

SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA EM UM MACIÇO RESIDUAL ÚMIDO CEARENSE

PAULO EMANUEL ALVES LOPES

Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE

Email: pauloemanuel2002@outlook.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9722-995X>

GISLANIA DE MENESES SILVA

Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE

Email: gislaniameneses@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1343-1550>

LARA LIMA LOURENÇO

Doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE

Email: larylimalourengo@hotmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3068-2378>

MARIA LÚCIA BRITO DA CRUZ

Professora Doutora em Geografia da Universidade Estadual do Ceará - UECE

Email: mlbcruz@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2202-923X>

Recebido: 06/2026

Avaliado: 07/2026

Publicado: 08/2026

RESUMO

Os movimentos de massa constituem importantes processos geomorfológicos em áreas de relevo acidentado, sendo condicionados pela interação entre fatores naturais e intervenções antrópicas. Nesse contexto, o objetivo foi identificar áreas suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa no Maciço da Aratanha (CE), bem como analisar de que forma a interação entre os fatores naturais e as ações antrópicas contribui para a intensificação desses processos. Foram utilizados dados georreferenciados, produtos de sensoriamento remoto, técnicas de análise multicritério e álgebra de mapas. Os resultados apresentam predominância de áreas altamente suscetíveis (45,49%), seguidas das classes média (31,22%) e baixa (23,29%), evidenciando o controle dos atributos geomorfológicos. A suscetibilidade biofísica gerada subsidia o planejamento territorial, a gestão ambiental e a prevenção de desastres no maciço.

Palavras-chave: Geotecnologias. Análise multicritério. Planejamento territorial.

SUSCEPTIBILITY TO MASS MOVEMENTS IN A HUMID RESIDUAL MASSIF OF CEARÁ

ABSTRACT

Mass movements are significant geomorphological processes in areas of rugged terrain, conditioned by the interaction between natural factors and human interventions. In this context, the objective was to identify areas susceptible to mass movements in the Aratanha Massif (Ceará, Brazil) and to analyze how the interaction between natural factors and human activities contributes to the intensification of these processes. The study employed georeferenced data, remote sensing products, multi-criteria analysis techniques, and map algebra. The results show a predominance of highly susceptible areas (45.49%), followed by moderate (31.22%) and low (23.29%) susceptibility classes, highlighting the influence of geomorphological attributes. The resulting biophysical susceptibility assessment supports land-use planning, environmental management, and disaster prevention in the massif.

Keywords: Geotechnologies. Multicriteria analysis. Territorial planning.

SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS DE MASA EN UN MACIZO RESIDUAL HÚMEDO CEARENSE

RESUMEN

Los movimientos en masa son procesos geomorfológicos significativos en áreas de relieve accidentado, condicionados por la interacción entre factores naturales e intervenciones humanas. En este contexto, el objetivo fue identificar áreas susceptibles a movimientos en masa en el Macizo de Aratanha (Ceará, Brasil) y analizar cómo la interacción entre factores naturales y actividades humanas contribuye a la intensificación de estos procesos. El estudio utilizó datos georreferenciados, productos de teledetección, técnicas de análisis multicriterio y álgebra de mapas. Los resultados muestran un predominio de áreas de alta susceptibilidad (45,49 %), seguidas por las clases de susceptibilidad moderada (31,22 %) y baja (23,29 %), destacando la influencia de los atributos geomorfológicos. La evaluación resultante de la susceptibilidad biofísica sirve de apoyo para la ordenación del territorio, la gestión ambiental y la prevención de desastres en el macizo.

Palabras Clave: Geotecnologías. Análisis multicriterio. Ordenación del territorio.

SUSCEPTIBILITÉ AUX MOUVEMENTS DE MASSE DANS UN MASSIF RÉSIDUEL HUMIDE DU CEARÁ

RÉSUMÉ

Les mouvements de masse constituent des processus géomorphologiques majeurs dans les zones au relief accidenté, conditionnés par l'interaction entre facteurs naturels et interventions humaines. Dans ce contexte, l'objectif était d'identifier les zones exposées aux mouvements de masse dans le massif d'Aratanha (Ceará, Brésil) et d'analyser comment l'interaction entre facteurs naturels et activités humaines contribue à l'intensification de ces processus. L'étude a mobilisé des données géoréférencées, des produits de télédétection, des techniques d'analyse multicritère et l'algèbre cartographique. Les résultats révèlent une prédominance de zones à forte susceptibilité (45,49 %), suivies des classes de susceptibilité modérée (31,22 %) et faible (23,29 %), mettant en évidence l'influence des caractéristiques géomorphologiques. L'évaluation de la susceptibilité biophysique ainsi obtenue constitue un outil d'aide à l'aménagement du territoire, à la gestion environnementale et à la prévention des catastrophes dans le massif.

Mots-clés: Géotechnologies. Analyse multicritère. Aménagement du territoire.

INTRODUÇÃO

A relação entre o ser humano e o ambiente natural é histórica e evoluiu ao longo dos milênios. Inicialmente marcadas por uma coexistência equilibrada e harmônica, as sociedades pré-industriais integravam suas atividades ao ritmo da natureza, utilizando os recursos de maneira mais sustentável. Com a chegada da industrialização e a ascensão do capitalismo, essa relação sofreu transformações profundas, dando lugar a um modelo de exploração intensiva dos recursos naturais e expansão urbana desordenada, resultando em uma dinâmica de degradação ambiental que persiste até os dias atuais.

Esse processo de exploração gerou consequências significativas na dinâmica do planeta, especialmente no que diz respeito à intensificação de fenômenos naturais extremos, como secas, inundações e movimentos de massa. Em regiões montanhosas, esses eventos têm se tornado uma preocupação crescente, pois combinam fatores naturais, como o relevo accidentado e a saturação hídrica, com ações humanas, como o desmatamento e a ocupação irregular do solo. Contudo, os movimentos de massa, como deslizamentos de terra, são processos geomorfológicos cruciais que afetam diretamente a configuração das encostas e a evolução das paisagens (Bigarella; Becker; Passos, 2003).

