desagradáveis.

Diante dos elementos supracitados, destaca-se a questão psicológica da população em virtude da iminência de ser acometida por um evento causador de danos econômicos, culturais e/ou sanitários, culminando na desestabilização dos envolvidos. Tal sentimento é resultado da percepção da sociedade acerca da exposição a um acontecimento possível. E ao conseguir

mensurar objetivamente a deflagração desse evento (natural, tecnológico, social) sobre a sociedade, denomina-se perigo (VEYRE; RICHEMOND, 2007).

É importante destacar que, neste entendimento, ao "perigo" não se deposita a função de quantificar do dano. Esse se reserva a esclarecer quais seriam os possíveis impactos (danos). Essa lacuna conceitual é elucidada ao passo que se aproxima do "risco".

Para Veyret e Richemond (2007) tal quantificação é fundamentada com informações estatísticas, sendo essas oriundas de dados homogêneos e confiáveis, culminando em uma grande relevância para a determinação do risco. Contudo, as mesmas autoras sinalizam que o risco é apresentado em sistemas ambientais complexos. Dessa forma, fica evidente que os cálculos para a quantificação de um risco não se relacionam a algo simples.

Complementando o posicionamento das autoras, ao passo que vislumbra explicar a aferição, Castro (2000) sugere que a avaliação qualitativa pode ser realizada a partir da quantificação da perda e da probabilidade da ocorrência. Portanto o risco é compreendido pela probabilidade do acontecimento de um evento natural e a avaliação (percepção) da sociedade acerca dos efeitos culminantes. A identificação dessa probabilidade por parte da sociedade, segundo Smith (2004), corresponde ao risco.

É notável a inter-relação do *hazard*, do perigo e do risco acerca dos termos e conceitos resultando no debate amplo e complexo (SANTOS; ROCHA; ANDRADE, 2015). Castro (2000) lança a proposta, almejando reduzir tais conflitos conceituais e semânticos, onde *risk* traduz-se e entende-se como risco e *hazard*, como perigo.

Tominaga (2009) esclarece que o perigo se apresenta a qualquer indivíduo, mas prepondera-se aos mais debilitados financeiramente. Sendo esses os mais impactados quando submetidos aos eventos naturais. A autora pondera que mediante as condições mais precárias, desestruturadas, das populações desfavorecidas economicamente, e essas encontrando-se em maior numerário populacional, residentes em condições subumanas ou desprestigiadas, eleva-se a suscetibilidade ao perigo.

É importante ressaltar que a suscetibilidade corresponde à probabilidade da ocorrência de um evento natural, ou seja, trata-se da predisposição ou propensão da ocorrência de um fenômeno ou processo do meio físico (BITAR, 2014). Contudo, é imperativo destacar que as modificações de ordem antrópica sobre o meio físico podem desequilibrar a paisagem ou aguçar forças que ampliem as condições para a ocorrência de determinado evento. Nesse sentido, a dinâmica social passa a ser fator importante na gênese do evento. Exemplo factível dessa afirmação se dá no corte equivocado da encosta, ampliando sua declividade; remoção da camada vegetal; remobilização do material sedimentar, aumentando o seu cisalhamento,

favorecendo um evento de movimento de massa, certamente associado a um evento chuvoso ou a um terremoto.

Esse cenário anterior insere o elemento antrópico como partícipe da gênese do evento. Em se tratando da sociedade ser acometida por um evento, sendo esse originário exclusivamente das forças naturais ou com coparticipação antrópica, o debate se transpõe para a vulnerabilidade, correspondendo ao grau (nível) de prejuízo ou impacto sobre a população, além de equalizar esse dado com a capacidade de resiliência (KOBİYAMA *et al.*, 2006; TOMINAGA, 2009; SANTOS; ROCHA; ANDRADE, 2015).

Para Zanella *et al.* (2009), a vulnerabilidade é uma noção multidimensional, que pode surgir em virtude de fenômenos múltiplos, a partir de causas distintas, gerando consequências diversas, afetando diferenciadamente os variados grupos sociais e/ou elementos naturais. Por conseguinte, a vulnerabilidade corresponde a reunião de mecanismos e estruturas oriundas de elementos físicos, sociais, econômicos e ambientais, os quais condicionam o quão uma comunidade em risco está suscetível ao impacto dos eventos perigosos (VEDOVELLO; MACEDO, 2007; UNDRR, 2019).

2.3 ESCORREGAMENTOS TRANSLACIONAIS EM AMBIENTES TROPICAIS ÚMIDOS

Dentre os processos morfodinâmicos atuantes em superfícies inclinadas, os escorregamentos, classificados como movimentos de massa, se inserem naqueles de maior velocidade e de menor duração. O fenômeno é regido pela força da gravidade que se faz presente na energia potencial gravitacional exercida sobre o material (rocha, saprólito, sedimento, solo etc.) que tende a ser puxado para o centro da Terra. Contudo, como sinalizado anteriormente, a superfície na qual a matéria repousa precisa estar inclinada, dentre outros fatores, para que haja a elevação da atração, culminando no movimento de massa.

Não obstante da necessidade de compreender às circunstâncias e tipologias em volta dos movimentos de massa, bem como acerca dos escorregamentos, há um debate que merece destaque: o termo que melhor represente o cenário ou o plano físico da execução desse movimento. Visto que esse processo é objeto de investigação por diversas áreas, dentre as quais destacam-se a Engenharia, Geologia, Agricultura e Geomorfologia (VELOSO, 2002).

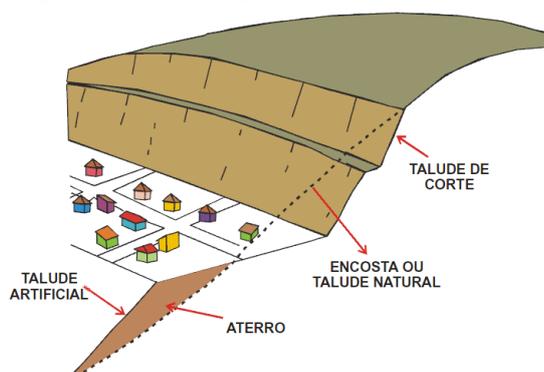
Nesse sentido, tomando por base as superfícies inclinadas, Guerra e Guerra (2009) define planos de declives variados, não correspondentes às cristas ou aos interflúvios, remontando-se ao vale, classificam-se como vertentes. Em consonância à compreensão dos autores e fazendo uso da mesma terminologia, Silva (2013) descreve-o como superfícies

inclinadas, assumindo uma direção (orientação), sujeitas à ação do intemperismo, transporte e deposição de materiais, cuja principal força atuante nessas é a gravidade. O autor não apenas utiliza a morfologia para definir, mas também a dinâmica processual.

Guerra e Jorge (2013) utilizam como suporte os processos morfodinâmicos citados anteriormente para conceituar os movimentos de massa. Entretanto, a superfície inclinada, sendo o sustentáculo do processo e regida pela força da gravidade, é denominada como encosta.

A encosta também pode ser encontrada na literatura como talude, admitindo a mesma definição (LIMA, 2002). Contudo, a autora destaca que o talude (encosta) se subdivide mediante o uso. Portanto, a encosta corresponde ao talude natural, o qual quando seccionado é classificado como talude de corte e ao ser preenchido (aterro) recebe o nome de talude artificial (Figura 2).

Figura 2 – Classificação dos taludes



Fonte: Lima (2002)

A percepção da autora releva uma preocupação acerca das análises não apenas em ambientes naturais. Visto que em espaços sob a dinâmica social, onde essa modifica as condições naturais da paisagem, é relevante ter o suporte de tal classificação como ferramenta na identificação e categorização dos elementos e processos inseridos na investigação. Sobretudo, na contribuição holística de elucidar o tipo de movimento de massa, haja vista que a não validação do tipo do talude pode culminar na caracterização da suscetibilidade ou diagnóstico do evento em si de forma equivocada.

Havendo ou não a modificação da paisagem por ação antrópica, o que incorreria no debate mais aprofundado sobre a nomenclatura do objeto da investigação (encosta, talude de corte ou aterro), o movimento de massa em si é amplamente apresentado a partir da força da gravidade. Esse componente é elementar para a ocorrência de qualquer movimento de massa de acordo com (1980), Hart (1986), Cruden (1991), Selby (1993), Tominaga (2007), Flach e Meurer (2017), Louzeiro *et al.* (2019) etc. A depender da tipologia do movimento, outros

condicionantes respondem pelo desencadeamento, evolução, intensidade e dimensão, como precipitações intensas, geologia e sedimentologia do material, forma das encostas, tipo de uso e ocupação do espaço, dentre outros elementos.

No tocante ao processo mecânico, Christofolletti (1980), ao enxergar o movimento de massa como movimento do regolito, entende esse como todos os movimentos gravitacionais que executam o deslocamento descendente de partículas ou partes do regolito pela encosta. E Hart (1986) esclarece que esse deslocamento, embora submetido à gravidade em virtude do peso do material, ocorre no setor de cisalhamento da encosta.

Em convergência às ideias dos autores supracitados, Cruden (1991) entende que o movimento de massa ocorre no deslocamento de rochas, detritos ou terra, sob força da gravidade e possui como sustentáculo do movimento a vertente. Acerca dos materiais envolvidos no movimento, Castro (1998) exemplifica com os terrosos e os rochosos, associando-se ao Cruden (1991). Oliveira (2010), por sua vez, em sua definição, cita partículas, sedimentos, solo, e rocha, como elementos possíveis de serem transportados.

Através da conjunção dos aspectos levantados até o momento, tendo por base os condicionantes mecânicos, materiais transportados e a denominação da superfície a qual sustenta o evento, entende-se que o movimento de massa, em linhas gerais, corresponde ao deslocamento de matéria (solo/rocha) pela encosta. Tal processo só é possível na presença da força de gravidade que se materializa na declividade da superfície (WICANDER; MONROE, 2010).

A complexidade em definir o movimento de massa reside nas especificidades quanto ao mecanismo, os materiais envolvidos, a superfície de execução, bem como outras questões. Destaca-se também a limitação das atualizações classificatórias na literatura contemporânea. Isso é perceptível nos trabalhos de Mergili (*et al.*, 2017), Tanteri *et al.* (2017), Taalab, Cheng e Zhang (2018), Reichenbach *et al.* (2018), Aditian, Kubota e Shinohara (2018), Assis (*et al.*, 2020) e Mastere (2020).

Os referidos trabalhos exemplificam a perpetuação, até o presente momento, do escopo classificatório composto pelas propostas de Freire (1965), Varnes (1978a), Christofolletti (1980), Guidicini e Nieble (1984), Hutchinson (1988), IPT (1978), WP/WLI (1993) e Melo (*et al.*, 2005) as quais disponibilizam informações relevantes para identificar os escorregamentos, cerne desse trabalho. E ainda que possuam tipologias diferentes, apresentam conceitos que se relacionam, de modo que através da análise de possíveis congruências e discordâncias acerca das nomenclaturas utilizadas, tendo como foco os escorregamentos, surge um cenário visual que auxilia na comparação analítica (Quadro 1):

Quadro 1 – Comparação das classificações dos movimentos gravitacionais de massa por autor

AUTORES	TIPOLOGIAS						
Freire (1965)	Desabamentos	Subsidências	Escoamentos: Rastejos e corridas		Escorregamentos: Rotacionais e Translacionais		
Varnes (1978a)	Quedas (<i>Falls</i>)	Tombamentos (<i>Tapples</i>)	Escoamentos ou corridas (<i>Flows</i>)		Escorregamentos: Rotacionais e Translacionais	Expansões laterais (<i>lateral spreads</i>)	Complexos
Christofoletti (1980)	Desmoronamentos		Rastejamento (<i>creep</i> ou reptação)	Solifluxão (Fluxo de lama)	Deslizamentos		Avalancha*
Guidicini e Nieble (1986)	Subsidências: Subsidiências, recalque e desabamentos		Escoamentos: Rastejo e corridas		Escorregamentos: Rotacionais, Translacionais, Quedas de blocos e queda de detritos		Movimentos Complexos
Hutchinson (1988)	Quedas	Tombamentos	Rastejo	Escoamento	Escorregamentos: Ruptura confinada, Rotacionais, Translacionais e Compostos		Complexos
IPT (1991)	Quedas / Tombamentos		Rastejo	Corridas de massa	Escorregamentos		
WP/WLI (1993)	Quedas	Tombamentos	Corridas		Escorregamentos		Espraiamentos*
Melo (et al, 2005)	Quedas / Desabamentos		Rastejo ou reptação (<i>creep</i>)	Solifluxão	Escorregamentos		

Fonte: Autor (*Tipologias sem relações conceituais consistentes para a associação), (2022)

É perceptível a proximidade das tipologias acerca dos escorregamentos, ora menos detalhadas, ora mais pormenorizadas. Contudo, destaca-se a nomenclatura utilizada por Chistofoletti (1980) para caracterizar os escorregamentos. Para o autor, os deslizamentos:

(...) são deslocamentos de uma massa do regolito sobre um embasamento originariamente saturado por água, onde a função de nível de deslizamento pode ser dada por uma rocha sã ou por um horizonte do regolito possuidor de maior quantidade de elementos finos, de silte ou argilas, favorecendo atingir do modo mais rápido o limite da plasticidade e fluidez. (CHRISTOFOLETTI, 1980, p. 29)

Guerra e Guerra (2009) definem deslizamentos também como deslocamentos de massa de solo sobre um embasamento saturado de água. E ainda admitem a composição "deslizamento de terra" como um tipo de deslizamento onde não há predomínio de argila ou de água no material que desliza. Em consonância aos pressupostos anteriores, Guimarães (*et al.*, 2009), analisando áreas suscetíveis a escorregamentos no Rio de Janeiro, sinaliza que tais movimentos ocorrem a partir de descontinuidades abruptas em subsuperfície, como solo sobre rocha, solo sobre saprólito, etc., ao longo das encostas e que ao serem submetidas a elevadas descargas hidráulicas apresentam um cenário propício para a ocorrência de grandes deslizamentos.

Fica evidente que para Guimarães (*et al.*, 2009) os deslizamentos e escorregamentos admitem o mesmo significado. Esse entendimento também é constatado nos trabalhos de Ross

(2001), Vieira e Ramos (2015), Martins (*et al.*, 2015), todos sobre a suscetibilidade aos escorregamentos. A abordagem alternativa entre os termos é espontânea e admite a função de sinônimo, apesar de não apresentarem evidências ou justificativas teóricas sobre tal conexão.

Contudo, Highland e Bobrowsky (2008) ao apresentarem a definição e a classificação dos deslizamentos já os classificaram como escorregamentos:

Um deslizamento é um movimento de descida de rocha, solo, ou ambos, em declive, que ocorre na ruptura de uma superfície — ruptura curva (escorregamento rotacional) ou ruptura plana (escorregamento translacional) — na qual a maior parte do material move-se como uma massa coerente ou semicoerente, com pequena deformação interna. (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008, p. 7)

Esta compreensão converge para o entendimento que Guerra e Cunha (2009) possuem acerca do escorregamento (*slide*) ao defini-lo como um deslocamento de massa rápido, podendo esse ser de rocha e/ou solo, pela superfície cisalhante. Superfície essa caracterizada por um plano de fatura bem definido, o qual pode estar associada à rocha matriz ou a uma descontinuidade dentro do pacote sedimentar ou entre as camadas pedogenéticas.

Entretanto, apesar de vencida as discordâncias gerais no campo e a concordância da nomenclatura, permanece a incongruência no âmbito das classificações entre as tipologias (Quadro 1), haja vista que parte dos autores apontam o escorregamento unitariamente, enquanto outros dividem o movimento. Destarte, seguindo a tendência mundial, orientada pela proposta da WP/WLI (1993), sobretudo pelo aprofundamento e clareza nas subdivisões, tem-se nas propostas de Freire (1965) e Varnes (1978a) as classificações mais coerentes para melhor abordar os escorregamentos: escorregamento rotacional e translacional.

Ao direcionar a compreensão anteposta à área de pesquisa em questão constata-se alguns obstáculos no âmbito locacional, e no que cerne à própria tipologia e sua subclassificação. As divergências se materializam, no tocante à área investigada, por não haver trabalhos específicos que abarquem a delimitação proposta neste estudo, ocorrendo de maneira generalizada para os municípios circundantes, para a Região Metropolitana do Recife (RMR) ou o estado de Pernambuco como um todo. Essa ausência na tipificação do movimento com exatidão corrobora com a dificuldade em determinar o escorregamento encontrada ainda nas classificações gerais, questão essa discutida há pouco. Diante disso, reproduzem a porção mais superficial da tipologia, utilizando apenas os escorregamentos/deslizamentos de forma generalizada, sem subclassificação.

Tomando por base o estado de Pernambuco, o trabalho mais recente, confeccionado por Xavier, Listo e Nery (2022), compilou e produziu dados georreferenciados objetivando

catalogar os escorregamentos e discernir sobre suas particularidades. Tal levantamento se deu entre os anos de 1988–2019, com os dados secundários, e entre 2017–2019, com os dados primários. Não obstante de terem conhecimento das subclassificações de parte dos escorregamentos, optaram em não utilizar essa particularidade, tratando todos os eventos com a macro classificação (escorregamento). Ao total foram inventariados 3.138 escorregamentos, sendo aproximadamente 98% na RMR e na Zona da Mata Sul. Ainda que de extensão estadual, os autores concluíram que o maior volume de incidência ocorreu no município de Jaboatão dos Guararapes, totalizando 1620 eventos, justificado pela geologia cristalina, colinas, predominantemente, íngremes e convexas e cobertura florestal Ombrófila Aberta (FOA).

Nos trabalhos voltados à RMR, Bandeira (2010) se empenhou em aperfeiçoar as propostas de gerenciamento dos escorregamentos a partir dos elementos condicionantes (processos morfodinâmicos na encosta; investigação dos materiais e cenários de precipitação). A investigação se debruçou nas áreas dos municípios de Recife, Camaragibe, e Jaboatão dos Guararapes. Para essa última, concluiu, dentre diversas questões, maior sensibilidade aos escorregamentos nos solos residuais de milonito oriundos do embasamento cristalino.

No município de Camaragibe, a nordeste da área em estudo, Bandeira (2003) pesquisou a relação entre os riscos em áreas com ocupação desordenada, o que subsidiou a ampliação da pesquisa para o seu trabalho seguinte, ampliando a área de interesse, conforme apresentou-se no parágrafo anterior. Porém, esse primeiro tratou não apenas dos escorregamentos, mas também das erosões. Destaca-se que as ponderações para as classificações de riscos, ainda que sobre processos morfológicos distintos, a autora aplicou o mesmo peso para os seus atributos acerca dos fatores elencados (topografia, geologia e ambiental). Portanto, ainda que faça referência aos escorregamentos, mesmo com caráter genérico, e que obtenha como recorte da pesquisa um município longínquo, pouco contribui para o objeto de estudo desta investigação, exceto pela ratificação da sua existência.

Ainda sobre o mesmo município, Fernandes (2014) constrói uma modelagem, a partir de cenários pluviométricos, para encontrar os níveis de infiltração, na encosta do Alto do Padre Cícero (Camaragibe), responsáveis pela deflagração de deslizamentos. Além de mensurar os níveis de suscetibilidade para a deflagração do evento, identificou o perigo de precipitações antecedentes na deflagração de escorregamentos futuros.

Em meio à dificuldade de encontrar pesquisas que se enquadrem no escopo deste trabalho, o município do Recife se sobressai no quantitativo de tais estudos por ser a maior cidade da Região, por conter os maiores investimentos, possuir o maior adensamento populacional e também estar inserido em um ambiente historicamente conhecido por seus

eventos de escorregamentos/deslizamentos. Nesse sentido, os principais trabalhos que exemplificam o embargo teórico e espacial levantado há pouco são os de Lima (2002), Filho (2012), Rodrigues (2020) e Melo (2021).

Lima (2002), tendo como lócus o Alto do Reservatório (Nova Descoberta), análise a resistência dinâmica do solo a partir da condutividade hidráulica e o monitoramento do deslocamento horizontal. Filho (2012) investigou os condicionantes mecânicos pedogenéticos sob a influência da precipitação, no bairro da Guabiraba, como condicionantes para a deflagração de deslizamentos. Assim como Melo (2021) o fez, na Lagoa Encantada, a partir de imagens de alta resolução e a construção de cenários de precipitação. Rodrigues (2020) operou um modelo matemático para identificação de perigo aos deslizamentos no município de Recife a partir das variáveis de altitude, cobertura do solo, declividade, relevo, geometria da encosta, distância dos cursos d'água, litologia, número de escoamento, propensão hidrogeológica, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), SPI (*Stream Power Index*), TWI (*Topographic wetness index*) e distância das rodovias. Apesar de todos os condicionantes, não se apropriou da subclassificação da tipologia dos escorregamentos, tratando todos os eventos como deslizamentos.

Para o município em questão não se verificou trabalhos específicos para a temática abordada, como nos demais exemplos listados. Nota-se o deslizamento sendo abarcado como elemento consequente de outros objetos de estudo. Farias (2016) ratifica essa afirmação com o seu trabalho a partir eventos pluviais extremos (positivos) e seus desdobramentos para a sociedade. Como também no diagnóstico sobre os municípios em áreas de risco geológico de Lana (2021), o qual faz um compilado sobre o perfil socioeconômico da população jaboatonense e qual o risco estaria associado. Esse estudo aponta 11.166 domicílios sujeitos à inundação (69,81%), aos deslizamentos (30,11%) ou ao rastejo (0,08%), culminando apenas nos quantitativos.

Portanto, não é abundante estudos sobre os escorregamentos na área delimitada por essa pesquisa, assim como a ausência de profundidade na determinação subclassificatória da tipologia dos escorregamentos. Entretanto, destacam-se dois trabalhos os quais ponderam em seus resultados que os escorregamentos na área estão atrelados às zonas cristalinas ou aos solos residuais de origem cristalina. Os resultados de Xavier, Listo e Nery (2022) se concentram no levantamento quantitativo e encontram evidências de tal afirmação, para o município de forma geral. Enquanto Ramos (2019), em seu estudo de caso em uma encosta no bairro do Curado II, conclui que há um fator de segurança positivo quando submetido às chuvas ou aos vazamentos de água servida, ainda que esse promova uma redução do índice de segurança.

Nesse sentido, ao associar as informações anteriores acerca do condicionante litológico, de sedimentos oriundos de estruturas cristalinas, por estarem em ambientes modificados pela ação antrópica, como retirada de vegetação, aterros e cortes na encosta, bem como, a evidência de profundidade reduzida e curto prolongamento, tais eventos se enquadram na tipologia translacional. Porque o escorregamento rotacional tem por característica central apresentar pouca deformação no material transportado, a ruptura cisalhante possui uma curvatura côncava voltada para cima (FREIRE, 1965) e de maior evidência em materiais mais homogêneos e espessos (HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008; FERNANDES; AMARAL, 2009).

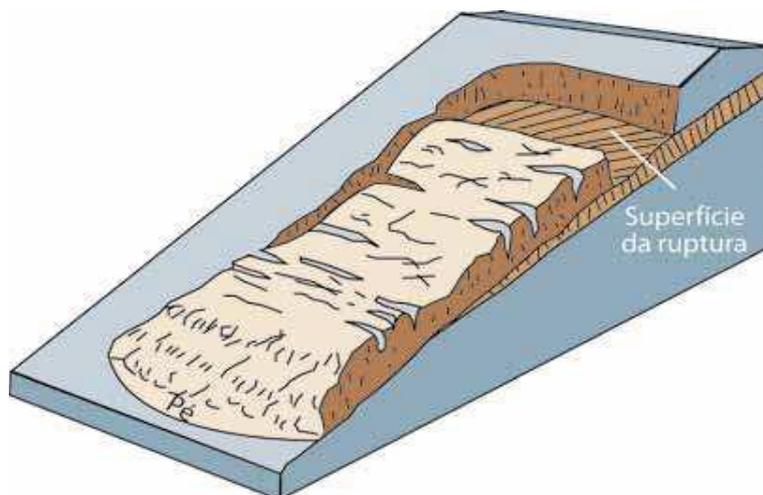
Tal cenário é discordante com a realidade da área, que mais se identifica por eventos rápidos, mediante chuvas intensas e recorrentes, de baixa profundidade, material remobilizado e bastante mexido. Essa descrição se enquadra nos descritos de Selby (1993) ao tratar o escorregamento translacional, o qual, devido à alta complexidade, é subdividido em deslizamento, avalanche e fluxo de detritos, a partir do sedimento transportado.

Nesse sentido, esse estudo reconhece a percepção de Selby (1993) quanto à complexidade do escorregamento translacional, materializada na progressão do evento por fluidificação até os canais fluviais. Entretanto, esta pesquisa investigará a suscetibilidade acerca da deflagração inicial dos escorregamentos translacionais ou planares, entendidos aqui também como deslizamentos.

2.3.1 Escorregamento Translacional (*Shallow* ou Raso)

Apresenta uma superfície de cisalhamento plana, podendo também ser encontrado na literatura brasileira como escorregamento planar (VIEIRA, 2007), devido à geometria da ruptura que caracteriza essa tipologia (Figura 3). Em linhas gerais, é um movimento de profundidade reduzida, em comparação ao rotacional, variando entre 0,5mm e 5,0 metros, com projeção longitudinal alongada (FERNANDES; AMARAL, 2009). Esses autores, assim como Nery (2011), fazem uso do termo *shallow*, associado à profundidade reduzida em relação ao rotacional, sendo utilizado também o termo "raso".

Figura 3 – Escorregamento translacional



Fonte: Adaptado de Highland e Bobrowsky (2008)

Importante destacar que a superfície cisalhante corresponde a descontinuidades verticais as quais reduzem o atrito, culminando no deslocamento. Tais situações apresentam na gênese deflagradores geológicos (acamamentos, fraturas etc.), geomorfológicos (depósitos ou cortes na encosta) e/ou pedológicos (contato entre horizontes, solos e saprólito), conforme acrescenta Oliveira (2019).

Arendt (2005), Fernandes e Amaral (2009), Oliveira (2019), dentre outros, esclarecem que esse tipo de escorregamento estaria mais associado à participação da chuva, seja pelo incremento frontal sobre a encosta ou pela redução do atrito na zona de cisalhamento após a percolação. Essa dinâmica progride para o escorregamento a partir da saturação do topo ou da base da encosta.

Em situações de precipitação, estando o material saturado ou não, a infiltração constante atua na redução da resistência de atrito sobre a zona cisalhante através do aumento da carga a ser sustentada. Esse é o exemplo do escorregamento planar por saturação do topo, onde a superfície da encosta executa o movimento, normalmente em áreas de maior declive.

Nos escorregamentos translacionais por saturação da base, os materiais envolvidos apresentam propriedades hidrogeológicas distintas, promovendo uma descontinuidade que na presença da água reduz-se à resistência. A água se insere nesse espaço através da elevação do nível freático que separa os materiais distintos deflagrando o movimento.

Por fim, destaca-se que, devido ao contexto de materiais diversos, os escorregamentos translacionais como um todo apresentam maior deformação ao final do processo quando comparado ao rotacional (AHRENDT, 2005), ainda que apresentando as mesmas possibilidades

categóricas dos escorregamentos rotacionais quanto à velocidade (GUIDICINI; NIEBLE, 1984; HIGHLAND; BOBROWSKY, 2008).

2.3.2 Elementos contributivos aos escorregamentos

Além da força da gravidade, amplamente identificada neste trabalho como elemento não excluível para a ocorrência dos escorregamentos, outros condicionantes também podem participar na variação de intensidade, reincidência, extensão e duração desses deslocamentos de massa. Buscando compreender os condicionantes e a função na dinâmica processual de cada um desse, Guidicini e Nible (1984) dividiram o processo entre "agentes" e "causas" (Quadro 2).

Quadro 2 – Agentes e causas dos escorregamentos

Agentes	Predisponentes	Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original.	
	Efetivos	Preparatórios	Pluviosidade, erosão (hídrica e eólica), congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível hídrico (lagos, marés e lençol freático), ação de animais e do homem (inclusive desmatamentos).
		Imediatos	Chuvas intensas, fusão do gelo e da neve, erosão, terremotos, ondas, vento, ação do homem.
Causas	Internas	Efeitos das oscilações térmicas; Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo.	
	Externas	Mudanças na geometria do sistema; Efeitos de vibrações; Mudanças naturais na inclinação das camadas.	
	Intermediárias	Elevação do nível piezométrico em massas homogêneas; Elevação da coluna d'água em discontinuidades; Rebaixamento rápido do lençol freático; Erosão subterrânea retrogressiva (<i>piping</i>); Diminuição do efeito de coesão aparente.	

Fonte: Adaptado de Guidicini e Nible (1984)

Como forma de compilar as informações contidas na proposta anterior, Popescu (1994), elenca os fatores causadores dos escorregamentos distribuindo-os entre condições do solo; processos geomorfológicos; processos físicos e processos artificiais. Enquanto isso,

Bigarella *et al.* (2003) atualiza o entendimento dos condicionantes relatando que os movimentos de massa dependem principalmente da estrutura geológica, da declividade da encosta, da forma topográfica, do regime de chuvas (em especial de episódios pluviais intensos), da perda de vegetação e da atividade antrópica, bem como pela existência de espessos mantos de intemperismo, além da presença de níveis ou faixas impermeáveis que atuam como planos de deslizamentos.

Através das contribuições de Varnes (1978b), Guidicini e Nieble (1984) e de Augusto Filho e Virgili (1998), acerca dos condicionantes envolvidos nos escorregamentos, Vedovello e Macedo (2007) desenvolve uma percepção visualmente mais didática e metodologicamente mais executável, ao passo que disponibiliza dois quadros: 1. hierarquização das principais causas dos deslizamentos, além dos efeitos gerais (Quadro 3); 2. Agentes condicionantes dos deslizamentos (Quadro 4).

Quadro 3 – Principais causas dos deslizamentos

Causas Primárias	<ul style="list-style-type: none"> - Terremotos, vulcanismo, ondas gigantes (tsunamis); - Chuvas contínuas e/ou intensas; - Oscilações térmicas; - Erosão e intemperismo; - Vegetação (peso, ação radicular); - Ações humanas (cortes, depósitos de materiais, estruturas construídas, aterros, tráfego, explosões e sismos induzidos); - Oscilações naturais ou induzidas do nível d'água em subsuperfície; - Desmatamento.
Causas Secundárias	<ul style="list-style-type: none"> - Remoção de massa; - Sobrecarga; - Solicitações dinâmicas (vibrações); - Pressões em discontinuidades do terreno (p. ex. entrada de água ou crescimento de vegetação em fraturas das rochas).
	<ul style="list-style-type: none"> - Diminuição nas propriedades de coesão e de ângulo de atrito dos materiais presentes nas encostas; - Variações nas relações de tensões, estruturas e geometria dos materiais presentes nas encostas.
Efeito Geral	Aumento da solicitação sobre os materiais componentes da encosta, acarretando variações nas condições de tensão no talude.
	Redução da resistência ao rompimento / cisalhamento dos materiais componentes da encosta.

Fonte: Adaptado (VEDOVELLO; MACEDO, 2007)

Quadro 4 – Agentes condicionantes dos deslizamentos

PREDISPONENTES		EFETIVOS	
Grupo ou Tipo de Condicionante	Características condicionantes	Preparatórios	Imediatos
Clima	- Pluviosidade; - Temperatura; - Sazonalidade.	- Chuvas; - Variações de temperatura;	- Chuvas intensas e/ou contínuas; - Vento;
Substrato	- Tipo de material (rochas, solos, depósitos e sedimentos); - Propriedades físico-químicas dos materiais; - Estruturas geológicas internas (foliação, xistosidade, juntas, fraturas); - Relações geométricas entre perfis.	- Dissolução química; - Erosão eólica e pluvial; - Presença de nascentes ou fontes de água, mananciais, e surgências d'água; - Oscilações do nível d'água subterrânea ou em subsuperfície;	- Fusão de gelo e neve; - Tremores de terra; - Vibrações produzidas por tráfego e explosões; - Intervenções antrópicas inadequadas, como por exemplo cortes e aterros mal dimensionados;
Relevo	- Declividade; - Tipo do perfil da encosta; - Amplitude.	- Desmatamento; - Lançamento de lixo e entulho;	- Vazamentos nas redes de abastecimento de água, nas redes de esgoto e em fossas.
Águas superficiais e subsuperficiais	- Escoamento; - Infiltração; - Nível d'água; - Dinâmica e geometria do fluxo de água em subsuperfície.	- Remoção da cobertura vegetal; - Execução de cortes e aterros e deposição de materiais;	
Vegetação	- Cobertura e proteção superficial; - Evapotranspiração; - Ação radicular; - Peso.	- Concentração de águas pluviais e servidas.	
Uso e ocupação da terra	- Tipos de ocupação urbana; - Densidade de ocupação; - Agricultura; - Obras de engenharia.		

