



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**BRENDA OLIVEIRA ROCHA**

**ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SINERGIA COM A ÁLGEBRA DE MAPAS PARA  
AVALIAR A SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NO MACIÇO DE  
BATURITÉ**

**FORTALEZA**

**2021**

BRENDA OLIVEIRA ROCHA

ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SINERGIA COM A ÁLGEBRA DE MAPAS PARA  
AVALIAR A SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NO MACIÇO DE  
BATURITÉ

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Ciências Ambientais do  
Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR)  
da Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Antônio Geraldo  
Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Tullius Dias Nery

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- R571a Rocha, Brenda.  
ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SINERGIA COM A ÁLGEBRA DE MAPAS PARA  
AVALIAR A SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NO MACIÇO DE  
BATURITÉ  
/ Brenda Rocha. – 2021.  
57 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará,  
Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2021.  
Orientação: Prof. Dr. Antônio Geraldo  
Ferreira. Coorientação: Prof. Dr. Tullius Dias  
Nery.
1. Movimentos de Massa. 2. Sistemas de Informações Geográficas. I. Título.

CDD 333.7

---

BRENDA OLIVEIRA ROCHA

ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SINERGIA COM A ÁLGEBRA DE MAPAS PARA  
AVALIAR A SUSCETIBILIDADE A MOVIMENTOS DE MASSA NO MACIÇO DE  
BATURITÉ

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Ciências Ambientais do  
Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR)  
da Universidade Federal do Ceará, como  
requisito parcial à obtenção do título de  
Bacharel em Ciências Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Antônio Geraldo  
Ferreira

Coorientador: Prof. Dr. Tullius Dias Nery

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Tullius Dias Nery (Coorientador)  
Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN)

---

Prof. Dr. Frederico de Holanda Bastos  
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por sempre estar cuidando de mim, me escutando, mesmo quando eu penso que não. Depois que decidi entregar minha vida para Ele cuidar, as melhores coisas me aconteceram, então a Ele entrego e confio toda a minha vida.

Em segundo lugar, agradeço aos meus queridos pais, Gorete e Carlos, por sempre me apoiarem, confiarem em mim, me ajudarem nas horas mais difíceis e, mesmo dentre todas as dificuldades, me oferecerem o maior amor do mundo. O amor que sinto por vocês é inexplicável e eterno.

Agradeço aos meus queridos irmãos, Bruno, Breno, Camila e Rhildson, por tudo que já fizeram por mim, principalmente pelos momentos de muitas risadas e muito carinho. Em especial ao meu irmão Bruno, que sempre foi o meu melhor amigo, você alegra muito a minha vida e será um arquiteto incrível.

Agradeço à minha prima/irmã Letícia e minha tia Francisca, que são dois anjos na minha vida, que já me ajudaram de várias formas, nós temos uma conexão muito especial. Também agradeço a minha querida avó Telina, sendo o meu maior exemplo de força e coragem. Aos demais parentes, que estiveram comigo de alguma forma, me sinto muito grata por tudo, principalmente à tia Regina e suas filhas, à tia Bi e sua filha Diana, à tia Silvânia e sua filha Amanda.

Aos meus amigos antigos, que me ajudaram muito nessa caminhada, que sempre me ofereceram momentos muito felizes, em especial: Ana Alice, Eduarda, Léo, André, Igor e Alissa.

Às minhas amadas amigas Rebeca, Hillary e Júlia, pela irmandade e por saber que vou ter vocês comigo pra sempre. Também dedico, de forma muito especial, à nossa querida amiga Ranielle, que hoje se encontra com Deus, que sempre irá morar no nosso coração e continuará nos ensinando muitas coisas, tivemos sorte de conhecê-la. Também à dupla Pedro Vinícius e Clebson que, da mesma forma, compartilham comigo muitas coisas boas. E, não menos importante, ao meu amigo Sávyo, pelo incrível apoio de sempre. Amo todos vocês.