Assim, áreas como o Maciço da Aratanha, no norte do Ceará, tornam-se mais suscetíveis a deslizamentos devido às elevadas declividades, à intensa pluviosidade e às intervenções humanas, como desmatamento e ocupação inadequada. Além disso, por se tratar de um batólito granítico com forte controle tectônico, o maciço apresenta características geomorfológicas que favorecem a ocorrência de movimentos de massa.

Esses movimentos de massa podem variar em intensidade e velocidade, mobilizando materiais de diferentes granulometrias, e ocorrem de maneira isolada ou em eventos complexos que envolvem mais de um tipo de movimento (Dikau, 2004); fatores locais, como a geologia, a declividade e a orientação das vertentes, aliados às condições climáticas, desempenham um papel crucial na dinâmica desses processos (Guimarães et al., 2008).

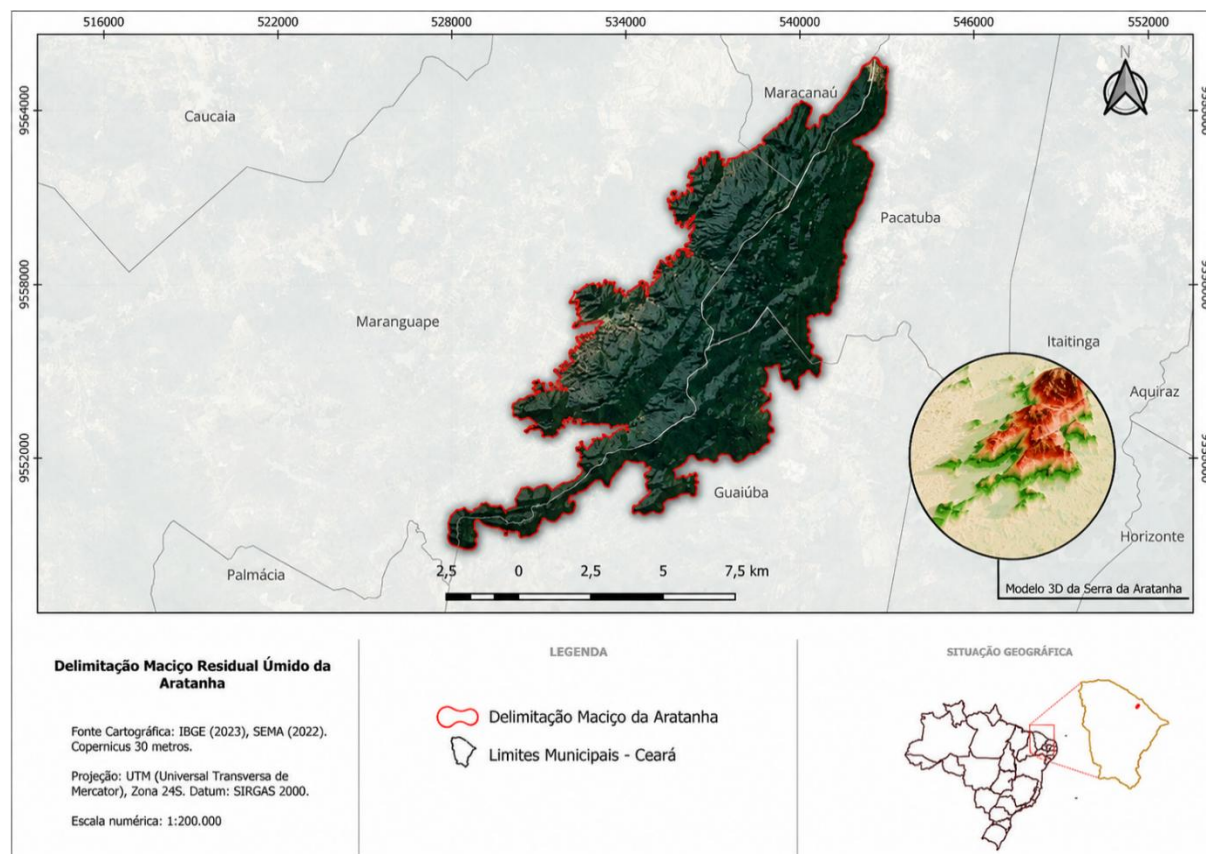
Diante desse cenário, o objetivo deste trabalho consiste em identificar áreas suscetíveis a movimentos de massa no maciço da Aratanha, localizado na região metropolitana de Fortaleza – CE, bem como compreender de que forma a interação entre fatores naturais e antrópicos contribui para a intensificação desses processos.

A justificativa para a realização desta pesquisa fundamenta-se na necessidade de avaliar espacialmente os níveis de suscetibilidade, considerando as particularidades geomorfológicas e ambientais do maciço residual úmido da Aratanha, a fim de subsidiar ações de planejamento e mitigação de riscos, reduzindo impactos sobre as comunidades locais, o meio ambiente e as atividades socioeconômicas.

Área de Estudo

O Maciço Residual Úmido da Aratanha, popularmente conhecido como Serra da Pacatuba ou Aratanha, localiza-se no norte do Ceará, na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), abrangendo os municípios de Pacatuba, Maranguape, Maracanaú e Guaiúba, no Nordeste do Brasil (figura 1). Apresenta altitudes em torno de 750 metros em relação à depressão sertaneja circundante. Sua litologia está associada ao setor norte da Província Borborema, inserida nos compartimentos setentrionais do subdomínio Ceará Central (Cavalcante et al., 2003).

Figura 1 – Mapa de localização do maciço residual úmido da Aratanha – CE



Fonte: Autores (2026).