Fonte: Vedovello e Macedo (2007)

Diferentemente dos demais autores, Vedovello e Macedo (op. cit.) tipificam os condicionantes e oferecem destaque na primeira coluna (clima, substrato, relevo, águas superficiais e subsuperficiais, vegetação, uso e ocupação), não apenas o processo. Tal postura auxilia na identificação dos elementos partícipes do evento, bem como permite uma melhor análise do processo.

Para os autores, os deslizamentos não são condicionados por apenas um elemento, os quais seguem interagindo continuamente, no tempo e no espaço, e são influenciados (absolutamente ou parcialmente) por eventos naturais e/ou por interferência antrópica, sendo estas as causas primárias (VEDOVELLO; MACEDO, 2007). À vista disso, um deslizamento ocorre mediante eventos (causas primárias) gerando um efeito (causas secundárias) ou, por si só, reduzindo a resistência ao cisalhamento dos materiais que compõe a encosta.

No âmbito dos agentes, entende-se estarem atrelados a todos os elementos (componentes físicos) relacionados diretamente à deflagração do evento e ao deslocamento do material que compõe a encosta (VEDOVELLO; MACEDO, 2007). Tais elementos agem na facilitação/favorecimento, assim como na sua deflagração. Logo, os agentes predisponentes se relacionam aos condicionantes iniciais, responsáveis pelo evento, enquanto os agentes efetivos atuam alterando as condições naturais dos materiais e/ou do equilíbrio prévio das encostas.

Os referidos condicionantes listados pelos autores também são considerados nos trabalhos de Fernandes *et al.* (2001), Alheiros (2003), Sporl e Ross (2004), Lopes (2006), Tominaga (2007), Fernandes e Amaral (2009), Nery (2011), Pourghasemi, Pradhan e Gokceoglu (2012) Pinto, Passos e Caneparo (2013), Vieira e Martin (2016), Myronidis, Papageorgiu e Theophanous (2016), Lamberty (2018), IBGE (2019), dentre outros, trazendo uma ampla contribuição teórica e prática sobre essa questão ao destacar os elementos e como participam do processo. Contudo, as denominações variam, como, por exemplo, o substrato ser identificado por elemento geológico ou no relevo que fazem uso da curvatura, declividade da encosta ou outro atributo morfométrico ou analítico.

Com esse entendimento, os condicionantes responsáveis pelos escorregamentos, em linhas gerais, se materializam nos elementos geológicos, geomorfológicos, pluviais e, mais recentemente, nas ações antrópicas. Esses se ramificam para diversos atributos que, em conjunto, constroem um arcabouço de informações capazes de alicerçar e caracterizar os elementos principais informados inicialmente.

No âmbito geológico, Lopes (2006) apresenta três segmentos relevantes para a dinâmica do movimento: mineralogia, tectônica e hidrogeologia. Na mineralogia, o autor pondera sobre os desdobramentos em virtude da natureza mineralógica ou litológica da matriz (resistência, alterabilidade e dos bandeamentos e estratificações). Nesse contexto se insere, por exemplo, a expansividade de minerais. Na tectônica, alerta para as questões estruturais (falhas, planos de fraqueza), rugosidade, posição espacial das feições e outras condições que condicionem a estabilidade do material envolvido. E, por último, os fatores hidrogeológicos podem atuar reduzindo a resistência do material, variando as condições de percolação e o regime dessa.

Os mesmos elementos são elencados por Tominaga (2007) ao advertir que a composição mineralógica ou físico-química das litologias, as propriedades mecânicas, as estruturas geológicas e o grau de intemperismo são aspectos relevantes na deflagração do movimento de massa. Já Fernandes e Amaral (2009), emersos no contexto dos escorregamentos, listam as fraturas, falhas, foliação, bandeamento composicional e as discontinuidades no solo como elementos basilares na ocorrência de escorregamentos rotacionais e translacionais.

Entretanto o IBGE (2019) pondera sobre quais variáveis geológicas devem ser consideradas na análise da suscetibilidade aos deslizamentos a partir da escala. Fica exposto que, nas investigações entre 1:25.000 e 1:250.000, os dados capazes de fornecer elementos consistente na avaliação são extraídos da litologia; características genéticas da litologia; província estrutural; e subprovíncia estrutural.

O destaque realizado pelo IBGE (op. cit.) é exemplificado ao esclarecer a investigação sobre a genética litológica, quando apresenta a peculiaridade dos granitos que podem ser ígneos (alcali-granitos) ou metamórficos (metagranitos ou granitos gnaissificados). Ou ainda no amplo conjunto das rochas metamórficas onde os quartizitos, xistos ou gnaisses podem ser classificados em diferentes níveis de suscetibilidade, devido a seu grau de pressão e temperatura no metamorfismo.

No âmbito pedológico, Fernandes *et al.* (2001) destacam que os estudos direcionados aos deslizamentos precisam investigar as questões sobre a hidrologia da encosta. Abordam a importância de compreender a condutividade hidráulica dos solos, sobretudo acerca velocidade de infiltração, na ocorrência de descontinuidades hidráulicas no interior do perfil que resultaria no bloqueio do fluxo vertical, elevando o poro-pressão positivamente.

A caracterização química e mineralógica do solo também contribui para definição do grau de estabilidade da encosta, ao passo que as propriedades predominantes dos argilominerais produzem uma maior ou menor estabilidade (VIEIRA, 2007). A autora explica que argilominerais, como haloisita, vermiculita e montmorilonita, têm por característica preencher os espaços entre as lâminas com água, atuando como fator negativo na estabilidade, quando predominantes no solo. Todavia, a autora pondera que não estão todos os movimentos de massa ligados à composição mineralógica dos solos, haja vista que os deslizamentos (rotacional e translacional) são regidos principalmente pela poro-pressão e a redução da resistência.

Contudo, Molinari (2010) insiste que a estabilidade está relacionada diretamente às características do solo acerca da morfologia, da hidráulica, e da mineralogia, haja vista que essas condicionam a infiltração, o deslocamento interno, e o armazenamento da água, o que influencia na saturação e na capacidade de resistir à ruptura. Esse entendimento é partilhado

pelo IBGE (2019), quando, na seleção dos elementos pedológicos responsáveis por se extrair o grau de suscetibilidade aos deslizamentos, leva-se em consideração as características que influenciam na capacidade de infiltração, na condutividade hidráulica e na dispersão da argila (preponderante para a deflagração do escorregamento). Nesse sentido, o solo deve ser compreendido de modo amplo, mediante a sua complexidade referente às características elencadas anteriormente.

Dentre essa gama de informações, Porter *et al.* (2008) correlacionam a profundidade do solo, com a curvatura da encosta e a declividade verificando a variação da suscetibilidade aos escorregamentos. Os autores revelam que em uma encosta muito inclinada e com o solo pouco espesso (raso), ainda que nessas condições, o evento pode não acontecer, justificado pela incompetência da massa do solo não romper a força de atrito a qual fornece a estabilidade. O mesmo se aplica a uma massa de solo muito espessa e suficientemente pesada, sobre uma encosta convexa, ainda que apresentando competência para escorregar, mas sendo a declividade insuficiente, não ocorrerá o deslocamento.

Ratifica-se o cenário complexo e de múltiplos condicionantes envolvidos na deflagração dos escorregamentos. Dentre esses a declividade e a curvatura surgem como parâmetros morfométricos relevantes.

A variação vertical do ângulo, que o material a ser transportador se encontra, participa na variação da tensão cisalhante, visto que em declives suaves a tendência é de uma baixa frequência aos escorregamentos (VANACÔR; ROLIM, 2012). Vale ressaltar que a variação do gradiente altimétrico é apresentada de duas formas na literatura: 1. Inclinação - corresponde ao ângulo médio (arco tangente) da encosta na relação entre a altura e o comprimento (horizontal); 2. Declividade – trata-se da inclinação (arco tangente) em percentual (BRASIL, 2007).

Entretanto, apesar do esclarecimento conceitual, o próprio IPT (2007) entende a inclinação e a declividade como sinônimas e sem distinção prática, enquanto o IBGE (2019) faz uso do termo declividade atento a sua real conexão teórica. Na prática, apesar da discordância, ambos convergem para a notabilidade desse elemento na dinâmica do movimento de massa.

Essa preponderância em volta da declividade como condicionante majoritário na suscetibilidade por muitos anos se fez presente de forma quase que incontestável. Acreditava-se que quão mais íngreme fosse a encosta, menor seria a resistência ao deslocamento do material, caracterizando-se uma área de maior suscetibilidade e isso apresentou inconsistência prática. Trabalhos como os de Fernandes *et al.* (2001), Lopes (2006), Fernandes e Amaral (2009), Pinto, Passos e Caneparo (2013) revelam que a densidade dos escorregamentos ocorrem

em declividades medianas entre 21° e 25° e que curvatura da encosta e a cobertura (tipo uso e/ou vegetação) podem interferir significativamente no processo.

A curvatura da encosta exerce uma influência na estabilidade ao interferir o padrão de velocidade do fluxo hídrico na superfície, bem como na variação do direcionamento desse entre concentrar ou dispersar. Os perfis retilíneos geralmente apresentam maior declividade que os convexos, tornando-se mais suscetíveis a escorregamentos translacionais (LOPES, 2006). Na côncava há uma maior concentração do fluxo, aceleração do deslocamento hídrico, resultando na maior propensão aos deslizamentos, além de, normalmente, apresentarem solos mais espessos por serem zonas de convergência (*hollows*), ampliando o volume de material a ser mobilizado (colúvio ou tálus), o que potencializa a ruptura. Isso ocorre inversamente na geometria convexa e a retilínea se posiciona como ambiente de transição (DIKAU, 1990; (LOPES, 2006; FERNANDES; AMARAL, 2009; STABILE *et al.*, 2013; GEGEP, 2014; LAMBERTY, 2018).

No tocante ao que se acena na superfície, o uso e a cobertura da terra, incluindo-se a vegetação, tem se revelado com um dos fatores relevantes na instigação, haja vista que áreas sem cobertura vegetal se apresentam como mais propícias aos deslizamentos (BIGARELLA *et al.*, 2003; VANACÔR; ROLIM, 2012). A vegetação atua, nesse sentido, reduzindo a infiltração da água meteórica por bloqueio das folhas que amortecem o impacto ao passo que atua rebaixando a inserção da pressão neutra no solo.

Portanto, a modificação da paisagem indiscriminada altera o equilíbrio, fomentando a eclosão de eventos naturais que busquem um novo patamar regulatório no recorte espacial da encosta. Para a Fundação de Desenvolvimento Municipal de Pernambuco - FIDEM (2003) e Santos, Mendes e Valério Filho (2015), a intervenção antrópica, exemplificada no desmatamento; no plantio inadequado (culturas e técnicas); nos cortes verticais (ampliação das moradias); no lançamento de água servida (superficial ou subsuperficial); nas fossas negras e na adição de cargas no terreno (construção ou ampliação horizontal ou vertical de moradias), induzem ao escorregamento.

Esse cenário é completamente análogo à ocupação dos morros da Região Metropolitana do Recife (RMR), através das ocupações majoritariamente espontâneas, conforme atesta a FIDEM (2003). O impacto dessa dinâmica social e econômica sobre ambiente atua diretamente na produção de novos depósitos sedimentares, denominados de tecnogênicos ou antropogênicos (OLIVEIRA *et al.*, 2005; MIYAZAKI, 2014; BRAGA; PELOGGIA; SANTOS, 2016; CLAUDINO-SALES, 2020), os quais têm sua gênese na remobilização de um material previamente existente, sendo este lançado na encosta natural em forma aterro, originando o

talude artificial (LIMA, 2002). O processo descrito resulta em um material de porosidade e permeabilidade elevadas, corroborando para a deflagração de escorregamentos (FIDEM, 2003).

Encerrando os condicionantes atrelados aos escorregamentos, insere-se a pluviosidade a qual Dai e Lee (2001) atestam a relação entre a frequência e o volume da chuva com o aumento na deflagração de escorregamentos. Assim como o referido trabalho, Ahrendt (2005), Girão (2007), Vieira (2007), Fernandes e Amaral (2009), Godois (2011), dentre tantos outros, também conseguiram identificar relações contundentes da precipitação com os escorregamentos. Essa associação é de suma relevância quando o ambiente investigado se caracteriza por apresentar um volume pluviométrico anual elevado, além de concentrar a precipitação em determinado período do ano.

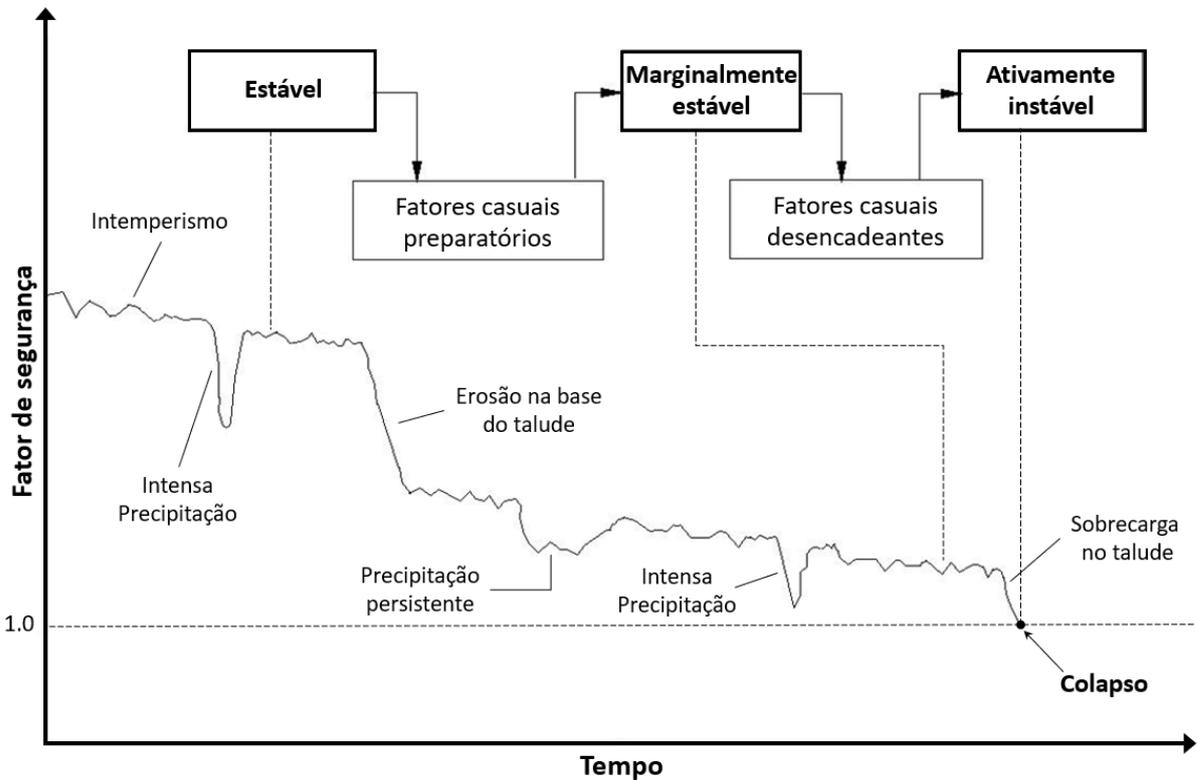
Nesse sentido, a pluviosidade age como elemento causador de instabilidade sobre a perspectiva de regularidade e de intensidade. A regularidade se apresenta na caracterização climática, sobretudo em ambientes úmidos com chuvas concentradas em determinado período e a intensidade surge em um contexto episódico de extremidade. Nery (2011) ratifica essa análise quando atesta que a precipitação é o elemento principal na predisposição e deflagração dos escorregamentos em ambientes tropicais, precisando levar em consideração a intensidade, duração e o tempo de retorno.

Trabalhos como os de Castro (2006) e Vieira e Martins (2016) contribuem bastante sobre o viés dos modelos matemáticos ao buscarem correlacionar intensidade, regularidade e tempo de retorno das precipitações com a incidência de escorregamentos. Contudo, ambos os trabalhos, ainda que repletos de referências e exemplos, alertam que tais modelos possuem potencialidades e limitações.

Girão (2007), Fernandes e Amaral (2009) e Listo (2011) sinalizam que sob a condição de períodos intensos de precipitação e/ou de elevada duração, ocorre a saturação do solo com a poro-pressão positivo mediante a elevação do nível freático da encosta. Esta associação é condicional para a deflagração do escorregamento, como constata Ahrendt (2005) em parte de seus estudos relacionados à correlação entre eventos translacionais sob a influência de precipitação intensa e contínua.

Essas questões são pontos motivadores para a pesquisa de Popescu (1994) que contribui, de forma gráfica, apresentando a relação entre as ocorrências e o tempo para estipular o Fator de Segurança da vertente (Figura 4). Dentre os outros elementos listados pelo mesmo autor em seu trabalho, a pluviosidade, atuando na elevação da carga hídrica do solo, promove a alternância mecânica na estabilidade da encosta, culminando na redução da força de atrito entre as partículas ou pacotes sedimentares o que projeta a diminuição do fator de segurança.

Figura 4 – Interação entre os condicionantes de estabilidade da vertente na identificação do fator de segurança acerca do tempo



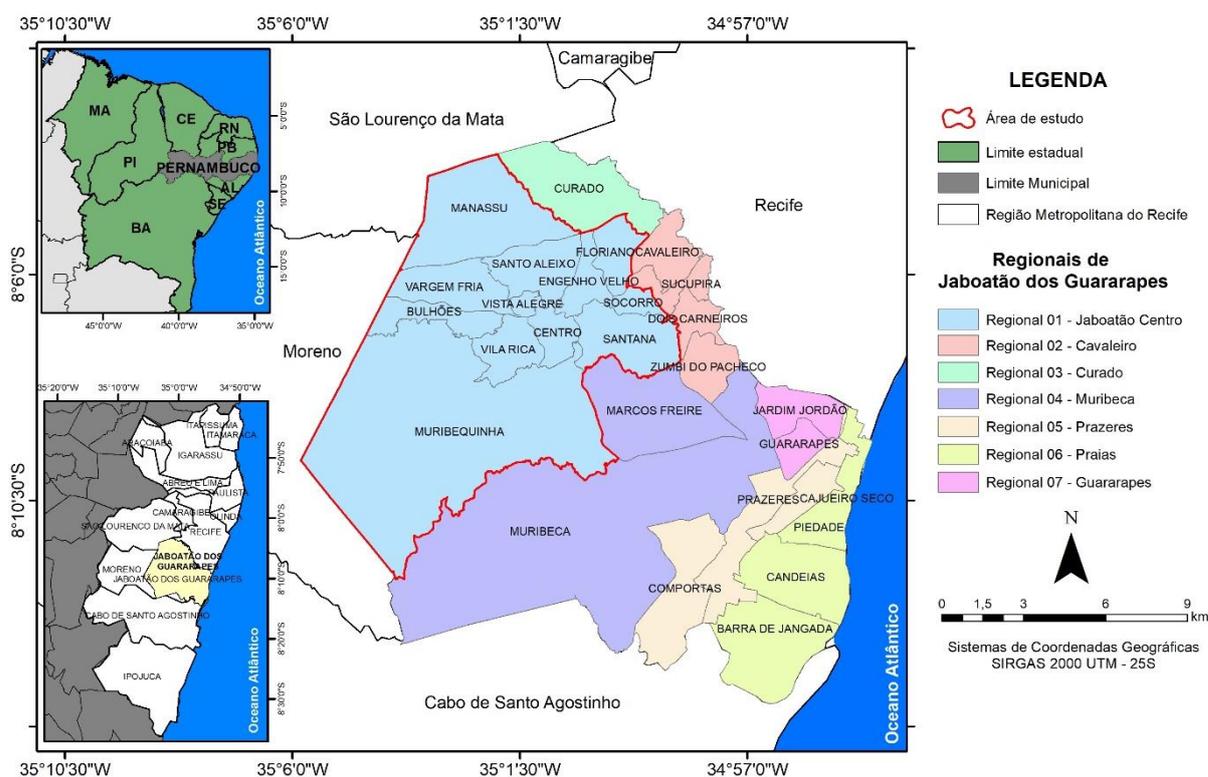
Fonte: Adaptado (POPESCU, 1994)

Contudo, não há literatura uma uniformidade acerca do limite pluviométrico capaz de atestar a ocorrência do evento, haja vista que os ambiente estudados estão sob condições distintas. Logo, no recorte RMR, após estudos sobre a relação entre a pluviosidade e os deslizamentos nos morros sobre a Formação Barreiras, certificou-se que ao acumular 600 mm, os deslizamentos de grande porte podem ocorrer após chuvas concentradas de 100mm (FIDEM, 2003). O referido manual da FIDEM (2003) esclarece que as chuvas acumuladas correspondem ao somatório dos índices precipitados no período chuvoso, enquanto as chuvas concentradas estão relacionadas ao período de 24h.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a um recorte político-administrativo do município de Jaboatão dos Guararapes. Esse compõe a Região Metropolitana do Recife (RMR), limitando-se aos municípios de Recife (ao nordeste), São Lourenço da Mata (ao noroeste), Moreno (ao oeste) e Cabo de Santo Agostinho (ao sul), conforme a Figura 5.

Figura 5 – Localização da área de estudo



Fonte: IBGE (2015) – adaptado pelo autor

A área delimitada para esta pesquisa é identificada como Regional 01 – Jaboatão Centro e agrupa 12 bairros, conforme o Decreto n.º. 03/2012 (JABOATÃO DOS GUARARAPES, 2012). Essa regional localiza-se na porção centro-noroeste do município, fazendo divisa territorial ao norte e ao oeste com os municípios de São Lourenço da Mata e Moreno, respectivamente, enquanto à leste se limita com outras regionais do próprio município. A regional abarca uma área de 109,37 km², correspondendo a 42,27% do território municipal (KOURYH, 2010), credenciando-lhe como a maior regional do município.

3.1 ASPETOS AMBIENTAIS FÍSICO-NATURAIS

As características fisiográficas da paisagem assumem doravante uma importância singular neste tópico. Este abordará questões relativas à geologia, à composição pedológica, aos condicionantes da dinâmica climática e à hidrografia.

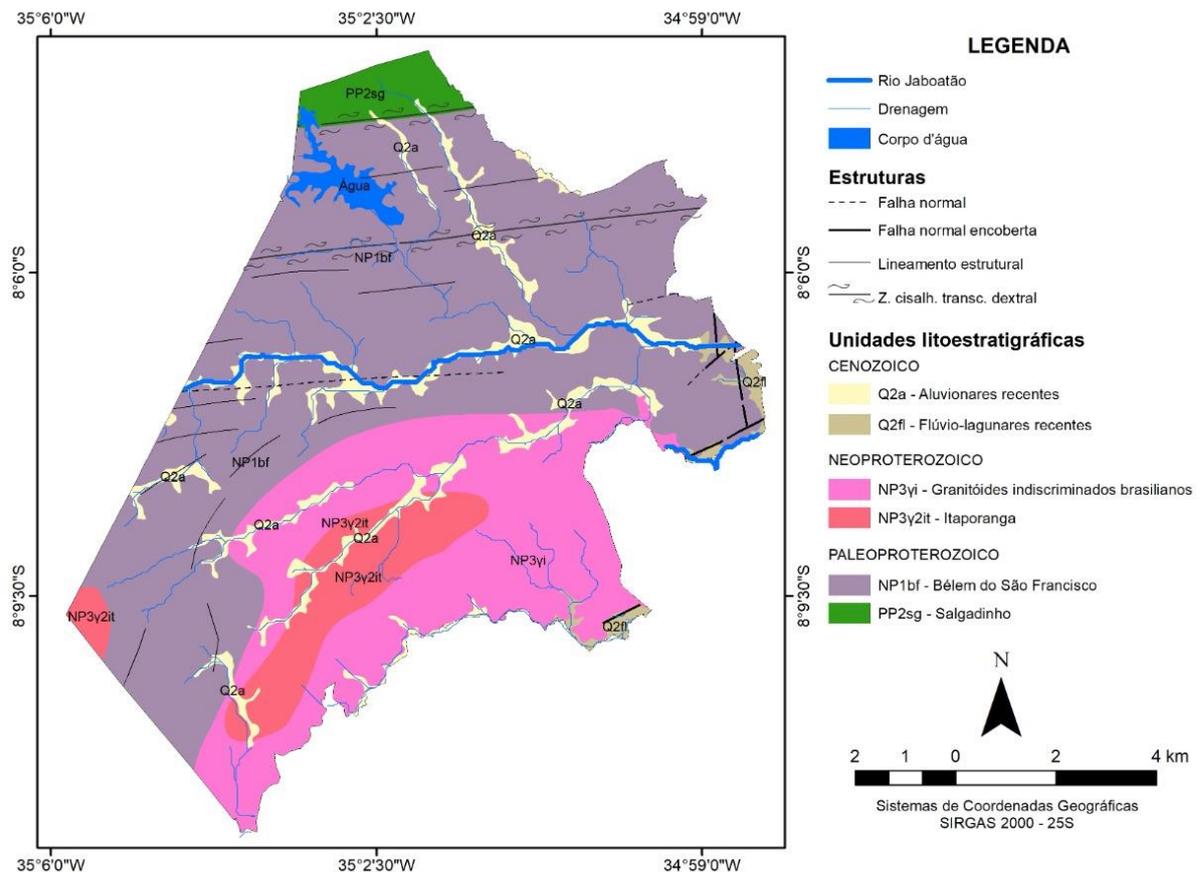
3.1.1 Geologia

A área é limitada estruturalmente ao norte pelo Lineamento Pernambuco, classificado como zona de cisalhamento transcorrente dextral, encontrada também na literatura como Zona de Cisalhamento Pernambuco (ZCPE), além de falhas normais encobertas, lineamentos e uma falha normal (L-O), ao centro da área, resultando no encaixe do canal do rio Jaboatão em boa parte do seu curso.

Ainda que a área de estudo apresente oito unidades geológicas, abarcando as três Eras geológicas, Complexo metamórfico Belém do São Francisco (55,99%) e os Granitoides Indiscriminados brasileiros (24,07%) reúnem aproximadamente 80% da área. Suíte intrusiva Itaporanga (7,32%), Aluvionares recentes (7,27%), Complexo metamórfico Salgadinho (2,78%) e Flúvio-lagunares recentes (1,26%) concluem tais unidades, conforme é possível verificar na Figura 6.

A ZCPE promove uma divisão estrutural na porção norte da área de estudo, resultando na presença de dois complexos metamórficos: Salgadinho e Belém do São Francisco, ambos datados do Paleoproterozoico. Segundo o Atlas que aborda os aspectos físicos do município em questão, publicado pela Serviço Geológico do Brasil - CPRM (ASSUNÇÃO *et al.*, 1997) e as análises de Brasilino e Miranda (2011), o Complexo metamórfico Salgadinho, localizado ao norte da ZCPE, compõe-se de hornblenda-biotita ortognaisses, migmatíticos de composição sienogranítica a granodiorítica e alguns termos tonalíticos, com textura equigranular, e com granulação de média a grossa, além de ser comum ocorrência de bandas de metamáficas (metagrabos), chegando a 1 metro de largura. Pfaltzgraff (2003) ainda sinaliza, especificamente, a presença de anfibolito, de metadiorito e de quartzo monzodiorito. Já o Complexo metamórfico Belém do São Francisco, ao sul da ZCPE, compõe-se de metadiorito, ortognaisses (diorítico, granodiorítico e tonalítico), além de intrusões de granito pofirítico não individualizados (ASSUNÇÃO *et al.*, 1997; CARMONA, 2002).

Figura 6 – Mapa geológico



Fonte: Adaptado (PFALTZGRAFF, 2003).

Na sequência, as unidades neoproterozoicas são evidenciadas pelos Granitoides indiscriminados de origem ígnea e metamórfica, compostos por monzogranitos, sienogranitos, granodioritos, tonalitos, quartzo monzonito, quartzo diorito e metagranito com deformações e dobras associadas às zonas transtrativas brasileira (SILVA, 2012; SILVA, 2018), bem como biotita granito, granito porfirítico e granodiorito (PFALTZGRAFF, 2003); além da Suíte intrusiva de Itaporanga, composta por biotita granito porfirítico, diorito, granito, granodiorito e monzonito.

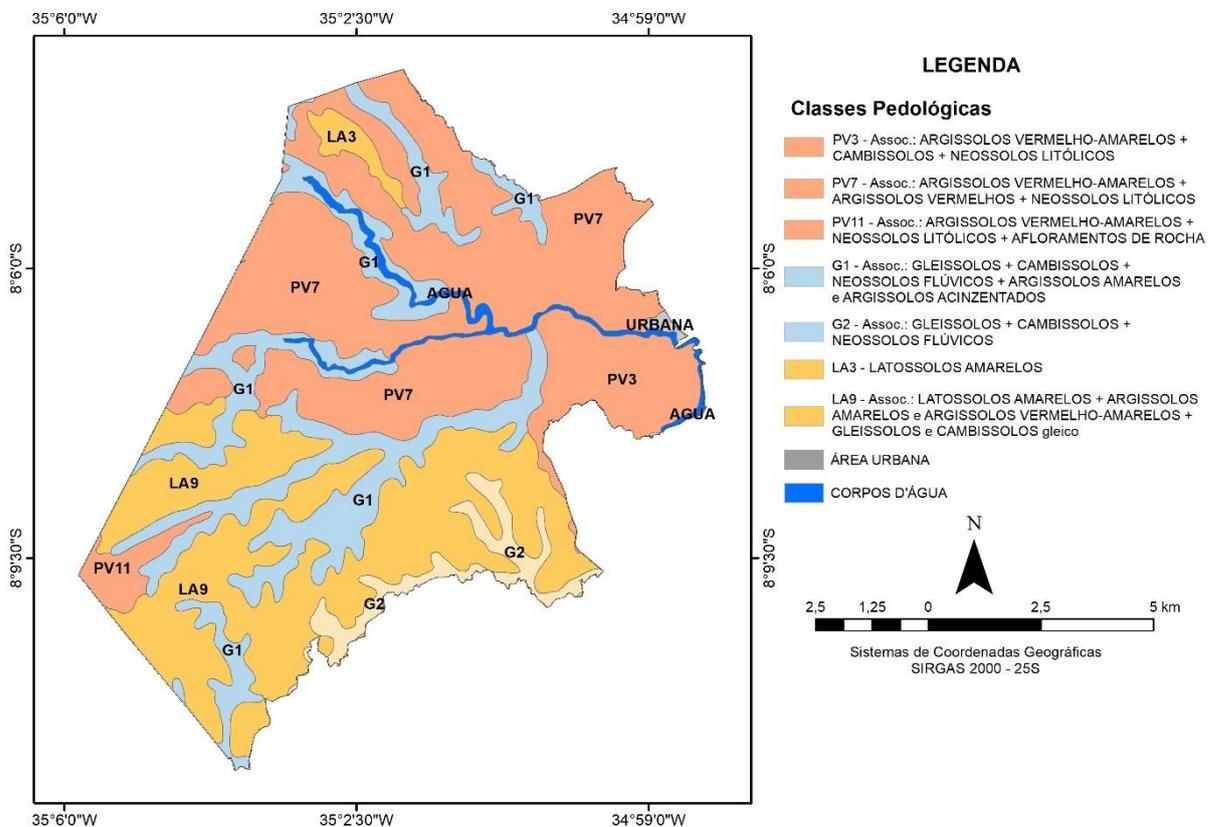
Do Cenozoico tem-se os depósitos Quaternários distribuídos entre os Flúvio-lagunares recentes e os Aluvionares recentes. Reservados a uma estreita faixa na porção leste e outra à sudeste, os Flúvio-lagunares recentes dispõem de uma variação granulométrica entre areia e argila, além de apresentar cascalho, seixos e matacões. Os Aluvionares recentes estão distribuídos nos principais canais de drenagem, são compostos de areia, silte e argila, assim como os Flúvio-lagunares, mas caracterizam-se também pela presença de matéria orgânica (ASSUNÇÃO *et al.*, 1997; PFALTZGRAFF, 2003).

3.1.2 Pedologia

As unidades pedológicas encontradas são constituídas por diversas associações (SILVA *et al.*, 2001): PV3 (Argissolos Vermelho-amarelos + Cambissolos + Neossolos Litólicos), PV7 (Argissolos Vermelho-amarelos + Argissolos Vermelhos + Neossolos Litólicos), PV11 (Argissolo Vermelho-amarelo + Neossolos Litólicos + Afloramentos de rocha), G1 (Gleissolos + Cambissolos + Neossolos Flúvicos + Argissolos Amarelos e Argissolos Acinzentados), G2 (Gleissolos + Cambissolos + Neossolos Flúvicos) e LA9 (Latosolos Amarelos + Argissolos Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos + Gleissolo e Cambissolos gleico), assim como a única unidade sem associação, correspondendo a LA3 (Latosolos Amarelos).

