

## MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL

### MAPPING SUSCEPTIBILITY TO MASS MOVEMENTS IN THE STATE OF ALAGOAS, BRAZIL

Raquel Cardoso de Araújo

Graduada e Mestranda em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

E-mail: [raquelcdr909@gmail.com](mailto:raquelcdr909@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-6990-1021>

Paulo Ricardo de Medeiros

Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

E-mail: [ricardo3512@ufrn.edu.br](mailto:ricardo3512@ufrn.edu.br)

 <https://orcid.org/0000-0003-0442-7848>

Ramon Jadson dos Santos Silva

Graduando em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte

E-mail: [ramon.silva.017@ufrn.edu.br](mailto:ramon.silva.017@ufrn.edu.br)

 <https://orcid.org/0000-0001-5175-3238>

Rebecca Luna Lucena

Doutora em Geografia e Professora do Departamento em Geografia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Campus Caicó.

E-mail: [rebeccaosvaldo@yahoo.com.br](mailto:rebeccaosvaldo@yahoo.com.br)

 <https://orcid.org/0000-0003-4670-265X>

#### Resumo

Movimentos de massa são processos que fazem com que as rochas e materiais inconsolidados se movam por encosta abaixo pela ação gravitacional. No presente artigo objetivou-se mapear as áreas suscetíveis a movimentos de massas para o estado de Alagoas, propondo uma análise multicritério de suas variáveis físicas e morfométricas a partir do uso do Processo Analítico Hierárquico - AHP. Para isso, foi elaborado o mapeamento destas variáveis, que consistiu na elaboração de quatro produtos: declividade, pedologia, vegetação e precipitação. Para a realização da análise multicritério e álgebra dos mapas, foi realizada uma matriz de ponderação hierárquica para cada variável analisada. Posteriormente, os mapas foram combinados e interpolados, gerando a carta de suscetibilidade para o estado de Alagoas. Desse modo, o referido mapa apresentou cinco classes de suscetibilidade a

movimentos gravitacionais de massa, sendo estas: muito baixa; baixa; moderada; alta e muito alta suscetibilidade. A partir dos resultados obtidos, constatou-se que a presente pesquisa foi satisfatória em mapear as áreas suscetíveis a movimentos de massa no referido estado, podendo ser utilizada como base para o diagnóstico de suscetibilidade e risco potencial a esses processos, além de ser útil ao planejamento e ordenamento ambiental do território.

**Palavras-chave:** Mapeamento, Movimentos de Massa, Alagoas, Brasil.

### **Abstract**

Mass movements are processes that cause rocks and unconsolidated materials to move downhill by gravitational action. The present article aimed to map areas susceptible to mass movements for the state of Alagoas, proposing a multi-criteria analysis of its physical and morphometric variables using the Analytical Hierarchical Process - AHP. For this, the mapping of these variables was elaborated, which consisted in the elaboration of four products: slope, pedology, vegetation and precipitation. To carry out the multicriteria analysis and algebra of the maps, a hierarchical weighting matrix was created for each analyzed variable. Subsequently, the maps were combined and interpolated, generating the susceptibility map for the state of Alagoas. Thus, the aforementioned map presented five classes of susceptibility to gravitational mass movements, namely: very low; low; moderate; high and very high susceptibility. From the results obtained, it was found that the present research was satisfactory in mapping the areas susceptible to mass movements in that state, and can be used as a basis for the diagnosis of susceptibility and potential risk to these processes, in addition to being useful for the planning and environmental planning of the territory.

**Keywords:** Mapping, Mass Movements, Alagoas, Brazil.

### **INTRODUÇÃO**

Movimentos de massa ou dispersão de massa são processos que fazem com que as rochas se movam por encosta abaixo pela ação da gravidade, a dispersão ocorre em decorrência do intemperismo e do esfacelamento das rochas (PRESS et al., 2006). Esses movimentos alteram a paisagem deixando cicatrizes devido ao deslocamento dos materiais que caem das encostas. Na dispersão de massa, assim como em outros processos geomorfológicos, quando há intervenção antrópica no meio afetado pode ocasionar processos mais severos e mais destrutivos.

No que se refere aos movimentos gravitacionais de massa, Bitar (2014) coloca como fatores preponderantes a ação da gravidade e a alta pluviosidade sobre a encosta. De acordo com esse autor, esses movimentos podem ser caracterizados, como deslizamento, que se desenvolve em encostas com declividade alta ou média, e ocorre geralmente por alta intensidade de chuva ou elevados índices

pluviométricos acumulados. As quedas de rochas, por exemplo, caracterizam-se pelo desprendimento de blocos e matacões rochosos, geralmente de encostas íngremes, paredões rochosos e falésias, os principais fatores que propiciam este desprendimento são discontinuidades litológicas e intemperismo físico-químico atrelados a eventos chuvosos. A corrida de massa, por fim, é um dos mais destrutivos, pois em sua matriz há blocos rochosos, troncos de vegetais e sedimentos de diversas granulometrias, combinado com a alta intensidade de chuva nas encostas, gerando um grande fluxo de materiais.

Pinto et al. (2015), discorrem que as tipologias de movimentos de massa são caracterizadas como processos naturais, tendo maior ocorrência entre as zonas tropicais e subtropicais, onde os índices pluviométricos são altos. Quando esses movimentos ocorrem em regiões ocupadas podem acarretar prejuízos econômicos e ocasionar vítimas fatais.

Vanacôr (2006), define que estes processos são condicionados por relações complexas entre fatores geológicos, litoestruturais, geomorfológicos, climáticos e por ações humanas. Esses fatores podem ser geológicos: quando envolvem materiais frágeis ou sensíveis, fissuras ou discontinuidades litológicas; geomorfológicos, quando há soerguimento, tectonismo, erosão fluvial no sopé da encosta, erosão subterrânea e remoção da vegetação, deixando-a mais susceptível a erosão; e ações antrópicas, como a escavação da encosta ou do seu sopé, desmatamento, mineração e vibrações causadas por máquinas.

Tendo em vista os riscos associados aos movimentos de massas e aos processos erosivos, faz-se necessário o mapeamento de áreas potencialmente susceptíveis, que para o presente estudo é aplicado para o Estado de Alagoas, Brasil. Este tipo de mapeamento é uma importante ferramenta a ser utilizada para o planejamento do uso da terra, levando em conta os principais condicionantes à ocorrência dos processos erosivos e da dispersão de massa. Para isto, é preciso uma avaliação multicritério junto aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

O Estado de Alagoas está situado na região Nordeste do Brasil, limitando-se ao leste com o Oceano Atlântico. A proximidade com a faixa litorânea nordestina propicia a ocorrência de altos índices pluviométricos para o litoral do Estado. Esta alta pluviosidade associada a outros fatores condicionantes, como declividade, classes de solos, vegetação e o uso/ocupação do solo, como a extração mineral e práticas agrícolas extensivas, podem desencadear movimentos de dispersão de massa. Esses processos são mais incisivos em áreas que sofreram impactos decorrentes de ações antrópicas, como o desmatamento, mineração e processos erosivos associados (ravinação, subsidência, voçorocas, dentre outros) (GUERRA et al., 2017).

O litoral do Estado também apresenta geomorfologia caracterizada pela presença de tabuleiros costeiros dissecados e classes de solos bastante argilosos, o que pode propiciar a ocorrência de

movimentos de massa para essas unidades geomorfológicas. Esses tabuleiros costeiros também são sustentados por rochas sedimentares pouco litificadas do Grupo Barreiras; a presença frequente de argilominerais expansivos nesses sedimentos, aliado às variações bruscas de temperatura pode vir a provocar trincamentos e rachaduras, em obras e edificações (VILLANUEVA; MARTINS, 2016).

No ambiente urbano, os processos erosivos podem desencadear áreas de riscos geomorfológicos, com a ocorrência de voçorocas, ravinas e colapso das estruturas, bem como processos de subsidência em áreas de exploração mineral de sal gema, como ocorre frequentemente para a capital do Estado, Maceió. Eventos de movimentos de massa, como escorregamentos, deslizamentos, quedas de blocos e rastejo podem desestabilizar estruturas e provocar acidentes em áreas urbanas ou em locais de visitação, como falésias e nas encostas íngremes de tabuleiros costeiros.