O Maciço da Aratanha foi protegido pelo Decreto Estadual nº 24.959/1998, sendo atualmente reconhecido como Área de Proteção Ambiental (APA) de uso sustentável, com 6.448,29 hectares. A área se destaca por sua relevância ecológica, com características de enclave úmido de floresta plúvio-nebular no semiárido cearense, abrigando faunas e floras de Mata Atlântica, assim como a Caatinga e Mata Seca, além de desempenhar um importante papel hídrico, por conter nascentes do Rio Cocó. Situada a aproximadamente 30 km da capital, a APA constitui um importante refúgio biológico, turístico e ambiental, embora esteja sujeita à pressão contínua da expansão urbana (Semace, 2010).

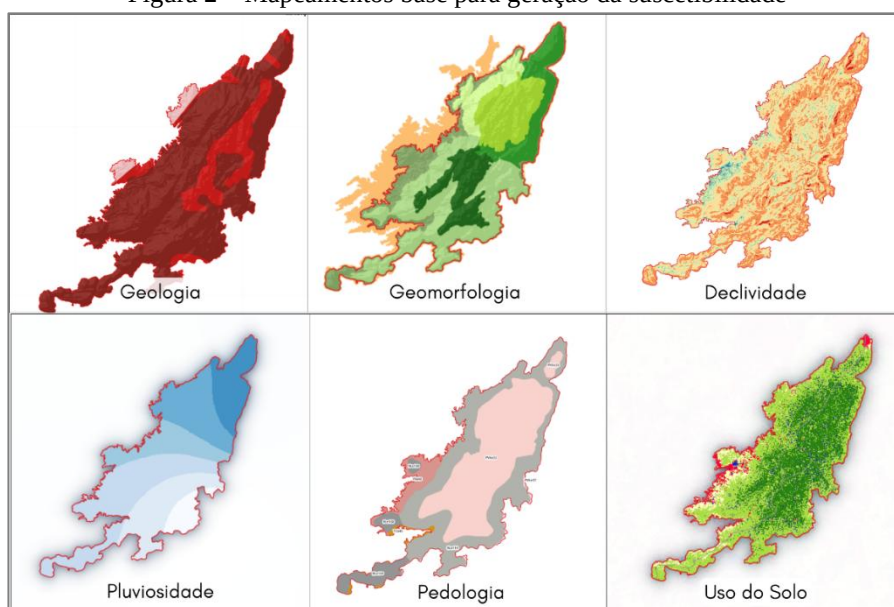
MATERIAIS E MÉTODOS

Os procedimentos técnico-operacionais seguiram uma sequência estruturada de etapas voltadas à coleta, geração e integração dos dados. O levantamento envolveu revisão bibliográfica sobre movimentos de massa e seus fatores condicionantes, além de trabalhos de campo, interpretação de imagens de satélite, análise de mapeamentos temáticos preexistentes e processamento das informações preliminares, até a consolidação dos resultados.

A metodologia adotada neste estudo foi estruturada com o objetivo de identificar áreas suscetíveis a movimentos de massa no maciço da Aratanha, integrando técnicas de análise espacial e geoprocessamento. Para isso, foram considerados fatores condicionantes de natureza física e antrópica, como declividade, uso e cobertura da terra, geologia, solos e regime pluviométrico. A partir da integração dos critérios e variáveis previamente definidos, procedeu-se à elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa no maciço da Aratanha, por meio da aplicação de técnicas de análise multicritério em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), através do software QGIS 3.40.5, o que permitiu compreender a distribuição espacial dos riscos, contribuindo para o planejamento territorial e para a mitigação de desastres.

Inicialmente, foi estruturado um banco de dados geográfico reunindo as bases vetoriais, envolvendo a aquisição e correção de informações referentes à geologia, geomorfologia, pedologia e pluviosidade (figura 2). Paralelamente, foram obtidos os dados matriciais, com destaque para variáveis como declividade e uso do solo, incluindo o preenchimento de falhas (fill) quando necessário.

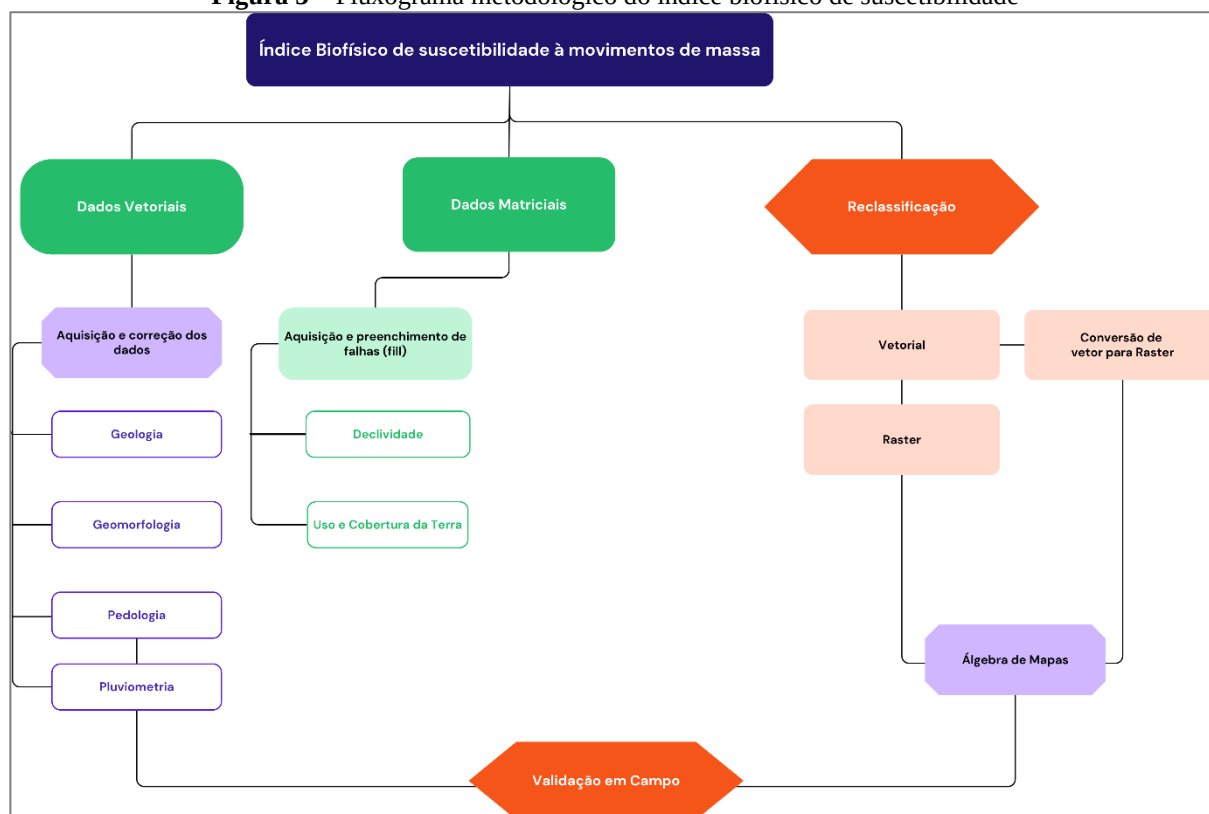
Figura 2 – Mapeamentos base para geração da suscetibilidade