Ao meu eterno grupinho do Labomar: Lígia, Janaína, Taynara e Ravena, por serem amigas tão incríveis, por todos os muitos momentos de risadas, por sempre demonstrarem alegria nos momentos mais tensos, pelo desejo de sucesso de ambas as partes. Realmente tive muita sorte de conhecê-las, foi um presente de Deus. Amo vocês.

Ao meu colega Carlos Eduardo, por ter me ensinado muitas coisas relacionadas a minha área de trabalho, pela paciência e disponibilidade. Você será um excelente professor.

Aos meus demais colegas do Labomar, desejo muito sucesso para todos, em especial: Andressia, Pedro Lucas, Matheus, Emanuel, Rodrigo, Cândido, Cíntia, Emilly, Carlinhos, Ruth, Guilherme e Hugo.

Ao meu chefe do estágio no Porto de Fortaleza, Raimundo José, por ter me ensinado muito, pelo respeito e consideração. Aos meus amados colegas de trabalho, Saulo e Ernani, vocês são duas pessoas maravilhosas que moram no meu coração, obrigada por tudo.

De forma especial, agradeço ao Professor Geraldo, que me fez sentir acolhida, por toda paciência, esforço, ensinamentos e amizade, sou sua fã. Ao Professor Tullius, que me ajudou bastante para o desenvolvimento deste trabalho, se mostrando uma pessoa muito atenciosa e de bom coração. Ao Professor Fred, por suas contribuições e por ter aceitado o convite para a banca examinadora.

Por fim à UFC, por proporcionar excelentes professores e ótimas oportunidades de crescimento tanto profissional quanto pessoal.

## RESUMO

O Estado do Ceará, mesmo sendo caracterizado majoritariamente pela depressão sertaneja, possui enclaves úmidos que apresentam diferentes características hidroclimáticas associadas as elevadas declividades, sendo o Maciço de Baturité um desses locais de destaque. Nessa região é comum a ocorrência de movimentos de massa, principalmente de deslizamentos translacionais e rotacionais além de quedas de blocos, sendo fenômenos modificadores da paisagem e que podem, por ventura, ocasionar prejuízos e/ou acidentes, sendo necessário uma avaliação mais adequada. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi analisar a probabilidade de ocorrências de movimentos de massa no Maciço de Baturité, com aplicação da análise multicritério em ambiente SIG (Sistemas de Informações Geográficas) associados a álgebra de mapas. Essa metodologia consiste na integração das variáveis escolhidas e dos fatores condicionantes, de modo que o produto final compreende em um mapa de suscetibilidade. Foram escolhidas 5 variáveis (geomorfologia, pedologia, declividade, orientação das vertentes e pluviosidade) e desenvolvidos dois mapas de suscetibilidade, sendo um para deslizamentos e outro para quedas de blocos, isso por serem movimentos que apresentam algumas características distintas. Dessa forma, os principais resultados apontaram que a região mais úmida do Maciço de Baturité (vertente dissecada úmida), que possui elevadas declividades e profundos mantos de intemperismo, possui um grau de suscetibilidade “Muito Alto” a deslizamentos, seguido da região à sotavento (vertente dissecada seca), classificada com grau de suscetibilidade “Alto”. Em relação às quedas de blocos, a vertente dissecada seca, os domos rochosos, as cristas e os inselbergs apresentaram grau de suscetibilidade “Muito Alto”, pelas elevadas declividades, menor formação pedológica, além da ação dos agentes intempéricos nas rochas expostas, seguido da vertente dissecada úmida, classificada com grau de suscetibilidade “Alto”. Como forma de validação dos modelos desenvolvidos pela álgebra de mapas, foram sobrepostas as cicatrizes das ocorrências mapeadas em campo, estas se apresentando coincidentemente nas classes elevadas de suscetibilidade dos mapas elaborados.