Por serem movimentos rápidos e imprevisíveis, torna-se imprescindível a produção de mapas de suscetibilidade e o diagnóstico destes processos, principalmente, para áreas de ocorrências de movimentação pretérita, como é o caso do Estado de Alagoas, Brasil.

Dado o que foi exposto, justifica-se o empreendimento de estudos voltados ao diagnóstico e mapeamento da dispersão de massa, a fim de enriquecer a literatura para o Estado de Alagoas no que tange aos riscos associados a estes processos geomorfológicos. Os movimentos de massa são processos naturais, entretanto, as relações do homem-natureza podem acentuar os riscos em potencial, alterando o equilíbrio dinâmico do relevo nos ambientes naturais antropizados (ROSS, 1994).

Também deve-se ressaltar que o presente estudo poderá contribuir para o planejamento e ordenação do território para o Estado de Alagoas, Brasil, considerando a importância da prevenção dos desastres naturais e a contenção destes processos, para que não haja futuros eventos dessa natureza provocados pelo agravamento dos processos erosivos e da dispersão de massa.

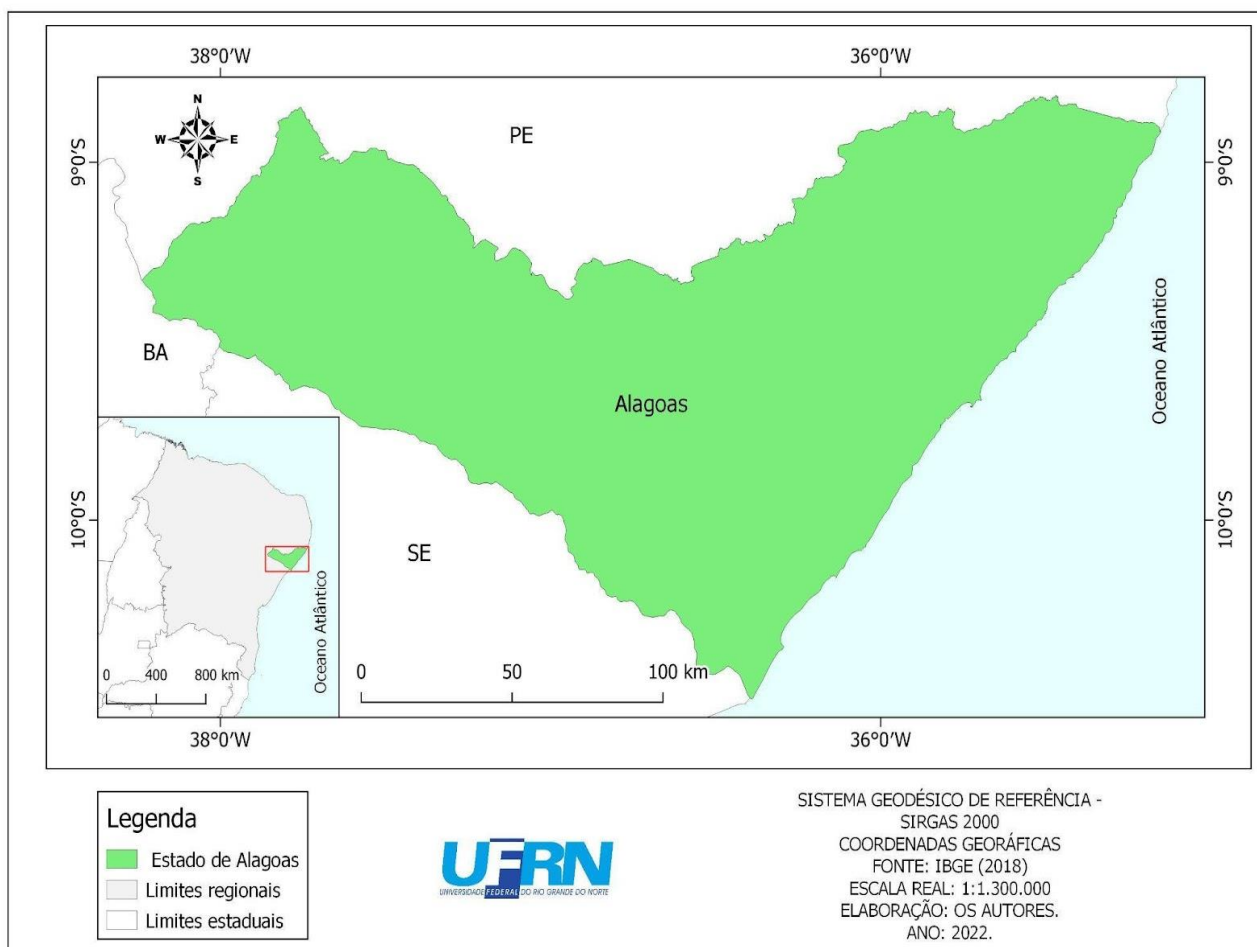
No presente artigo objetivou-se mapear as áreas susceptíveis a movimentos gravitacionais de massas para o Estado de Alagoas, Brasil, propondo uma análise de multicritérios de decisão a partir do uso do Processo de Análise Hierárquica - AHP de suas variáveis físicas e morfométricas. Espera-se com o presente estudo contribuir para o planejamento e ordenamento do território do referido Estado, bem como, para realização do diagnóstico das áreas de risco potencial a partir da metodologia aqui proposta.

## **PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O Estado de Alagoas de acordo com dados do IBGE (2002), possui uma área de superfície em torno de 27.767 km<sup>2</sup> é um dos menores estados da região nordeste, tendo como sede do poder o município de Maceió. De acordo com a (Embrapa, 2012) localizado entre os meridianos 8° 48'12" e

10° 29' 12" de latitude Sul e entre os meridianos 35° 09' 36" e 38 ° 13' 54" de longitude a oeste do meridiano de Greenwich.

**Figura 1.** Mapa de Localização e Hipsometria do Estado de Alagoas, Brasil. Fonte: TOPODATA (2021); IBGE (2018).



O estado de Alagoas faz divisa ao sul com o estado de Sergipe; a norte com o estado de Pernambuco; a Oeste com o estado da Bahia e a Leste com o Oceano Atlântico, no Nordeste brasileiro. Suas principais características climáticas são as irregularidades de precipitação pluviométrica e a proximidade com a linha do Equador, o que torna fator condicionante para um elevado número de horas de incidência solar anual em seu território. O clima ocorre de forma variada no sentido litoral-interior, sendo que predomina no litoral o clima tropical úmido, o que seguirá sofrendo variação para o clima semiárido à medida que segue para o seu interior, sua vegetação também é influenciada diretamente pelo clima vigente (CEZAR et al., 2012).

De acordo com o Mapeamento de Geodiversidade do Estado de Alagoas (CPRM, 2016), a geomorfologia do território alagoano apresenta sete domínios geomorfológicos, sendo eles: o Pediplano do Baixo São Francisco, sendo o mais extenso, ocupando todo o interior do Estado; a

Planície Deltaica do São Francisco, que ocorre ao longo dos rios que englobam o delta e a várzea do baixo São Francisco; os Patamares Orientais da Borborema; o Planalto da Borborema localizado na parte nordeste do território alagoano, encontrando-se bastante dissecado por processos erosivos; a Planície Costeira Alagoana, localizada entre a linha costeira e os tabuleiros costeiros, com uma extensão de 230 km; os Tabuleiros Costeiros que estão localizados na faixa pré-litorânea em oposição às planícies costeiras, e apresentam elevações com variações de 30 a 200 metros e, por último, o Planalto Sedimentar da Bacia do Jatobá, representando uma pequena área localizada no extremo noroeste do estado.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Na presente pesquisa foi elaborado o mapeamento multicritério de decisão com vistas a classificar as áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de dispersão de massa no Estado de Alagoas, Nordeste do Brasil. Para este estudo, foram realizadas pesquisas bibliográficas em artigos, dissertações e teses que versam acerca da referida problemática, bem como, consultou-se referências técnicas disponíveis no Serviço Geológico do Brasil - CPRM, tendo em vista que o estado foi setorizado para risco geológico que engloba as tipologias de movimentos de massa. Destarte, foi utilizado o Método de Análise Multicritério (AHP) que consiste numa análise hierárquica das variáveis preponderantes aos movimentos de massa, que permite classificar as áreas que são mais suscetíveis a partir de uma matriz pareada de decisão.