Fonte: Autores (2026), baseados em Lopes et al. (2025).

Na etapa seguinte, esses dados passaram por processos de reclassificação, sendo padronizados em classes de suscetibilidade. Os dados vetoriais foram convertidos em formato raster, permitindo sua compatibilização com as demais variáveis matriciais. Com todas as informações em formato raster, foi aplicada a álgebra de mapas, possibilitando a integração das variáveis e a geração do índice biofísico de suscetibilidade a movimentos de massa. Por fim, todo o procedimento foi complementado por uma etapa de validação em campo, utilizada para conferir e ajustar os resultados obtidos no modelo (figura 3).

Figura 3 – Fluxograma metodológico do índice biofísico de suscetibilidade



Fonte: Autores (2026)

Neste método, cada plano de informação é considerado um critério de análise, ao qual são atribuídos pesos de acordo com sua importância relativa para o fenômeno investigado. Inicialmente, as classes de cada mapa temático são reclassificadas e recebem valores de aptidão ou influência. Em seguida, cada plano de informação é ponderado conforme os pesos previamente estabelecidos e integrado por meio da Combinação Linear Ponderada (Weighted Linear Combination – WLC), implementada através da álgebra de mapas, resultando em um mapa-síntese da variável analisada (Tomlin, 1990; Eastman, 1999; Malczewski, 1999).

O resultado desse processo é um mapa composto por áreas que representam um grau de importância relativo, expresso pelos valores numéricos obtidos na saída (Câmara; Davis, 2001). Para a realização da inferência média ponderada neste estudo, cada classe dos planos de informação foi inicialmente ponderada conforme sua relevância para a análise proposta.

Conforme o supracitado, o algoritmo de média ponderada considera dois fatores principais: o peso e as notas. As notas, que variam de 0 (mínimo) a 5 (máximo), são valores inteiros atribuídos de acordo com o grau de importância de cada classe no contexto dos eventos morfodinâmicos. Já o peso reflete o percentual de influência direta da variável mapeada no desencadeamento de movimentos de massa, sendo distribuído de maneira hierárquica entre os

diferentes planos de informação relevantes para o fenômeno estudado. Essa abordagem permite identificar quais fatores exercem maior impacto na ocorrência dos fenômenos analisados.

Nesse sentido, o uso de modelos matemáticos e algoritmos de ponderação, como o de média ponderada, permite uma abordagem abrangente e detalhada da dinâmica ambiental. Essa combinação de ferramentas oferece uma visão integrada do ambiente, facilitando a identificação de fatores críticos e promovendo análises mais precisas e consistentes. Visto isso, adotou-se a seguinte expressão matemática:

$$MP = (P_1 \times N_1) + (P_2 \times N_2) + (P_3 \times N_3) \dots (P_n \times N_n)$$

Em que:

MP: Média Ponderada;

P_n : Peso da camada em %;

N_n : Nota da camada de cada classe.

Logo, foram definidas 6 variáveis e mapeadas para a análise dos riscos de movimentos de massa no maciço da Aratanha: Declividade, Geomorfologia, Geologia, Pluviosidade, Pedologia e Uso e Ocupação do Solo. De forma criteriosa, as variáveis vão apresentar valores de peso percentual de acordo com a sua importância para a análise de movimentos de massa (tabela 1).

Assim, foram estabelecidas as seguintes grandezas de peso: Declividade (0,20 ou 20%), Compartimentação Geomorfológica e Ambiental (0,20 ou 20%), Vegetação/Uso da Terra (0,20 ou 20%), Solos (0,15 ou 15%), Pluviometria (0,15 ou 15%) e Geologia (0,10 ou 10%).

Além da atribuição desse índice, foi estabelecido hierarquicamente um valor de importância relacionada ao desencadeamento de movimentos de massa para cada classe mapeada. Os valores possuem pontuação de 1 a 5, sendo 1 o valor que apresenta menor índice nesse estudo e 5 o mais importante para a ocorrência desses eventos. Portanto, o índice de declividade foi o que apresentou maior importância devido à sua influência direta na ocorrência dos movimentos de massa, bem como na sua classificação e na capacidade cinética.