Acerca da representatividade espacial, PV7 (35,77%), LA9 (29,33%) e G1 (19,33) somam, aproximadamente, 85% da delimitação da pesquisa. Os 97,78% são alcançados com PV3 (6,72%), G2 (3,52%), PV11 (1,84%) e LA3 (1,27%). Os polígonos da água (2%) e da área urbana (0,22%) completam o mapeamento (Figura 7).

Figura 7 – Unidades pedológicas



Fonte: Adaptado (SILVA *et al.*, 2001).

A área urbana corresponde aos espaços utilizados pela sociedade cujo solo foi descaracterizado pela ocupação e suas formas de uso como vias e edificações, que intensificam a impermeabilização de terrenos, e que em zonas declivosas reflete a necessidade de cortes e aterros para usos. Essas características das formas de ocupações são de grande relevância para o estudo em questão, visto que as camadas de sobreposições passam a apresentar uma heterogeneidade morfológica, interferindo no regime hídrico, térmico e mesmo no suporte vegetal (PEDRON *et al.*, 2004).

No tocante à espacialização das unidades passíveis da caracterização edáfica constata-se uma predominância dos Argissolos na porção centro-norte e dos Latossolos concentrados na porção centro-sul, enquanto os Gleissolos permeiam a área de maneira mais equilibrada, contudo se concentrando nas proximidades dos canais fluviais. Entretanto, tais solos se apresentam, em boa parte, associados a outros solos e este cenário demanda esclarecimento.

A unidade PV3 corresponde a uma associação de solos minerais, não hidromórfico, distróficos e localizado em um relevo de ondulado a forte ondulado. O Argissolo Vermelho-amarelo figura com 50% da composição, variando de profundo a pouco profundo e de textura média à argilosa. O Cambissolo (25%) apresenta pouca profundidade, textura predominantemente argilosa, com presença de cascalho a cascalhos subangulosos, sendo bastante heterogêneo, de textura argilosa, porém com presença de cascalho, pouco profundo e com um horizonte B incipiente. E por fim, o Neossolo Litólico (25%), com reduzida pedogênese (menos de 20 cm de espessura), não apresentando nenhum tipo de horizonte B diagnóstico.

A PV7 é composta por solos minerais, não hidromórficos e com um perfil morfométrico variando de ondulado a forte ondulado. O Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico (60%) e o Argissolo Vermelho Distrófico e Eutrófico (20%) apresentam baixa atividade e textura variando de média à argilosa, enquanto o Neossolo Litólico Distrófico abarca 20% da composição, com textura média e presente em relevo forte ondulado.

A unidade PV11 é composta pelo Argissolo Vermelho-amarelo Distrófico (40%) variando de profundo a pouco profundo e a textura entre média e argilosa. Na sequência, tem-se o Neossolo Litólico Distrófico (35%) com a textura variando de média a argilosa, com presença de cascalho a cascalho subangulosos. Ambos os solos estão dispostos em um relevo variando entre forte ondulado e montanhoso cuja associação se completa com 25% de Afloramentos de Rocha.

As duas próximas unidades são encontradas nas porções próximas aos canais de drenagem e estão representadas pelas unidades G1 e G2. A primeira corresponde a uma

associação que não foi possível atestar com seguridade a participação de cada solo na unidade, de modo a apresentar um equilíbrio percentual para cada solo presente nesta unidade. Com isso, há uma combinação entre o Gleissolo e o Cambissolo, com predominância de sedimentos fluviais e distróficos, associados ao Neossolo Flúvico Distrófico e Eutrófico, todos com textura variando entre argila e areia média e localizando-se em relevo plano. Ainda na G1 é encontrado Argissolo Amarelo e Argissolo Acinzentado com textura de média a argilosa e sobre superfície plana a suave ondulada, enquanto a unidade G2 abarca uma combinação entre Gleissolo (40%) e Cambissolo (30%), ambos distróficos e compostos de sedimentos fluviais. Ainda com 30% de presença, o Neossolo Flúvico Distrófico e Eutrófico se apresenta com textura entre argila e areia média e encontrados em relevo plano.

No âmbito do Latossolo, surgem duas unidades (LA3 e LA9). A primeira corresponde a 100% de um Latossolo Amarelo Álico e Distrófico, argiloso e presente em relevo plano a suave ondulado. Já o LA9 corresponde à associação entre o Latossolo Amarelo (40%), com textura argilosa a muito argilosa, ocorrendo em relevo suave ondulado e ondulado, o Argissolo Amarelo e o Vermelho-amarelo (40%), com textura entre média, argilosa e muito argilosa e de relevo forte ondulado a ondulado. E por fim com a combinação entre Gleissolo e Cambissolo gleico Distrófico e Eutrófico (20%), com textura indiscriminada e identificados em relevo plano.

3.1.3 Dinâmica climática

Acerca dos condicionantes atmosféricos relacionados à precipitação, que é um fator de relevante no processo de deslizamentos, é de fundamental importância apresentar os sistemas envolvidos, as escalas de atuação, a magnitude e as temporalidades.

A área de estudo se enquadra regionalmente em um ambiente tropical úmido, com médias pluviométricas de 1.720 mm, chuvas essas concentradas entre os meses de maio e agosto (NOBREGA; FARIAS, 2016) (Tabela 1). Localizado no extremo leste do Nordeste Brasileiro (ENEB), o município de Jaboatão dos Guararapes é influenciado por sistemas atmosféricos promovedores de chuvas, por vezes, intensas e recorrentes, principalmente no período de outono-inverno (março a setembro), sendo eles os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs), a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Sistema de Brisa Marítima e as Frentes Polar Atlântica (FPA) (MOLLION; BERNARDO, 2002; FERREIRA; MELLO, 2005; SOUSA *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2019).

Tabela 1 – Índices pluviométricos de Jaboatão dos Guararapes

Ano	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Média
Janeiro	248,9	103,8	302,1	59,8	369,2	299,3	80,5	209,1
Fevereiro	429,6	122,7	133,4	140,2	263,5	233,6	150,9	210,6
Março	477,0	631,7	396,3	406,7	365,4	456,9	307,1	434,4
Abril	523,1	62,0	495,6	442,5	996,1	373,9	472,8	480,9
Mai	560,0	277,9	769,0	676,6	389,9	462,8	515,0	521,6
Junho	605,8	828,2	219,8	862,6	239,6	909,0	583,6	606,9
Julho	244,9	811,7	201,8	841,9	212,1	826,8	371,4	501,5
Agosto	235,6	207,4	85,7	257,6	165,1	404,2	237,6	227,6
Setembro	572,0	44,2	76,0	203,6	87,6	226,4	148,0	194,0
Outubro	252,6	62,0	38,3	90,6	31,8	103,7	34,0	87,6
Novembro	73,3	34,5	43,7	50,7	127,5	4,9	100,0	62,1
Dezembro	124,6	165,5	108,7	73,6	155,9	60,9	131,5	117,2

Fonte: Adaptado da APAC²

Contudo, Nóbrega e Farias (2016) apresentam um estudo sobre o município que auxilia na compreensão da gênese e das consequências de eventos pluviiais na área em questão. Para os autores, dois mecanismos contribuem significativamente para os eventos pluviiais de grande intensidade durante o período chuvoso: 1. Os DOLs, associados à brisa marinha, que regulam a maior parte do período chuvoso, e a ZCIT; 2. Os alísios (úmidos) vindos de sudeste atuando nos meses de abril e maio. Contudo, mesmo no período seco (verão austral – dezembro a março), VCANs e nuvens convectivas podem promover eventos pluviiais extremos sobre a área de pesquisa.

Os DOLS, também denominados como Ondas de Leste ou Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POA), são perturbações atmosféricas oriundas da ação dos alísios de sudeste em concomitância com sistemas frontais, que podem ocorrer entre março e agosto (MOLION e BERNARDO, 2000). Quando os DOLS se associam às brisas marítimas, as quais surgem através do aquecimento do mar, produzindo umidade e lançando-a para o continente, passam a modular a maior parte do volume pluviométrico da estação chuvosa (NOBREGA; FARIAS, 2016).

A ZCIT, sistema de escala global, corresponde à confluência de nebulosidade de baixos níveis, resultante da convergência dos ventos alísios oriundos do Hemisfério Norte (de nordeste) e do Hemisfério Sul (de sudeste), os quais concentram o ar quente e úmido na faixa equatorial, promovendo uma ação convectiva com elevadas médias pluviiais. Entretanto, esse

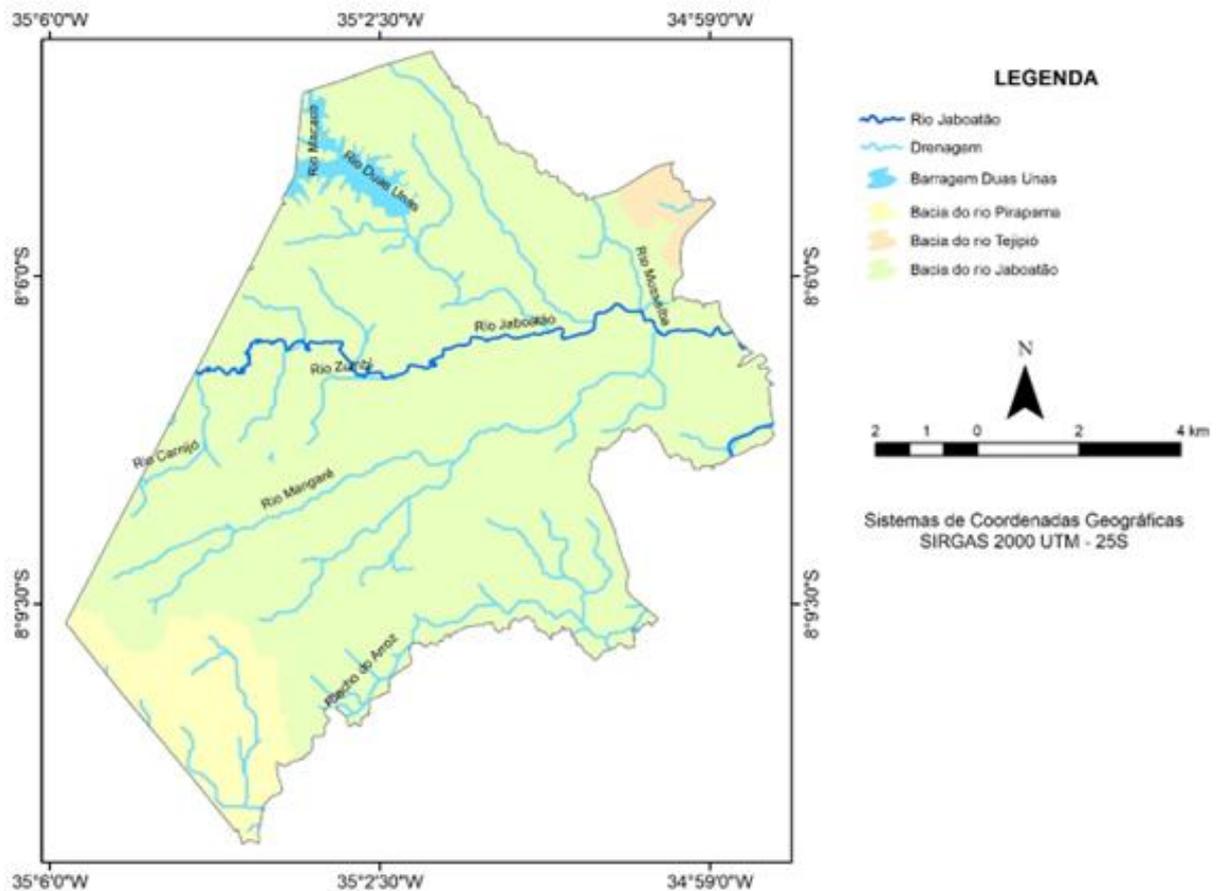
² Dados oriundos do monitoramento pluviométrico da Agência Pernambucana da Águas e Clima (APAC) das Plataformas de Coletas Dados (PCDs) 268 e 604, inseridas no Município de Jaboatão dos Guararapes. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 20 set. 2021.

sistema atua variando sazonalmente a sua posição média entre 14° N e 4°S, de modo que a área de estudo é influenciada parcialmente devido a se localizar nas proximidades de 8°S (MOLION; BERNARDO, 2000; FERREIRA; MELLO, 2005).

3.1.4 Hidrografia

Quanto à hidrografia, a área de estudo está nos limites do Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos (GL2), especificamente nas bacias hidrográficas dos rios Jaboatão e Pirapama, além do estuário do rio Tejipió, todos com drenagem exorreica (APAC, 2020). A espacialidade dessas bacias hidrográficas no âmbito desta pesquisa é distinta, visto que a Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão abarca (BHRJ) 89,5%, enquanto a Bacia Hidrográfica do Rio Pirapama (BHRP) corresponde a 8,9% e a Bacia Hidrográfica do Rio Tejipió (BHRT), 1,6% (Figura 8).

Figura 8 – Bacias hidrográficas e a rede de drenagem



Fonte: Adaptado (PERNAMBUCO, 2017)

A BHRT, bacia hidrográfica de menor expressão espacial dentro da área investigada, correspondendo a 1,78 Km², localiza-se a nordeste, o canal principal não corta a delimitação

espacial da pesquisa, e a bacia se limita ao bairro de Floriano, na porção centro-norte deste. A rede de drenagem se desenvolve em vales abertos, intervalados por colinas de topos arredondados.

Abarcando 9,76 Km² da área de estudo, A BHRP localiza-se ao sul, inserida no bairro de Muribequinha, majoritariamente a sudoeste, apresenta uma drenagem que converge para o rio Jaboaão em seu estuário. Contudo, assim como a BHRT, o rio Pirapama não atravessa a área, apenas os canais de ordem menor, os quais transcorrem entre colinas de topo convexos de vales abertos.

Reunindo a maior delimitação com 97,83Km², a porção da BHRJ, de acordo com Silva e Girão (2020), apresenta uma declividade acentuada, relevo ondulado e canal principal sinuoso, o qual possui afluentes de até 5^a ordem. Dentre seus principais afluentes, têm-se, na margem esquerda, o rio Duas Unas, Rio Pixaó, rio Macaco e o rio Mussaíba e, na margem direita, o Rio Carnijó, Rio Mangaré e o Riacho do Arroz.

3.2 ASPECTOS HUMANOS

O município de Jaboaão dos Guararapes, outrora dominado pela presença da Mata Atlântica, após a intervenção colonial com as Capitânicas hereditárias, fora submetido a uma supressão que resultou em apenas 12% de resquícios da referida vegetação (KOURYH, 2010). A intervenção agrícola monocultora da cana de açúcar foi a primeira grande responsável pelo processo de modificação da paisagem, seguida pelas atividades de pecuária, de extração mineral, de desenvolvimento urbano e das indústrias.

A delimitação desta pesquisa abarca áreas de influência do principal engenho e que originou historicamente o município de Jaboaão dos Guararapes - Engenho São João Batista, mais tarde caracterizado como Usina Bulhões. Usina esta que empresta o nome ao bairro menos populoso do município com apenas 156 habitantes, seguidos de Vargem Fria, Manassu e Muribequinha (Tabela 2), todos estes inseridos na área desta pesquisa.

Ao analisar os dados da Tabela 2 com a localização dos bairros (Figura 5), fica evidente o gradiente de ocupação populacional no sentido leste/oeste, ou seja, o adensamento demográfico se reduz ao passo que se afasta do litoral, assim como de forma radial, tendo entre Vista Alegre e Vila Rica as maiores taxas da densidade demográfica. Realidade essa que se complementa ao observar os maiores níveis da população absoluta, bastando apenas reunir a esses dois bairros os de Santo Aleixo, Centro e Floriano.

Tabela 2 – Dados demográficos da Regional 1 – Jaboatão dos Guararapes

Bairro	Homem	Mulher	População total	Área (Km ²)	Habitante/Km ²
Muribequinha	952	1001	1953	55,645	35
Manassu	820	869	1689	14,792	114
Santana	2821	3116	5937	7,473	794
Vargem Fria	387	412	799	6,108	131
Santo Aleixo	10437	11582	22019	5,751	3828
Vila Rica	14079	15643	29722	4,185	7101
Bulhões	81	75	156	3,998	39
Floriano	5233	5491	10724	3,484	3078
Centro	5888	6630	12518	2,856	4384
Engenho Velho	3395	3782	7177	2,833	2533
Socorro	2784	2969	5753	1,519	3788
Vista Alegre	5112	5782	10894	0,726	15015
TOTAL	51989	57352	109341	-	-

Fonte: IBGE³ - adaptado pelo autor

Esse cenário advém do desenvolvimento do espaço dos bairros destacados se voltarem para fins urbanos (comércio e serviços), enquanto, a oeste, o uso agropecuário. Isso denuncia os diversos tipos de uso do espaço ao passo que amplia a possibilidade investigativa acerca dos impactos executados no ambiente e os níveis dessas intervenções antrópicas.

É relevante ainda destacar que esse ambiente histórico deu origem administrativa ao município de Jaboatão dos Guararapes e teve o seu momento de expansão urbana com a criação das vilas, após a decadência progressiva da produção da cana de açúcar no entorno, a divisão e venda dos engenhos. Contudo, houve uma interrupção ou uma desaceleração desse processo e isto é evidente quando se observa o maior adensamento demográfico se apresentar no litoral do próprio município. Sendo esse também o espaço de melhor infraestrutura urbana em detrimento da área em questão.

Acerca dos dados demográficos, que abarcam o município como um todo, Jaboatão dos Guararapes apresenta uma evolução nos níveis Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), progredindo de 0,520, em 1991, para 0,625, em 2000, e chegando a 0,717, em 2010,

³Dados do Censo Demográfico por município a partir da ferramenta Cidades@ do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/jaboatao-dos-guararapes/panorama>>. Acessado em: 30 de jul. 2020.

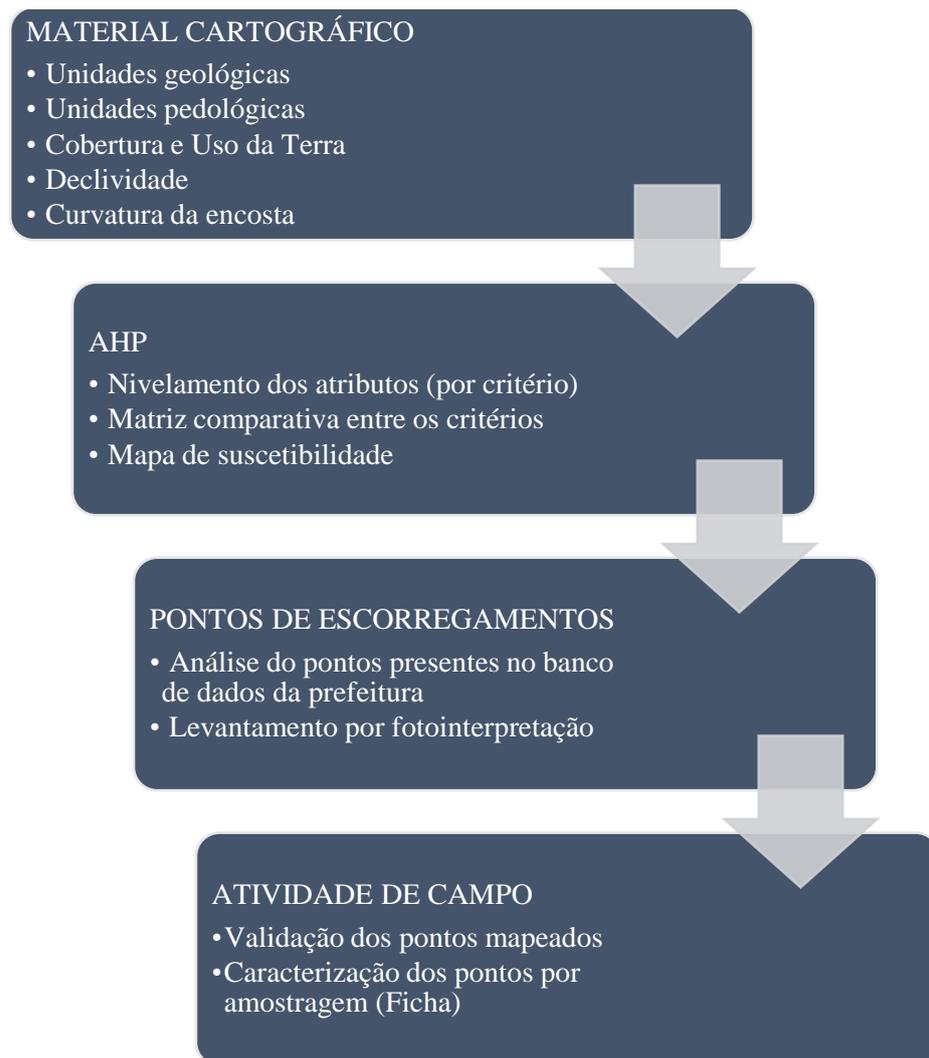
correspondendo ao nível Alto de Desenvolvimento Humano. Isto foi um reflexo integrado da evolução da educação, da renda e da longevidade, respectivamente.

Outro parâmetro que se apresenta é o Índice de Gini (1912), que demonstra o nível de distribuição/concentração da renda. No município em questão, o dado corresponde a 0,58, a partir do parâmetro do último censo demográfico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em 2010. Nesse sentido, percebe-se que o município apresenta uma realidade mediana na concentração de recursos, o que reflete, sobremaneira, nas condições de bem-estar social. Essa classificação se relaciona ou explica às (as) ocupações irregulares, muitas das vezes com o perfil estrutural inadequado, implementado ou ampliando a suscetibilidade aos escorregamentos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho está estruturado na confecção cartográfica, no desenvolvimento do *Analytic Hierarchy Process* (AHP), na investigação dos pontos de escorregamentos e na validação por parte das incursões à área de estudo, conforme é possível observar na sequência (Figura 9):

Figura 9 - Fluxograma metodológico



Fonte: Autor (2022)

Os mapas surgem a partir de bases cartográficas retrabalhadas e editadas objetivando, inicialmente, gerir os mapas dos critérios, além de identificar os elementos associados aos escorregamentos presentes na área investigada. De posse dos dados preliminares, efetuou-se a classificação e os nivelamentos acerca da suscetibilidade através do *Analytic Hierarchy Process* (AHP).

De posse dos dados preliminares, realizou-se uma comparação a partir de dados prévios de pontos de escorregamentos pré-existentz disponibilizados pela Superintendência de Proteção e Defesa Civil (SUPDC). Paralelamente, realizou-se um inventário de prováveis pontos de escorregamento através de imagens digitais. Através desse suporte, realizou-se atividades de campo para coletar dados e validar o mapeamento de suscetibilidade aos escorregamentos oriundo do AHP.

4.1 MATERIAL CARTOGRÁFICO

Os produtos cartográficos foram gerados a partir do processamento de dados no *software* ArcGis 10.7.1, conforme a descrição abaixo:

- A delimitação, localização e divisão administrativa dos bairros foram obtidas através da base cartográfica do IBGE (2015);
- A extração da drenagem ocorreu através do Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizando os dados do Projeto Pernambuco Tridimensional - PE3D (PERNAMBUCO, 2017), na escala de 1:5.000;
- As Unidades geológicas, com a base cartográfica de 1:100.000, foram extraídas do Sistema de Informações Geoambientais da Região Metropolitana do Recife – GATE, editada pela CPRM (PFALTZGRAFF, 2003);
- As Unidades pedológicas foram selecionadas a partir dos dados do Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE (ARAUJO FILHO *et al.*, 2000), enquanto o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (2018) balizou as classificações pedológicas e as definições RGB;
- O mapeamento da cobertura e uso terra fez-se através das ortoimagens do PE3D (PERNAMBUCO, 2017). A classificação se pautou nas orientações do Manual de uso da terra do IBGE (2013), enquadrando-se nos mapeamentos de reconhecimento (escalas entre 1:50.000 e 1:750.000), evoluindo até o nível II de forma adaptada aos elementos encontrados na área (Quadro 5). Esse cenário fora definido mediante a menor escala cartográfica, dentre todas as bases utilizadas neste trabalho, correspondendo as de unidades geológicas e pedológicas de 1:100.000;

Quadro 5 – Classificação da cobertura e uso da terra

Nível I - Classe	Nível II – Subclasse
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1 Áreas urbanizadas
	1.2 Áreas de mineração
2. Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1 Culturas temporárias
	2.2 Culturas permanentes
	2.3 Pastagens
	2.4 Silvicultura
	2.5 Uso não identificado
3. Área de vegetação natural	3.1 Área florestal
	3.2 Área campestre
4. Águas	4.1 Águas Continentais
5. Outras áreas	5.1 Áreas descobertas

Fonte: Adaptado (IBGE, 2013)

- Procedimento de fotointerpretação, a partir dos pressupostos de Stone (1951), para refinar o mapeamento das unidades geológica e pedológicas, desenvolver o mapeamento de Uso e Cobertura da Terra e no inventário das cicatrizes de escorregamentos, sendo esse executado com as imagens do PE3D com resolução espacial de 50 cm ou melhor (PERNAMBUCO, 2017);
- A declividade foi gerada a partir do MDT do PE3D, classificada de acordo com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2018), conforme o Quadro 6;

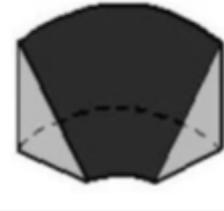
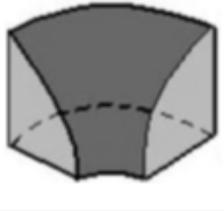
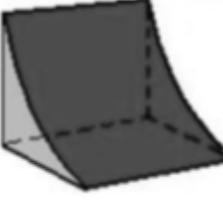
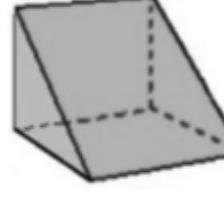
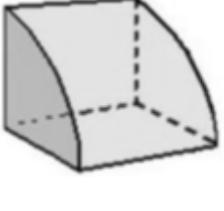
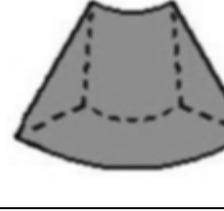
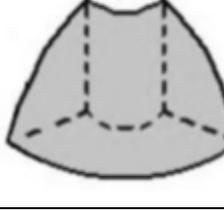
Quadro 6 – Classificação da declividade

Classes	Declividade (%)
Plano	0 – 3
Suave ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	>75

Fonte: EMBRAPA (2018)

- A confecção da curvatura das encostas (vertical e horizontal) utilizou-se o MDT do PE3D, sendo classificadas segundo Dikau (1990) (Quadro 7), devido ao seu maior detalhamento da geometria no resultado final totalizando até nove tipologias;

Quadro 7 – Classificação das curvaturas de encostas

		Curvatura Vertical		
		Côncava	Retilínea	Convexa
Curvatura Horizontal	Convergente			
	Planar			
	Divergente			

Fonte: Adaptado (DIKAU, 1990)

4.2 PROCESSO HIERÁRQUICO ANALÍTICO

Enquadrada como uma metodologia multicriterial, a proposta de Saaty (1977) classifica os elementos, qualitativos e/ou quantitativos, por prioridades e/ou nível de influência. Funciona como ferramenta na tomada de decisão em cenários de muitas variáveis que impliquem em resultados diversos ou de predição complexa, denominando-se *Analytic Hierarchy Process* – AHP (SAATY, 2001).

O AHP corresponde a um método matemático que auxilia na compreensão e/ou tomada de decisão a partir da hierarquização dos elementos e avaliação binária entre esses. A princípio a técnica fora aplicada em situações cujo resultado era conhecido pelo autor, de modo a validar o experimento. Após validações e constada a sua eficácia, a assertiva no âmbito matemático, o método fora incorporado a outros campos científicos como o de marketing (WIND; SAATY, 1980) gerenciamento administrativo (FALSINI; FONDI; SCHIRALDI, 2012), economia (KOU; ERGU, 2016) e hidrologia (SRIVASTAVA; BHATTACHARYA, 2006) (MUNDALIK, *et al.*, 2018).

Direcionados aos movimentos de massa, os estudos internacionais ganharam impulso nos anos 2000, dentre os quais, ganham evidência neste trabalho, os de Esmali e Ahmadi

(2003), Karam (2005), Komac (2006), Yoshimatsu e Abe (2006), Pourghasemi, Pradhan e Gokceoglu (2012), Kayastha, Dhital e De Smedt (2013), Myronidis, Papageorgiou e Theophanous (2016), (YAN, ZHANG, *et al.*, 2019), dentre tantos outros. Em especial, destaca-se o estudo de Komac (2006) ao elencar 24 variáveis para investigar os níveis de suscetibilidade aos escorregamentos. A relevância do referido trabalho se estrutura na reafirmação metodológica proposta por Saaty na validação do seu método ao comparar os resultados obtidos na álgebra com o conhecimento prévio. De modo que o autor regula a relação dos pesos entre as variáveis a partir da catalogação dos eventos ocorridos através da comparação de imagens de temporalidades diferentes.

O procedimento metodológico desenvolvido por Komac (op. cit.) é identificado de forma direta ou indireta em diversos trabalhos. Ao observar a seleção dos condicionantes é possível constatar a influência nos estudos de Moradi, Bzyar e Mohammadi (2012), Pourghasemi, Pradhan e Gokceoglu (2012), Abedini e Tulabi (2018), Mokarram e Zarei (2018), Dalanhol (2020), dentre outros. Outras pesquisas, além de compactuarem epistemologicamente com os pressupostos teóricos acerca dos condicionantes envolvidos no fenômeno, também complementam a pesquisa com o processo de validação por inventário, conforme se observa em Kayastha, Dhital e De Smedt (2013), Myronidis, Papageorgiou e Theophanous (2016), Kumar e Anbalagan (2016), Achour et al. (2017), El Jazouli Barakat e Khellouk (2019), entre outros.

No Brasil, os estudos voltados para mesma temática ganharam visibilidade também nos anos 2000, especialmente pelos trabalhos de Carvalho e Riedel (2005) e o de Tominaga (TOMINAGA, 2007). Em Pernambuco, o AHP foi utilizada como base metodológica nos trabalhos de Torres (2014), a qual produziu uma carta de suscetibilidade acerca dos escorregamentos e erosões, e Duarte (2015), ao canalizar a investigação aos movimentos de massa, ambas tendo como recorte o município de Ipojuca. Menezes Júnior (2015) investigou a suscetibilidade dos escorregamentos em ambientes urbanos e não urbanos envolvendo áreas de cinco municípios (Igarassu, Abreu e Lima, Paulista, Olinda e Recife) da Região Metropolitana do Recife (RMR). Especificamente na capital pernambucana, Rocha e Schuler (2016), a partir de uma análise temporal (2007 – 2013), conseguiram mensurar a dinâmica da suscetibilidade aos movimentos em dois bairros do Recife/PE, enquanto Santana (2020), através de cenários, desenvolveu materiais cartográficos de perigo acerca dos escorregamentos no município de Recife/PE como um todo.

Nesse sentido, o objetivo finalístico do AHP é hierarquizar em níveis de importância os elementos envolvidos na análise. Para que isso ocorra, demanda-se genericamente de dois

procedimentos: 1. Definir quais e quantos serão os elementos; 2. Comparar os elementos entre si na matriz quadrada para obter os pesos.

Esta pesquisa elencou geologia, pedologia, uso e cobertura da terra, declividade e curvatura da encosta como aspectos principais, totalizando cinco elementos. Essa seleção se respalda, bem como se apropria das interpretações pareadas, nos diversos estudos que abarcam a mesma temática morfodinâmica e que fazem uso do AHP como ferramenta fundamental para a investigação, conforme apresentado acima.

Para Saaty (2008) as variáveis ou condicionantes são compreendidos como Critérios (C_n). Contudo, para realizar a equação algébrica entre tais critérios demandou-se dois processos. O primeiro atrela-se à classificação em 4 (quatro) níveis de suscetibilidade (Quadro 8), tendo como base as orientações de Brasil (2007), de modo que se equalizou os aspectos qualitativos no âmbito quantitativo para que não houvesse incompatibilidade algébrica no cruzamento dos dados do AHP.

Quadro 8 – Classificação do índice de suscetibilidade

Nível de suscetibilidade	Peso
Baixo ou Inexistente	1
Médio	2
Alto	3
Muito alto	4

Fonte: Adaptado (BRASIL, 2007)

Esse nivelamento ocorreu na distribuição dos pesos supracitados dentre as classes de cada Critério, sendo essas classes identificadas como Atributos. No Critério de Curvatura da Encosta, por exemplo, os atributos (classes) para o AHP são Convergente-Côncava, Planar-Retilínea, Divergente-Convexa e as demais tipologias pertencentes a este Critério.