Inicialmente, foi elaborada base cartográfica para o mapeamento de risco e suscetibilidade para o estado de Alagoas, que consistiu numa base de dados vetoriais e matriciais, que juntos subsidiaram a elaboração dos mapas-bases e do mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Também se utilizou a base cartográfica de Geodiversidade do estado de Alagoas e dados extraídos do Mapeamento de setorização de Riscos Geológicos da CPRM, que consiste na identificação e caracterização das áreas sujeitas a sofrerem perdas ou danos causados por eventos adversos de natureza geológica (CPRM, 2021).

Para realização do mapeamento das áreas suscetíveis aos movimentos de massa fez-se necessário dividir os procedimentos em etapas, que consistiram em: pré-mapeamento e análise multicritério para elaboração da carta de suscetibilidade. Para cada etapa específica, fez-se necessário a utilização do software QGIS 3.16, bem como da ferramenta Excel, para composição da matriz de ponderação das variáveis morfométricas e físicas.



## Pré-Mapeamento

Inicialmente, elaborou-se o pré-mapeamento das variáveis físicas e morfométricas para a área de estudo, que consistiu na elaboração de quatro mapas-bases com os respectivos planos de informação: declividade, pedologia, vegetação e clima. Para validação do produto cartográfico final, foram utilizados os dados vetoriais de suscetibilidade final do Mapeamento de Geodiversidade para o Estado de Alagoas.

Após a montagem da base cartográfica, realizou-se uma matriz de ponderação para as variáveis analisadas na ferramenta Excel, na qual cada uma dessas variáveis recebeu pesos em função de sua importância e condicionantes aos movimentos de massa. Deste modo, utilizou-se referencial teórico que subsidiou a tomada de decisão concernente à ponderação de cada atributo, conforme o grau hierárquico deste em relação ao processo.

Para elaboração do mapa de declividade, utilizou-se o SRTM do TOPODATA (Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil) de 90 metros e a declividade, expressa em porcentagem, disponível na mesma base. Para geração deste mapa, fez-se necessário reclassificar os intervalos de declividade, conforme modelo disponível pela EMBRAPA (1979), utilizando-se a ferramenta “reclassificar por tabela”.

Para elaboração do mapa de vegetação, utilizou-se a base cartográfica do Mapeamento de Geodiversidade do Estado de Alagoas (CPRM, 2016) que disponibiliza os arquivos em formato vetorial, referentes a solos e vegetação, na escala de 1:250.000, conforme metodologia adotada pelo referido mapeamento. As cores e as classes utilizadas para cada plano de informação foram as mesmas disponíveis no arquivo SIG da CPRM. Apenas para a classe solos, fez-se necessário utilizar os dados vetoriais do Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA, IBGE, 2021), pois o mapeamento de Geodiversidade (CPRM, 2016) estava desatualizado no que tange à classificação de solos para o mapa de Pedologia.

Por fim, para elaboração do mapa de pluviosidade, utilizou-se as normais climatológicas (1981 a 2010), disponíveis no site do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) referentes aos dados de precipitação anual e mensal acumulados para o estado de Alagoas.

Para este procedimento, fez-se necessário exportar os dados de uma planilha do Excel, referentes aos dados espaciais das estações climatológicas e dos respectivos dados de precipitação para o sistema utilizado, para, então, convertê-los em arquivos vetoriais, exportando os pontos para o formato de vetorial. Os arquivos vetoriais obtidos em geometria de pontos foram georreferenciados ao Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000, em Coordenadas Geográficas. Seguidamente, os pontos foram interpolados na ferramenta “Interpolação IDW”, disponível na caixa de ferramentas,

gerando um arquivo matricial, com as informações pluviométricas espacializadas. Finalmente, o dado foi reclassificado de acordo com os intervalos de precipitação anual.

Para a realização do cálculo de área dos dados interpolados, fez-se necessário projetá-los a um sistema de coordenadas policônicas, que foram utilizadas apenas para a realização dos cálculos de geometria. Para isto, os arquivos foram projetados para coordenadas policônicas *Projeção Cônica de Albers*, tendo em vista que o território do estado de Alagoas está inserido entre os fusos 24 e 25 sul, o que inviabilizaria a reprojeção dos dados às coordenadas planas tradicionalmente utilizadas, a *Universal Transversa de Mercator (UTM)*.

Para a realização dos cálculos de geometria, os dados matriciais foram convertidos para o formato vetorial e projetados ao sistema de coordenadas policônicas. Na tabela de atributos dos arquivos vetoriais, utilizou-se a ferramenta “calculadora” para criar um campo com as informações de área de cada atributo. Os cálculos de área foram configurados para km<sup>2</sup> (quilômetro quadrado), tendo em vista a extensão territorial do estado.

### **Análise Multicritério**

Para análise multicritério e álgebra dos mapas gerados, optou-se por utilizar o método de *Análise Hierárquica (AHP)*, que parte de uma análise de cada variável, a compor a álgebra de mapas. Desse modo, cada um dos fatores foram comparados entre si, de modo que, quanto maior o grau de preponderância em relação ao processo investigado, maior será a ponderação, ou seja, os pesos que a variável deverá receber. Para isto, foi criada uma tabela de ponderação utilizando uma planilha no Excel com os respectivos planos de informação: declividade, solos, vegetação e pluviosidade.

Conforme explana Falcão (2013, p. 34), “a ponderação dos critérios ou fatores refere-se à atribuição de pesos a cada fator contribuinte para um objetivo, o que equivale a determinar a importância relativa entre esses critérios.” Para isso, utiliza-se o método de ponderação de critérios a partir da construção de uma matriz de comparação pareada e, posteriormente, é realizada a combinação dos critérios analisados na *Calculadora Raster*.

Para as comparações pareadas entre os fatores, fez-se necessário utilizar a escala de valores proposta por Saaty (1980), que apresenta pesos numéricos que variam de 1 a 9 para cada grau de importância, que deverá compor a análise (Tabela 2).



**Tabela 2.** Escala de Saaty para comparação pareada – AHP. Adaptado de FALCÃO (2013) apud SAATY, T.L (1980).

<b>Intensidade Importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
<b>1</b>	<b>Igual Importância</b>	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo.
<b>3</b>	<b>Fraca importância</b>	A experiência e o julgamento favorecem levemente uma atividade em relação à outra.
<b>7</b>	<b>Muito forte importância</b>	Uma atividade é muito fortemente favorecida em relação à outra; sua dominação de importância é demonstrada na prática.
<b>9</b>	<b>Importância absoluta</b>	A evidência favorece uma atividade em relação à outra com o mais alto grau de certeza.
<b>2,4,6,8</b>	<b>Valores intermediários</b>	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

De acordo com Saaty, quanto maior a importância da variável em relação ao processo, maior será o peso em comparação às demais variáveis. Desse modo, os planos de informação devem receber pesos conforme padrão estabelecido por Saaty (1980), por exemplo: declive maior que 45%, recebe o valor 9, que corresponde a importância absoluta; declive que varia de 0 a 3% recebe o peso 3, que é considerada fraca importância no que tange aos processos de movimentação de massa.