Tabela 1 – Parâmetros de ponderação aplicados na suscetibilidade a movimentos de massa

Estrutura geológica	Peso	Nota	Valor final (PxN)
Formação Granítica	0,1	2	0,2
Formas de relevo	Peso	Nota	Valor final (PxN)
Vertente Norte-Oriental	0,2	05	1,0
Vertente Norte-Occidental	0,2	05	1,0
Vertente Meridional e Rebordos	0,2	05	1,0
Superfície Úmida do Platô Dissecado	0,2	04	0,8
Superfície Úmida do Platô Conservado	0,2	04	0,8
Pedimentos Dissecados	0,2	02	0,4
Declividade em graus	Peso	Nota	Valor final (PxN)
0 – 3	0,2	01	0,2
3 – 8	0,2	02	0,4
8 – 20	0,2	03	0,6
20 – 45	0,2	04	0,8
45 <	0,2	05	1,0
Pluviosidade máxima anual em mm	Peso	Nota	Valor final (PxN)
1000 – 1200	0,15	02	0,3
1200 – 1400	0,15	03	0,45
1400 – 1600	0,15	04	0,6
>1700	0,15	05	0,75
Vegetação / Uso e ocupação do solo	Peso	Nota	Valor final (PxN)
Vegetação Perenifolia	0,2	02	0,4
Vegetação Semi-Caducifolia	0,2	03	0,6
Vegetação Caducifolia	0,2	04	0,8

Áreas de Cultivo / Solo Exposto / Áreas Antrópicas	0,2	05	1,0
Tipos de solos	Peso	Nota	Valor final (PxN)
Argissolos Distróficos	0,15	03	0,45
Argissolos Eutróficos	0,15	03	0,45
Luvisolos	0,15	05	0,75
Neossolos Litólicos	0,15	05	0,75

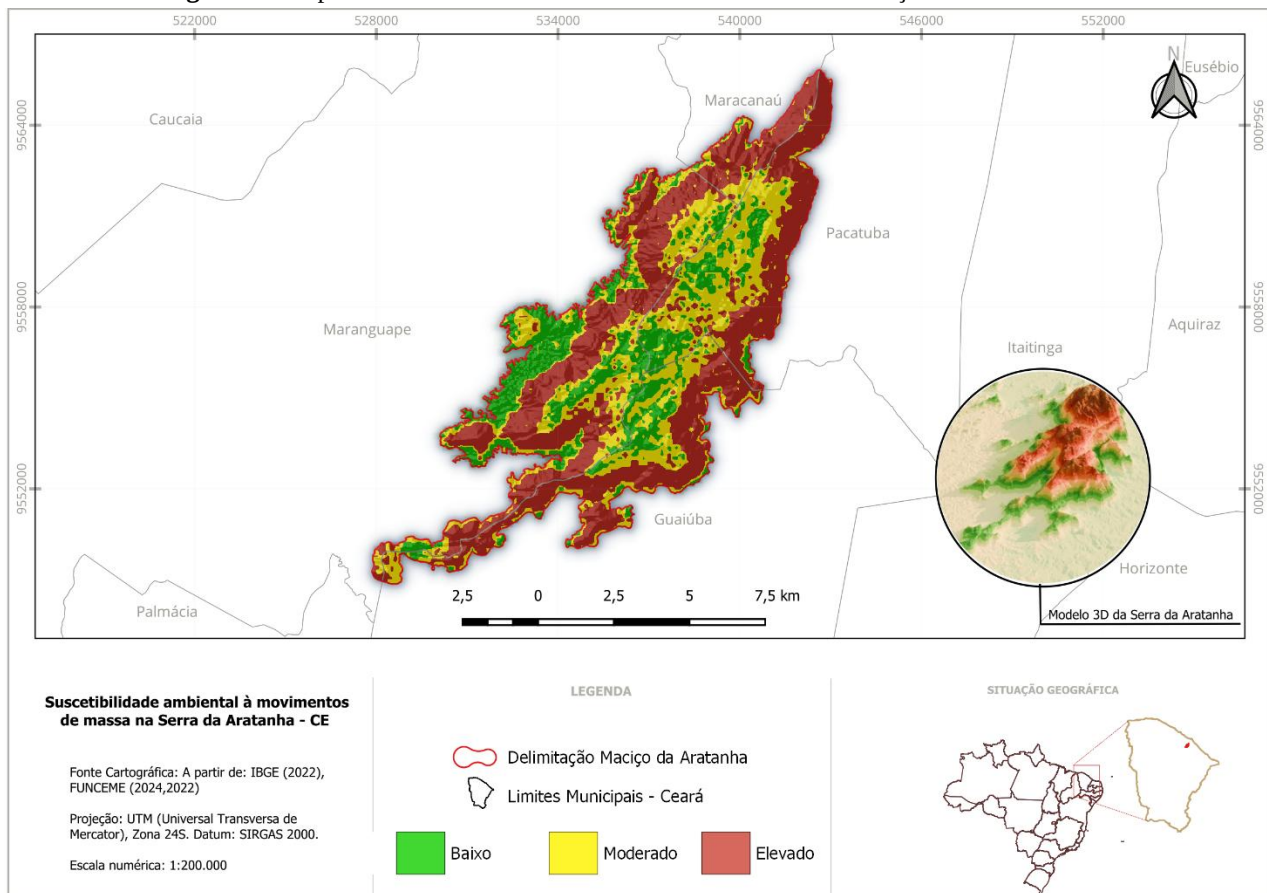
Fonte: Autores (2026)

Esse procedimento permitiu integrar e cruzar as diferentes variáveis ambientais mapeadas, como geologia, geomorfologia, declividade, pedologia, pluviosidade e uso e cobertura da terra, a partir da atribuição de pesos e notas às classes temáticas. Os dados foram processados de forma integrada, possibilitando a identificação das áreas com diferentes níveis de suscetibilidade. Dessa forma, a álgebra de mapas mostrou-se fundamental para a espacialização e análise conjunta dos fatores condicionantes dos movimentos de massa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O produto cartográfico resultante (figura 4) possibilitou a espacialização das áreas com diferentes níveis de suscetibilidade, constituindo uma representação sintética da interação entre os fatores naturais e antrópicos e fornecendo subsídios consistentes para a compreensão da dinâmica geomorfológica e para a gestão de riscos na região.