Destaca-se ainda que o referido nivelamento dos atributos, em cada um dos critérios, obedeceu a correlações teóricas associadas à suscetibilidade aos escorregamentos. Isto foi necessário para produzir os mapas de suscetibilidade aos escorregamentos de cada Critério, alicerçando a confecção da álgebra do AHP entre os Critérios, culminando no mapa de suscetibilidade geral.

Nesse sentido, os pesos dos atributos pertencentes à geologia, ao solo, à cobertura e ao uso da terra e à declividade foram adaptados do IBGE (2019). Os ajustes ocorreram pela necessidade de associar a utilização de dez níveis de suscetibilidade para os quatro níveis desta pesquisa, conforme informado anteriormente.

Os níveis de suscetibilidade dos atributos da curvatura da encosta, não contemplados na classificação do IBGE (2019), foram definidos a partir da classificação do Grupo de Engenharia Geotécnica de Encostas e Planícies - GEGEP (2014), o qual teve por base metodológica a classificação geométrica proposta por Dikau (1990).

Após as referidas classificações, o segundo processo ocorreu conforme as orientações metodológicas de Saaty (2008), as quais deliberaram a construção de uma matriz quadrada entre os Critérios de acordo com o modelo a seguir (Quadro 9):

Quadro 9 – Matriz quadrada entre os Critérios do AHP

Critério	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅
C₁	1	$C_{21}=1/C_{12}$	$C_{31}=1/C_{13}$	$C_{41}=1/C_{14}$	$C_{51}=1/C_{15}$
C₂	C_{12}	1	$C_{32}=1/C_{23}$	$C_{42}=1/C_{24}$	$C_{52}=1/C_{25}$
C₃	C_{13}	C_{23}	1	$C_{43}=1/C_{34}$	$C_{53}=1/C_{35}$
C₄	C_{14}	C_{24}	C_{34}	1	$C_{54}=1/C_{45}$
C₅	C_{15}	C_{25}	C_{35}	C_{45}	1

Fonte: O autor (2022)

Para o preenchimento coordenado dessa matriz quadrada, Saaty (1977), estruturou índices quantitativos, os quais ponderam a importância relacional de um Critério em relação a outro Critério, conforme pode ser observado no Quadro 10.

Na sequência, estruturou-se a matriz de normalização, a qual teve o objetivo de informar o peso (W_i) de cada critério a ser utilizado na álgebra entre esses e culminar no mapa de suscetibilidade aos escorregamentos. Para isso, utilizou-se a intensidade de importância de cada critério presente na matriz inicial (Quadro 9) dividido pelo somatório da coluna a qual pertencia. O peso (W_i) foi extraído da divisão entre o somatório da linha a qual o critério se encontra na matriz de normalização e a quantidade de critérios utilizados na pesquisa, conforme o modelo apresentado no Quadro 11.

Quadro 10 – Intensidade de importância entre os Critérios do AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Apresentam o mesmo grau de importância.
3	Importância pequena de uma sobre a outra.	Ação moderada de um Critério em relação ao outro.
5	Importância grande ou essencial.	Ação forte de um Critério em relação ao outro.
7	Importância muito grande ou demonstrada.	Um Critério é fortemente favorecido em relação ao outro. Há uma dominação prática.
9	Importância absoluta.	Ocorre o mais alto grau de certeza da atuação de um critério sobre o outro.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os adjacentes.	Nível intermediário entre dois valores.

Fonte: Adaptado (SAATY, 1977)

Quadro 11 – Matriz de normalização do AHP

Critério	C₁	C₂	C₃	C₄	C₅	Wi
C₁	$1 / \sum C_{01}$	$C_{21} / \sum C_{02}$	$C_{31} / \sum C_{03}$	$C_{41} / \sum C_{04}$	$C_{51} / \sum C_{05}$	$\sum L_1 / 5$
C₂	$C_{12} / \sum C_{01}$	$1 / \sum C_{02}$	$C_{32} / \sum C_{03}$	$C_{42} / \sum C_{04}$	$C_{52} / \sum C_{05}$	$\sum L_2 / 5$
C₃	$C_{13} / \sum C_{01}$	$C_{23} / \sum C_{02}$	$1 / \sum C_{03}$	$C_{43} / \sum C_{04}$	$C_{53} / \sum C_{05}$	$\sum L_3 / 5$
C₄	$C_{14} / \sum C_{01}$	$C_{24} / \sum C_{02}$	$C_{34} / \sum C_{03}$	$1 / \sum C_{04}$	$C_{54} / \sum C_{05}$	$\sum L_4 / 5$
C₅	$C_{15} / \sum C_{01}$	$C_{25} / \sum C_{02}$	$C_{35} / \sum C_{03}$	$C_{45} / \sum C_{04}$	$1 / \sum C_{05}$	$\sum L_5 / 5$

Fonte: O autor

Para assegurar os resultados encontrados e reduzir ao máximo os erros provenientes de discrepâncias nas análises iniciais, de modo a criar cenários inconsistentes, verificou-se a Razão de Consistência (RC) através do Índice de Consistência (IC) e o Índice Randômico (IR), conforme equação abaixo:

$$RC = \frac{IC}{IR}$$

O Índice de Consistência (IC) advém da relação entre média das medidas de consistência calculadas inicialmente (λ_{\max}) e o número de alternativas que foram comparadas (n):

$$IC = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}$$

O Índice Randômico (IR) corresponde a um índice de correção, denominado também de índice de consistência aleatória ou *Random Index (RI)*. Esse se associa diretamente ao número de critérios utilizados na pesquisa e, conseqüentemente, apresentados nas matrizes. Na ocasião tomou-se como parâmetro o $IR = 1,11$, mediante o número de 5 critérios, bem como o RC inferior a 0,10, visto que valores superiores a esse impossibilitaria a utilização dos pesos (W_i) na álgebra de correlação (SAATY, 2008).

A correlação algébrica entre os critérios a partir dos pesos se deu pela ferramenta *Raster Calculator* do ArcGIS 10.7.1. O referido procedimento é responsável por gerar o Mapa de Suscetibilidade aos Escorregamentos (MSE) tendo como base a seguinte equação:

$$MSE = [(MG*PG) + (MS*PS) + (MCUT*PCUT) + (MD*PD) + (MCE*PCE)]$$

Onde,

MSE = Mapa de Suscetibilidade aos Escorregamentos

MG = Mapa Geológico

PG = Peso da Geologia

MS = Mapa de Solo

PS = Peso do Solo

MCUT = Mapa de Cobertura e Uso da Terra

PC = Peso de Cobertura e Uso da Terra

MD = Mapa da Declividade

PD = Peso da Declividade

MCE = Mapa da Curvatura da Encosta

PCE = Peso da Curvatura da Encosta

De posse do MSE, ainda no formato *raster*, os dados variaram entre 0,99 a 3,96, necessitando da reclassificação para se adequarem ao ordenamento dos níveis de suscetibilidade

e, após esse procedimento, transformar o mapa para *shapefile*. Logo, sendo a variação dos dados obtidos na álgebra em 2,97 (3,74 – 0,99), quando dividido pela quantidade de níveis (4), o intervalo encontrado correspondeu a 0,74. Com isso, os níveis estão representados pelos respectivos intervalos: 1 (baixo) = 0,99 a 1,73; 2 (médio) = 1,73 a 2,47; 3 (alto) = 2,47 a 3,22 e 4 (muito alto) = 3,22 a 3,96.

4.3 PONTOS DE ESCORREGAMENTOS

A identificação dos pontos ocorreu inicialmente através dos dados acerca dos escorregamentos pretéritos, bem como das áreas com potencial de futuras ocorrências, atendendo às orientações de Fernandes *et al.* (2001). Os referidos dados foram disponibilizados pela Superintendência de Proteção e Defesa Civil – SUPDC (2020), órgão subordinado à Prefeitura de Jaboatão dos Guararapes.

Além disso, realizou-se o levantamento dos pontos a partir do procedimento de fotointerpretação, indicado no subtópico da confecção do material cartográfico. Essa etapa resultou em um inventário mais amplo dos escorregamentos presentes na área.

4.4 ATIVIDADE DE CAMPO

A primeira aproximação teve o foco de reconhecer a área através dos dados obtidos no tópico de caracterização da área de estudo e que estivessem associados aos elementos condicionantes (Critérios) dos escorregamentos elencados por esta pesquisa (geologia, solo, uso e cobertura da terra, declividade e curvatura). Houve também durante todos os campos o processo de validação, referente ao inventário dos pontos de escorregamentos, os quais foram demarcados com o GPS Garmim Etrex Vista HCx.

Para tal, a atividade de campo foi planejada a partir da correlação entre os mapas temáticos dos cinco critérios selecionados previamente, os dados oriundos dos mapas da suscetibilidade de cada critério, o mapa de suscetibilidade proveniente do AHP, bem como os dados do inventário dos escorregamentos. Na sequência, o refinamento para a definição dos pontos a serem visitados ocorreu através das imagens do PE3D.

As incursões ocorreram nos dias 04, 11, e 25 de novembro de 2021 e no dia 06 de junho de junho de 2022. Os pontos de escorregamentos foram validados *in loco* e inseridos na base cartográfica para o cruzamento e análise dos dados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente capítulo estrutura-se na apresentação dos dados obtidos das análises teóricas, de gabinete e das atividades de campo. Concomitantemente essas informações são interpretadas como forma de desenvolver associações lógicas no decorrer da exposição dos resultados obtidos, contribuindo para a compreensão progressiva do objeto de estudo em questão.

Para isso, o item 5.1 apresenta a construção e o resultado do nivelamento acerca da suscetibilidade aos escorregamentos de cada subcritério (atributo) distribuídos por critérios. Essa etapa fomentará a construção do AHP culminando no mapeamento de suscetibilidade da área investigada.

De posse do nivelamento dos subcritérios, na etapa seguinte (5.2) estrutura-se o AHP no que cerne ao desenvolvimento dos cálculos e a demonstração dos pesos por critérios de importância. É nessa etapa que se obtém o mapeamento da suscetibilidade aos escorregamentos.

Por fim, o item 5.3 apresenta os pontos indicados pela Defesa Civil e pelo inventário oriundo da fotointerpretação, além das análises comparativas desses dados com os encontrados na álgebra do AHP. Essa etapa se alicerça na compilação dos dados produzidos em gabinete e dos resultados obtidos pelas atividades de campo como forma de compreensão e avaliação do mapeamento prévio. A abordagem ocorre através dos níveis de suscetibilidade e, por vezes, de forma individualizada, a partir de imagens, avaliações dos pontos visitados e interpretação dos critérios e atributos (subcritérios). Esse tópico é finalizado com análise compilada dos dados vislumbrando uma padronização dos eventos.

5.1 SUSCETIBILIDADE DOS ATRIBUTOS POR CRITÉRIO

Os critérios selecionados para esta pesquisa estão listados obedecendo a ordem apresentada no capítulo anterior: geologia, solo, cobertura e uso da terra, declividade e curvatura da encosta. É importante destacar que essa ordem não se relaciona com o grau de relevância, hierarquia ou qualquer adjetivo de grau ou nível. Esse ordenamento fora utilizado pelo IBGE (2019), o qual apresenta quatro dos cinco critérios presentes neste trabalho. A curvatura, por não ser contemplada naquele documento de maneira específica, fora representada ao final.

A definição dos pesos dos atributos oriundos do IBGE (2019), os quais variam de 1 até 10, advém da relação percentual da proposta de apenas 4 pesos (BRASIL, 2007). Nesse sentido,

a extração da porcentagem dos pesos utilizados pelo IBGE verifica-se na Tabela 3, enquanto a variação percentual dos pesos propostos pelo IPT (BRASIL, 2007) ocorre na Tabela 4.

Tabela 3 – Níveis de suscetibilidade a partir do IBGE (2019)

Peso	Variação		Média	Variação (%)		Média (%)
1	0	1	0,5	0%	10%	5%
2	1	2	1,5	10%	20%	15%
3	2	3	2,5	20%	30%	25%
4	3	4	3,5	30%	40%	35%
5	4	5	4,5	40%	50%	45%
6	5	6	5,5	50%	60%	55%
7	6	7	6,5	60%	70%	65%
8	7	8	7,5	70%	80%	75%
9	8	9	8,5	80%	90%	85%
10	9	10	9,5	90%	100%	95%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 4 – Classificação percentual dos níveis de suscetibilidade

Peso	Variação		Média	Variação (%)		Média (%)
1	0	1	0,5	0%	25%	13%
2	1	2	1,5	25%	50%	38%
3	2	3	2,5	50%	75%	63%
4	3	4	3,5	75%	100%	88%

Fonte: Autor (2022)

5.1.1 Critério geológico

As unidades geológicas, previamente apresentadas na caracterização da área, não foram encontradas especificamente no produto base do IBGE (2019), verificando-se apenas os pesos acerca das províncias e subprovíncias estruturais, características genéticas das litologias e as próprias litologias. Isso se justifica pela pequena escala de mapeamento a qual abarcou todo o território nacional.

Ainda que a província da Borborema, com peso 7, e a subprovíncia estrutural Pernambuco-Alagoas, com peso 8, fossem utilizadas, não seria coerente generalizar tais níveis de suscetibilidade para todas as unidades geológicas encontradas na área. A extração dos pesos das unidades geológicas mapeadas na área de interesse surgiu através da média aritmética dos litotipos, ponderadas de 10 níveis para 4 (Tabela 5).

Tabela 5 – Ponderação dos níveis de suscetibilidade das unidades geológicas aos escorregamentos

Unidades geológicas	Litologia	Litotipo	Peso (IBGE)	Média (IBGE)	Peso (Ponderação)
Água	Corpo d'agua	1	1	1	1
Aluvionares recentes	Areia	1	10	8,5	4
	Silte	1	10		
	Argila	1	8		
	Cascalho	2	10		
	Seixos	2	8		
	Matacões	2	5		
Flúvio-lagunares recentes	Argila	1	8	9,5	4
	Silte	1	10		
	Areia	1	10		
	Matéria orgânica	2	10		
	Arenito conglomerático	1	8		
	Ritmito	1	8		
	Conglomerado polimítico	2	7		
	Folhelho carbonoso	2	10		
Granitoides indiscriminados brasileiros	Biotita granito	1	1	1,4	1
	Granito porfirítico	1	1		
	Granodiorito	1	1		
	Metagranito	1	1		
	Monzogranito	1	1		
	Quartzo diorito	1	4		
	Quartzo monzogranito	1	1		
Itaporanga	Biotita granito porfirítico	1	1	1,4	1
	Diorito	1	3		
	Granito	1	1		
	Granodiorito	1	1		
	Monzonito	1	1		
Belém do São Francisco	Metadiorito	1	3	2,8	2
	Migmatito	1	2		
	Ortognaisse granodiorito	1	3		
	Ortognaisse granítico	1	3		
	Ortognaisse tonalítico	1	3		
Salgadinho	Ortognaisse	1	3	3,2	2
	Anfibolito	2	4		
	Metadiorito	2	3		
	Metagabro	2	3		
	Ortognaisse	2	3		
	Quartzo	2	3		

Fonte: Autor (2022)

Nesse sentido, ao correlacionar as informações obtidas na Tabela 5 com as diretrizes normativas da Tabela 3 e Tabela 4 encontrou-se os pesos correlatos às duas metodologias (Tabela 6). É importante destacar que não houve média do IBGE associada ao peso final 3 (nível alto), contudo, isto não produz conflito para a álgebra do AHP.

Tabela 6 – Unidades geológicas – Correlação dos pesos de suscetibilidade acerca do IBGE (2019)

Unidades geológicas	Média IBGE	Peso (%)	Varição dos pesos da pesquisa (%)	Peso final
Água	1	10	0 - 25	1
Aluvionares recentes	8,5	85	75 - 100	4
Flúvio-Lagunares recentes	9,5	95	75 - 100	4
Granitoides indiscriminados brasileiros	1,4	14	0 - 25	1
Itaporanga	1,4	14	0 - 25	1
Belém do São Francisco	2,8	28	25 - 50	2
Salgadinho	3,2	32	25 - 50	2

Fonte: Autor (2022)

Acerca das médias encontradas no IBGE destaca-se que há um escalonamento descendente a partir das litologias inconsolidadas. Os pesos mais reduzidos se concentram nas unidades, genericamente, mais estáveis mecanicamente. O mesmo parâmetro se reaplica nas porções de corpos d'água, visto que essas não apresentam possibilidade de ocorrência ou suscetibilidade a escorregamentos.

Após tais resultados, estruturou-se as Unidades geológicas seguindo a estratigrafia padrão, a mesma utilizada no mapa das unidades geológicas, e não hierarquizadas pelos pesos finais. Esse procedimento não interfere na álgebra final, porém pode auxiliar visualmente na compreensão da distribuição dos pesos acerca da estrutura de tais unidades (Quadro 12).

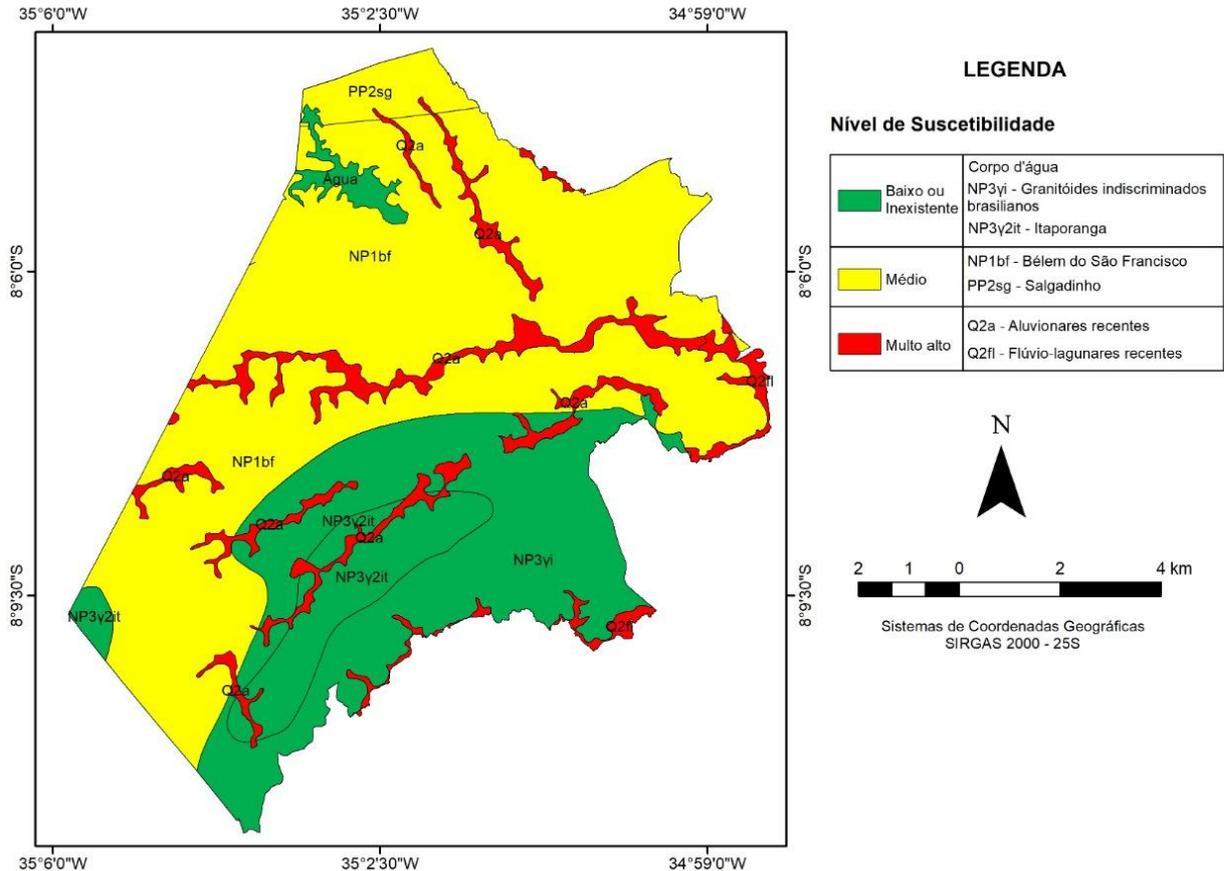
Quadro 12 – Suscetibilidade por Unidade geológica

Unidade geológica	Peso
Corpos d'água	1
Aluvionares recentes	4
Flúvio-lagunares recentes	4
Granitoides indiscriminados brasileiros	1
Itaporanga	1
Belém do São Francisco	2
Salgadinho	2

Fonte: Autor (2022)

Assim, a suscetibilidade do critério geológico acerca dos pesos se apresenta concentrada entre o médio (58,74%) e o baixo ou inexistente (32,7%), perfazendo um total de 91,4% do total da área. O nível muito alto abarca apenas 8,56% (Figura 10).

Figura 10 – Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério geológico



Fonte: Autor

O nível mediano surge no Sudoeste e evolui para o norte ao passo que se projeta para o nordeste, tornando-se proeminente na porção centro-norte da área. Essa concentração é levemente interrompida pela Barragem Duas Unas (noroeste), nível baixo ou inexistente, perfazendo 1,44 Km² (1,31% da área). O mesmo ocorre a sudoeste, com a inserção da Unidade Itaporanga, contudo, essa se agrupa aos Granitoides indiscriminados brasileiros abarcando a porção centro-sudeste.

No estágio mais elevado de suscetibilidade (muito alto), agrupam-se as Unidades de origem sedimentar, ocupando apenas 8,56% da área. Esse nível está distribuído entre os depósitos Aluvionares recentes e os Flúvio-Lagunares recentes os quais se inserem no transcurso da drenagem.

5.1.2 Critério pedológico

Diferentemente do cenário encontrado para compor os pesos da geologia, a pedologia não houve mensuração direta de qualquer peso ou classificação tipificada por parte do IBGE (2019). Portanto, buscou-se no aprofundamento teórico a condução para o nivelamento dos pesos das unidades pedológicas encontradas na área desta pesquisa.

De início, solucionando as questões mais genéricas, acata-se a orientação do referido documento em atribuir à Área Urbana o peso 1, para que não haja duplicidade de importância deste polígono junto ao do critério de cobertura e uso da terra. Tal ponderação também ocorre aos Corpos d'água, por se tratar de um ambiente não relacionado aos escorregamentos.

Acerca das unidades mapeadas, percebe-se que apenas a LA3 (Latosolo Amarelo) não é composta por associações. É preciso destacar que o cenário produzido neste tópico se resumiu a um tratamento teórico e estatístico almejando ponderar os pesos das unidades.

Nesse sentido, G1 fora classificado no nível mais baixo por se compor em 75% de solos de planícies ou terraços fluviais, comumente presentes em ambientes alagados, conforme orienta o IBGE (2019). Isso se justifica pela presença do Gleissolo, Cambissolo e Neossolo Flúvico. Os demais 25% da associação se concentrou no Argissolo Acinzentado, o qual apresenta debilidade na infiltração devido ao seu perfil plúntico, além da alta atividade da argila, poderia, isoladamente, estar em um nível de suscetibilidade superior. Contudo, na escala do mapeamento desta pesquisa não foi possível e essa acurácia poderá ser abordada, se assim for necessário, em subcapítulos posteriores.

A G2 segue o mesmo raciocínio teórico da anterior, visto que possui as mesmas unidades, exceto o Argissolo, o qual poderia comprometer a sua inserção no nível mais baixo de suscetibilidade. Altera-se também o percentual de participação dos solos da associação, porém sem relevância aparente.

A LA3 encontra-se na porção noroeste, no topo das unidades de relevo, e apresenta uma elevada pedogênese, caracterizando uma boa percolação hídrica. A característica amarelada, oriunda da goethita, a qual pode reduzir a condutividade hidráulica, esse solo pode apresentar problemas de coesão, conforme atesta os estudos de Araújo Filho (2000). Mediante essa ponderação, optou-se por nivelá-lo com peso 2.

A unidade LA9, ainda que se denomine majoritariamente como Latossolo Amarelo, é composta por uma associação entre este (40%), os Argissolos (Amarelo e Vermelho-Amarelo) (40%) e Gleissolo e Cambissolo gleico (20%). Os Argissolos se inserem em um relevo variando de forte ondulado a ondulado e são caracterizados morfologicamente pela transição radical do

horizonte A para o Bt, conforme alerta a Embrapa (2018). Logo, mediante as condições de redução da taxa de infiltração, construção de um cenário pedológico de descontinuidade entre os horizontes, sobretudo em um ambiente de oscilando de ondulado à forte ondulado, optou-se por classificar a LA9 no peso 3. Ainda que na presença de uma associação ponderada anteriormente, em outra unidade, como de baixo nível (Gleissolo e Cambissolo), contudo, corresponde a uma menor expressão espacial.

Por fim, tem-se as três unidades representadas pelos Argissolos e abarcando o nível mais alto de suscetibilidade. Ainda que as associações apresentem cenário diferentes, elas tendem a se localizarem na encosta e a textura inserida na fração argila.

A PV3 compõe-se de solos que podem promover elevada suscetibilidade acerca da drenagem devido à presença de argila no horizonte B, o que debilita a condutividade hidráulica (ARAUJO FILHO *et al.*, 2000; IBGE, 2015). Dentre esses, 50% de Argissolo Vermelho-Amarelo e 25% de Cambissolo. Além disso, destacam-se os contatos dos Neossolos Litólicos, sobretudo, todos em relevo ondulado e forte ondulado, o que ratifica a inserção desta unidade no nível 4.

A PV7 corrobora com os pressupostos da PV3, além de concentrar 80% da sua unidade nos Argissolos (60% de Vermelho-Amarelo e 20% de Vermelho Escuro), sobretudo eleva o seu grau de suscetibilidade na presença do Neossolo Litólico (20%) encontrado no relevo de forte ondulação.

A PV11 concentra 40% do Argissolo Vermelho-Amarelo e, por essa razão, titula esta unidade. A associação segue com o Neossolo Litólico (35%) e aos Afloramentos Rochosos (25%), os quais, combinados ao posicionamento na paisagem em um relevo forte ondulado à montanhoso, convergem para um cenário de suscetibilidade elevado perante a característica do Argissolo em promover uma sobrecarga quando umidificado, além de reduzir o atrito com as camadas inferiores, elevando a possibilidade do escorregamento como sinaliza o IBGE (2019).

Com isso, os nivelamentos se concentraram nos pesos 1 e 4, com 4 e 3 unidades, respectivamente. Enquanto os pesos 2 e 3 tiveram apenas uma unidade (Quadro 13).

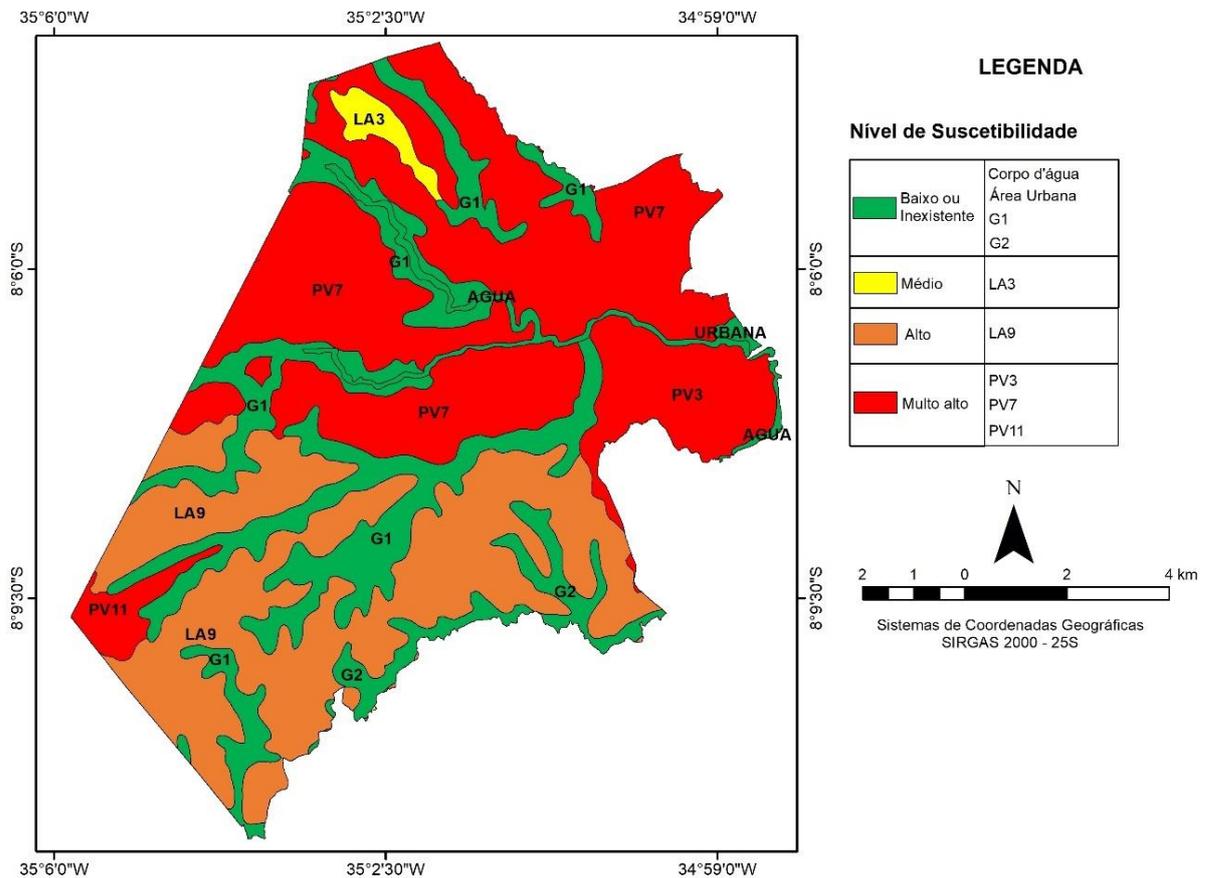
Através do nivelamento dos pesos efetuados entre as Unidades pedológicas chegou-se à espacialização da suscetibilidade aos escorregamentos acerca de tais Unidades, a qual revela um cenário, teoricamente, grave. Os 73,67% da área estão classificados como suscetibilidade alta (29,33%) e muita alta (44,34%) (Figura 11). Além disso, ambos estão distribuídos por toda a área, tendo a porção norte a inserção da suscetibilidade muito alta e a sul a alta. Destaca-se apenas um prolongamento no sentido sudoeste-nordeste da suscetibilidade muito alta localizado a sudoeste, dentro do domínio da suscetibilidade alta.

Quadro 13 – Suscetibilidade por Unidade Pedológica

Unidade pedológica	Peso
Área urbana	1
Corpos d'água	1
G1	1
G2	1
LA3	2
LA9	3
PV3	4
PV7	4
PV11	4

Fonte: Autor (2022)

Figura 11 – Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério pedológico



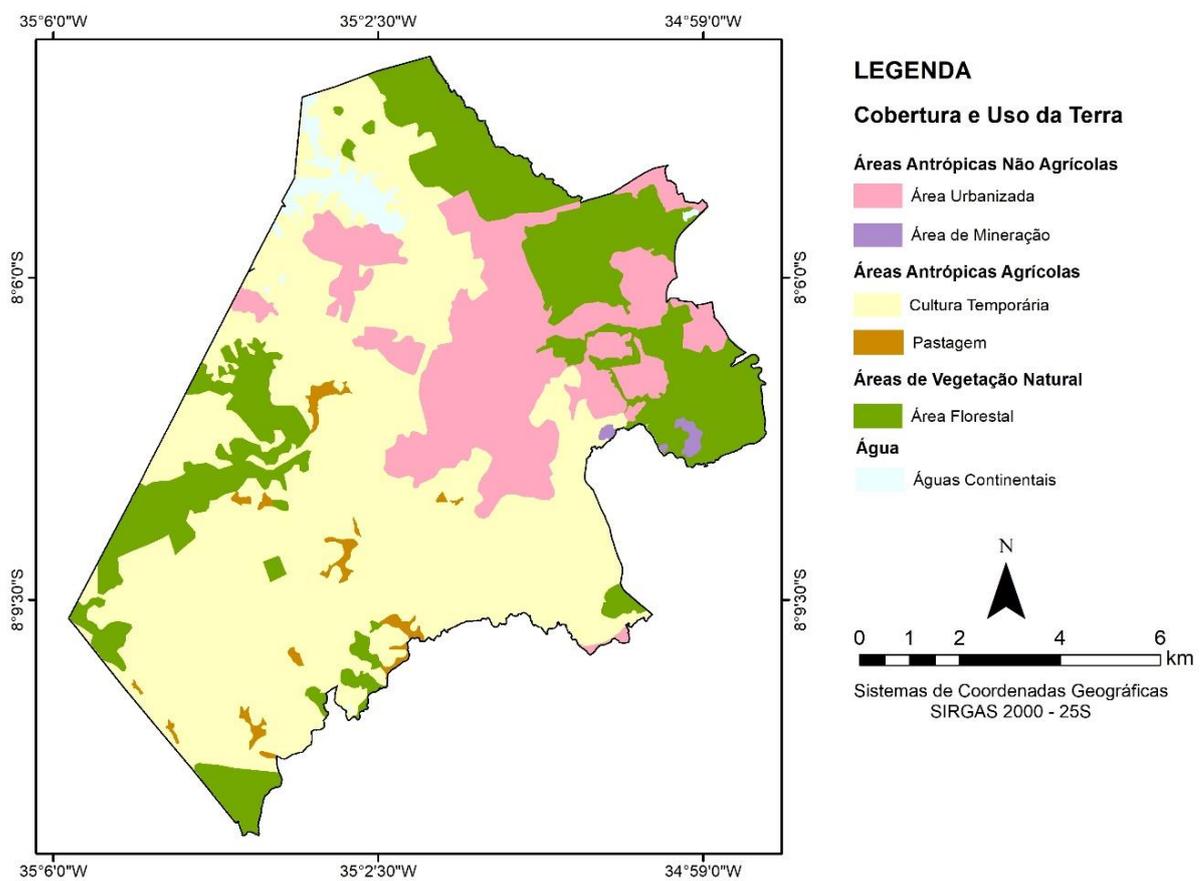
Fonte: Autor (2022)

Na sequência, o nível médio, restringindo-se ao LA3, abarca apenas 1,27% da área e se encontra na porção noroeste. O nível mais baixo, abarcados majoritariamente por Geossolos encaixados nos canais de drenagem e espaçados por toda a área, representa 25,06%.