Após a combinação dos critérios e a normalização dos pesos, os dados transformados para o modo de representação matricial foram multiplicados na calculadora *raster*, para gerar a interpolação de álgebra de mapas. Desse modo, é gerado o produto a partir da multiplicação dos fatores analisados pelo valor dos autovetores, somando-se aos critérios. Para que a combinação ocorra corretamente, é necessário que os fatores devidamente normalizados sejam multiplicados pelos valores dos autovetores que somados sejam equivalentes a 1 ou a 100%. Este cálculo pode ser vislumbrado na equação seguinte:

$$(\text{Declive} \times 0,57) + (\text{Pedologia} \times 0,25) + (\text{Vegetação/uso} \times 0,14) + (\text{Precipitação} \times 0,05).$$

As variáveis combinadas geram um arquivo raster com os respectivos graus de suscetibilidade obtidos para a análise multicritério. Para a validação do mapeamento, considerando que ele foi baseado no trabalho de escritório (mapeamento), tendo em vista as medidas de isolamento social impostas pela pandemia da Covid-19, foram utilizados os arquivos vetoriais de risco geológico disponibilizados em CPRM (2016). A partir da sobreposição dos dados, com vistas a analisar quais áreas classificadas no presente estudo correspondem às áreas que foram setorizadas para risco geológico, fez-se possível classificá-las quanto à sua suscetibilidade em relação aos processos analisados. Ressalta-se que o referido mapeamento foi sistematizado numa escala semelhante à utilizada no referido estudo.

A Razão de Consistência para este mapeamento foi satisfatória, tendo em vista que a matriz de ponderação apresentou resultado igual a 0,04, o que significa que a mesma é consistente, e os pesos atribuídos para cada variável foram assertivos para a análise de multicritérios.

Por fim, o raster foi reclassificado em classes de suscetibilidade aos movimentos de massa, conforme modelo padrão, a seguir, adotado pela CPRM: muito baixa (R1), baixa (R2), média (R3), alta (R4) e muito alta (R5).

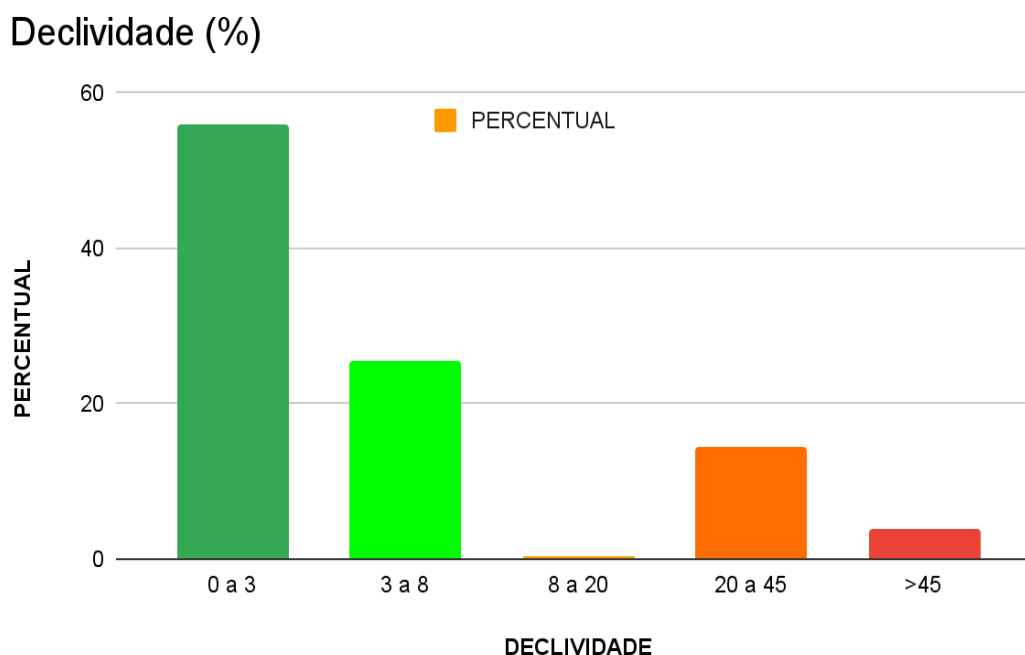
## RESULTADOS

Inicialmente, foram gerados os mapas-bases para este mapeamento de suscetibilidade a movimentos de massa, contendo as informações morfométricas e físicas do estado de Alagoas, Brasil. O mapa de declividade (figura 3) apresentou percentuais que variam entre 0 a maior que 45%, sendo que há preponderância de declives entre 0 e 3%, que coincidem com os terrenos planos e relevos tabuliformes.

O mapa de declividade foi sistematizado conforme preconiza a EMBRAPA (1979) que classifica o relevo conforme os graus de declividades do terreno, portanto, declives entre 0 e 3% são classificados como terrenos planos; entre 45 e 75% recebem a classificação de montanhoso, e maior que 75% são classificados como forte montanhoso ou escarpado (EMBRAPA, 1979)

As áreas de declividade para o Estado de Alagoas, expressas em porcentagem, são apresentadas conforme o gráfico a seguir (Figura 2).

Deste modo, para a referida pesquisa, obteve-se percentuais de declividades que correspondem entre 0 a 45%, predominando áreas planas, e áreas de declives acentuados, correspondendo aos inselbergs, tabuleiros costeiros dissecados e os Patamares Orientais da Borborema.

**Gráfico 1.** Gráfico de áreas de declividade expressas em porcentagem.

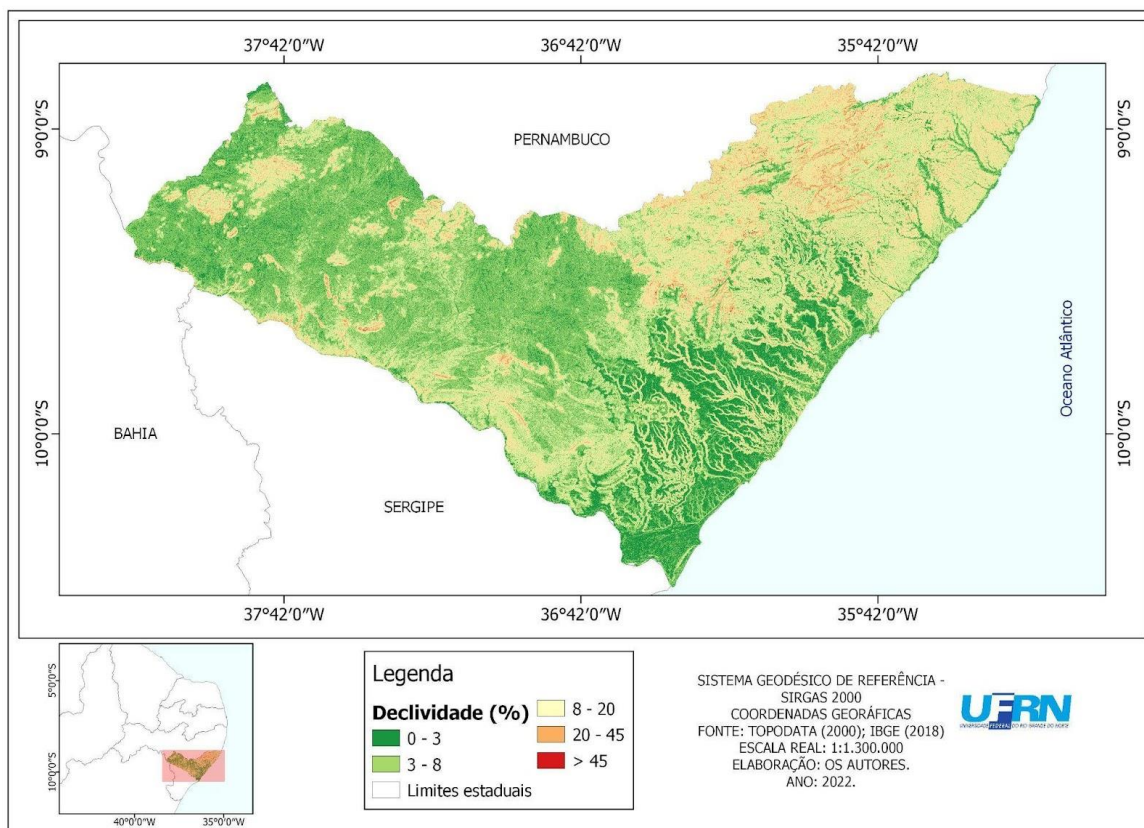
Ressalta-se que a declividade é um dos principais fatores condicionantes aos movimentos de massa, principalmente quando o elevado gradiente de declividade se associa a outros condicionantes, como a presença de água, natureza dos materiais, estruturas litológicas e ações antrópicas (PRESS ET AL, 2006).