Figura 4 - Mapa da suscetibilidade a movimentos de massa no Maciço da Aratanha – CE



Fonte: Autores (2026).

Observa-se predominância de áreas com suscetibilidade ambiental elevada, representadas em vermelho, que ocupam aproximadamente 40,70 km², correspondendo a 45,49% da área total, concentradas principalmente nas bordas e nos setores mais inclinados do maciço. Esse resultado indica que uma parcela significativa do maciço apresenta condições favoráveis à ocorrência de instabilidades de vertentes, associadas principalmente às elevadas declividades, à presença de solos intemperizados e às condições de umidade características desse ambiente.

Além disso, essas áreas são compostas pelas vertentes dissecadas secas e pela vertente úmida que abrangem áreas compostas por rochas quartzíticas dobradas, especialmente nos setores ocidentais e meridionais da unidade geomorfológica. Com declividades superiores a 30°, os movimentos de massa predominantes nessa região são as quedas, que envolvem tanto blocos rochosos quanto camadas superficiais de solos pouco evoluídos, como neossolos litólicos. Esses processos refletem a interação entre a topografia acentuada e a instabilidade dos materiais superficiais.

Já os setores orientais elevados das vertentes dissecadas úmidas situam-se em áreas de maior altitude, abrangendo porções de municípios como Pacatuba e Guaiúba. Nessas zonas, a presença de uma vegetação densa e a maior incidência de precipitações, especialmente nas nascentes e nos altos cursos das sub-bacias hidrográficas, favorecem condições mais úmidas. Essa umidade, aliada à geomorfologia local, contribui para a ocorrência de deslizamentos rotacionais e translacionais, fluxos de lama e quedas de blocos.

Os materiais mobilizados incluem solos intemperizados, como argissolos, sedimentos com granulometria variada e blocos rochosos de diferentes tamanhos, evidenciando a complexidade dos processos de instabilidade. As vertentes dissecadas setentrionais elevadas, também consideradas de alto risco, exibem características similares, com declividades acentuadas e vulnerabilidade ampliada durante o período chuvoso, especialmente nos meses de março e abril.

A saturação do solo intensifica a suscetibilidade a esses movimentos, agravando os deslocamentos superficiais em áreas já fragilizadas por solos pouco consolidados. Nesse caso, os movimentos que podem ocorrer são quedas de blocos e deslizamentos translacionais rasos. O material transportado pode ser composto por pequenos mantos de intemperismo e blocos soltos de migmatito, que conseguem se transportar rapidamente em função da elevada capacidade energética devido à declividade.

As áreas de suscetibilidade moderada, representadas em amarelo, totalizam cerca de 27,94 km² (31,22%) e representam zonas de transição, onde os fatores condicionantes não atuam de forma isolada, mas em combinação, podendo evoluir para cenários de maior risco diante de eventos pluviométricos intensos ou intervenções antrópicas. Essas áreas demandam atenção especial no planejamento territorial, uma vez que podem se tornar críticas em situações de alteração no uso do solo, como desmatamento ou ocupação irregular.

As áreas de suscetibilidade moderada predominam nas transições geomorfológicas, como nas junções entre superfícies úmidas de platôs fraturados e as encostas mais acentuadas. Embora apresentem declividades intermediárias, essas áreas podem registrar instabilidades significativas. Os platôs conservados ou dissecados, frequentemente acima da cota de 450 metros, são recobertos por vegetação perenifolia, que em geral contribui para maior estabilidade. No entanto, atividades agrícolas inadequadas ou eventos pluviométricos intensos podem mobilizar sedimentos em cones de acumulação, desencadeando fluxos superficiais.

Outro fator relevante para a estabilidade morfodinâmica dos relevos do platô está associado à presença da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Aratanha, que abrange grande parte dessa área. Embora apresente limitações em sua gestão, a APA exerce um papel importante ao estabelecer restrições ao uso e ocupação do solo, funcionando como um mecanismo de contenção frente às práticas antrópicas predatórias. Dessa forma, contribui, ainda

que de maneira parcial, para a conservação das características naturais e para a manutenção da estabilidade geomorfológica da região.

Os setores inferiores das vertentes, tanto na região seca quanto na úmida, formam a base do maciço da Aratanha ou o início do piemont. Em certas áreas, é possível encontrar cones de detritos acumulados, resultantes de eventos morfodinâmicos ocorridos no passado; esses setores estão distribuídos ao redor de todo o maciço.

Em algumas zonas de deposição de detritos, o material pode ser remobilizado devido a atividades humanas que causam instabilidade nas encostas. Quando isso ocorre, os detritos podem ser transportados novamente por processos morfodinâmicos, como fluxos de detritos ou movimento lento do solo (creep), dependendo dos fatores que desencadeiam esses processos.

Já as áreas de baixa suscetibilidade, indicadas em verde, correspondendo a 20,84 km² (23,29%), concentram-se sobretudo nas porções centrais e em setores de relevo menos acidentado, com maior estabilidade do terreno e cobertura vegetal mais preservada, fatores que contribuem para a redução da ocorrência de movimentos de massa. No entanto, mesmo nessas áreas, a suscetibilidade não é inexistente, sendo importante considerar a possibilidade de mudanças decorrentes de ações antrópicas.

O padrão espacial identificado demonstra forte influência do relevo e da declividade na dinâmica ambiental do maciço da Aratanha, evidenciando que os setores periféricos/rebordos e os mais elevados do maciço são os mais vulneráveis aos movimentos de massa. Além disso, a ocupação humana em áreas de encosta pode potencializar esses processos.

De modo geral, os resultados evidenciam que a Serra da Aratanha apresenta um quadro de suscetibilidade biofísica relevante, com predominância de áreas suscetíveis a movimentos de massa. Tal cenário reforça a necessidade de implementação de políticas de uso e ocupação do solo mais restritivas, bem como de estratégias de monitoramento e mitigação de riscos, visando à redução de impactos sobre as populações locais e o meio ambiente.