5.1.3 Critério de cobertura e uso da terra

A produção dos dados do critério em questão demandou, inicialmente, a confecção do mapa de cobertura e uso da terra (Figura 12), procedimento esse que identificou todas as subclasses elencadas pelo IBGE (2013). Por conseguinte, classificou-se os níveis de suscetibilidade disponibilizados pelo IBGE (2019), transformando-os em porcentagem e reclassificando-os para os pesos utilizados nesta pesquisa, assim como ocorreu no critério geológico (Tabela 3 e Tabela 4).

Figura 12 – Mapa de cobertura e uso da terra



Fonte: Autor (2022)

Contudo, o IBGE (2019) utiliza uma classificação resumida ao associar os deslizamentos à cobertura e uso da terra, não apresentando subclasses e reservando-se a identificar apenas 12 categorias. Essa postura se sustenta devido ao mapeamento ter ocorrido em uma escala de 1: 1.000.000, o que inviabiliza uma maior riqueza de detalhes na identificação das classes e suas variações. Vale ressaltar que por causa desse mesmo condicionante o referido trabalho suprimiu os copos d'água (continental e costeiro) do mapeamento. Contudo, para esta

pesquisa, houve a inserção dessa classe com o peso mais brando devido não abarcar elementos razoáveis na ponderação dos escorregamentos quando comparados aos demais atributos desse critério.

Em tempo de esclarecer as correlações, o mesmo trabalho reúne, por duas vezes, categorias avaliadas em um mesmo peso que se enquadrariam em uma mesma classe (Mosaico de ocupações em área florestal ou em área campestre e Vegetação campestre / Área úmida). Com isso, ao invés de visualmente apresentar 10 classes, observa-se apenas 8, as quais foram associadas à classificação do IBGE (2013), conforme é possível observa (Tabela 7):

Tabela 7 – Cobertura e uso da terra – Correlação dos pesos de suscetibilidade

IBGE (2013)		IBGE (2019)		Peso (Ponderação)
Classe	Subclasse	Classe	Peso	
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1 Áreas urbanizadas	Área artificial	10	4
	1.2 Áreas de mineração	Área artificial	10	4
2. Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1 Culturas temporárias	Área agrícola	9	4
	2.2 Culturas permanentes	Área agrícola	9	4
	2.3 Pastagens	Pastagem com manejo	8	3
	2.4 Silvicultura	Silvicultura	4	2
	2.5 Uso não identificado	Mosaico de ocupações em área florestal ou em área campestre	6	3
3. Área de vegetação natural	3.1 Área florestal	Vegetação florestal	1	1
	3.2 Área campestre	Vegetação campestre / Área úmida	2	1
4. Águas	4.1 Águas Continentais	Corpos d'água continental	1	1
5. Outras áreas	5.1 Áreas descobertas	Área descoberta	5	2

Fonte: Adaptado pelo Autor

Os atributos (classes e subclasses da cobertura e uso da terra) listados possuem uma relação direta e progressiva acerca da interferência antrópica no meio e a elevação dos níveis de suscetibilidade. Entretanto, pondera-se que a relação inversa não atinge a sua máxima perspectiva no que tange a total estabilidade e ausência de suscetibilidade, haja vista que os escorregamentos também são encontrados em espaços ainda não modificados pela sociedade, como, por exemplo, em áreas florestais. Esse entendimento se materializa ao classificar tais áreas como um peso reduzido, mas não inexistente.

Percebe-se que os pesos mais elevados se concentraram nas áreas antropizadas relacionadas aos espaços urbanos e as áreas de mineração, assim como as áreas agropecuárias responsáveis por elevada alteração na paisagem (culturas temporárias e as permanentes) também sob a responsabilidade antrópica (Quadro 14).

Quadro 14 – Classificação de suscetibilidade por cobertura e uso da terra

Classe	Subclasse	Peso
1. Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1 Áreas urbanizadas	4
	1.2 Áreas de mineração	4
2. Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1 Culturas temporárias	4
	2.2 Culturas permanentes	4
	2.3 Pastagens	3
	2.4 Silvicultura	2
	2.5 Uso não identificado	3
3. Área de vegetação natural	3.1 Área florestal	1
	3.2 Área campestre	1
4. Águas	4.1 Águas Continentais	1
5. Outras áreas	5.1 Áreas descobertas	2

Fonte: Autor

No âmbito do peso 3, localizam-se as pastagens e o uso não identificado. A primeira por ter sido associada ao manejo, caracterizando-a com um nível mais brando que as subclasses de maior intervenção antrópica no âmbito agrícola. A segunda se associou aos mosaicos de ocupações em áreas florestais ou campestres, visto a dificuldade de atestar seguramente qual era o tipo de uso majoritariamente.

Finaliza-se o destaque com a silvicultura, visto que obteve o peso 2, ainda que tenha a sua gênese na intervenção antrópica. Contudo, esta atividade se traduz como um plantio monocultor de árvores, assemelhando-se estruturalmente às classes naturais de vegetação. Então, o referido peso se equilibra entre pertencer a uma atividade antrópica, teoricamente inserida no peso 3, mas com padrão estrutural condizente com espaços abarcados pela vegetação natural e classificados com o peso 1.

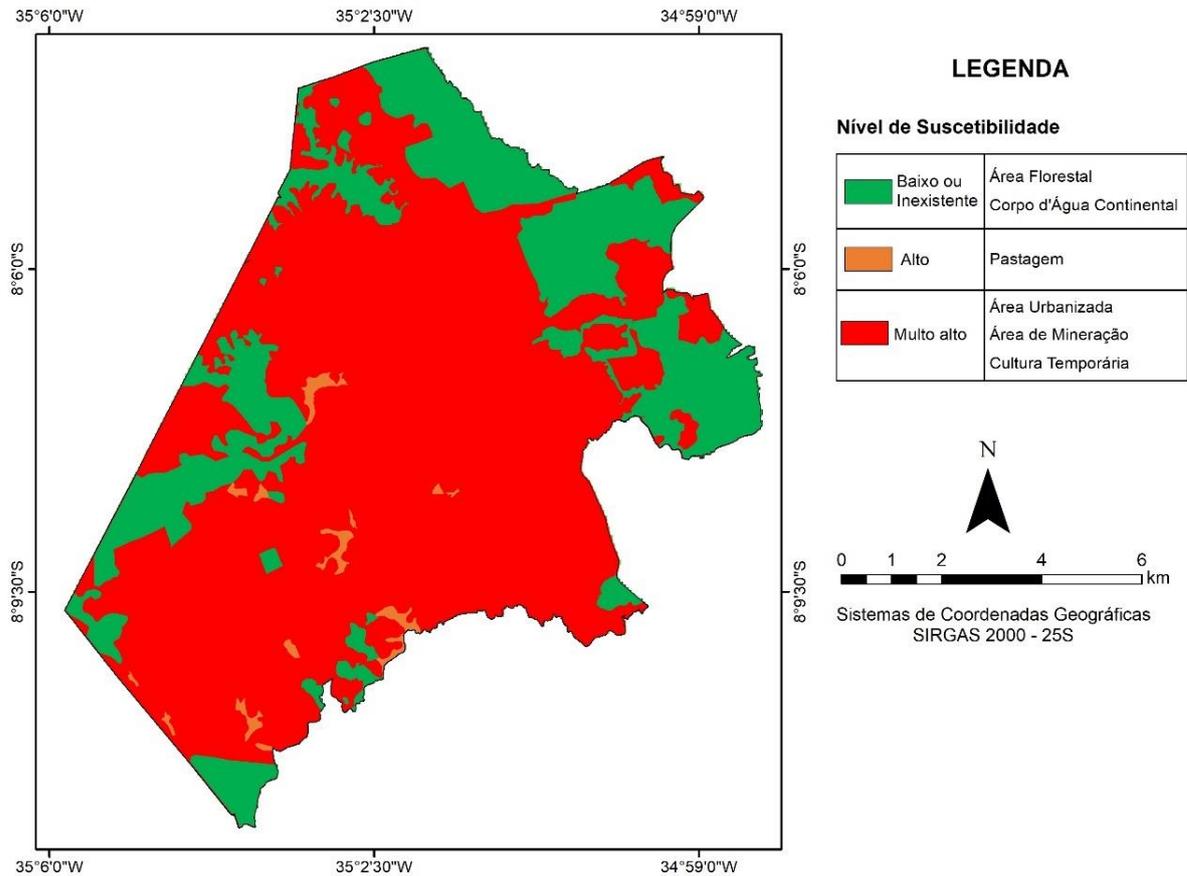
Embora a abordagem teórica para a classificação dos pesos tenha abarcado a proposta do IBGE (2019), o mapeamento através da fotointerpretação não identificou todas as subclasses listadas. Vale ressaltar que isso não se trata de um empecilho para a progressão dos trabalhos e por essa razão optou-se por permanecer com tais itens devido ao processo futuro de validação desse mapeamento nas incursões a campo.

O mapeamento identificou apenas seis das 11 subclasses elencadas anteriormente e nenhuma inserida no peso 2 (Figura 13). A espacialização resultou em 25,07% com o peso 1; apenas 1,09% reservado ao peso 3 e o peso 4 reunindo 73,84%.

O peso 1 concentrou uma pequena parte nas águas continentais (1,82%), correspondendo à barragem do Duas Unas (a noroeste), enquanto a maior porção, com 23,18% restantes, às áreas florestais. Ainda que o peso 1 não esteja concentrado espacialmente, observa-

se duas grandes manchas no âmbito das áreas florestais. O maior prolongamento contínuo ocorre a nordeste, sendo invadido majoritariamente pela expansão urbana. A segunda maior inserção surge a sudoeste e limita-se com as áreas agropecuárias.

Figura 13 – Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério de Cobertura e uso da terra



Fonte: Autor

O peso 3 abarcou apenas os espaços utilizados pela pastagem, apresentando-se de forma espaçada. Contudo, é perceptível uma concentração dessas manchas na porção centro-sudoeste, afastadas do perímetro urbano e inseridas na área antrópica agrícola. A área reduzida para essa atividade se justifica pelo passado histórico do município, cuja economia se pautou na produção da cana de açúcar. Sobretudo, na Regional 1, a qual se originou através do desenvolvimento dos seus engenhos e a produção canavieira, bem como se perpetua até o presente momento.

Essa característica é responsável pelo peso 4 abarcar a maior parte da área investigada. As culturas temporárias se estabelecem em 54,95% da área, concentrando-se na porção ocidental e ao sudeste. A área urbana (18,58%) se apresenta, sobremaneira, na porção central e a nordeste. Entretanto, ocorre uma mancha na porção noroeste atrelada a um empreendimento residencial privado de alto padrão em amplo processo de construção e modificação da paisagem. Culminando o grupo do risco muito alto, com apenas 0,23%, tem-se as áreas de

mineração. Esse recorte de reserva a porção centro-leste, correspondendo atualmente à Fazenda Lagoa Azul, utilizada como espaço de turismo de aventura.

5.1.4 Critério da declividade

Assim como nos itens anteriores, o nivelamento da suscetibilidade acerca da declividade ocorreu a partir das orientações metodológicas do IBGE (2019). Entretanto, o referido trabalho tem por referência informações da Embrapa que datam de 1979. Para essa análise, atualizou-se o entendimento a partir das orientações da própria Embrapa (2018), a qual não modifica as classes, mas ajusta as nomenclaturas.

A ponderação dos pesos, distribuídos a partir de seis classes de declividade (Tabela 8), advém da relação proporcional entre as duas metodologias, conforme demonstrado no início deste capítulo. Nesse sentido, a conversão necessitou de ajustes em duas classes (* Suave-ondulado e Forte-ondulado), visto que a classificação original não contemplaria todas as classes de pesos e concentraria, em determinado caso, três classes de declividade no peso mais elevado. Tal situação dificultaria a análise e poderia culminar na poluição dos dados.

Tabela 8 – Classes de declividade – Correlação dos pesos de suscetibilidade

Classes	Declividade (%)	Peso	Limite (%)	Varição dos pesos da pesquisa (%)	Peso final
Plano	0 - 3	1	10	0 - 25	1
Suave ondulado	3 - 8	3	30	0 - 25*	1
Ondulado	8 - 20	5	50	25 - 50	2
Forte ondulado	20 - 45	8	80	50 - 75*	3
Montanhoso	45 - 75	9	90	75 - 100	4
Escarpado	>75	10	100	75 - 100	4

Fonte: Autor (2022)

Após o exposto, definiu-se as classes de plano e suave ondulado no nível 1. Faz saber que essa segunda classe, ora classificada pelo IBGE como peso 3 e possuindo um limite de 30%, ultrapassa a categoria, quando comparada a classificação desta pesquisa, em 5%, visto que a porcentagem máxima permitida para o peso final seria de 25%. Entretanto, transpor a referida classe para o peso final 2, corresponderia inseri-la no grupo cujo percentual atinge os 50%, muito além da realidade condizente.

O ondulado permaneceu no peso 2, ainda que no limite da transição em vista dos seus 50%. Diferentemente, o forte ondulado apresentou as mesmas condições da classe suave ondulado, de modo que ultrapassou em 5%. Corroborando com a mesma estratégia adotada

anteriormente, enquadrando-se a referida classe no peso 3, o qual contempla a maior parte de sua classificação.

Por fim, sem a necessidade de qualquer ajuste, o montanhoso e o escarpado encerra a classificação com o peso mais elevado. Esse tratamento culminou em duas classes niveladas em baixa ou inexistente suscetibilidade (Plano e Suave ondulado), ondulado inserida na suscetibilidade média, forte ondulado inserida na alta e montanhoso e escarpado, com peso 4, no nível mais elevado (Quadro 15).

Quadro 15 – Suscetibilidade por declividade

Classes	Declividade (%)	Peso
Plano	0 - 3	1
Suave ondulado	3 - 8	1
Ondulado	8 - 20	2
Forte ondulado	20 - 45	3
Montanhoso	45 - 75	4
Escarpado	>75	4

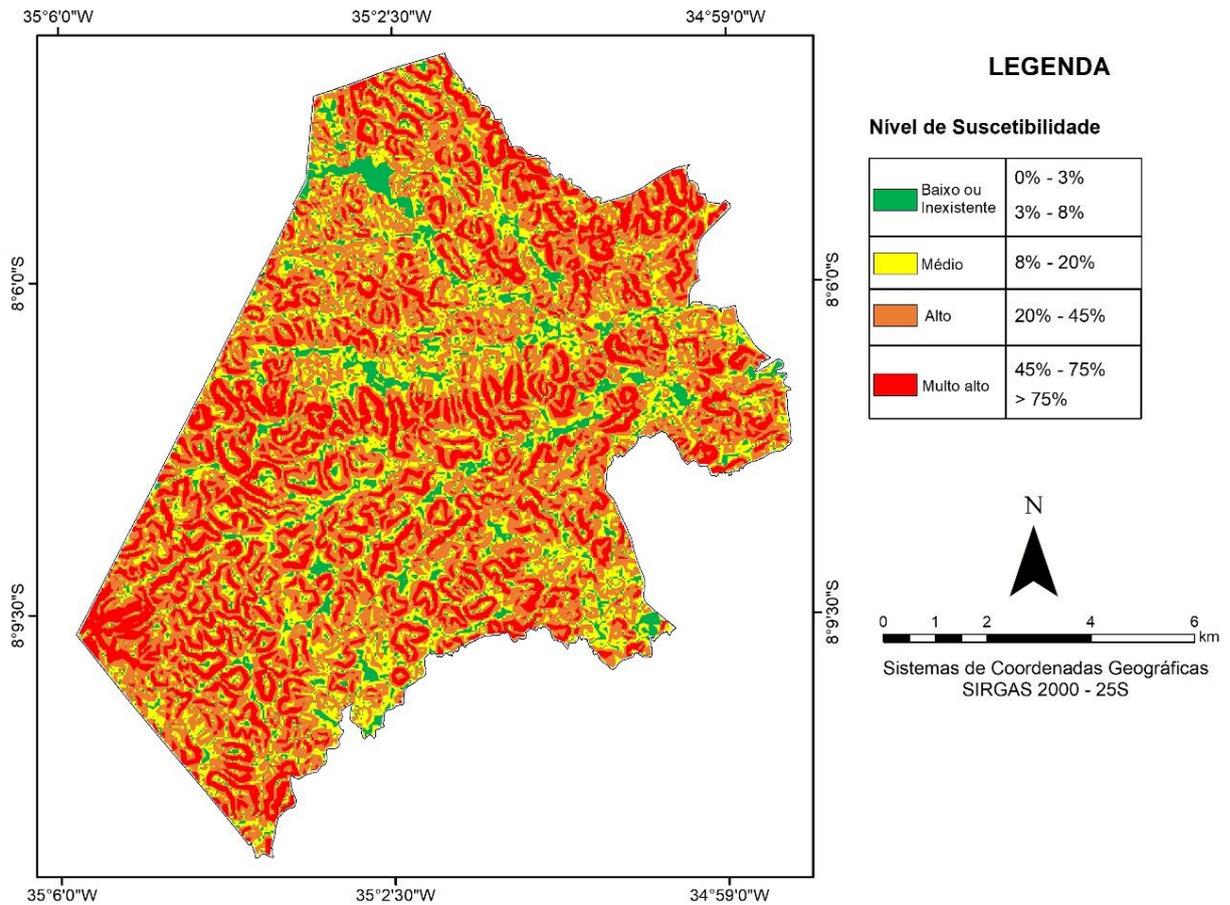
Fonte: O autor (2022)

Diante do exposto, após a espacialização dos níveis de suscetibilidade acerca da declividade (Figura 14), verificou-se que o peso 1 representou apenas 9,53%. Dentre os quais 2,84% ficaram no plano e 6,69% no suave ondulado. Percebeu-se, sobremaneira, que a concentração se deu nos canais fluviais e, em especial, na lâmina d'água da represa Olho D'água, a noroeste.

O nível médio representou 21,54% e se distribuiu de maneira equilibrada pela área margeando os interflúvios e canais fluviais. A maior concentração se deu no peso 3 com 42,71%, ainda que este corresponda apenas a uma classe de declividade (Forte ondulado). Essa categoria, assim como a anterior, distribui-se de maneira aparentemente equilibrada pela área, sem concentrações relevantes ou ausências.

O nível 4, ainda que composto por duas classes da declividade (Montanhoso e Escarpado), abarcou apenas 26,21%. O montanhoso cobriu a maior parte da área com 23,19%, enquanto o escarpado representou apenas 3,02%. Nesse nivelamento, ainda que distribuído por toda a área, pinça-se a porção ao extremo sudoeste, por concentrar uma área contígua significativa e que será ponto de incursões ao campo para interpretação.

Figura 14 – Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério de Declividade



Fonte: Autor (2022)

5.1.5 Critério de curvatura da encosta

Conforme sinalizado anteriormente, o referido critério foi o único não abarcado na classificação de suscetibilidade do IBGE (2019). Logo, a referência do nivelamento da suscetibilidade advém do GEGEP (2014). Contudo, o referido trabalho fez uso de apenas 3 níveis, demandando ajustes para a adequação da pesquisa.

O trabalho supracitado, no tocante ao escorregamento, utiliza como parâmetro a concentração do fluxo hídrico. Esse fenômeno atua no aumento dos processos mecânicos de escoamento e de infiltração, corroborando para a deflagração do evento em si. A forma da encosta que se enquadra nas especificações são, majoritariamente, a côncava (perfil vertical) e a convergente. Essas, em conjunto, representam o nível máximo de suscetibilidade.

Por outro lado, a geometria que dispersa o fluxo hídrico e não colabora com a aceleração da massa hídrica assume o nível mais baixo da suscetibilidade. Insere-se nessa tipificação a retilínea (perfil vertical) e a divergente (perfil horizontal), de modo que a classe

retilínea/divergente e a convexa/planar se conservam no nível 1; no nível 2, retilínea/planar, convexa/divergente e convexa/convergente; no 3º nível, côncava/divergente e retilínea/convergente e no nível 4, côncava/planar e côncava/convergente (Quadro 16).

Quadro 16 – Suscetibilidade por curvatura da encosta

Curvatura da encosta (Vertical x Horizontal)	Peso
Retilínea/Divergente	1
Convexa/Planar	1
Retilínea/Planar	2
Convexa/Divergente	2
Convexa/Convergente	2
Côncava/Divergente	3
Retilínea/Convergente	3
Côncava/Planar	4
Côncava/Convergente	4

Fonte: O autor (2022)

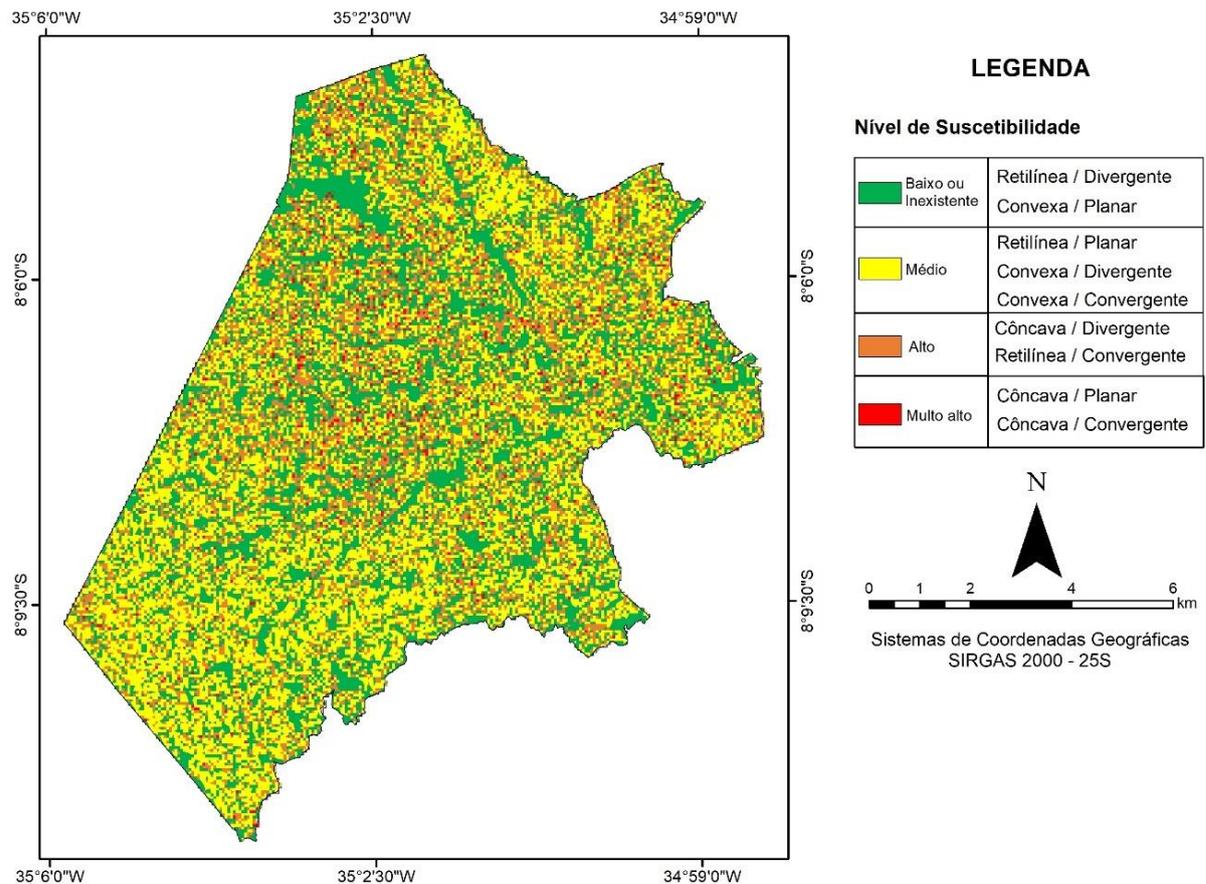
É importante destacar que o peso 2 é o único nivelamento que reúne três classes de curvatura. Decorre-se de a retilínea/planar promover uma suave variação acerca da direção do fluxo hídrico quando comparada com as curvaturas da categoria de peso inferior (retilínea/divergente e convexa/planar). Essas têm a propriedade de divergir e/ou distribuir o escoamento, através de umas das suas geometrias envolvidas no par, com maior intensidade. Ao compará-las com a retilínea/planar, essa reduz capacidade de dispersão, justificando a sua inserção em um peso mais elevado que as demais.

Há de se relatar que o mapeamento automático gerou uma nova categoria correspondendo aos espaços os quais não se adequaram às classes pré-estabelecidas, perfazendo 16,51% da área. A delimitação se atribui aos espaços planos e por essa questão foram classificados com o peso 1, pertencente ao nível baixo ou inexistente, e reuniu a maior porcentagem do nível pertencente, sobretudo na represa Olho D'água, a noroeste.

A partir desta configuração, o peso 1 totalizou 34,35% da área distribuídos, em maior proporção, pelos vales e canais fluviais (Figura 15). Contudo, após a maior concentração (espaços planos), esse nível se concentrou em 15,72% na classe Retilínea/Divergente, ficando apenas 2,12% caracterizado como a Convexa/Planar.

Com 40,17% da cobertura, o nível médio atingiu a maior representatividade espacial e se fez presente de maneira equilibrada por toda a área, porém, com uma distribuição desigual entre as classes, haja vista que a Retilínea/Planar abarcou 33,02% em detrimento aos 6,79% da Convexa/Convergente e aos 0,37% da Convexa/Divergente.

Figura 15 – Mapa da suscetibilidade aos escorregamentos – Critério de Curvatura da encosta



Fonte: Autor (2022)

A suscetibilidade com o nível alto somou 23,25% da área sem concentrações espaciais relevantes. Entretanto, no âmbito das classes, a Retilínea/Convergente cobriu 16,56%, enquanto a Côncava/Divergente ficou com apenas 6,70%.

O nível mais alto teve a mais baixa espacialização com apenas 2,23%. Contudo, percebe-se que há uma maior presença deste na porção setentrional da área e quase que uma ausência na porção meridional. Além dessa questão, houve uma maior concentração na Côncava/Planar, com 1,91%, em relação à Côncava/Convergente que reuniu apenas 0,32%.

5.2 ANÁLISE DOS PROCESSOS HIERÁRQUICOS (AHP) E A ESPACIALIZAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE AOS ESCORREGAMENTOS

Antes de fazer uso das ponderações classificatórias que deliberaram os pesos dos atributos de cada critério, processo esse executado no tópico anterior (0), coube a esta partição encontrar os pesos acerca dos critérios envolvidos na suscetibilidade aos escorregamentos a

partir do AHP. E só posteriormente efetuar a álgebra de mapas, culminando no produto cartográfico que espacializa os níveis de suscetibilidade dos escorregamentos translacionais.

A lógica percorrida para encontrar os pesos da matriz comparativa entre os critérios (Tabela 9) se alicerçou na comunhão entre a comparação qualitativa e quantitativa dos pesos utilizados nos trabalhos circunvizinhos de Torres (2014), Duarte (2015), Menezes Júnior (2015), Rocha e Schuler (2016) e Santana (2020) e a métrica estabelecida por Saaty (2008) quanto à Razão de Consistência (RC), não podendo essa exceder 0,10. A partir desse parâmetro obteve-se a matriz quadrada entre os critérios (Tabela 9).

Tabela 9 – Matriz comparativa dos critérios

Critério	geologia	solo	cobertura/uso	declividade	curvatura
geologia	1	0,50	0,33	0,25	0,33
solo	2	1	0,50	0,25	0,50
cobertura/uso	3	2	1	0,33	0,25
declividade	4	4	3	1	1,00
curvatura	3	2	4	1	1

Fonte: Autor (2022)

Após a matriz comparativa, os pesos (W_i) são obtidos com a matriz de normalização (Tabela 10). Essa revelou a declividade e curvatura como os critérios mais contributivos para a suscetibilidade, perfazendo 0,35 e 0,31, respectivamente. Esse resultado corrobora com as análises de Porter (*et al.*, 2008) que atestou a intensificação dos escorregamentos associando-os a combinação entre a declividade e a curvatura.

Tabela 10 – Matriz de Normalização

Critério	geologia	solo	cobertura/uso	declividade	curvatura	W_i
geologia	0,08	0,05	0,04	0,09	0,11	0,07
solo	0,15	0,11	0,06	0,09	0,16	0,11
cobertura/uso	0,23	0,21	0,11	0,12	0,08	0,15
declividade	0,31	0,42	0,34	0,35	0,32	0,35
curvatura	0,23	0,21	0,45	0,35	0,32	0,31

Fonte: Autor (2022)

Ratifica-se também a pertinência da curvatura na deflagração do evento, conforme atestam os trabalhos de Fernandes (*et al.*, 2001), Lopes (2006), Fernandes e Amaral (2009) e de Pinto, Passos e Caneparo (2013) ao identificarem a concentração de escorregamentos a partir de certa tipologia da curvatura. Esses mesmos autores também

retratam a cobertura e uso da terra como sendo o elemento subsequente, em ordem de importância, à declividade e à curvatura. Nivelamento este confirmado na W_i , perfazendo 15% da probabilidade e se inserindo na terceira posição hierárquica entre os critérios.

A título de validação, a Razão de Consistência (RC), oriunda da fração entre o Índice de Consistência (IC) e o Índice Randômico (IR), responsável por assegurar a coerência dos pesos, desenvolveu-se com a seguinte expressão:

$$RC = \frac{IC}{IR} \rightarrow RC = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n - 1)} \rightarrow RC = \frac{5,24 - 5}{5 - 1} = \mathbf{0,06}$$

Logo, estando a RC limitada a 0,1 (SAATY, 2008), observa-se que o resultado de 0,06 atende aos pressupostos metodológicos e autoriza a continuidade dos processos para o desenvolvimento da álgebra com os pesos (W_i) apresentados anteriormente na Tabela 10. Deliberou-se a equação na *Raster Calculator*, culminando na equação a seguir que deliberou o Mapa de Suscetibilidade aos Escorregamentos (MSE):

$$MSE = [(MG*0,07) + (MS*0,11) + (MCUT*0,15) + (MD*0,35) + (MCE*0,31)]$$

A álgebra entre os mapas de cada critério, os subcritérios de cada elemento condicionante e seus pesos de nivelamento revelaram uma concentração significativa entre os níveis médio (38,7%) e alto (53,1%), totalizando 91,8% da área (Tabela 11). Os níveis extremos, baixo ou inexistente e muito alto, apresentaram uma proporção incipiente de 4,2% e 4,0%, respectivamente. Cabe destacar que mais de 57% da área encontra-se com a suscetibilidade nivelada entre alta e muito alta.