No estado de Alagoas a declividade pode variar entre 0 a 45% e em alguns pontos pode superar 45%, conforme é apresentado no mapa e gráfico a seguir (Figura 3).

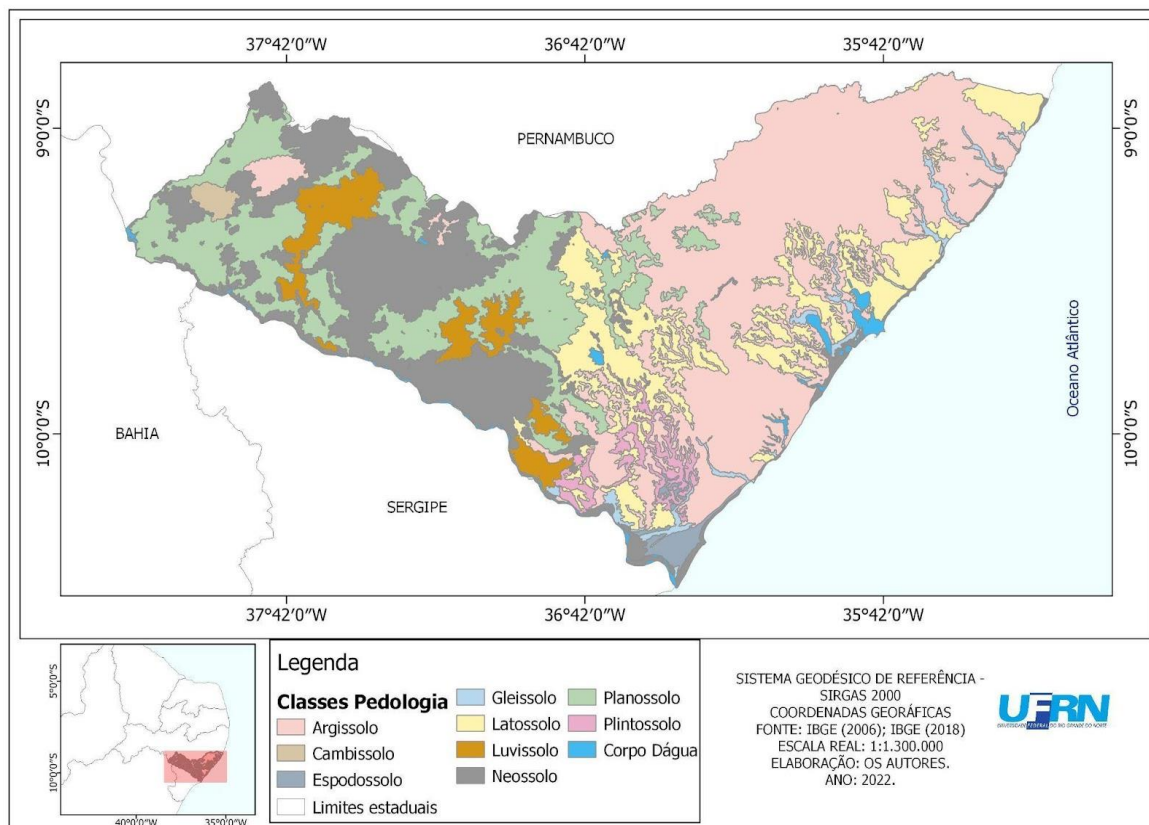
O mapa pedológico (Figura 04), por sua vez, apresentou as seguintes classificações de solos para o Estado de Alagoas, dentre elas: Argissolo Vermelho Amarelo; Cambissolo; Espodossolo; Latossolo Amarelo; Luvisolo Crômico Órtico; Neossolo Litólico; Plintossolo e Planossolo Háptico.

É notável uma maior predominância de solos pouco desenvolvidos, rasos e arenosos, como é o caso dos Neossolos, que são bastante problemáticos do ponto de vista do uso/ocupação e dos processos erosivos, para o interior do estado de Alagoas (porção ocidental e central do mapa). Na porção leste (litoral) ocorre a predominância de Latossolos Amarelos, que normalmente estão associados a terrenos mais planos e são solos mais estruturados e profundos; e os Argissolos Vermelho-Amarelo, que possuem argilas TA, horizonte de acumulação de argila B textural, o que tende a ser problemático em região muito úmida (EMBRAPA, 2021).

**Figura 3.** Mapa de declividade para o Estado de Alagoas, Brasil. Adaptado de Embrapa (1979).



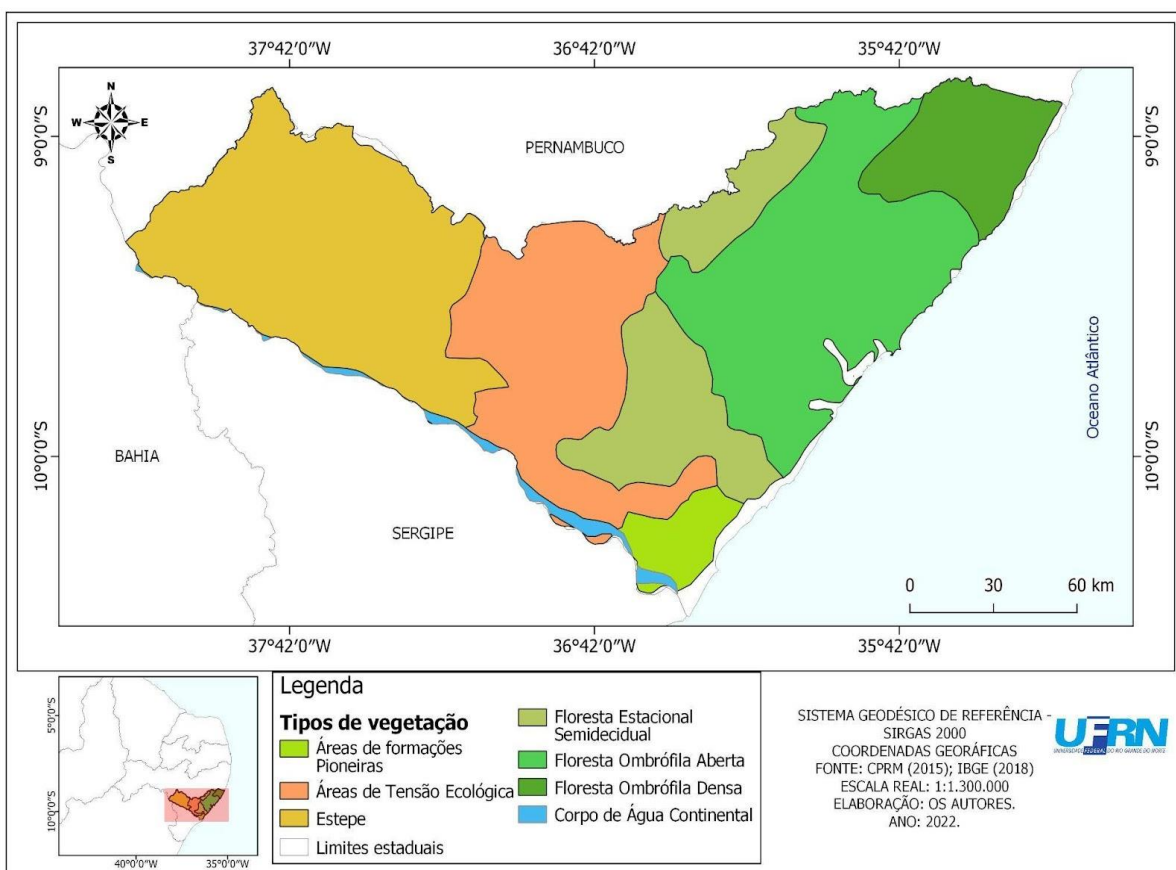
**Figura 4.** Mapa Pedológico para o Estado de Alagoas, Brasil. Fonte: IBGE - BDIA (2018).