De forma sintética, a seguir apresenta-se a quantificação das classes de suscetibilidade da Aratanha (Tabela 2), na qual se observa a predominância de áreas com alta suscetibilidade a movimentos de massa, correspondendo a 45,49%; as áreas de média suscetibilidade ocupam 31,22%; já as áreas de baixa suscetibilidade representam 23,29% da área do maciço.

Tabela 2 - Quantificação das classes de suscetibilidade a movimentos de massa

Classe de Suscetibilidade	Cor Representativa	Área (km ²)	Percentual (%)
Baixa	Verde	20,84	23,29%
Média	Amarelo	27,94	31,22%
Alta	Vermelho	40,70	45,49%
Total	—	89,48	100%

Fonte: Autores (2026).

Os movimentos de massa no Maciço da Aratanha apresentam elevada complexidade quanto às suas características e distribuição espacial, aspecto observado ao longo do trabalho por meio da identificação das áreas mais suscetíveis à ocorrência desses eventos. As condições naturais da região, associadas às intervenções humanas voltadas à ocupação e à recreação, contribuem para o aumento da instabilidade das vertentes e da intensificação dos processos erosivos.

Um exemplo disso é o Balneário das Andréas (figura 5), um importante atrativo turístico da região, que foi desenvolvido aproveitando as quedas d'água locais, o que contribuiu para a

valorização da área e o estímulo à ocupação em seu entorno. Contudo, práticas inadequadas, como queimadas para limpeza de terrenos, intensificam a degradação ambiental.

Essas ações podem induzir a incêndios em vegetação subcaducifólia, favorecendo a exposição do solo e reduzindo sua coesão. Assim, o solo desprotegido fica mais suscetível a movimentos de massa, especialmente em áreas de maior declividade, onde quedas e deslizamentos translacionais podem ocorrer.

Figura 5 - Balneário Bica das Andréas e as residências no entorno



Fonte: Autores (2025).

Durante a expedição de campo, foi realizada visita à trilha do Boaçu. O percurso inicia-se no Balneário Municipal das Andréas, a aproximadamente 77 m de altitude, seguindo em direção ao topo do maciço da Aratanha, que atinge cerca de 650 m. O Açude do Boaçu (figura 6), localizado na nascente do rio Cocó, é bastante procurado para atividades recreativas e possui acesso exclusivamente por uma trilha não pavimentada de aproximadamente 7 km de extensão.

Figura 6 – Nascente do Rio Cocó no Açude do Boaçu em Pacatuba



Fonte: Autores (2025)

A presença de trilhas não pavimentadas expõe o solo diretamente à ação dos processos erosivos, contribuindo para a degradação ambiental do maciço (figura 7(a)). Além disso, a abertura dessas vias implica cortes nas vertentes, favorecendo a ocorrência de movimentos de massa e aumentando a instabilidade do terreno. Outro fator relevante é o cultivo de bananeiras (figura 7(b)), prática comum na região, mas inadequada às condições ambientais da serra devido ao sistema radicular superficial dessa cultura. A substituição da vegetação nativa por áreas agrícolas reduz a estabilidade do solo e potencializa os processos erosivos e os riscos geomorfológicos.

Figura 7 - a) Exposição de raízes de árvore a partir da erosão; b) bananeira na vertente do maciço



Fonte: Autores (2025)

A exposição das raízes de árvores na serra é um indicativo de processos erosivos. Isso ocorre quando a cobertura superficial do solo é removida, seja por erosão hídrica, seja por deslizamentos, deixando as raízes expostas. A vegetação, que em condições normais atua como estabilizadora do solo, perde sua eficácia quando as raízes são expostas, pois a redução da cobertura vegetal compromete a capacidade de ancoragem. Nesse contexto, as raízes desempenham um papel mitigador, temporariamente sustentando a rocha (figura 8) e evitando sua mobilização.

Figura 8 - Raízes expostas sustentando blocos rochosos em área de processo erosivo



Fonte: Autores (2025).

Tal condição apresenta caráter transitório, visto que o enfraquecimento da árvore pode comprometer a sustentação da rocha, ocasionando seu desprendimento. Além disso, eventos pluviométricos intensos favorecem a saturação do solo, ampliando a instabilidade das vertentes e potencializando a deflagração de novos movimentos de massa. Nesse contexto, a rocha mantida em equilíbrio pelas raízes também configura um fator de risco para a ocorrência de movimentos secundários.

Os processos observados no maciço, como deslizamentos, são exacerbados pelas práticas humanas inadequadas. O corte de vertentes para abertura de trilhas e construções, bem como a remoção da vegetação nativa para cultivo, reduz a resistência do solo ao cisalhamento. Isso cria condições propícias para deslizamentos rotacionais e fluxos em áreas declivosas, intensificando a erosão e aumentando o risco de colapsos estruturais.

Da mesma forma, foram identificadas áreas caracterizadas pela presença de grandes blocos rochosos dispersos (figura 9), evidenciando a ocorrência de movimentos de massa do tipo queda ou rolamento de blocos.

Figura 9 - Queda de bloco rochoso da ordem de m³



Fonte: Autores (2025)

Na figura 9, é possível observar blocos de rocha de grandes dimensões da ordem de m^3 , possivelmente blocos rolados, que se destacam pela fragmentação natural e pelo acúmulo em um ambiente de encosta. Esse tipo de formação é resultado de processos como deslizamentos ou movimentos gravitacionais antigos, que transportaram esses materiais ao longo do tempo.

A Figura 10(a) mostra um bloco de rocha exposto e parcialmente destacado da base do talude, com sinais claros de instabilidade. Esse cenário está associado a processos erosivos que desgastam o solo e a base de suporte da rocha, além do intemperismo, que provoca fissuras e fraturas na estrutura rochosa.