Tabela 11 – Espacialização dos níveis de suscetibilidade

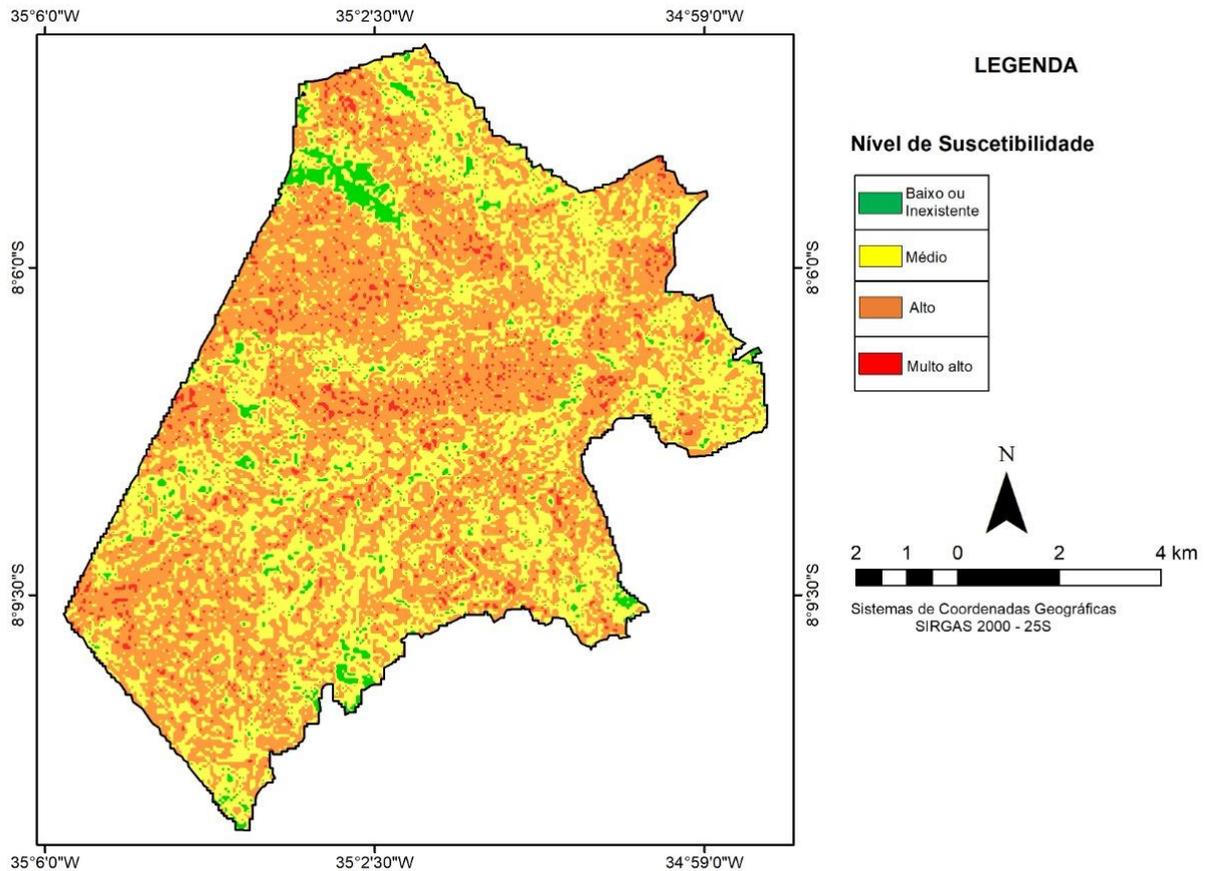
Nível	Área (km ²)	%
Baixo ou Inexistente	4,58	4,2
Médio	42,36	38,7
Alto	58,03	53,1
Muito alto	4,40	4,0
Total	109,37	100

Fonte: Autor (2022)

Sobre a disposição espacial da suscetibilidade (Figura 16), percebe-se que o nível mais baixo ou inexistente se dispôs de maneira bastante pulverizada e em pequenas porções por toda

a área. Ressalta-se, à noroeste, uma concentração significativa condizente à lâmina d'água da represa Olho d'Água. Esse recorte abarca baixa declividade (plano) devido porção hídrica oriunda do represamento, convergindo todos os subcritérios a índices de baixa exposição aos escorregamentos.

Figura 16 – Suscetibilidade aos escorregamentos translacionais



Fonte: Autor (2022)

Majoritariamente as áreas condizentes ao nível mais incipiente estão reunidas pelos corpos d'água presentes nos mapeamentos geológico, pedológico e de cobertura e cobertura e uso da terra. Acerca desse último critério, cabe destacar a participação também das áreas florestas como elemento relevante na delimitação geral dos espaços com níveis mais baixos de suscetibilidade. E por fim, no âmbito dos critérios morfométricos, tais áreas se inserem em declividades abaixo de 7° , cuja geometria oscile entre retilínea/divergente à convexa/planar.

O nível médio ocupa uma área proeminente e contígua (38,7%), distribuído por toda a área de estudo. Ocorre uma singela redução de intensidade na parte central e oeste em virtude da incidência do nível alto. O nivelamento de grau mediano teve por característica principal a interseção entre os condicionantes pedológicos e da declividade. Contudo, houve uma

ponderação distinta na porção centro-norte, onde o referido nivelamento surge pela contribuição mais significativa da associação entre PV7 e PV3 (nível muito alto) com a declividade variando entre o nível alto e muito alto (20% - >75%) e o recuo proveniente do agrupamento da cobertura e uso da terra, com a área floresta, a geometria da encosta com baixo índice de suscetibilidade e a geologia em níveis medianos, representada pela Belém de São Francisco e Salgadinho.

Ao Sul esse padrão é desconstruído, pois o resultado apresenta uma forte interferência, em níveis muito alto, da cobertura e uso da terra, tipificados pelas culturas temporárias, e da unidade pedológica LA9 (nível alto). Porém, a retração ocorre na variação generalizada da declividade e a curvatura com níveis medianos e baixos.

O nível alto (53,1%) da suscetibilidade reproduzido pelo AHP, ainda que disseminados pela área, ocorre uma concentração mais significativa em três porções: uma na parte central e ao norte, mais alongada, no sentido leste/oeste, outra um pouco mais à noroeste, mais encorpada, e por fim uma mancha mais discreta, ainda que coesa, na porção sudoeste. Tal resultado decorre da associação entre os elevados níveis de declividade variando entre alto e muito alto, atrelado à cobertura e uso da terra que nesses espaços estão identificados como área urbana ou por culturas temporárias, estando ambos inseridos no risco mais alto. A regulação se dá pelos demais critérios (curvatura e geologia), ponderando a álgebra e reduzindo o nivelamento que poderia alcançar o nível mais alto.

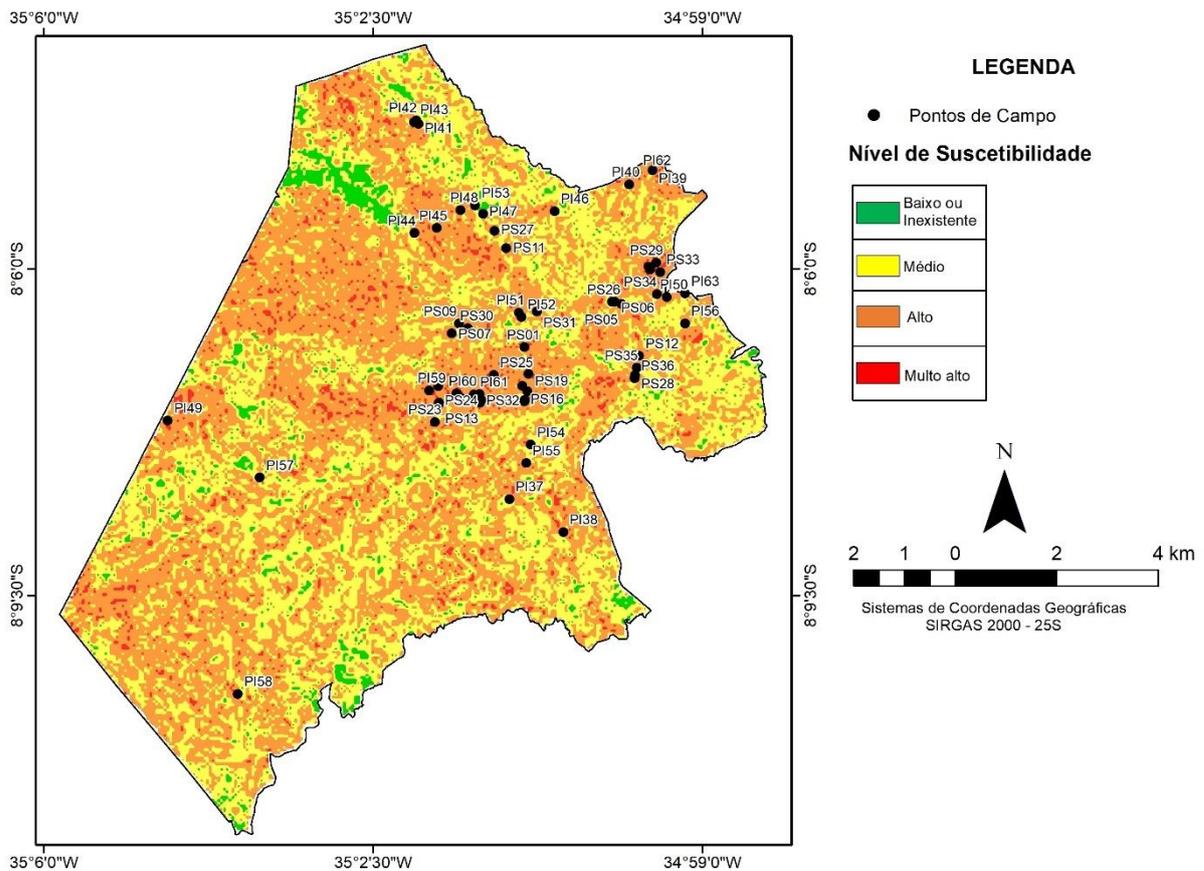
O nível mais alto, perfazendo 4% da área, eclode em pontos esporádicos, ainda que seja possível perceber a maior frequência na parte centro-norte. Diferentemente dos demais, níveis passíveis de uma interpretação mais clara, o seu comportamento diminuto obstaculizou a análise associativa de forma mais fluídica. Entretanto, percebe-se, em meio a espacialização, que as evidências se atrelam não apenas aos pontos de elevadíssima declividade (acima dos 45%). A curvatura, representada pelos níveis alto (côncava/divergente e retilínea/convergente) e muito alto (côncava/planar e côncava/convergente), combinada com as unidades de solos de níveis alto (LA9) e muito alto (PV3, PV7 e PV11) determinaram tal comportamento.

As inferências apresentadas neste capítulo serão objeto de análise no tópico seguinte, como forma de validação dos pressupostos teóricos e de estudos de casos que alicerçaram a ponderação dos pesos dos subcritérios e a construção da álgebra do AHP, responsável pelo mapa da suscetibilidade aos escorregamentos.

5.3 PONTOS DE ESCORREGAMENTOS E OS NÍVEIS DE SUSCETIBILIDADE

Os pontos elencados foram selecionados a partir de duas fontes distintas de dados. Uma dessas advém da cedência do banco de informações da Superintendência de Proteção e Defesa Civil – SUPDC (2020) do município de Jaboaão dos Guararapes. A segunda fonte de dados teve como base o procedimento de fotointerpretação ao demarcar pontos de possíveis escorregamentos. Ambos os dados foram validados em campo, culminando em 62 pontos, sendo 36 da SUPDC, doravante identificados como Pontos da Superintendência (PS), e 26 do inventário da fotointerpretação, denominados na sequência como Pontos do Inventário (PI), os quais foram plotados no mapa da suscetibilidade (Figura 17), proveniente do capítulo anterior. Com a setorização dos pontos acerca dos critérios e subcritérios, verificou-se elevado número de informações. Nesse sentido, a disposição dos dados, em quadros, foi comprometida em algumas ocasiões, demandando ajustes na forma de códigos (Quadro 17), exceto para a declividade por se tratar de informações numéricas.

Figura 17 – Pontos de escorregamentos e a suscetibilidade



Fonte: Autor

Quadro 17 – Siglas dos critérios / subcritérios para a análise dos PS e PI

CRITÉRIO	SUBCRITÉRIO	CÓDIGO
GEOLOGIA	Belém do São Francisco	BSF
	Granitóides indiscriminados brasileiros	GIB
	Itaporanga	ITA
SOLO	Área urbana	AU
	G1	G2
	LA10	LA11
	PV3	PV3
	PV7	PV7
COBERTURA E USO DA TERRA	Área florestal	AF
	Áreas urbanizadas	AUR
	Culturas temporárias	CT
	Culturas temporárias	CP
CURVATURA DA ENCOSTA	Retilínea/Divergente	R/D
	Convexa/Planar	C/P
	Retilínea/Planar	R/P
	Convexa/Divergente	C/D
	Côncava/Divergente	C/D
	Retilínea/Convergente	R/C
	Côncava/Planar	C/P
	Côncava/Convergente	C/C

Fonte: Autor

O tratamento analítico preliminar dos PS revelou certa homogeneidade dentre três dos cinco critérios, sendo eles: geologia, solo e cobertura e uso da terra. Na geologia, 35 pontos estão inseridos no contexto do Complexo rochoso de Belém do São Francisco, coincidindo com a espacialização urbana. Apenas um ponto (PS23) está catalogado como Granitóides indiscriminados brasileiros. Contudo, cabe ressaltar que o referido ponto se encontra em uma área limite junto ao Complexo Belém do São Francisco, porém está classificado nessa pesquisa com o nível mais baixo de suscetibilidade, contrapondo-se ao nível 2 do Belém do São Francisco. Ainda que identificada tal questão, destaca-se que para a álgebra do AHP o critério geológico corresponde ao peso mais baixo, representando apenas 7%, o que pouco alteraria no peso final.

Nas unidades de solo, todos os pontos se inserem no nível mais alto da suscetibilidade por estarem no capeamento da classe dos Argissolos, sendo 32 no PV7 e 4 no PV3. Isso não interferiu a composição estatística, visto que foram classificados no mesmo nível de suscetibilidade aos escorregamentos.

Tendo por base a cobertura e uso da terra, todos os 36 pontos estão inseridos na área urbanizada. Esse subcritério está classificado com o nível mais alto da suscetibilidade. Tal constatação deve estar relacionada ao fato de que a SPDUC seja provocada pela sociedade nas

ocorrências. Tais espaços são os mais ocupados pela população, classificando-se assim na tipologia mencionada.

Portanto, as variações no nivelamento da suscetibilidade dos PS, por duas razões, recaíram sobre os critérios da declividade e da curvatura da encosta: devido à heterogeneidade dos subcritérios, em divergência aos resultados mencionados a pouco, bem como pela proeminência do peso de ambos os critérios na álgebra do AHP (declividade = 0,35 e curvatura = 0,31).

Sobre o nivelamento da suscetibilidade, os PS se concentraram em 69,44% no nível 3, seguidos do nível 2 (19,44%) e 4 (11,11%) (Tabela 12). O nível mais baixo ou inexistente não registrou qualquer evento.

Tabela 12 – Escorregamentos translacionais – Pontos da SUPDC (PS)

NÍVEL	PS (Pontos da SUPDC)	Porcentagem %
1	0	0,00
2	7	19,44
3	25	69,44
4	4	11,11
TOTAL	36	100

Fonte: Autor (2022)

O nível 2 de suscetibilidade abarcou sete evidências (Quadro 18) transitando entre 1,84 a 2,46 do AHP. A geologia e a cobertura e uso da terra, como esperado, apresentaram as mesmas tipificações, o Complexo Belém do São Francisco e as Áreas Urbanizadas, respectivamente. O solo, ainda que apresentando subcritérios distintos, concentrou-se na classe dos Argissolos, os quais são ponderados pelo nível mais elevado da suscetibilidade.

Quadro 18 – Suscetibilidade criterial nível 2 - PS

Pontos Critérios	PS05	PS06	PS26	PS28	PS31	PS35	PS36
Geologia	BSF						
Peso	2	2	2	2	2	2	2
Solo	PV7	PV7	PV7	PV3	PV7	PV3	PV3
Peso	4	4	4	4	4	4	4
Cobertura e uso da terra	AUR						
Peso	4	4	4	4	4	4	4

Declividade %	8 - 20	3 - 8	3 - 8	8 - 20	3 - 8	3 - 8	3 - 8
Peso	2	1	1	2	1	1	1
Curvatura	R/D	R/D	R/D	R/D	R/C	R/D	R/D
Peso	1	1	1	1	3	1	1
AHP	2,19	1,84	1,84	2,19	2,46	1,84	1,84
Nível de suscetibilidade	2	2	2	2	2	2	2

Fonte: Autor (2022)

A declividade apresentou nivelamento de suscetibilidade baixo, ocorrendo apenas em dois pontos o nível 2 (PS05 e PS28) (Figura 18). Importante destacar que o PS05 se caracteriza pela intervenção do poder público com a construção de um muro de arrimo concretado.

Figura 18 – OS05: Muro de arrimo com manta de concreto após escorregamento; PS28: Escorregamento em talude de corte em área de expansão urbana desordenada



Fonte: Autor

Sobre a curvatura, apenas o PS31 (Figura 19) apresentou um comportamento diferente dos demais, visto que os 6 pontos foram classificados com a geometria Retilínea/Divergente, representada pelo nível 1 de suscetibilidade. O ponto em destaque se enquadrou no nível 3, devido a forma Retilínea/Divergente. Essa característica promoveu um aumento no valor da álgebra, culminando na suscetibilidade em 2,46, limite para o nível alto (3) da suscetibilidade, sendo esse demarcado pelo intervalo de 2,47 a 3,22.

Figura 19 – Escorregamento do PS31 em encosta com sucessivos taludes de corte em aterros



Fonte: Autor

O nível 3 de suscetibilidade dentre os Pontos da Superintendência (PS), representando quase 70% (25 eventos de 36 registros) das incidências, reuniu sobremaneira as ocorrências do nível de suscetibilidade elencado por hora (Quadro 19), além de oscilarem entre 2,78 e 3,2 no AHP. Geologia, solo e cobertura e uso da terra se comportaram de modo semelhante devido a uniformidade dos seus subcritérios e seus respectivos pesos para a suscetibilidade. Para esse recorte de análise, tanto a declividade como a curvatura apresentaram variações significativas para o nivelamento da suscetibilidade.

Na geologia, como era previsto, os pontos foram identificados pelo Belém do São Francisco, excetuando-se o PS23. Esse está localizado nos Granitoides brasileiros indiscriminados, questão previamente abordado na introdução desse capítulo, classificado pelo nível mais baixo da suscetibilidade.

O solo se comportou semelhante ao critério anterior ao concentrar as incidências no PV7. Sinaliza-se apenas um ponto (PS12) demarcado no PV3. Ainda assim, ambos estão classificados pelo nível 4 da suscetibilidade, não evidenciando alterações na ponderação final do nivelamento da suscetibilidade.

Quadro 19 – Suscetibilidade criterial nível 3 - PS

Pontos Crítérios	PS01	PS02	PS03	PS04	PS07	PS08	PS09	PS11	PS12	PS13	PS15	PS16	PS18	PS19	PS20	PS21	PS22	PS23	PS24	PS27	PS29	PS30	PS32	PS33	PS34
Geologia	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	GIB	BSF						
Peso	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
Solo	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV3	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7	PV7
Peso	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Cobertura e uso da terra	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR
Peso	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Declividade %	8 - 20	8 - 20	20 - 45	45 - 75	20 - 45	20 - 45	20 - 45	20 - 45	20 - 45	20 - 45	8 - 20	>75	8 - 20	20 - 45	8 - 20	45 - 75	8 - 20	>75	20 - 45	45 - 75	45 - 75	45 - 75	20 - 45	20 - 45	20 - 45
Peso	2	2	3	4	3	3	3	3	3	2	4	2	3	2	4	2	4	3	4	4	4	3	3	3	3
Curvatura da encosta	R/P	CC/P	R/P	R/P	C/P	R/P	R/D	R/C	R/P	CC/D	R/P	R/P	R/D	C/D	R/P	R/P	R/D	R/P	R/P	C/D	C/D	R/C	R/P	CC/D	C/D
Peso	2	4	2	2	1	2	1	3	2	3	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	3	2	3	2
AHP	2,5	3,12	2,85	3,2	2,54	2,85	2,54	3,16	2,85	2,81	3,2	2,5	2,54	2,5	3,2	2,5	2,89	2,78	3,2	3,2	3,2	3,16	2,85	3,16	2,85
Nível de suscetibilidade	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Fonte: Autor (2022)

A área urbanizada, subcritério da cobertura e uso da terra, foi unanimidade também para esse recorte de análise, como era esperado. Enfatiza-se que o critério em questão, no AHP assume o terceiro peso mais relevante (0,15) e quando associado ao subcritério abordado nesta análise, classificado pelo nível 4 de suscetibilidade, impacta significativamente no resultado da álgebra.

Quanto aos critérios distintos do padrão apresentado até o presente momento, constatou-se que há um equilíbrio entre os subcritérios da declividade e curvatura da encosta atuando com pesos alternados. Como tais critérios são os mais imponentes na álgebra do AHP, tal variação controlou os índices culminando na manutenção dos pontos listados no nível 3 da suscetibilidade aos escorregamentos.

Pondera-se também que apesar da distribuição dos eventos por todas as declividades listadas, houve uma maior concentração de escorregamentos entre 20% e 45%, totalizando 14 eventos (38,9%), e na sequência 8 eventos registrados entre 8% e 20%, correspondendo à 22,2% de concentração. Destaca-se que tais classes não estão inseridas no nível mais crítico à suscetibilidade, estando associadas aos níveis 3 e 2, respectivamente. Isso converge com as percepções de Fernandes (*et al.*, 2001), Lopes (2006), Fernandes e Amaral (2009), Pinto, Passos & Caneparo (2013) ao afirmarem que os escorregamentos ocorrem em maior recorrência em declividades medianas e não em classes extremas.

No tocante à curvatura da encosta também houve concentração, contudo em níveis classificados de forma mais branda. 12 eventos (33,3%) em geometria retilínea-planar, correspondendo ao nível 2 de suscetibilidade, e 9 ocorrências (25%) em formas retilíneas-divergentes, concatenada ao nível mais baixo de suscetibilidade. Ainda que estejam em níveis mais baixos, a quantidade se associa ao entendimento de Lopes (2006) quando correlaciona a geometria retilínea à incidência de escorregamentos translacionais. Bem como a redução das ocorrências em curvatura convexa-planar, sugerida por Dikau (1990), Lopes (2006), Fernandes e Amaral (2009), Stabile (*et al.*, 2013), GEGEP (2014) e Lamberty (2018), e identificado apenas um escorregamento.

Nesse sentido, chama a atenção as ações antrópicas aguçando a declividade através dos taludes de cortes nas encostas, modificando a geometria (retificando) e alterando significativamente a morfodinâmica da paisagem ocupada (Figura 20). Tais intervenções ocorrem exacerbadamente com cortes de taludes em quase 90° e com construções entalhadas nos respectivos cortes, demasiadamente próximas ao sopé do talude de corte (Figura 21).

Figura 20 – Modificação da encosta por moradias com destaque aos escorregamentos PS21 e PS32



Fonte: Autor

Figura 21 – PS16 (à direita) e talude de corte verticalizado (centro)



Fonte: Autor

O nível 4 obteve quatro ocorrências (Figura 22), as quais variaram entre 3,47 e 3,82 no AHP. A análise criterial revelou que todos os pontos estão inseridos em um contexto bastante similar, visto que apresentam os mesmos condicionantes geológico, pedológico e de cobertura e uso da terra. Há uma variação na tipificação da curvatura da encosta e da declividade, variando entre os níveis 3 e 4 de suscetibilidade (Quadro 20).

Figura 22 – Escorregamentos PS10, PS14, PS17 e PS25 em área urbana sob instalação urbana desordenada



Fonte: Autor

Contrapondo-se aos PS, os pontos oriundos do inventário (PI) apresentaram uma significativa diversidade de subcritérios, quando se comparou àqueles que demonstraram maior uniformidade dentre os PS. Essa constatação se sustenta na variabilidade de subcritérios identificados na geologia, pedologia e cobertura e uso da terra, os mesmos condicionantes sem maiores diversidades quando analisados na etapa anterior.

Quanto aos subcritérios, a geologia revelou uma maior variação estrutural e, conseqüentemente, no nivelamento da suscetibilidade. Os pontos estavam demarcados pelos Granitoides brasileiros indiscriminados, Itaporanga, o complexo Belém do São Francisco e os depósitos Aluvionares recentes. Apenas Salgadinho e os depósitos Fluvio-lagunares recentes

não foram registrados. O mesmo padrão diversificado se seguiu nos subcritérios pedológicos, com a presença de Área Urbana, G1, LA9 e PV7.

Quadro 20 – Suscetibilidade criterial nível 4 - PS

Pontos Critérios	PS10	PS14	PS17	PS25
Geologia	BSF	BSF	BSF	BSF
Peso	2	2	2	2
Solo	PV7	PV7	PV7	PV7
Peso	4	4	4	4
Cobertura e uso da terra	AUR	AUR	AUR	AUR
Peso	4	4	4	4
Declividade %	> 75	45 - 75	20 - 45	20 - 45
Peso	4	4	3	3
Curvatura da encosta	R/C	R/C	CC/C	CC/P
Peso	3	3	4	4
AHP	3,51	3,51	3,47	3,47
Nível de Suscetibilidade	4	4	4	4

Fonte: Autor (2022)

Na cobertura e uso da terra houve singular diferenciação quando comparada à uniformidade dos PS, visto que nos PI, além da proeminência dos eventos em áreas urbanizadas, verificou-se também escorregamentos nas áreas florestais, em culturas temporárias e permanentes.

Dentre os parâmetros morfométricos, na declividade registrou-se eventos em todas as classes. Diferentemente da curvatura da encosta, a qual não houve escorregamentos demarcados nas classes côncavas-planar (nível 4) e convexa-convergente (nível 2).

Em síntese, considerando os eventos acerca dos subcritérios, constata-se, na geologia, maior incidência no complexo rochoso Belém de São Francisco com 20 ocorrências (76,92%), no solo, 15 eventos (57,69%) no PV7, na cobertura e uso da terra, 13 ocorrências (50%) em áreas urbanas, na declividade, 13 pontos (50%) entre 20% e 45% e na curvatura, 8 escorregamentos (30,76%) na geometria retilínea-planar.

Considerando a distribuição dos eventos acerca dos níveis de suscetibilidade, os PI também se concentram no nível 3 (61,54%) e no nível 2 (26,92%) (Quadro 21). Houve uma sutil discordância em relação à hierarquia estabelecida nos PS em comparação aos níveis 1 e 4,

visto que o primeiro apresentou 2 eventos, perfazendo 7,69%, enquanto o nível 4 abarcou apenas 3,85%, com apenas uma ocorrência.

Quadro 21 – Escorregamentos translacionais – Pontos do Inventário (PI)

NÍVEL	Pontos do Inventário (PI)	Porcentagem (%)
1	2	7,69
2	7	26,92
3	16	61,54
4	1	3,85
TOTAL	26	100

Fonte: Autor (2022)

Na observância individualizada dos escorregamentos por nível de suscetibilidade, pondera-se que PI46 e PI53 (Figura 23) correspondem às únicas evidências em áreas de níveis mais baixos, oscilando entre 1,70 e 1,72 no AHP, respectivamente. Ainda que estivessem com a cobertura florestal preservada e em um recorte de baixa declividade (Quadro 22). Observa-se também solos opostos na contribuição aos escorregamentos, materializados no PV7, como nível 4 de suscetibilidade, e o G1, nível mais baixo ao escorregamento.

Figura 23 – Escorregamentos do PI46 e PI53 em área de cobertura florestal e com indícios de retomada da vegetação na cicatriz



Fonte: Autor.

O referido ponto foi mapeado como Área florestal no AHP, entretanto a incursão ao campo constatou a interferência antrópica materializada no corte do talude. Isso reconfigurou a classificação na álgebra do AHP, ainda que tal fato antrópico fosse pontual, à princípio.

Destaca-se que a retirada abrupta do material, reduz o suporte estrutural basilar da encosta, promovendo um ajuste mecânico na encosta através do escorregamento. Esse raciocínio também se alicerçou na ausência de outras evidências próximas aos dois pontos

inventariados, sugerindo que tais ocorrências estariam associadas a questões pontuais sobre a remodelagem da paisagem através das ações humanas.

Quadro 22 – Suscetibilidade criterial nível 1 - PI

Pontos	PI46	PI53
Geologia	BSF	BSF
Peso	2	2
Solo	PV7	G1
Peso	4	1
Cobertura e uso da terra	AF	AF
Peso	1	1
Declividade %	3 - 8	8 - 20
Peso	1	2
Curvatura da encosta	R/P	R/P
Peso	2	2
AHP	1,70	1,72
Nível de Suscetibilidade	1	1

Fonte: Autor (2022)

O nível 2, variando nos resultados do AHP em 1,98 e 2,45, reuniu 7 pontos (PI37, PI38, PI40, PI47, PI48, PI51 E PI58) correspondendo a 26,92% das ocorrências, sendo o segundo nível em números de escorregamentos, semelhante ao PS. Introdutoriamente verificou-se uma variabilidade considerável dentre os subcritérios, o que dificultou a análise individualizada. Entretanto, fomentou a importância da álgebra do AHP sobre a compreensão mais lógica da suscetibilidade em meio a ambientes mais complexos devido a variedade de condicionantes e as possibilidades relacionais na deflagração de tais eventos geomorfológicos.

Nesse sentido, a análise individualizada dos critérios (Quadro 23) permitiu observar, mais uma vez, a proeminência de escorregamentos no complexo rochoso do Belém do São Francisco (BSF), correspondendo a 57,14% ou 4 eventos, demarcados pelo nível 2 de suscetibilidade. Registrou-se também a presença de dois eventos estruturados pelos Granitoides indiscriminados brasileiros e um na Itaporanga, estando esses no nível mais brando da suscetibilidade, perfazendo 28,57% e 14,28%, respectivamente. Enquanto a pedologia se comportou de maneira bastante dicotômica ao abarcar 4 eventos (57,14%) no nível mais baixo e 3 (42,86%) no nível mais elevado. O G1 teve uma incidência maior, com 3 eventos, enquanto a área urbana validou apenas uma ocorrência, tudo nas classes niveladas pela menor suscetibilidade. O nível 4 se distribuiu entre duas ocorrências no PV3, com 28,57%, e apenas um com o PV7 (14,28%).

Quadro 23 – Suscetibilidade criterial nível 2 - PI

Pontos Critérios	PI37	PI38	PI40	PI47	PI48	PI51	PI58
Geologia	GIB	GIB	BSF	BSF	BSF	BSF	ITA
Peso	1	1	2	2	2	2	1
Solo	PV3	PV3	PV7	G1	G1	AU	G1
Peso	4	4	4	1	1	1	1
Cobertura e uso da terra	AF	AF	AF	AUR	AUR	AUR	CT
Peso	1	1	1	4	4	4	4
Declividade %	8	8	20	8	20	3	20
	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	45	20	45	8	45
Peso	2	2	3	2	3	1	3
Curvatura da encosta	C/D	R/P	C/P	R/P	R/D	CC/D	R/P
Peso	2	2	1	2	1	3	2
AHP	1,98	1,98	2,09	2,17	2,21	2,13	2,45
Nível de Suscetibilidade	2	2	2	2	2	2	2

Fonte: Autor (2022)

A divergência tipológica dentre os critérios e que culmina nos sete pontos permanecerem na mesma classe de suscetibilidade continua na análise de cobertura e uso da terra, onde houve uma inversão de intensidade quando se compara com o nivelamento obtido no critério pedológico. Ocorre a concentração nos níveis mais elevados, correspondendo exatamente aos pontos que anteriormente tinham representado o nível mais incipiente. Nesse sentido, com três pontos dispostos em áreas urbanas e um em culturas temporárias, somam-se 57,14% no nível 4. Enquanto a área florestal, com três evidências, agrupa 42,86% das ocorrências.

Os PI37 (Figura 25), PI 38 (Figura 24) e PI40 (Figura 26), ainda que mapeados em ambientes florestais, estão localizados em cortes de talude para abertura de estradas ou descampados para uso não identificado. O método interposto configura um corte de talude bastante íngreme. Tal ação, desestabiliza a encosta, processo esse atrelado à proximidade do material rochoso à superfície, especificamente no caso do PI40, deliberando uma aceleração na dinâmica da superfície cisalhante entre o material sedimentar e a superfície rochosa.

Figura 25 – Escorregamento PI37 em ambiente de corte de talude seguido de área descampada provavelmente oriunda de mineração



Fonte: Autor

Figura 24 – Escorregamento PI38 em corte de talude para abertura de estrada



Fonte: Autor

Figura 26 – Escorregamento PI40 em área de mineração e abertura de estrada



Fonte: Autor

Ainda que nesse contexto, correspondem aos pontos de menor suscetibilidade dentre o nivelamento do AHP para o nível 2. Diferentemente dos pontos mais suscetíveis agrupados pelo nível quatro, tipificados entre áreas urbanas (PI47, PI48 E PI51) e culturas temporárias (PI58), sendo decisivo na elevação do nivelamento.

No âmbito das áreas urbanas, os eventos apresentaram uma condição de cortes de talude íngremes e moradias apenas na parte superior ou inferior, alternando-se com superfícies aplainadas e impermeabilizadas por asfalto/concreto, como é possível observar no PI51 (Figura 27).