O terceiro mapa (figura 5) a compor a análise multicritério é o de classes de vegetação, pois essa variável é de suma importância para as análises de risco e suscetibilidade a processos erosivos e dispersão de massa, tendo em vista que a manutenção da cobertura vegetal é imprescindível para a contenção dos impactos causados pela ação antrópica nas encostas, principalmente, em áreas urbanas.

Para este mapa específico foram encontradas as seguintes classes de vegetação/uso para o estado de Alagoas: áreas de formações pioneiras; áreas de tensão ecológica; estepe; floresta estacional semidecidual; floresta ombrófila aberta; floresta ombrófila densa e corpos d'água continental, conforme é apresentado na figura 5.

**Figura 5.** Mapa de vegetação para o estado de Alagoas. Fonte: CPRM (2016); IBGE (2018).



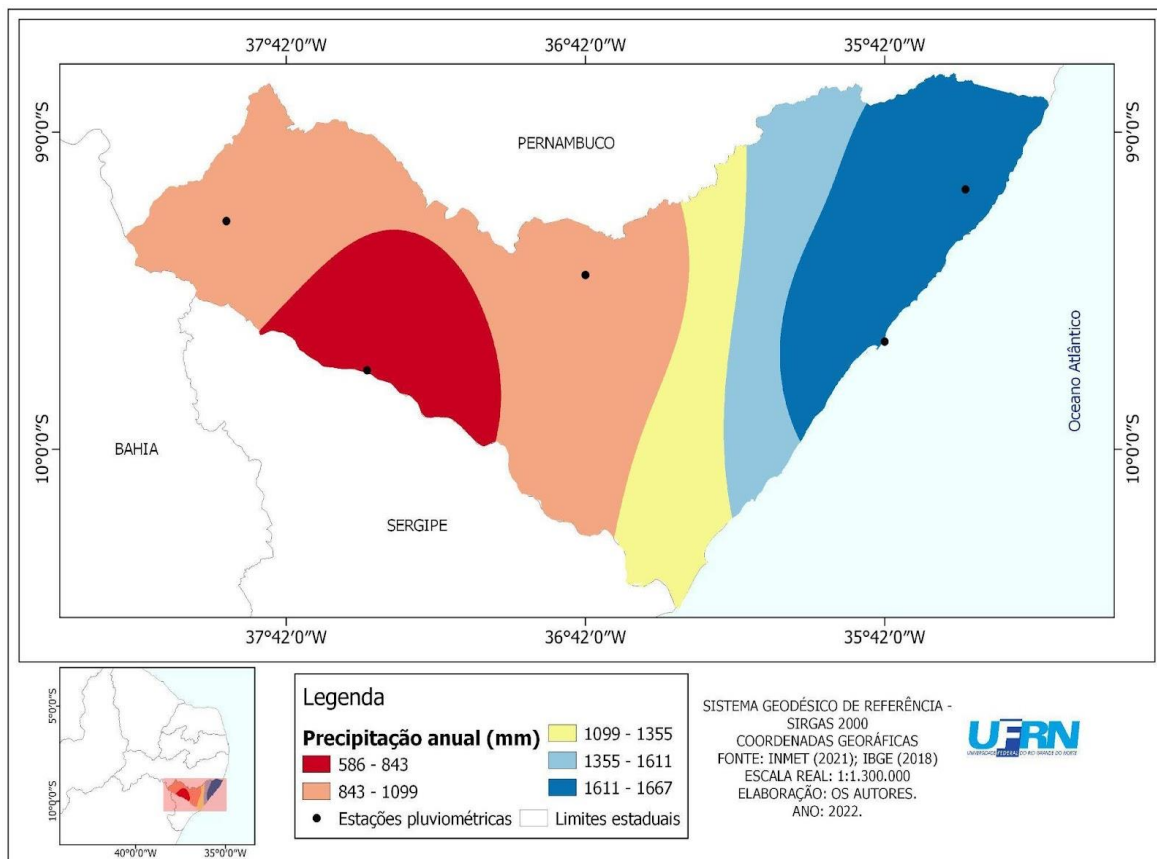
Observa-se que na porção nordeste do referido Estado predominam as formações Floresta Ombrófila Aberta e Floresta Ombrófila Densa, onde ocorrem vegetação secundária e atividades agrícolas. Na porção oeste do estado, adentrando ao interior, ocorre a formação Estepe, cujo subgrupo é a savana-estépica (caatinga) e, no centro, predominam os contatos entre tipos de vegetação, onde ocorrem práticas agrícolas e áreas de tensão ecológica (contatos). O desmatamento dessas áreas e o uso inadequado do solo e de suas potencialidades são os principais fatores que intensificam os

processos erosivos e podem desencadear processos gravitacionais de massa, sobretudo nas áreas de encostas de declives mais acentuados.

Para a análise multicritério, as formações Floresta Ombrófila Aberta e a Floresta Estacional Semidecidual, onde ocorrem vegetação secundária e área antrópica dominante, foram as que receberam maiores pesos, em decorrência dos usos, tendo em vista que nessas formações ocorrem práticas agrícolas e ações antrópicas. Em seguida, foram ponderadas as áreas de tensão ecológica (contatos entre biomas), pois são áreas antrópicas dominantes que ocorrem entre biomas passíveis de preservação (IBGE, 2021).

O último mapa da análise multicritério foi o de precipitação anual para o estado de Alagoas (figura 6). Os dados obtidos a partir das estações meteorológicas em operação (INMET, 2021) apresentaram precipitações anuais variando entre 586,7 mm (interior) a 1867,4 mm (no litoral); o que indica uma maior suscetibilidade a processos erosivos e movimentos de massa para o litoral, principalmente onde ocorrem tabuleiros costeiros dissecados e falésias de declives acentuados.