**Palavras-chave:** Maciço de Baturité. Movimentos de massa. Suscetibilidade. Álgebra de mapas.

## ABSTRACT

The State of Ceará, even though it is mainly characterized by the hinterland depression, has humid enclaves that have different hydroclimatic characteristics associated with high declivity, with the Massif de Baturite being one of these outstanding places. In this region, mass movements are common, mainly of translational and rotational landslides, in addition to falling blocks, which are phenomena that modify the landscape and which may, by chance, cause damage and / or accidents, requiring a more adequate assessment. Thus, the objective of this research was to analyze the probability of occurrences of mass movements in the Baturité Massif, with the application of multicriteria analysis in a GIS environment (Geographic Information Systems) associated with map algebra. This methodology consists of the integration of the chosen variables and the conditioning factors, so that the final product comprises in a susceptibility map. Five variables were chosen (geomorphology, pedology, slope, slope orientation and rainfall) and two susceptibility maps were developed, one for landslides and the other for falls from blocks, this being movements that have some distinct characteristics. Thus, the main results pointed out that the most humid region of the Massif de Baturite (dissected wet slope), which has high slopes and deep mantles of weathering, has a degree of susceptibility "Very High" to landslides, followed by the region to the leeward (dry dissected strand), classified as "High" susceptibility. Regarding block falls, the dry dissected slope, rocky domes, ridges and inselbergs showed a "Very High" degree of susceptibility, due to the high declivity, less pedological formation, in addition to the action of weathering agents on the exposed rock, followed by wet dissected strand, classified with "High" susceptibility. As a form of validation of the models developed by map algebra, the scars of the occurrences mapped in the field were superimposed, these appearing coincidentally in the high susceptibility classes of the elaborated maps.

**Keywords:** Massif de Baturite. Mass movements. Susceptibility. Map algebra.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Esquema ilustrativo do processo de álgebra de mapas.....	18
Figura 2	– Modelo ilustrativo de quedas de blocos e rolamentos com uma fotografia de cada movimento no Maciço de Baturité.....	20
Figura 3	– Modelo ilustrativo de deslizamentos planares e circulares, com uma fotografia de cada movimento no Maciço de Baturité.....	21
Figura 4	– Flanco oeste do Maciço de Baturité, caracterizado pelas vertentes secas na região de sotavento, na rodovia que liga o município de Aratuba à Caridade.....	25
Figura 5	– Flanco leste do Maciço de Baturité, representado pelas vertentes úmidas, na região de barlavento, no Sítio Rolador (município de Pacoti) .....	25
Figura 6	– Média pluviométrica anual do período de 1988-2020 do Maciço de Baturité.....	27
Figura 7	– Cachoeira São Pedro e São Paulo no município de Guaramiranga. A mesma se encontra na região de barlavento do Maciço de Baturité, onde se destaca a presença da mata úmida.....	28
Figura 8	– Grande presença de plantações de bananeiras nas vertentes à sotavento (CE 060 que liga os municípios de Aratuba e Canindé.....	30
Figura 9	– Figura 9 - Plantações de bananeiras à barlavento (localidade do Rolador - Pacoti) .....	30
Figura 10	– Loteamento e construções nas encostas íngremes na região da APA da Serra de Baturité.....	31
Figura 11	– Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.....	32
Figura 12	– Notícia relatando a ocorrência de movimentos de massa no Maciço de Baturité.....	33
Figura 13	– Aba correspondente a Calculadora Raster do Qgis.....	36
Figura 14	– Histograma das classes apresentadas no mapa de suscetibilidade a deslizamentos, indicando suas áreas de extensão.....	48

Figura 15 – Histograma das classes apresentadas no mapa de suscetibilidade e quedas de blocos, indicando suas áreas de extensão..... 51

## LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Localização da área de estudo.....	24
Mapa 2 – APA da Serra de Baturité.....	29
Mapa 3 – Movimentos de massa no Maciço de Baturité (cicatrizes de 2012 e 2020).....	34
Mapa 4 – Geomorfologia do Maciço de Baturité.....	38
Mapa 5 – Pedologia do Maciço de Baturité .....	40
Mapa 6 – Declividade do Maciço de Baturité.....	42
Mapa 7 – Orientação das Vertentes do Maciço de Baturité.....	43
Mapa 8 – Pluviosidade Média do Maciço de Baturité (1998- 2020) .....	45
Mapa 9 – Suscetibilidade a deslizamentos no Maciço de Baturité.....	48
Mapa 10 – Suscetibilidade a quedas de blocos no Maciço de Baturité.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Intervalo atribuído para a definição das notas .....	36
Tabela 2 – Pesos e notas atribuídos para a variável “geomorfologia” para deslizamentos e quedas.....	39
Tabela 3 – Pesos e notas atribuídos para a variável “pedologia” para deslizamentos e quedas .....	40
Tabela 4 – Pesos e notas atribuídos para a variável “declividade” para deslizamentos e quedas.....	42
Tabela 5 – Pesos e notas atribuídos para a variável “orientação das vertentes” para deslizamentos e quedas.....	44
Tabela 6 – Pesos e notas atribuídos para a variável “pluviosidade” para deslizamentos e quedas.....	46

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	OBJETIVOS.....	15
3	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	<b>Geoprocessamento e SIG como ferramentas para a análise ambiental.....</b>	16
3.2	<b>Análise Multicritério e Álgebra de Mapas.....</b>	17
3.3	<b>Movimentos de Massa.....</b>	19
3.3.1	<b><i>Classificação.....</i></b>	20
3.3.1.1	<i>Quedas de blocos (falls).....</i>	20
3.3.1.2	<i>Escorregamentos (slides).....</i>	21
3.3.2	<b><i>Fatores que influenciam na ocorrência de movimentos de massa.....</i></b>	22
4	<b>ÁREA DE ESTUDO.....</b>	24
5	<b>METODOLOGIA.....</b>	32
5.1	<b>Seleção da área de estudo .....</b>	33
5.2	<b>Visita Técnica.....</b>	34
5.3	<b>Seleção do modelo de álgebra de mapas e do ambiente SIG.....</b>	35
5.4	<b>Levantamento dos parâmetros e atribuição dos pesos e das notas .....</b>	37
5.4.1	<b><i>Geomorfologia .....</i></b>	38
5.4.2	<b><i>Pedologia .....</i></b>	39
5.4.3	<b><i>Declividade .....</i></b>	41
5.4.4	<b><i>Orientação das Vertentes.....</i></b>	43
5.4.5	<b><i>Pluviosidade .....</i></b>	44
5.5	<b>Aplicação da equação .....</b>	46
6	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	47
6.1	<b>Mapa de suscetibilidade a deslizamentos.....</b>	47
6.2	<b>Mapa de suscetibilidade a quedas de blocos.....</b>	50
7	<b>CONCLUSÕES .....</b>	53
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	54

## 1 INTRODUÇÃO

Diante da grande pluralidade de desafios nos quais a gestão pública enfrenta em relação aos diferentes impactos negativos que os ecossistemas podem sofrer, sendo estes tanto naturais quanto antrópicos, observa-se que, com o uso do Geoprocessamento, as análises desses eventos podem ser realizadas de forma esquemática, obtendo-se resultados eficientes e satisfatórios quando aplicados tanto para a gestão dos recursos naturais quanto para a gestão das zonas de expansão urbana.

O Estado do Ceará, como sendo uma região que apresenta uma grande diversidade paisagística, pode ser beneficiado em relação a várias linhas de pesquisa relacionadas ao Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. “As imagens obtidas através do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Esta visão sinóptica do meio ambiente ou da paisagem possibilita estudos regionais e integrados, envolvendo vários campos do conhecimento” (FLORENZANO, 2005).

Mesmo apresentando características predominantemente semiáridas, devido aos fatores geográficos locais como altitude e proximidade do oceano, o Estado do Ceará apresenta enclaves úmidos que condicionam contrastes significativos no seu quadro natural (SILVA, 2004). O Maciço de Baturité, área de estudo do presente trabalho, é um exemplo de uma dessas regiões diferenciadas que, com as acentuadas declividades de algumas encostas e o seu quadro climático natural, apresenta movimentos de massa intensos e frequentes que podem ocasionar danos eventuais.