Acerca das culturas temporárias, o PI58 (Figura 28) também apresentou o padrão de escorregamentos no talude de corte para abertura de estradas. Isso demonstra uma associação regular entre as intervenções antrópicas no quesito de cortes de encostas para abertura de vias e eventos de escorregamentos.

Figura 27 – Escorregamento PI51 em um contexto de talude de corte e aterro acrescido por vazamento de água servida



Fonte: Autor

Figura 28 – Escorregamento PI58 em talude de corte em plantação de cana-de-açúcar



Fonte: Autor

A declividade distribuiu-se entre os níveis 1, 2 e 3 de suscetibilidade. O nível mais brando (3% - 8%) representou apenas um evento (14,28%), correspondendo ao já citado PI51. Com 42,86% (três eventos) cada, aparecem os níveis 2 (8% - 20%) e 3 (20% - 45%).

Quanto à curvatura, a maior projeção se deu no nível 2 de suscetibilidade, representado pela geometria convexa-divergente (CD) e retilínea-planar (R/P), somando 1 e 3 ocorrências, e bem distribuídas na classificação final do AHP. O nível 1 compreendeu a duas ocorrências (28,57%), performadas pela convexa-planar (C/P) e retilínea-divergente (R/D). A côncava-divergente (CC/D), atrelada ao nível mais elevado dentre as listadas, obteve apenas um evento (14,28%).

Portanto, o nível 2 de suscetibilidade dos pontos inventariados (PI) revela uma maior participação da cobertura e uso da terra na composição do AHP e na deflagração dos eventos. Sobretudo na redução da suscetibilidade em áreas florestais e detrimento das áreas atravessadas pela ação antrópica, seja pelo avanço da urbanização ou pela técnica agropecuária no âmbito das culturas temporárias (cana-de-açúcar).

O nível 3 de suscetibilidade aos escorregamentos variou no AHP entre 2,48 até 3,20 e somou 16 eventos (Quadro 24). Esse montante corresponde a 61,54% de todos os escorregamentos do PI, convergindo com os parâmetros encontrado também nos PS.

Na análise individualizada dos critérios percebe-se a proeminência dos eventos na estrutura geológica do complexo rochoso Belém de São Francisco, totalizando 14 ocorrências (87,5%). Os Granitoides indiscriminados brasileiros complementam com duas ocorrências.

Na pedologia há uma homogeneidade ainda maior no subcritério PV7, que reuniu 15 ocorrências (93,75%), emergindo apenas um ponto mapeado como área urbana. Ressalta-se que o PV7 corresponde ao nível mais alto de suscetibilidade e regularmente se localiza na paisagem nas encostas. Desse modo, há uma confluência do condicionante mecânico do solo e a ocorrência significativa de escorregamentos.

O mesmo padrão foi verificado na cobertura e uso da terra, quando se observa o nivelamento dos subcritérios, visto que 93,75% se concentraram no nível 4 de suscetibilidade. Entretanto, essa classe se distribuiu entre 10 pontos urbanos (62,50%), 4 (25,00%) em culturas temporárias e 1 (6,25%) em culturas permanentes. Destaca-se apenas PI57 (Figura 29) que vislumbrou a área florestal, sendo essa classificada no nível mais baixo de suscetibilidade. Esse escorregamento chama a atenção pelo perímetro próximo ser recoberto por uma área florestada. Porém, há um talude de corte objetivando acesso de veículo, além da área ao redor se utilizada para culturas temporárias (cana de açúcar), incluindo a parte superior do tabuleiro.

Quadro 24 – Suscetibilidade criterial nível 3 - PI

Pontos Critérios	PI39	PI42	PI43	PI44	PI45	PI49	PI50	PI52	PI54	PI55	PI56	PI57	PI59	PI60	PI61	PI62
Geologia	BSF	GIB	GIB	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF	BSF							
Peso	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
Solo	PV7	AU	PV7													
Peso	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4
Cobertura e uso da terra	AUR	CP	CT	CT	CT	CT	AUR	AUR	AUR	AUR	AUR	AF	AUR	AUR	AUR	AUR
Peso	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4
Declividade %	20	20	20	20	8	20	8	8		20	20	20	20		20	45
	-	-	-	-	-	-	-	-	> 75	-	-	-	-	> 75	-	-
	45	45	45	45	20	45	20	20		45	45	45	45		45	75
Peso	3	3	3	3	2	3	2	2	4	3	3	3	3	4	3	4
Curvatura da encosta	CC/D	R/D	R/C	R/D	CC/D	C/P	C/D	R/C	R/P	C/D	R/P	R/C	C/D	R/D	R/D	R/P
Peso	3	1	3	1	3	1	2	3	2	2	2	3	2	1	1	2
AHP	3,16	2,54	3,16	2,54	2,81	2,54	2,50	2,48	3,13	2,78	2,85	2,71	2,85	2,89	2,54	3,20
Nível de Suscetibilidade	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Fonte: Autor (2022)

Figura 29 – Escorregamento PI57 em corte de estrada inserido em ambiente florestal



Fonte: Autor

O parâmetro da declividade apresentou uma maior recorrência entre 20% e 45%, correspondendo ao nível 3 de suscetibilidade dentre os subcritérios. Essa classe reuniu onze eventos, o que corresponde a 68,75%. Os demais eventos foram registrados nas declividades entre 8% e 20%, com três ocorrências (18,75%), e maiores que 75%, com dois pontos (12,5%). Mais uma vez a declividade do nível 3 apareceu com significativa presença numérica, corroborando com as afirmações de Fernandes *et al.* (2001), Lopes (2006), Fernandes e Amaral (2009), Pinto, Passos & Caneparo (2013).

Na curvatura observou-se uma diversificação na distribuição dos níveis e das formas. Entre os níveis, apenas o 4 não foi representado. Quanto às formas, para cada nível registrou-se duas geometrias distintas. Ainda que de forma equilibrada, o nível 2 de suscetibilidade registrou seis eventos (37,5%), sendo três em convexa-divergente e três em retilínea-planar. O nível 3 apresentou cinco ocorrências, estando três em retilínea-convergente e duas em côncava-divergente. O nível mais brando de suscetibilidade também registrou cinco ocorrências, sendo quatro em retilínea-divergente e uma em convexa-planar.

O nível 4 dos PI foi representado apenas por um evento (PI41), o qual seguiu o padrão estabelecido na geologia, com Belém de São Francisco, mesmo esse complexo rochoso estando no nível 2 da suscetibilidade entre os subcritérios dessa classe. Como era previsível para a

suscetibilidade mais crítica, os demais critérios foram representados por subcategorias de níveis mais elevados. Com isso, o solo registrou o PV7 e a cobertura e uso da terra foi contemplada pelas culturas temporárias.

Dentre os parâmetros morfométricos, a declividade registrou de 45% a 75% e a curvatura na geometria côncava-convergente, ambos no nível mais elevado de suscetibilidade. Tal conjuntura registrou o nível mais elevado na álgebra do AHP, resultando em 3,82 (Quadro 25).

Quadro 25 – Suscetibilidade criterial nível 4 - PI

Critérios	Ponto	PI41
Geologia		BSF
Peso		2
Solo		PV7
Peso		4
Cobertura e uso da terra		CT
Peso		4
Declividade %		45 - 75
Peso		4
Curvatura da encosta		CC/C
Peso		4
AHP		3,82
Nível de Suscetibilidade		4

Fonte: Autor (2022)

Ao final desse processo analítico, notou-se concentrações de eventos em alguns subcritérios, ainda que de forma individualizada. Em caráter de culminância, almejando uma compreensão mais holística dos eventos e seus condicionantes em prol de um retrato mais próximo do comportamento da paisagem sobre os escorregamentos, na sequência aborda-se os dados do PS e PI de forma consolidada.

Sobre os eventos e os níveis de suscetibilidade houve uma concentração significativa no nível 3 (64,52%), seguido pelo nível 2 (24,19%), totalizando 88,71% de todos os eventos (Tabela 13). O nível 1 seguiu apenas com dois eventos (3,23%), devidamente discutidos e sem maiores ponderações, e o nível 4 com cinco ocorrências (8,03%).

Ao focar na incidência dos eventos a partir da subdivisão dos critérios, observa-se concentrações e tendências, por vezes, muito claras. Isso se revela, por exemplo, no condicionante geológico, ao concentrar 90,32% das ocorrências no complexo rochoso do Belém de São Francisco (Gráfico 1). Cabe destacar que a referida unidade geológica abarca 55,99% da área e que as unidades com a menor probabilidade para tais processos (Aluvionares recentes

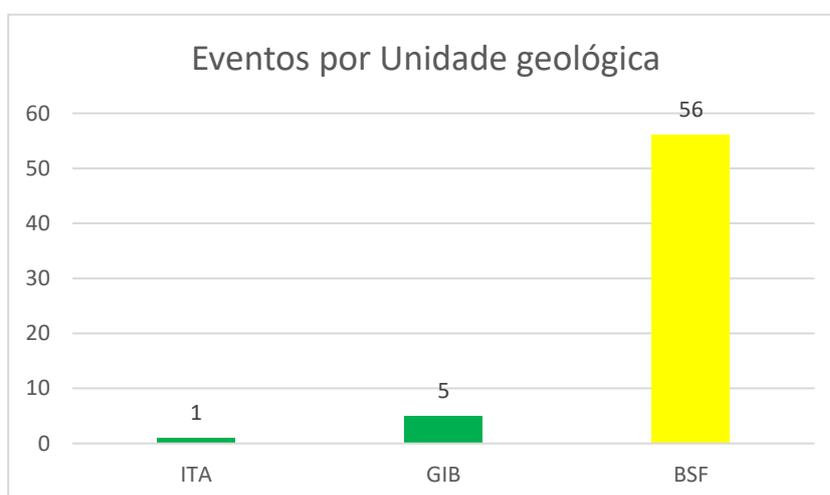
e Flúvio-lagunares recentes) somam 8,53%, sobrando uma porção de 34,17% das demais unidade possíveis (Granitoides indiscriminados brasileiros, Itaporanga e Salgadinho).

Tabela 13 – Consolidado dos escorregamentos (PS e PI)

NÍVEL	PS	PS%	PI	PI%	TOTAL	%
1	0	0,00	2	3,23	2	3,23
2	7	11,29	8	12,90	15	24,19
3	25	40,32	15	24,19	40	64,52
4	4	6,45	1	1,61	5	8,06
TOTAL	36	58,06	26	41,94	62	100

Fonte: Autor (2022)

Gráfico 1 – Escorregamentos por Unidade geológica



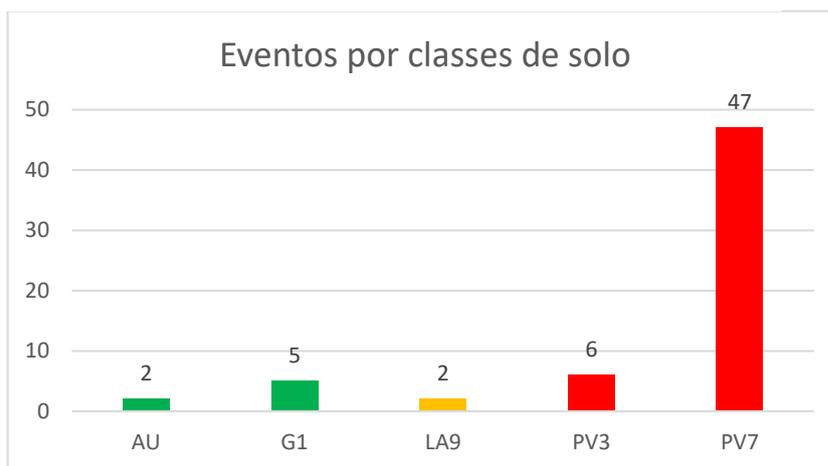
Fonte: Autor (2022)

Ainda que a área de estudo apresente oito unidades geológicas, abarcando as três Eras geológicas, Belém do São Francisco (55,99%) e os Granitoides Indiscriminados brasileiros (24,07%) reúnem aproximadamente 80% da área. Itaporanga (7,32%), Aluvionares recentes (7,27%), Salgadinho (2,78%) e Flúvio-lagunares recentes (1,26%) concluem tais unidades, conforme abordado no tópico 3.1.1.

Além da concentração evidente, há também uma unanimidade quanto aos eventos nas estruturas cristalinas, em seus respectivos saprólitos ou solos residuais. Tal evidência corrobora com os resultados apresentados por Ramos (2019) e Xavier, Listo e Nery (2022), mas se conflita com a metodologia proposta do IBGE (2019). Essa constatação pode regular futuras ponderações acerca das unidades geológicas e seu nivelamento quanto à suscetibilidade aos escorregamentos na área estudada, sendo essas unidades mais suscetíveis.

No âmbito pedogenético, ainda que com cinco classes representadas, houve proeminência na PV7 com 47 evidências (75,81%) (Gráfico 2). Ao considerar o nível 4, a concentração sobe para 85,48%. O resultado não causa surpresa, visto a relação direta entre a posição dos referidos solos na paisagem, assim como os escorregamentos, na porção medial da encosta.

Gráfico 2 – Escorregamentos por classes de solo

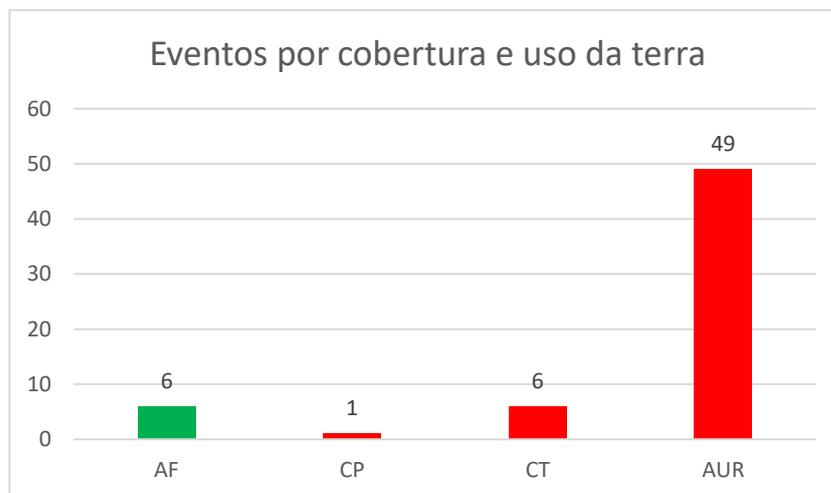


Fonte: Autor (2022)

Na mesma direção dos critérios anteriores, a cobertura e uso da terra também apresentou escorregamentos concentrados, sobretudo nas áreas urbanas, perfazendo 49 eventos (79,03%) (Gráfico 3). Destaca-se que esse critério se dividiu, ainda que de forma desproporcional, entre 56 (90,32%) eventos no nível mais elevado da suscetibilidade e 6 (9,68%) no nível mais baixo. Ainda que os dados mais robustos estejam coerentes e ratifiquem o quão a intervenção antrópica participa da deflagração dos eventos, pondera-se as seis ocorrências em áreas previamente mapeadas como florestais, mas identificadas, no campo, com intervenções antrópicas no que diz respeito ao corte do talude.

Nesse sentido, os resultados encontrados estão em linha com Bigarella (*et al.*, 2003), Vanacôr e Rolim (2012), FIDEM (2003) e Santos, Mendes e Valério Filho (2015) quando sinalizam a propensão aos escorregamentos em áreas sem cobertura vegetal, áreas desmatadas. Bem como na intervenção antrópica em cortes verticais para ampliação de moradias ou abertura de estradas, assim como plantio inadequado.

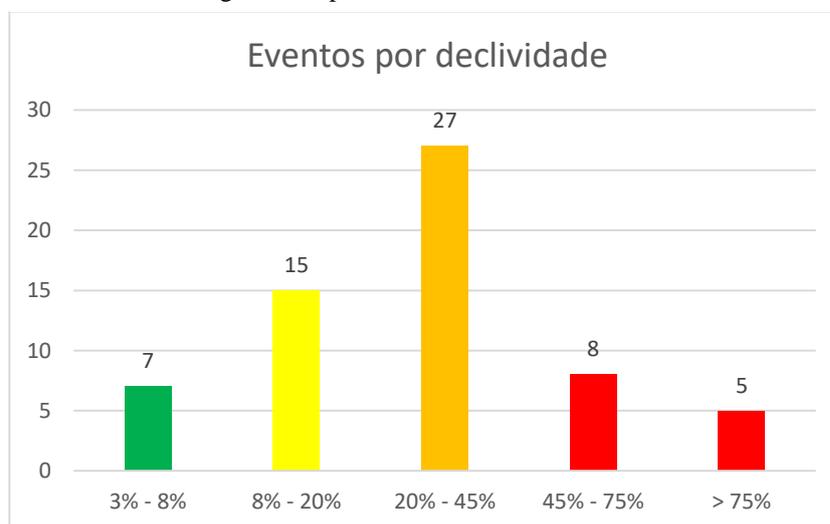
Gráfico 3 – Escorregamentos por tipo de cobertura e uso da terra



Fonte: Autor (2022)

Na declividade houve uma distribuição mais equilibrada, quando comparada aos outros critério não morfométricos (Gráfico 4). Ainda assim, é possível constatar uma concentração significativa de 43,55% (27 eventos) entre 20% e 45% de declividade, intervalo associado ao nível alto de suscetibilidade.

Gráfico 4 – Escorregamentos por intervalos de declividade



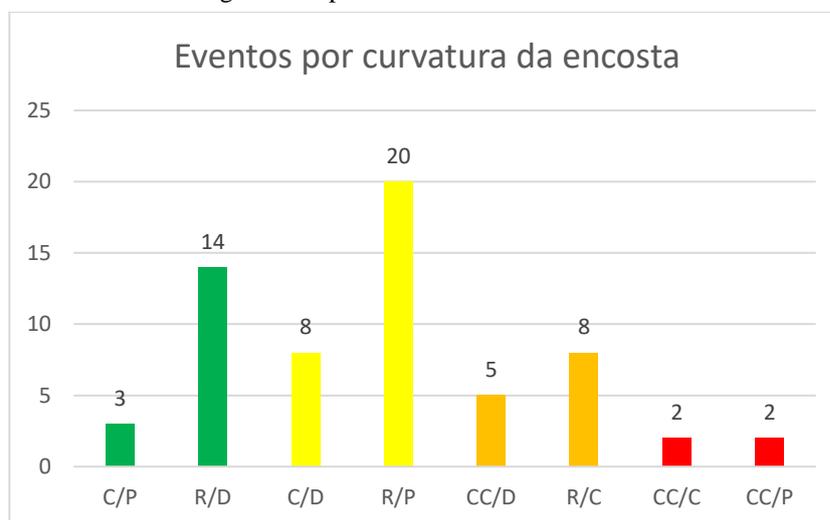
Fonte: Autor (2022)

Esse resultado majoritário consolida as proposições de Fernandes *et al.* (2001), Lopes (2006), Fernandes e Amaral (2009), Pinto, Passos & Caneparo (2013) quando afirmam sobre a concentração dos escorregamentos acontecerem em declividades entre 38,39% - 44,52%, sendo estas inferiores às métricas máximas. Tal constatação é de extrema relevância no que cerne ao processo de futuros mapeamentos e, porventura, na readequação do nível de suscetibilidade

desse critério para fins distintos da metodologia do AHP. Além disso, pondera-se também o intervalo entre 8% e 20% com 15 eventos, correspondendo a 24,19%. Tais resultados denunciam uma tendência para ocorrências em declividades mais reduzidas no âmbito geral.

À curvatura da encosta apresentou o maior número de variáveis ainda que concentrando os eventos no nível 2 de suscetibilidade, composto pelas geometrias retilínea-planar, com 20 eventos (32,26%) e convexa-divergente, com 8 eventos (12,9%), totalizando 28 ocorrências (45,16%) (Gráfico 5). Em caráter isolado, o segundo maior nível de concentração correspondeu à retilínea-divergente com 14 eventos (22,58%). Entretanto, essa curvatura se insere no nível mais baixo da suscetibilidade. Com isso, atesta-se as afirmações de Lopes (2006), quando pondera sobre as moires propensões aos escorregamentos nos perfis retilíneos.

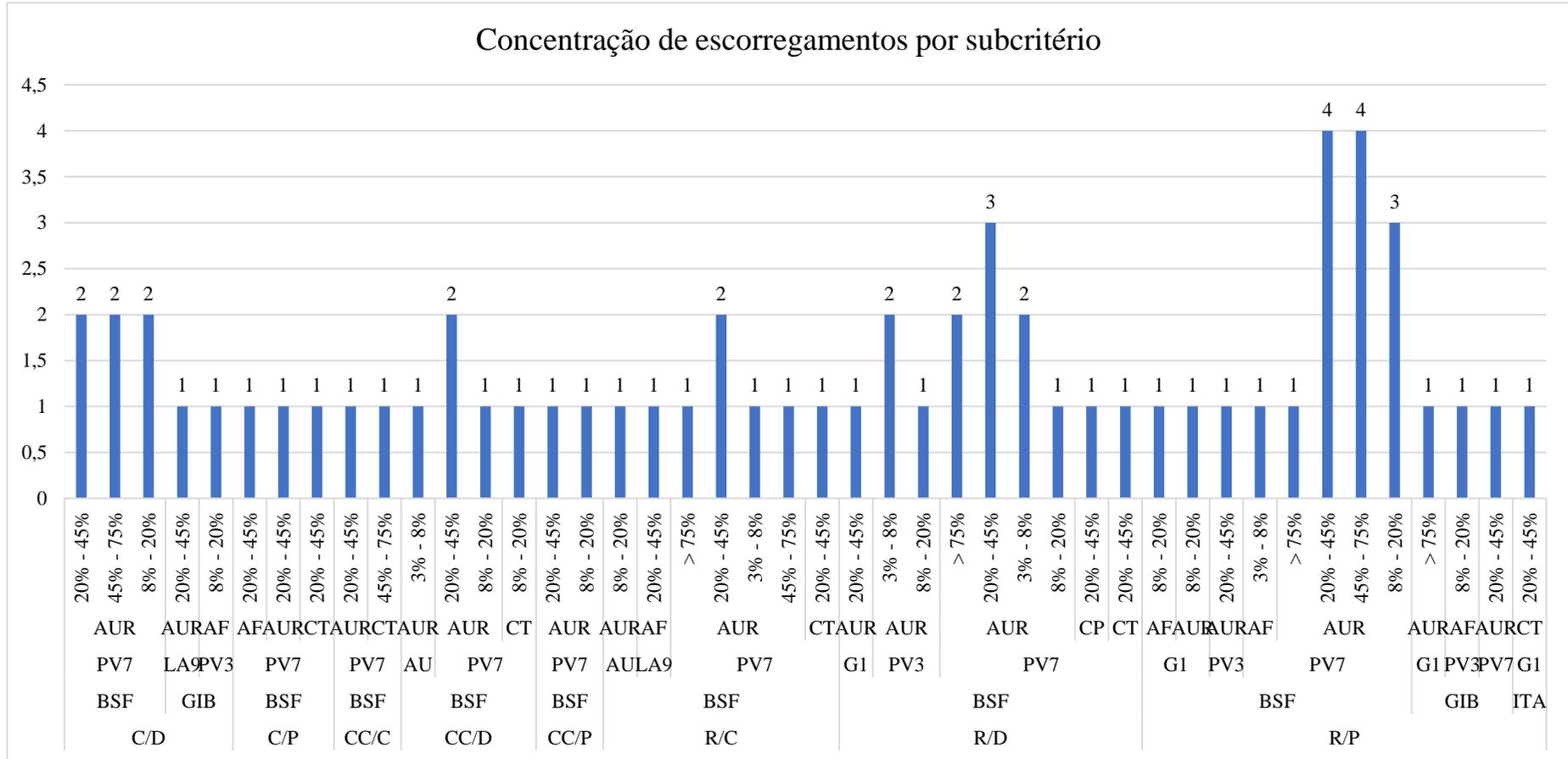
Gráfico 5 – Escorregamentos por curvatura da encosta



Fonte: Autor (2022)

Vislumbrando uma interpretação mais clara da incidência dos escorregamentos através da concentração de todos os subcritérios, propõe-se um alinhamento que seja capaz de classificar as ocorrências e suscitar um ordenamento lógico. A partir dessa proposta foi possível perceber com mais clareza a concentração, estando a suscetibilidade mais propícia: na geologia, no complexo Belém de São Francisco; no solo, no PV7; na cobertura e uso da terra, nas áreas urbanizadas; na declividade, variando entre 20% e 45% e na curvatura da encosta, na retilínea podendo estar associada à planar, divergente ou convergente (nessa ordem de importância) ou na formação convexa-divergente (Gráfico 6).

Gráfico 6 – Escorregamentos associados à incidência dos subcritérios



Fonte: Autor (2022)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A suscetibilidade aos escorregamentos translacionais da Regional 01 – Jabotão Centro, avaliada através dos parâmetros geológico, pedológico, de cobertura e uso da terra, da declividade e da curvatura da encosta, revelaram, na análise individualizada dos critérios, a concentração de maior suscetibilidade (nível muito alto) no critério de cobertura e uso da terra (73,84%) e solo (44,34%). A declividade também apresentou um número expressivo no mesmo nível de suscetibilidade (26,21%), mas a incidência foi superada pelo nível alto (42,71%).

Ao observar a hierarquização dos critérios do AHP com os pressupostos teóricos verifica-se um alinhamento. De modo que, nessa ordem de importância, declividade, curvatura e cobertura e uso da terra perfilaram entre os maiores índices na deliberação da suscetibilidade dentro da álgebra.

Sobre a suscetibilidade expressa no mapa a partir do AHP e os pontos de campo investigados houve correspondência significativa na proporcionalidade dos níveis de suscetibilidade encontrados no mapa e os dados de campo. Pois, o resultado do AHP apontou 38,7% no nível médio e 58,03% no nível alto. Os pontos demonstraram 24,19% no nível médio e 64,52% no nível alto. Logo, ambos concentrados nos níveis médio e alto.

Fica evidente que o tipo do uso da terra pela atividade humana, em especial no processo de ocupação urbana desordenada e no plantio de culturas temporárias, contribuiu para a deflagração de escorregamentos. Portanto, em se tratando de uma área de expansão urbana, evoluindo com ocupações sem planejamento aparente, sobretudo em espaços outrora cultiváveis, projeta-se um ambiente futuro mais suscetível aos escorregamentos.

Esse cenário é ratificado por 73,53% da área corresponder aos tipos de uso da terra supracitados. Destaca-se as culturas temporárias por estarem nas áreas circundantes ao perímetro urbano, mais vulneráveis à especulação imobiliária.

Isso fica mais complexo na presença significativa dos argissolos em 77,51% dos eventos identificados. Ao associar toda as características listadas aos cortes/aterros nas encostas, proveniente da ação antrópica, modificando a morfodinâmica da paisagem, assim como a consequência dos seus processos, certamente a suscetibilidade a tais eventos ganhará intensidade.

REFERÊNCIAS

- ABEDINI, M.; TULABI, S. Assessing LNR, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 11, p. 1-13, 2018.
- ACHOUR, Yacine *et al.* Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine, Algeria. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, p. 10, 2017.
- ADITIAN, Aril; KUBOTA, Tetsuya; SHINOHARA, Yoshinori. Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. **Geomorphology**, v. 318, p. 101 - 111, Outubro 2018.
- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA - APAC. Bacias hidrográficas: GL2. **APAC**, 2020. Disponível em: http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=37. Acesso em: 05 ago 2020.
- AHRENDT, Adriana. **Movimentos de massa gravitacionais - proposta de um sistema de previsão: aplicação na área urbana de Campos do Jordão - SP**. Tese (Doutorado em Geotecnia) - EESC / USP. São Carlos, p. 390. 2005.
- ALHEIROS, Margareth M. Risco Geológico. In: (PERNAMBUCO), FUNDAÇÃO D. D. M. – . F. **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife**. Recife: [s.n.], 2003. Cap. 3, p. 34-56.
- ALMEIDA, JOANA D. M. D.; ROCHA, ANTONIO C. D. P.; SILVA, OSVALDO G. D. Riscos geomorfológicos e sensibilidade da paisagem na bacia hidrográfica do rio Paratibe (BHRP) – Região Metropolitana do Recife. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 16, n. 1, p. 103-129, jan./jun. 2018.
- ARAUJO FILHO, JOSÉ C. *et al.* **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. 11. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa, 2000. 378 p.
- ARAUJO FILHO, José C. *et al.* **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco**. 11. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Boletim de Pesquisa, 2000. 378 p.
- ASSIS, Laís E. *et al.* Mapping of Geological-Geotechnical Risk of Mass Movement in an Urban Area in Rio Piracicaba, MG, Brazil. **Soils and Rocks**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 57-70, January-March 2020.

- ASSUNÇÃO, PAULO R. S. D. *et al.* **Atlas do meio físico do Município do Jaboatão dos Guararapes - Estado de Pernambuco**. Recife: CPRM/FIDEM, 1997. 26 p.
- AUGUSTO FILHO, O. A.; VIRGILI, J. C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, Antonio M. D. S.; BRITO, Sérgio N. A. D. **Geologia de Engenharia**. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 15, p. 243-269.
- BABAR, M. **Hydrogeomorphology: Fundamentals Applications and Techniques**. Nova Delhi: NIPA, 2005. 274 p.
- BALDISSERA, Ivan T. *et al.* **Características físicas em solos de Santa Catarina sob diferentes sistemas de manejo**. Florianópolis: [S.n.], v. 1, 1994. 416-417 p.
- BANDEIRA, ANA P. N. **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no Município de Camaragibe - PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - PPEC/UFPE. Recife, p. 209. 2003.
- BANDEIRA, ANA P. N. **Parâmetros técnicos para gerenciamento de áreas de riscos de escorregamentos de encostas na região metropolitana do Recife**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - PPGE/UFPE. Recife, p. 340. 2010.
- BERTONI, JOSÉ; LOMBARDI NETO, FRANCISCO. **Conservação do solo**. 3ª. ed. São Paulo: Ícone, 1990. 355p.
- BIGARELLA, João J. *et al.* **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. Florianópolis: UFSC, v. 3, 2003. 877-1436 p.
- BISPO, Carlos D. O. *et al.* Suscetibilidade induzida a escorregamentos, via aplicação do método AHP. **Diversitas Journal**, v. 5, n. 1, p. 298-314, 2020.
- BITAR, O. Y.; ORG. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – Instituto de Pesquisa Tecnológica, Divisão de Geologia, 1995. 247 p.
- BITAR, OMAR Y. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000**. São Paulo: IPT/CPRM, 2014.
- BOTELHO, ROSANGELA G. M.; SILVA, ANTONIO S. D. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, ANTONIO C.; GUERRA, ANTONIO J. T. **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. Cap. 6, p. 153-192.
- BRAGA, Elizabeth; PELOGGIA, Alex U. G.; SANTOS, Antonio M. Análise de risco geológico em encostas tecnogênicas urbanas: o caso do Jardim Fortaleza (Guarulhos, SP, Brasil). **Revista Geociências-UNG**, v. 15, n. 1, p. 27-42, 2016. ISSN 1981-741X.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS - IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Brasília: Ministério das Cidades, 2007. 176 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. **Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios**. Tradução de Org; Celso Santos Carvalho, *et al.* Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p.

BRASILINO, Roberta G.; MIRANDA, Alan W. A. Caracterização litogeoquímica do Complexo Salgadinho na Folha Santa Cruz do Capibaribe (SB.24-Z-D-IV), Província Borborema, Nordeste do Brasil. **XIII Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Gramado, RS, out. 2011. 832-835.

CARMONA, LUIS C. D. M. **Geologia, geoquímica e avaliação econômica do migamatito "Rosa Imperial", domínio meridional da Província Borborema, Nordeste Brasileiro**. Dissertação (Mestrado em Geociências), CTG/UFPE. Recife, p. 202. 2002.

CAROTENUTO, Francesco *et al.* A New Statistical Approach for Landslide Susceptibility Assessment in the Urban Area of Napoli (Italy). In: MIKOS, Matjaz, *et al.* **Advancing Culture of Living with Landslides**. [S.l.]: Springer, Cham, v. 2, 2017. p. 881-889.

CARVALHO, C. M.; RIEDEL, Paulina S. Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo da suscetibilidade a escorregamentos translacionais nos entornos dos polidutos de Cubatão–SP. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Goiânia, p. 16-21, Abril 2005.

CASSOL, ELEMAR A. **Erosão do solo**: influência do uso agrícola, do manejo e preparo do solo. 2ª. ed. Porto Alegre: Instituto de Pesquisa de Recursos Naturais Renováveis Ataliba Paz, v. 15, 1984. 40p.