**Figura 6.** Mapa de Precipitação para o Estado de Alagoas. Fonte: INMET (2021).



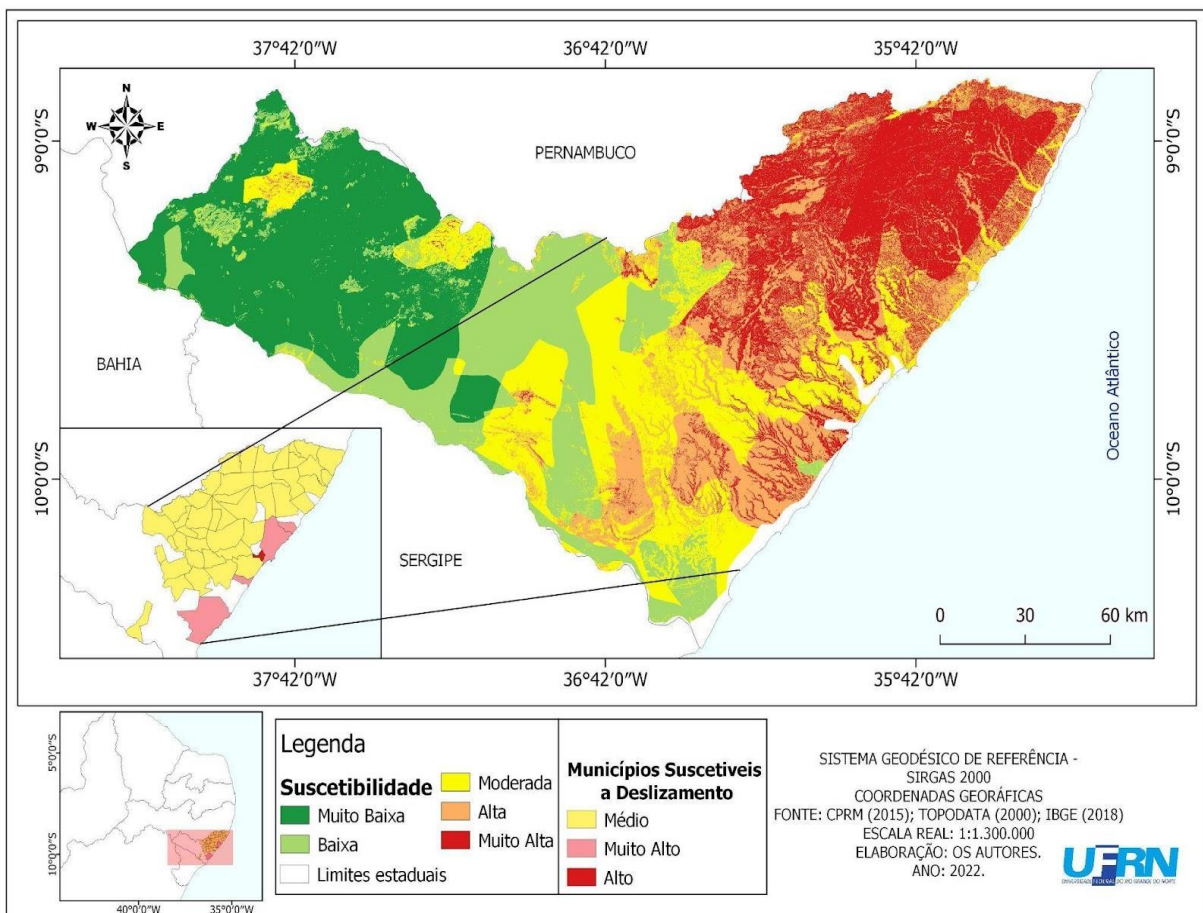


Considerando que a água é um importante fator para a deflagração dos movimentos de massa, o litoral de Alagoas apresenta naturalmente uma maior suscetibilidade em relação às demais áreas, o que não as isentam da ocorrência dos processos, tendo em vista a existência de outros condicionantes, como: as descontinuidades litológicas, a ocupação/uso do solo e o intemperismo físico (termoclastia; esfoliação esferoidal) em ambientes semiáridos.

A água é um importante condicionante aos processos gravitacionais de massa, pois a mesma está relacionada à ocorrência dos principais processos erosivos (erosão pluvial, fluvial e marinha), bem como, pode infiltrar-se nos planos de acamamentos das rochas, promovendo o deslizamento de uma camada em relação à outra, o que irá acarretar a desestabilização e o colapso das estruturas. (PRESS et al., 2006)

A partir da síntese dos mapas aqui expostos, foi elaborada a carta de suscetibilidade aos movimentos de massa para o estado de Alagoas, que é o produto da combinação dessas variáveis a partir da análise multicritério de decisão. O referido mapa foi gerado e classificado em cinco classes de suscetibilidade, com intervalos que variam entre: muito baixa; baixa; média; alta e muito alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa (figura 7).

**Figura 7.** Mapa de suscetibilidade aos movimentos de massa para o Estado de Alagoas, Brasil.





Deve-se ressaltar que neste mapa (figura 7) as classes muito alta e alta suscetibilidade são encontradas predominantemente na porção oriental do referido mapa - litoral do estado de Alagoas onde ocorrem os tabuleiros costeiros - e porção nordeste do mapa, onde ocorrem as áreas de declividades mais acentuadas, coincidindo com o Planalto da Borborema e Patamares Orientais da Borborema (CPRM, 2016).

Do mesmo modo, coincide com áreas com maiores médias de precipitação anual para o estado de Alagoas (1718.9mm e 1867.4mm) e com as classes de solos Argissolos Vermelho Amarelo e Latossolos Amarelos (predominante nos tabuleiros).

Isto explica-se devido à ocorrência de declividades mais acentuada; a influência climática e marítima, bem como, devido os Argissolos serem problemáticos em regiões muito úmidas, pois suas argilas de alta atividade formam uma barreira hídrica que acarreta o aumento do escoamento superficial e intensifica os processos erosivos em superfície.

Do mesmo modo, conforme explica Nascimento, Santos e Melo (2012) a geomorfologia dos tabuleiros, por ser de composição sedimentar, apresenta relevo semiplano com mais expressiva declividade nas encostas oriundas de falésias inativas e dos vales que cortam a região, tendo seu término no abrupto escarpado das falésias (ativas). Para esses autores, os deslizamentos são mais recorrentes nesses ambientes de formação geológica argilosa e desprovidos de cobertura vegetal. (NASCIMENTO, SANTOS; MELO, 2012)

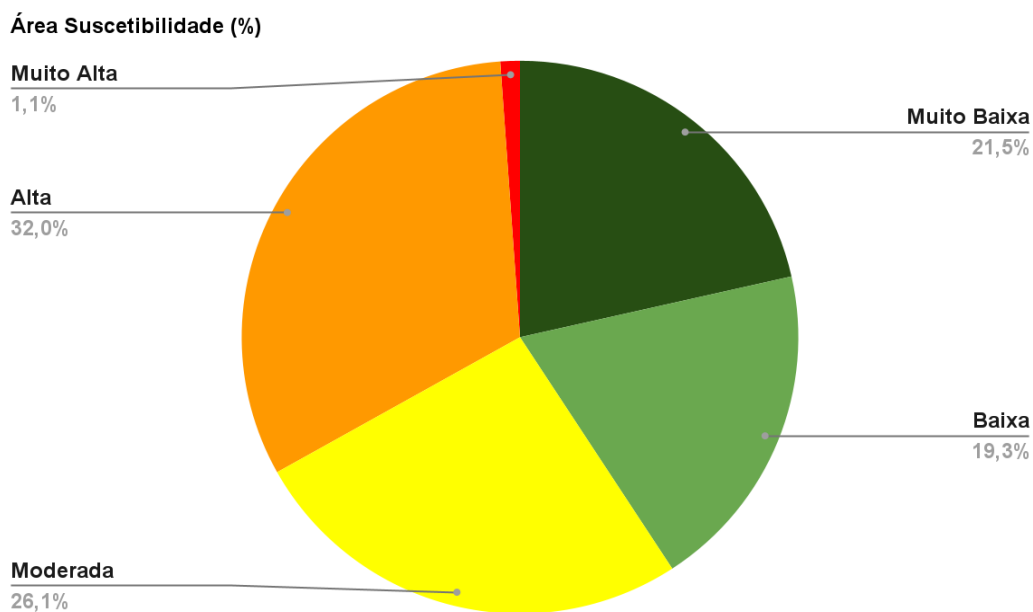
Quanto à classe de suscetibilidade moderada, constatou-se que esta classe ocorre predominante na porção central do mapa de suscetibilidade, que coincide com áreas de tensão ecológica (contatos) e nas encostas dos inselbergs isolados da Depressão do Baixo São Francisco. Do mesmo modo, coincide com as classes de solos Argissolo Vermelho-Amarelo; Latossolos Amarelos e Neossolos Litólicos (inselbergs).

No que tange às classes muito baixa e baixa suscetibilidade, foram identificadas no interior de Alagoas (porção oeste e centro-oeste), onde está localizada a Depressão do Baixo Rio São Francisco e predomina a formação savana-estépica (caatinga), bem como, ocorrem os menores índices pluviométricos do estado. Quanto aos solos encontrados, são predominantes as classes de Neossolos, que são pouco desenvolvidos e de textura arenosa, apresentando alta erodibilidade em declives mais acentuados, mas devido o caráter plano a ondulado do relevo local, não oferecem riscos consideráveis a ocorrência de movimentos de massa.