Figura 10 – a) Bloco Rochoso; b) Vale do rio Cocó



Fonte: Autores (2025)

A inclinação do terreno, a vegetação escassa e o acúmulo de folhas secas e sedimentos ao redor indicam que o escoamento superficial da água pode estar acelerando a erosão, comprometendo ainda mais a estabilidade do bloco. Na Aratanha, a composição geológica, caracterizada por rochas naturalmente fraturadas, aumenta o risco de deslocamento de blocos, especialmente após chuvas intensas, que saturam o solo e desestabilizam as bases rochosas. Assim, o movimento de massa observado na imagem pode ser atribuído à queda de blocos.

A Figura 10(b) mostra um local de convergência de movimento de massa e transporte fluvial, com grandes blocos rochosos dispersos, indicando a ocorrência de movimentos de massa do tipo queda ou rolamento de blocos. A disposição desordenada das rochas sugere seu desprendimento de encostas próximas, seguido de deslocamento e acomodação aleatória na base ou em pontos inclinados do terreno. O acúmulo de blocos de diferentes tamanhos confirma a instabilidade geológica associada à força gravitacional.

A ação do intemperismo, que enfraquece as rochas ao longo do tempo, é um dos principais fatores que contribuem para o desprendimento dos blocos. Quando ocorre a combinação de umidade intensa ou chuvas fortes, a desestabilização das massas rochosas pode desencadear esses deslizamentos, agravando o risco para as comunidades localizadas nas partes inferiores das encostas.

Os resultados mostram também que a perda gradual da cobertura vegetal está diretamente associada às pressões de uso humano, como loteamentos residenciais e atividades agrícolas. As áreas mais críticas estão localizadas no Norte da APA, no município de

Maracanaú, que apresenta a maior concentração populacional da região, e na porção leste, envolvendo os municípios de Pacatuba e Guaiúba. Tais alterações impactam não apenas a biodiversidade local, mas também os processos ecológicos essenciais, aumentando os riscos de degradação ambiental e eventos como movimentos de massa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo realizado no maciço da Aratanha evidenciou uma dinâmica complexa entre os processos naturais e as intervenções humanas, resultando em impactos significativos sobre a paisagem e a estabilidade geomorfológica da região. A atração turística e recreativa, aliada à proximidade de Fortaleza, tem impulsionado o crescimento urbano, gerando pressões sobre os ecossistemas locais e aumentando os riscos de degradação ambiental. A expansão urbana, principalmente nos municípios de Maracanaú, Pacatuba, Guaiúba e Maranguape, reflete o chamado "efeito borda", onde as ocupações humanas avançam sobre os limites da serra, comprometendo a cobertura vegetal e ampliando a vulnerabilidade a eventos morfodinâmicos.

A perda gradual da vegetação, associada a loteamentos residenciais e atividades agrícolas, tem impactado diretamente a biodiversidade e os processos ecológicos essenciais, além de aumentar os riscos de movimentos de massa. As áreas de alto risco, caracterizadas por vertentes dissecadas com declividades superiores a 30°, são particularmente suscetíveis a quedas de blocos rochosos e deslizamentos, especialmente durante o período chuvoso. A saturação do solo e a instabilidade dos materiais superficiais agravam esses processos, destacando a necessidade de monitoramento constante e de medidas de mitigação.

Por outro lado, as áreas de risco moderado e baixo, como os platôs conservados e as superfícies úmidas, apresentam maior estabilidade devido à topografia plana e à preservação da cobertura vegetal. No entanto, mesmo nessas áreas, práticas agrícolas inadequadas ou eventos pluviométricos extremos podem desencadear processos erosivos e fluxos de sedimentos. A presença da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra da Aratanha desempenha um papel importante na contenção de práticas predatórias e na manutenção da estabilidade morfodinâmica.

Portanto, o estudo evidencia seu potencial como referência para aplicações em regiões com características físico-naturais semelhantes, bem como para o aprimoramento e desenvolvimento de novas metodologias de mapeamento e classificação de áreas de risco. Essas metodologias, fundamentadas no uso de tecnologias de geoprocessamento, podem ser adaptadas para a análise de diferentes tipos de movimentos gravitacionais de massa.

REFERÊNCIAS

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais**. v. 3. Florianópolis, SC: Editora da UFSC, 2003.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. **Introdução: Por Que Geoprocessamento**. [S.l.: S.n.], 2001. Disponível em: <http://mtcm12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2004/04.19.13.48/doc/cap1-introducao.pdf>.

CAVALCANTE, S.N.; CAVALCANTE, J.E.; MELO, A.C.R.; DUARTE NETO, V.C.; BENEVIDES, H.C. **Mapa geológico do estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003. Escala 1:500.000.

DIKAU, R. Mass Movement. In: Goudie, A. (Hrsg.). **Encyclopedia of Geomorphology**. Bonn, North Rhine-Westphalia: Bonn University, 2004. p. 664-652.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Guide to GIS and Image Processing**. Worcester: Clark University, 1999.

GUIMARÃES, R. F.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, R. A. T.; FERNANDES, N. F. Movimento de Massa. In: FLORENZANO, Teresa Gallotti (Org.). **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2008. p. 159-184.

LOPES, P. E. A.; SILVA, G. de M.; LOURENÇO, L. L. L.; CRUZ, M. L. B. da. A utilização de técnicas de geoprocessamento aplicado à delimitação do maciço residual da Serra da Aratanha – CE. **Revista Contexto Geográfico**, 2025, 10(24), 225 – 244. DOI: <https://doi.org/10.28998/contegeo.10i.24.18033>.

MALCZEWSKI, J. **GIS and Multicriteria Decision Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1999.

SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (SEMACE). **Área de Proteção Ambiental da Serra da Aratanha**. Fortaleza-CE, 2010. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/2010/12/08/area-de-protecao-ambiental-da-serra-da-aratanha/>.

TOMLIN, C. D. **Geographic Information Systems and Cartographic Modeling**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990.