CASTRO, Antônio L. C. D. **Glossário de Defesa Civil. Estudos de Riscos e Medicina de Desastres**. 5ª. ed. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Civil / Ministério da Integração Nacional, 1998.

CASTRO, Jeanne M. G. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - PROPEC/UFOP. Ouro Preto, p. 138. 2006.

CASTRO, Susana D. A. Riesgos y Peligros: Una visión desde lageografía. **Scripta Nova**, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, n. 60, 2000.

CHRISTOFOLETTI, ANTONIO. **Geomorfologia**. 2ª. ed. São Paulo: Blucher, 1980. 188 p.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de sistemas ambientais**. 1ª. ed. São Paulo: Blucher, 1999.

- CINTRA, FERNANDO L. D.; MIELNICZUK, JOÃO; SCOPEL, IRACI. Caracterização do impedimento mecânico em um Latossolo Roxo do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 7, n. 3, p. 323-327, 1983.
- CLAUDINO-SALES, VANDA. A urgência do Antropoceno. **Revista de Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 6, n. 2, p. 213-222, Jul-Dez 2020. ISSN 2447-3359.
- CRUDEN, David M. A simple definition of a landslide. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 43, n. 1, p. 27-29, 1991.
- CUNHA, SANDRA B.; GUERRA, ANTÔNIO J. T. Degradação Ambiental. In: CUNHA, SANDRA B.; GUERRA, ANTÔNIO J. T. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 7^a. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. Cap. 7, p. 337-379.
- DAI, F. C.; LEE, C. F. Frequency-volume relation and prediction of rainfall-induced landslides. **Engineering Geology**, v. 59, n. 3-4, p. 253-266, 2001.
- DALANHOL, Isabel. **Identificação de áreas suscetíveis a inundações no perímetro urbano de Pato Branco-PR, por meio da integração SIG e AHP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - PPGE/UTFPR. Pato Branco/PR, p. 97. 2020.
- DEBARRY, P. A. **Watershed: processes, assessment and management**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. 700 p.
- DIKAU, Richard. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 2, n. 80, p. 45-55, 1990.
- DUARTE, Cristiana C. **Eventos extremos de chuva e análise da suscetibilidade a movimentos de massa no município do Ipojuca-PE**. Tese (Doutorado em Geografia) - PPGE/UFPE. Recife, p. 275. 2015.
- EL JAZOULI, Aafaf; BARAKAT, Ahmed; KHELLOUK, Rida. 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.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.
- ESMALI, A.; AHMADI, H. Using GIS & RS in mass movements hazard zonation—a case study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran. **Map Asia Conference**, Kuala Lumpur, p. 13-15, October 2003.
- FALSINI, Diego; FONDI, Federico; SCHIRALDI, Massimiliano M. A logistics provider evaluation and selection methodology based on AHP, DEA and linear programming integration. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 17, p. 4822-4829, 2012.

- FARIAS, Rafael F. D. L. **Climatologia de ocorrência de eventos extremos pluviais no município de Jaboatão dos Guararapes/PE e a repercussão dos transtornos provocados na sociedade.** Dissertação (Mestrado em Geografia) - PPGEIO/UFPE. Recife, p. 116. 2016.
- FERNANDES, LUÍS R. P. T. **Influência da Infiltração das Chuvas na Estabilidade de um Talude Natural. Caso de estudo: Camaragibe, Pernambuco, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. Porto, p. 108. 2014.
- FERNANDES, Nelson F. *et al.* Condicionantes Geomorfológicos dos Deslizamentos nas Encostas: Avaliação de Metodologias e Aplicação de Modelo de Previsão de Áreas Susceptíveis. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 51-71, 2001.
- FERNANDES, Nelson F.; AMARAL, Cláudio P. Movimentos de massa: uma abordagem geológico-geomorfológica. In: GUERRA, Antonio J. T.; CUNHA, Sandra B. D. **Geomorfologia e meio ambiente.** 3ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. Cap. 3, p. 123-194.
- FERREIRA, ANTONIO G.; MELLO, NAMIR G. D. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a Região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 1, n. 1, p. 15-28, dez 2005.
- FILHO, Antonio C. D. C. **Modelo experimental baseado na declividade da encosta para avaliação para o risco de deslizamento.** Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais) - PPDPA/UNICAP. Recife, p. 66. 2012.
- FLACH, Cláudia W.; MEURER, Maurício. Inventário de movimentos de massa em Arroio do Padre/RS. In: FILHO, ARCHIMEDES P.; AMORIM, RAUL R. **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento.** Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, v. 1, 2017. p. 3830-3841.
- FREIRE, E S. M. Movimentos Coletivos de Solos Rochas e Sua Moderna Sistemática. **Revista Construção**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 10-18, 1965.
- FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO MUNICIPAL - FIDEM (PERNAMBUCO). **Manual de Ocupação dos Morros da Região Metropolitana do Recife. Programa Viva o Morro.** Recife: FIDEM, 2003. 384 p.
- GIRÃO, Osvaldo. **Análise de processos erosivos em encostas na zona sudoeste da cidade do Recife – Pernambuco.** Tese (Doutorado em Geografia) - UFRJ / CCMN. Rio de Janeiro, p. 305. 2007.
- GODOIS, João V. D. S. **Estudo do comportamento de um escorregamento ativo na Serra da Cantareira - SP.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica/USP. São Paulo, p. 118. 2011.

- GOERL, ROBERTO F.; KOBAYAMA, MASATO; SANTOS, IRANI D. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 103-111, Abr-Jun 2012.
- GOUDIE, ANDREW. **Encyclopedia of Geomorphology**. 1ª. ed. London: Routledge, 2004. 1200 p.
- GREGORY, K. J. Hydrogeomorphology: how applied should we become? **Progress in Physical Geography**, v. 3, p. 84-101, 1979.
- GRIGORIE, STEFANIA. The concept of hydrogeomorphology reflected in scientific literature. **Geopolitics, History, and International Relations**, v. 6, n. 1, p. 359-366, 2014.
- GRUPO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA DE ENCOSTAS E PLANÍCIES - GEGEP. **Elaboração de Cartas Geotécnicas de aptidão à Urbanização no município de Ipojuca, localizado na RMR, Estado de Pernambuco**. Recife: Convênio Ministério das Cidades/GEGEP/UFPE. Prof. Roberto Quental Coutinho (Coord. & Org.), 2014.
- GUERRA, Antônio J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, Antônio J. T.; CUNHA, Sandra B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. Cap. 4, p. 149-209.
- GUERRA, Antonio J. T.; JORGE, Maria D. C. O. **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. (Org.).
- GUERRA, Antonio T.; CUNHA, Sandra B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 396 p.
- GUERRA, ANTÔNIO T.; GUERRA, ANTÔNIO J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 7ª. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009. 652 p.
- GUIDICINI, G; NIEBLE, C M. **Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação**. 2ª. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1984.
- GUIMARÃES, Renato F. *et al.* Análise temporal das áreas susceptíveis a escorregamentos rasos no Parque Nacional da Serra dos Órgãos (RJ) a partir de dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 1, p. 190-198, 2009.
- HART, Michael G. **Geomorphology: pure And applied**. London: Allen & Unwin, 1986. 228 p.
- HIGHLAND, Lynn M.; BOBROWSKY, Peter. **The landslide handbook – A guide to understanding landslides**. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325, 2008. 129 p.

HUNGR, Oldrich; EVANS, S. G.; HUTCHINSON, I. N. A. Review of the Classification of Landslides of the Flow Type. **Environmental & Engineering Geoscience**, v. 7, n. 3, p. 221-238, Agosto 2001.

HUTCHINSON, J N. General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. **Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides**, Rotterdam, p. 3-35, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019. 56 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, v. 7, 2013. 171 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. IBGE Mapas, 2015. Disponível em: <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais.html>. Acesso em: 22 julho 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais, 2015. 430 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil: primeira aproximação**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019. 56 p.

IPT. **geologia da região administrativa 3 (vale do paraíba) e a parte da região administrativa 2 (litoral) do Estado de São Paulo**. São Paulo: [S.n.], 1978. 78 p.

JABOATÃO DOS GUARARAPES. Decreto n. 03, de 11 de jan. de 2012. **Regulamenta os §§ 1º e 2º do art. 8º da Lei Complementar Municipal nº 08/2010 e outras providências**, Jaboaão dos Guararape, PE, jan. 2012.

KARAM, A. A. Application of Weighted Linear Combination (WLC) Model in Zonation of Potential Occurrence of Landsliding (The Case Study of Sarkhoun Area in Chahar-Mahal & Bakhtiyari). **Geography and Development**, v. 2, n. 4, p. 131-146, 2005.

KAYASTHA, Prabin; DHITAL, Megh R.; DE SMEDT, Florimond. Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal. **Computers & Geosciences**, v. 52, p. 398-408, 2013.

KELMAN, Ilan. Lost for words amongst disaster risk science vocabulary? **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 9, n. 3, p. 281-291, 2018.

KOBIYAMA, Masato *et al.* **Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos**. Curitiba: Organic Trading, 2006. ISBN 85-87755-03-X.

- KOMAC, Marko. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia. **Geomorphology**, v. 74, n. 1-4, p. 17-28, March 2006.
- KOU, Gang; ERGU, Daji. AHP/ANP theory and its application in technological and economic development: the 90th anniversary of Thomas L. Saaty. **Technological and Economic Development of Economy**, v. 22, n. 5, p. 649–650, 2016.
- KOURYH, Jussara R. **História de Jaboatão dos Guararapes**. Recife: Bagaço Design, 2010. 150 p.
- KUMAR, Rohan; ANBALAGAN, R. Landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) in Tehri reservoir rim region, Uttarakhand. **Journal of the Geological Society of India**, v. 87, n. 3, p. 271-286, 2016.
- LAMBERTY, Débora. **Carta de perigo a movimentos de massa para o Morro da Polícia, Porto Alegre-RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - PPGGEO/UFSM. Santa Maria, p. 131. 2018.
- LANA, Julio C. **Diagnóstico da população em áreas de risco geológico, Jaboatão dos Guararapes, PE**. Belo Horizonte: CPRM, 2021.
- LI, Jialin *et al.* A review on anthropogenic geomorphology. **Journal of Geographical Sciences**, v. 27, n. 1, p. 109-128, 2017.
- LIMA, ANALICE F. **Comportamento geomecânico e análise de estabilidade de Uma encosta da formação barreiras na área urbana da Cidade do Recife**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - UFPE. Recife, p. 204. 2002.
- LISTO, Fabrício D. L. R. **Análise da suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na Bacia do Alto Aricanduva, RMSP (SP)**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física), FFLCH / USP. São Paulo, p. 151. 2011.
- LOMBANA, Lorena; MARTÍNEZ-GRAÑA, Antonio. Análise hidrogeomorfológica para definição de domínio público hidráulico: estudo de caso no rio Carrión (Palencia, Espanha). **Environmental Earth Sciences**, v. 80, n. 5, p. 1-14, 2021.
- LOPES, Eymar S. S. **Modelagem espacial dinâmica aplicada ao estudo de movimentos de massa em uma região da Serra do Mar Paulista, na escala de 1:10.000**. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) IGCE/USP. São Paulo, p. 276. 2006.
- LOUZEIRO, Andreza D. S. *et al.* Risco de movimento de massa: conceitos, metodologias e aplicações. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, v. 21, n. 2, p. 1234-1253, 2019.
- LUGO HUBP, José; INBAR, Moshe. **Desastres naturales en América Latina**. Cidade do México: Fondo de Cultura Económica, 2002. 501 p.

- MARANDOLA JR., Eduardo; HOGAN, Daniel J. Natural hazards: o estudo geográfico dos riscos e perigos. **Ambiente & Sociedade**, v. vii, n. 2, p. 95-110, jul/dez 2004.
- MARISAWA, MARIE. **Streams: their dynamics and morphology**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1968. 175 p.
- MARTINS, Tiago D.; OKA-FIORI, Chisato; VIEIRA, Bianca C. Mapeamento de Cicatrizes de escorregamentos utilizando imagem multispectral. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, São Paulo, v. 30, p. 96-109, 2015.
- MASTERE, Mohamed. Mass movement hazard assessment at a medium scale using weight of evidence model and neo-predictive variables creation. In: REBAI, Noamen; MASTERE, Mohamed **Mapping and spatial analysis of socio-economic and environmental indicators for sustainable development**. [S.l.]: Springer, Cham, 2020. p. 73-85.
- MELO, Cristiane R. D. **Utilização de informações espaciais de alta resolução para análise de suscetibilidade de deslizamento sob situação de precipitações intensas**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - PPGEC/CTG/UFPE. Recife, p. 159. 2021.
- MELO, Mário S. *et al.* Processos e produtos morfogenéticos continentais. In: SOUZA, Celia R. D. G., *et al.* **Quaternário do Brasil**. 1ª. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2005. Cap. 12, p. 258-275.
- MENEZES JÚNIOR, Edmário M. **Análise geomorfológica da suscetibilidade a deslizamentos na Folha Paulista (1:25.000): Região Metropolitana do Recife**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - UFPE/PPGEO. Recife, p. 156. 2015.
- MERGILI, Martin *et al.* avaflow v1, an advanced open-source computational framework for the propagation and interaction of two-phase mass flows. **Geoscientific Model Development**, v. 10, n. 2, p. 553-569, 2017.
- MIYAZAKI, LEDA C. P. Depósitos tecnogênicos: uma nova perspectiva de leitura geográfica. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 53-66, 2014.
- MOKARRAM, Marzieh; ZAREI, Abdol R. Landslide susceptibility mapping using fuzzy-AHP. **Geotechnical and Geological Engineering**, v. 36, n. 6, p. 3931-3943, 2018.
- MOLINARI, D. C. Hidrologia, processos erosivos e movimentos de massa. In: ALBUQUERQUE, ARC **Contribuições Teórico-metodológicas da Geografia Física**. Manaus: EDUA, 2010. p. 67-103.
- MOLION, Luiz C. B.; BERNARDO, Sergio D. O. Dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Maceió, p. 1334-1342, 2000.
- MOLLION, LUIIZ C. B.; BERNARDO, SERGIO D. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1-10, 2002.

- MONTGOMERY, D. R.; BOLTON, S. M. Hydrogeomorphic Variability and River Restoration. In: WISSMAR, R. C.; BISSON, P. A. **Strategies for Restoring River Ecosystems: Sources of Variability and Uncertainty in Natural and Managed Systems**. Maryland: American Fisheries Society Publication, 2003. p. 39-80.
- MONTGOMERY, D. R.; BOLTON, S. M. Hydrogeomorphic variability and river restoration. **Strategies for Restoring River Ecosystems: Sources of Variability and Uncertainty in Natural and Managed Systems, American Fisheries Society**, Bethesda, p. 39-80, 2003.
- MORADI, Mehdi; BAZYAR, Mohammad H.; MOHAMMADI, Zargham. GIS-based landslide susceptibility mapping by AHP method, a case study, Dena City, Iran. **Journal of Basic and Applied Scientific Research**, v. 2, n. 7, p. 6715-6723, 2012.
- MORAIS, Fernando; BACELLAR, Luis A. P.; SOBREIRA, Frederico G. Avaliação da susceptibilidade de solos gnáissicos à erosão subsuperficial. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 19, n. 2, p. 233-241, 2007.
- MORENO-DE-LAS-HERAS, Mariano *et al.* Hydro-geomorphological consequences of the abandonment of agricultural terraces in the Mediterranean region: Key controlling factors and landscape stability patterns. **Geomorphology**, v. 333, p. 73-91, 2019.
- MOURA, Rosa; SILVA, Luís A. D. A. Desastres naturais ou negligência humana? **Revista Geografar**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 58-72, 2008.
- MUNDALIK, Vaishnavi *et al.* Integrated geomorphological, geospatial and AHP technique for groundwater prospects mapping in basaltic terrain. **Hydrospatial Analysis**, v. 2, n. 1, p. 16-27, 2018.
- MYRONIDIS, Dimitrios; PAPAGEORGIOU, Charalambos; THEOPHANOUS, Stavros. Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP). **Natural Hazards**, v. 81, n. 1, p. 245-263, 2016.
- NERY, Tulus D. **Avaliação da suscetibilidade a escorregamentos translacionais rasos na bacia da Ultrafértil, Serra do Mar (SP)**. Tese (Doutorado em Geografia Física) PPGF / USP. São Paulo, p. 170. 2011.
- NOBREGA, RANYERE S.; FARIAS, RAFHAEL F. D. L. Eventos extremos pluviais em jaboatão dos Guararapes: climatologia e estudo de caso. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. Especial, p. 70-82, 2016.
- OGURA, Augustinho; MACEDO, Eduardo S. Procesos y riesgos geológicos. In: _____ **II Curso internacional de aspectos geológicos de protección ambiental: notas de clases**. Montevideo: UNESCO, 2000. p. 114 - 137.

- OKUNISHI, K. Concept and methodology of hydrogeomorphology. **Transactions, Japanese Geomorphological Union**, p. 5-17, 1994.
- OLIMPIO, JOÃO L.; ZANELLAL, MARIA E. Riscos naturais: conceitos, componentes e relações entre natureza e sociedade. **OLÍMPIO, João Luís Sampaio; ZANELLA, Maria Elisa. Riscos naturais: conceitos, componentes e rRa'e Ga - O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 40, p. 94-109, 2017.
- OLIVEIRA, Antonio M. D. S. *et al.* Tecnógeno: Registros da ação geológica do homem. In: SOUZA, Celia R. D. G., *et al.* **Quaternário do Brasil**. 1ª. ed. Ribeirão Preto: Holos, 2005. Cap. 17, p. 363-378.
- OLIVEIRA, L. M. **Acidentes geológicos urbanos**. Curitiba: MINEROPAR–Serviço Geológico do Paraná, v. 78, 2010.
- OLIVEIRA, Maria R. P. D. **Análise de parâmetros morfológicos e litoestruturais e sua relação com escorregamentos no Planalto Paraitinga - Paraibuna - SP**. Tese (Doutorado em Geografia) - UFRJ. São Paulo, p. 121. 2019.
- OLIVEIRA, Maria R. P. D. **Análise de parâmetros morfológicos e litoestruturais e sua relação com escorregamentos no Planalto Paraitinga-Paraibuna-SP**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - PPGF/USP. São Paulo, p. 123. 2019.
- PEDRON, FABRÍCIO D. A. *et al.* Solos urbanos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, set-out 2004.
- PEPE, Giacomo *et al.* Investigation on farmland abandonment of terraced slopes using multitemporal data sources comparison and its implication on hydro-geomorphological processes. **Water**, v. 11, n. 8, p. 1552, 2019.
- PERNAMBUCO. Pernambuco Tridimensional. **PE3D**, 2017. Disponível em: <http://www.pe3d.pe.gov.br/>. Acesso em: 12 agosto 2020.
- PFALTZGRAFF, PEDRO A. D. S. **Sistema de informações geoambientais da Região Metropolitana do Recife - GATE**. Recife: CPRM, 2003.
- PINTO, Roberto C.; PASSOS, Everton; CANEPARO, Sony C. Considerações a respeito dos condicionantes utilizados em pesquisas envolvendo movimentos de massa. **Geoinfó: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia**, Maringá, v. 5, n. 1, p. 102-124, 2013.
- POPESCU, M. E. A suggested method for reporting landslide causes. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur**, Paris, n. 50, p. 71-74, Outubro 1994.
- PORTER, T. P. *et al.* Soil and Landform Characteristics Related to Landslide Activity - A Review. **Soil Surv. Horiz.**, v. 49, p. 22-26, Agosto 2008.

- POURGHASEMI, Hamid R.; PRADHAN, Biswajeet; GOKCEOGLU, Candan. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. **Natural hazards**, v. 63, n. 2, p. 965-996, 2012.
- PRIOCHA, Carla E.; HOLGADO MOLINA, Pedro; RIBEIRO, Selma R. A. Metodologia para identificação e caracterização de paisagens fluviais do Brasil mediante critérios europeus. In: SANTOS, José G., *et al.* **Atas das I Jornadas Lusófonas de Ciências e Tecnologias de Informação Geográfica**. Coimbra: Coimbra University Press, 2014. p. 151-168.
- RAMOS, Monalyssa C. L. D. S. **Estudo geológico-geotécnico e análise da estabilidade de uma encosta localizada no bairro do Curado II no Município de Jaboatão dos Guararapes - PE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - PPEC/UFPE. Recife, p. 195. 2019.
- REICHENBACH, Paola *et al.* A review of statistically-based landslide susceptibility models. **Earth-Science Reviews**, v. 180, p. 60-91, Maio 2018.
- REID, David *et al.* Forecasting natural events using axonal delay. In: **IEEE Congress on Evolutionary Computation**. [S.l.]: IEEE, 2018. p. 1-6.
- RICHARDS, K. Fluvial Geomorphology. **Progress in Physical Geography**, v. 12, p. 435-456, 1988.
- ROCHA, André P.; SCHULER, Carlos 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**, Rio de Janeiro, v. 68, n. 9, p. 1747-1770, Outubro 2016.
- RODRIGUES, CLEIDE. Avaliação do impacto humano da urbanização em sistemas hidrogeomorfológicos. Desenvolvimento e aplicação de metodologia na Grande São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 20, p. 111-125, 2010.
- RODRIGUES, Saulo G. **Mapeamento de perigo de deslizamentos de terra e inundações: proposição de abordagem utilizando processamento de linguagem natural e aprendizado de máquina**. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - CAA/PPEP/UFPE. Caruaru, p. 137. 2020.
- ROSS, Jurandy L. S. Inundações e deslizamentos em São Paulo. Riscos da relação inadequada sociedade-natureza. **Territorium**, v. 8, p. 15-23, 2001.
- SAATY, Thomas L. A scaling method for priorities in hierarquical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234-281, 1977.
- SAATY, THOMAS L. **How to Make and Justify a Decision: The Analytic Hierarchy Process (AHP)**. Pittsburg: RWS Publication, 2001.

- SAATY, THOMAS L. Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process. **RACSAM-Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales**, v. 102, n. 2, p. 251-318, 2008.
- SAKALS, M. E. *et al.* The role of forests in reducing hydrogeomorphic. **Forest Snow Landscape Research**, v. 80, n. 1, p. 11-22, 2006.
- SANTANA, John K. R. **Aplicação do Modelo Hierárquico Analítico (AHP) na previsão das áreas de perigo a escorregamentos em Recife (PE)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - PPGE/UFPE. Recife, p. 132. 2020.
- SANTANA, John K. R. D. **Aplicação do Modelo Hierárquico Analítico (AHP) na previsão das áreas de perigo a escorregamentos em Recife (PE)**. Dissertação (Mestrado em Geografia) - PPGE/UFPE. Recife, p. 132. 2020.
- SANTOS, LEANDRO D. J. D. *et al.* Vulnerabilidades a eventos pluviais de alta magnitude da cidade do Recife - Pernambuco/Brasil. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, v. 6, n. 2, p. 160-185, 2019.
- SANTOS, Leandro D. J. D. **Cenários de suscetibilidade aos processos erosivos na bacia hidrográfica do Aripibú - PE**. Tese (Doutorado em Geografia) - UFPE/PPGE. Recife, p. 200. 2020.
- SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. São Paulo: HUCITEC, 1993.
- SANTOS, RAPHAEL D. D. *et al.* **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100 p.
- SANTOS, Vania A.; MENDES, Rodolfo M.; VALÉRIO FILHO, Mário. Construção de indicadores antrópicos de áreas de risco a escorregamentos para subsidiar ações, políticas públicas e o gerenciamento de riscos no município de Sçao José dos Campos. **Anais XVI ENANPUR**, Belo Horizonte, n. ST4, 2015.
- SANTOS, VITOR J. D.; ROCHA, GERALDO C.; ANDRADE, FABRÍCIO L. O conceito de risco. **Revista de Geografia - PPGE - UFJF**, Juiz de Fora, v. 5, n. 1, p. 33-42, jan./jun. 2015.
- SCHEIDEGGER, A. E. Hydrogeomor-phology. **Journal of Hydrology**, n. 20, p. 193-215, 1973.
- SELBY, Michael J. **Hillslope materials and processes**. 2^a. ed. Oxford: Oxford University Press, 1993.
- SIDLE, Roy C.; ONDA, Yuichi. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrological processes**, v. 18, n. 4, p. 597-602, 2004.

- SILVA, CARLA S. D. **Avaliação das condições hidrogeomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão - Pernambuco**. Dissertação(Mestrado em Geografia), PPGeo-UFPE. Recife, p. 138. 2018.
- SILVA, Carla S. D.; GIRÃO, Osvaldo. Análise morfométrica e caracterização geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Jaboatão - (BHRJ) - Pernambuco. **Geosul**, Florianópolis, v. 35, n. 75, p. 441-460, mai/ago 2020.
- SILVA, DRIELLY N. F. D. **Reconstrução da Paisagem Geomorfológica através da Assinatura Geoquímica dos eventos deposicionais da bacia do rio Capibaribe-Mirim, Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Geografia), PPGeo-UFPE. Recife, p. 168. 2012.
- SILVA, F. B. R. *et al.* **Zoneamento agroecológico do Estado de Pernambuco (ZAPE)**. Recife: Embrapa Solos-Unidade de Execução de Pesquisa e Desenvolvimento-UEP, 2001.
- SILVA, Lúcio C. E.; LEVINO, Natallya D. A.; FONTANA, Marcele E. Modelo de decisão em grupo para gerenciamento de risco de deslizamentos de barreiras. **XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Ubatuba, p. 180-187, 2011.
- SILVA, RODRIGO F. D. **Análise de magnitude e frequência espacial de movimentos de massa em Caraguatatuba-SP. 2013**. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - PPGF/USP. São Paulo, p. 109. 2013.
- SMITH, Keith. **Environmental hazard: Assessing risk and reducing disaster**. 4^a. ed. New York: Routledge, 2004.
- SOUSA, WANDERSON D. S. *et al.* Análise do comportamento das chuvas durante os últimos 50 anos (1961 – 2011), na cidade do Recife/PE. **Revista Pernambucana de Tecnologia**, Recife, v. 1, n. 1, p. 6-14, jun 2013.
- SOUZA, Carla J. D. O.; OLIVEIRA, Janete R. D. Representação de áreas de riscos sócio-ambientais: geomorfologia e ensino. **Territorium**, v. 18, p. 175-184, 2011.
- SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandy L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 15, p. 39-49, 2004.
- SRIVASTAVA, Pankaj K.; BHATTACHARYA, Amit K. Groundwater assessment through an integrated approach using remote sensing, GIS and resistivity techniques: a case study from a hard rock terrain. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 20, p. 4599-4620, 2006.
- STABILE, Rodrigo A. *et al.* Análise de fatores condicionantes de instabilizações em encostas como subsídio para a modelagem estatística da suscetibilidade a deslizamentos. **14º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental–CBGE**, 2013. 1-10.
- STONE, Kirk H. Geographical air-photo-interpretation. **Photogrammetric Engineering**, v. 17, n. 5, p. 754-759, 1951.

SUERTEGARAY, DIRCE M. A. *et al.* **Terra**: feições ilustradas. Porto Alegre: Editora da UFRG, v. 3ª, 2008.

SUPERINTENDÊNCIA DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL - SUPDC. **Ocorrências e atendimentos no período de 2008 à 2020**. Prefeitura do Jaboatão dos Guararapes. (Planilha). 2020.

TAALAB, Khaled; CHENG, Tao; ZHANG, Yang. Mapping landslide susceptibility and types using Random Forest. **Big Earth Data**, v. 2, n. 2, p. 159-178, 2018.

TANTERI, Luca *et al.* Multitemporal UAV survey for mass movement detection and monitoring. In: MIKOS, Matjaz, *et al.* **Workshop on World Landslide Forum**. [S.l.]: Springer, Cham, v. 2, 2017. p. 153-161.

TIEE; PRATEADO. **Lugarzinho**. Rio de Janeiro: Sony Music, 2016.

TOMINAGA, Lidia K. **Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP**. Tese (Doutorado em Geografia Física) PPGF/USP. São Paulo, p. 240. 2007.

TOMINAGA, Lúcia K. Desastres Naturais: por que ocorrem? In: TOMINAGA, Lúcia K.; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosângela **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 1ª. ed. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. Cap. 1, p. 12-24.

TORRES, Fernanda S. D. M. **Carta de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do Município de Ipojuca-PE**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - UFPE / CTG. Recife, p. 106. 2014.

TRICART, Jean. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Técnica Diretoria, SUPREN, 1977. 91 p.

UFSC, Universidade F. D. S. C. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Pernambuco**. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2011. 67 p.

UFSC, Universidade F. D. S. C. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil**. Florianópolis: CEPED/UFSC, 2012. 94 p.

UNDRR, United N. O. F. D. R. R. **Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction**. United Nations. Geneva, p. 472. 2019.

UNESCO WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY (WP/WLI). **The Multilingual Landslide Glossary**. Richmond: BiTech Publishers, British Columbia, 1993.

UNISDR. UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction. **UNISDR**, 2004. Disponível em: http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm. Acesso em: 4 Junho 2021.

- VANACÔR, Roberto N.; ROLIM, Silvia B. A. VANACÔR, Roberto Nunes; ROLIM, Silvia Beatriz Alves. Mapeamento da suscetibilidade a deslizamentos usando técnicas de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 1, p. 15-28, jan./mar. 2012.
- VARNES, David J. **Landslide hazard zonation: a review of principles and practice**. [S.l.]: [S.n.], 1978a. 63 p.
- VARNES, David J. Slope Movements types and Processes. In: _____ **Landslides: Analysis and Control**. Washington, DC: Transportation Research Board, Nacional Academy of Sciences, v. Special Report, 1978b. Cap. 2, p. 11-33.
- VASCONCELOS, ERASTO D. H. **Maranguape**. Recife: Candeeiro Records, 2005.
- VEDOVELLO, Ricardo; MACEDO, Eduardo S. Deslizamento de encostas. In: SANTOS, Rozely F. D. **Vulnerabilidade Ambiental**. 2ª. ed. Brasília: MMA, 2007. p. 75-93.
- VELOSO, Antônio. Importância do estudo das vertentes. **GEOgraphia**, Niterói, v. 4, n. 8, p. 79-83, 2002.
- VEYRET, Yvette; RICHEMOND, Nancy M. O risco, os riscos. In: VEYRET, Yvette **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. Tradução de Dilson Ferreira Cruz. 1ª. ed. São Paulo: Contexto, 2007. Cap. 2, p. 23-24.
- VIEIRA, Bianca C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas**. Tese (Doutorado em Geografia) - UFRJ. Rio de Janeiro, p. 193. 2007.
- VIEIRA, Bianca C. **Previsão de escorregamentos translacionais rasos na Serra do Mar (SP) a partir de modelos matemáticos em bases físicas..** Tese (Doutorado em Geografia) - PPGG/UFRJ. Rio de Janeiro, p. 193. 2007.
- VIEIRA, Bianca C.; MARTINS, Tiago D. Modelos em geografia física: conceitos e aplicações na previsão de escorregamentos. **GEOUSP - Espaço e Tempo**, v. 20, n. 1, p. 194-206, 2016.
- VIEIRA, BIANCA C.; RAMOS, HENRIQUE. Aplicação do Modelo SHALSTAB para o mapeamento da suscetibilidade a escorregamentos rasos em Quaraguatubá, Serra do Mar (SP). **Revista do Departamento de Geografia –USP**, São Paulo, v. 29, p. 161-174, 2015.
- WHITE, Gilbert F. Natural hazards research: concepts, methods, and policy implications. In: _____ **Natural hazards: local, national, global**. New York: Oxford University Press, 1974. p. 3-16.
- WICANDER, Reed; MONROE, James S. **Fundamentos de geologia**. 1ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. 528 p.

WIND, Yoram; SAATY, Thomas L. Marketing applications of the analytic hierarchy process. **Management science**, v. 26, n. 7, p. 641-658, 1980.

XAVIER, Joaquim P. D. S.; LISTO, Fabrizio D. L. R.; NERY, Tullius D. Escorregamentos no estado de Pernambuco. **Mercator**, Fortaleza, v. 21, n. 21003, p. 1-16, Março 2022.

YAN, Fei *et al.* A novel hybrid approach for landslide susceptibility mapping integrating analytical hierarchy process and normalized frequency ratio methods with the cloud model. **Geomorphology**, v. 327, p. 170-187, 2019.

YOSHIMATSU, H.; ABE, S. A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method. **Landslides**, v. 3, n. 2, p. 149-158, 2006.

ZANELLA, Maria E. *et al.* Vulnerabilidade socioambiental de Fortaleza. In: COSTA, Maria C. L.; DANTAS, Eustógio W. C. **Vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Fortaleza**. Fortaleza: Edições UFC, 2009. p. 191-215.

ZHOU, Lei *et al.* Emergency decision making for natural disasters: An overview. **International journal of disaster risk reduction**, v. 27, p. 567-576, 2018.