Para fins de comparação deste mapeamento, utilizou-se os dados de risco geológico disponíveis no Mapeamento da Geodiversidade para o estado de Alagoas (CPRM, 2016) que corroboram a suscetibilidade natural deste estado à ocorrência de movimentos de massa, conforme é evidenciado

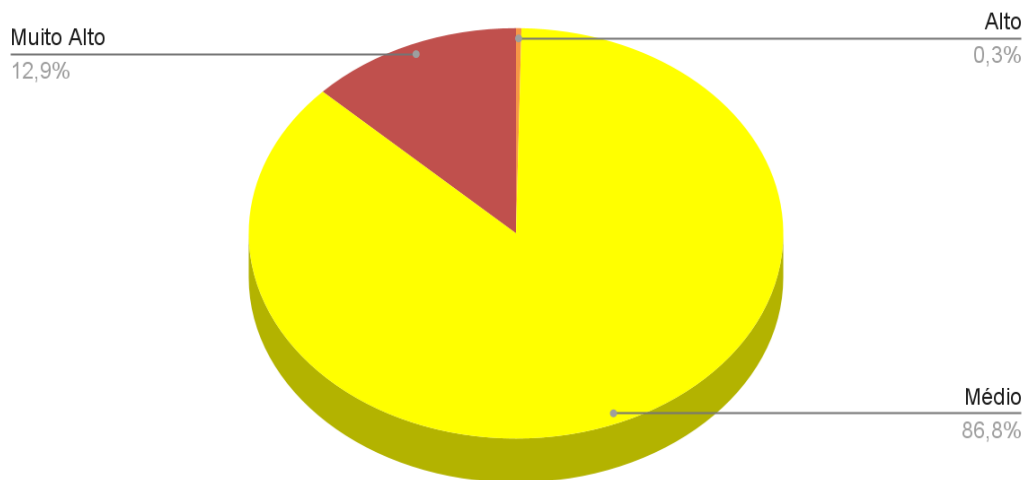
também nos gráficos de pizza a seguir, com as respectivas áreas expressas em porcentagem (Gráficos 2 e 3).

**Gráfico 2.** Gráfico de áreas expressas em porcentagem do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa.



**Gráfico 3.** Gráfico das áreas setorizadas para risco geológico (CPRM, 2016)

**Área Risco CPRM (2016)**



Conforme foi evidenciado neste mapeamento, as áreas que foram mapeadas como suscetíveis aos movimentos de massa coincidiram principalmente com as áreas que foram classificadas como de alto e muito alto risco geológico a esses processos pela CPRM. Entretanto, deve-se ressaltar que os dados de risco geológico da CPRM (2016) apontaram que os municípios Coruripe, Maceió e Paripueira foram classificados como muito alto risco geológico (R5), e os demais receberam classificação de Médio Risco Geológico (R2).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme o exposto, destaca-se:

1. A declividade do terreno combinada a outros fatores pode propiciar a ocorrência de movimentação de massas ou desencadear processos erosivos.
2. Conforme resultados obtidos a partir do mapa pedológico, constatou-se predominância de solos bastantes problemáticos, susceptíveis à erosão, bem como, solos susceptíveis aos processos de dispersão de massa, devido possuírem horizonte de acumulação de argila, sendo problemático em regiões muito úmidas.
3. Foram realizados mapas (bases) de pedologia; vegetação e mapa de precipitação, tendo em vista que estes dados são de suma importância para os estudos que envolvem processos erosivos e movimentos gravitacionais de massa. Posteriormente, os mapas foram combinados, gerando o produto da análise multicritério: a carta de suscetibilidade a movimentos de massa para o Estado de Alagoas.
4. A carta de suscetibilidade a movimentos de massa foi elaborada na escala de 1:250.000, abrangendo todo o Estado de Alagoas e conforme metodologia adotada no Mapeamento de Geodiversidade do Estado de Alagoas (CPRM, 2016), apresentando cinco classes de suscetibilidade aos movimentos de massa.
5. As áreas mapeadas como suscetíveis aos movimentos de massa no presente estudo coincidiram com as áreas classificadas como alto e muito alto risco geológico pela CPRM (2016), entretanto, nesta setorização apenas os municípios Coruripe, Maceió, Barra de São Miguel e Paripueira foram classificados como de muito alto risco geológico (R5), os demais municípios receberam classificação de médio risco geológico (R3) e apenas o município de Coqueiro Seco foi classificado como alto risco (R4).
6. Os resultados aqui expostos podem ser utilizados para o planejamento e ordenamento ambiental do território do estado de Alagoas, tendo em vista que apresentam uma

classificação das áreas potencialmente suscetíveis e que podem oferecer riscos às populações que residem nas áreas de encostas, sobretudo, em áreas de risco geológico.

## REFERÊNCIAS

BARROS, A. H. C.; FILHO, J. C. A.; SILVA, A. B.; SANTIAGO, G. A. C. F. **Climatologia do Estado de Alagoas**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, EMBRAPA Solos, 32 p. 2012. ISSN 1678-0892; 211. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/950797>. Acesso em: 01 de nov. 2021.

BITAR, O. Y. **Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações - 1:25.000**: nota técnica explicativa. São Paulo: IPT; Brasília: CPRM, 2014. 42 p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16588>. Acesso em: 01 de nov. 2021.

CPRM. **Cartas de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações**. 2021. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Gestao-Territorial/Prevencao-de-Desastres>. Acesso em: 01 nov. 2021.

EASTMAN, J. R. **Idrisi Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing: Manual**. Worcester: Clark University, 2003. 328 p.

EMBRAPA. Agência de Informação Embrapa. **Árvore do conhecimento - solos tropicais**. Agência de informação tecnológica. 2021. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa>. Acesso em: 20 out. 2021.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 353p.

FALCÃO, E. C. Análise de riscos à degradação ambiental utilizando avaliação multicritério espacial, no município de Boa Vista-PB. 2013.126 f. Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande-UFCG. Campina Grande-PB. 2013.

GUERRA, A. J. T.; FULLEN, M. A.; JORGE, M. C. O.; BEZERRA, J. F. R.; SHOKR, M.S. Slope Processes, Mass Movement and Soil Erosion: a Review. **Pedosphere**, p. 27–41, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60294-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60294-7).

IBGE. **Banco de Dados de Informações Ambientais (BDIA) do IBGE**. 2022. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>. Acesso em: 02 fev. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 3. ed. Rio de Janeiro, 1993. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 05 out. 2021.

IPT. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Ministério das Cidades. **Treinamento de Técnicos Municipais para o Mapeamento e Gerenciamento de Áreas Urbanas com Risco de Escorregamentos, Enchentes e Inundações**. p. 73. 2004.

MARINS, C. S.; SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais – um estudo de caso. In: XLI SBPO - 2009, p. 1778 -1888. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~emitacc/AMD/Artigo%204.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2021.

MIRANDA, N. M. G.; CAPRARIO, J.; MARTINI, L. C. P.; FINOTTI, A. R. Processo Hierárquico Analítico (AHP) em Modelagem Espacial da Vulnerabilidade à Inundação em Ambientes Mistos. Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ, p. 172 - 181, 2019.

NASCIMENTO, S. P. G.; SANTOS, J. R. U.; MELO, N. A. Os Riscos ambientais ocasionados pela ocupação irregular na Comunidade Vila Emater II, Maceió – AL. **Revista Geonorte**, Edição Especial, v.1, n.4, p.929-937, 2012.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. Mapeamento de suscetibilidade aos movimentos de massa com uso da Avaliação Multicritério pelo método da Média Ponderada Ordenada. **Caderno de Geografia**, v. 25, n. 43, p. 116-143, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2015v25n43p116>.

PRESS, F.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. H. (2006). **Para entender a terra**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 656 p.

QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Versão 3.16: HANNOVER [s.l.]: Open Source Geospatial Foundation Project, 2021.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 8, p. 63-74, 1994. DOI: <https://doi.org/10.7154/RDG.1994.0008.0006>.

SAATY, T. L. **The Analytic Hierarchy Process**. New York: McGraw Hill, 1980.

SANTOS, E. V.; MARIMON, M. P. C. Caracterização dos movimentos de massa na Microbacia do Rio Itoupava, município de Rio do Sul/ SC - Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, Costa Rica, n.47, p. 1-17, 2011.

SOUZA, D. O.; BARROS, M. S. O uso do método de análise hierárquica (AHP) na tomada de decisões gerenciais—um estudo de caso. In: XLI SBPO. 2009. v. 1, p. 49, p.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. IBGE, Rio de Janeiro, 1977.

VANACÔR, R. N. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao mapeamento das áreas susceptíveis a movimentos de massa na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre - RS, f. 132, 2006. Dissertação (Pós-graduação em Sensoriamento Remoto) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS.

VILLANUEVA, T. C. B.; MARTINS, V. S. **Geodiversidade do estado de Alagoas**. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. – Salvador: CPRM, 2016. 165 p.