Levando isto em consideração, através da obtenção de dados remotos é possível analisar e desenvolver mapas de suscetibilidade nos quais indicam quais áreas podem ser mais propícias à ocorrência desses eventos, podendo assim serem aplicados nos processos de mitigação e expansão mais ordenada das cidades do maciço.

Como parte desse processo de observação e análise de dados para a formulação de mapas integrados, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são os instrumentos computacionais do geoprocessamento que permitem a manipulação dos dados georreferenciados de forma automatizada, construídos especialmente para armazenar, analisar e manipular dados geográficos. (CÂMARA, 1997).

Nesse ambiente SIG, dentre as várias técnicas possíveis de serem desenvolvidas e aplicadas, a álgebra de mapas se destaca por englobar outros dados ambientais ao geoprocessamento. De acordo com Tomlin (1990), como descreve Barbosa *et al.* (1998), “o termo consiste no conjunto de procedimentos de análise espacial em Geoprocessamento que produz novos dados, a partir de funções de manipulação aplicadas a um ou mais mapas”. Desse modo, na análise espacial, também é possível a aplicação de operações matemáticas em mapas, sendo uma importante ferramenta de análise de vários fenômenos ambientais.

Assim, o mapa de suscetibilidade é o resultado dessa combinação de vários mapas, de acordo com as variáveis escolhidas que são desencadeadoras destes eventos, com indicação das áreas mais e menos suscetíveis de acordo com a interpretação do analista por ponderação dos dados. Portanto, é possível atribuir outros tipos de dados aos arquivos georreferenciados para uma análise ambiental mais complexa.

Sob essa perspectiva, o presente trabalho visa utilizar as técnicas de geoprocessamento em um ambiente SIG para desenvolver um mapa de suscetibilidade no qual irá indicar quais as áreas mais propensas à ocorrência de movimentos de massa no Maciço de Baturité, enclave úmido do Estado do Ceará.

## **2 OBJETIVOS**

O objetivo central deste trabalho é avaliar a suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa no Maciço de Baturité por meio da aplicação do método de álgebra de mapas.

Paralelamente, buscou-se os seguintes objetivos específicos:

- Analisar a distribuição espacial das ocorrências de movimentos de massa;
- Identificar quais as principais características do Maciço de Baturité que mais favorecem o desencadeamento desse tipo de evento;
- Avaliar a aplicação da análise multicritério na Calculadora Raster (Qgis).

### 3 REFERÊNCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Geoprocessamento e SIG como ferramentas para análise ambiental

O Geoprocessamento é definido como um conjunto de técnicas computacionais necessárias para o tratamento de informações espacialmente referenciadas (CÂMARA, 1988). Sendo considerada uma área do conhecimento que envolve diversas disciplinas como a Cartografia, Computação, Geografia e Estatística, tem como as principais técnicas de geoprocessamento, o Sensoriamento Remoto, a Cartografia Digital, a Estatística Espacial e os Sistemas de Informações Geográficas (SANTOS e BARCELLOS, 2006 *apud* ROCHA, 2015).

Diante da facilidade atual de obtenção de dados remotos juntamente com as técnicas de Geoprocessamento e a existência de ambientes SIG mais acessíveis, as inúmeras possibilidades de análises ambientais podem ser realizadas de maneira eficaz e aplicadas de forma promissora na gestão pública.

De acordo com Florenzano (2005, p.25)

Os avanços obtidos com os novos sensores remotos, produzindo dados com melhores resoluções espacial, espectral, radiométrica e temporal, permitem mapear, medir e estudar uma variedade de fenômenos geomorfológicos e ambientais, por exemplo, com uma rapidez e precisão nunca obtidos anteriormente.

Com os produtos do sensoriamento remoto, incluindo imagens de satélites, dados de radar e fotografias aéreas, estes com resoluções espaciais e temporais variadas, a escala de trabalho pode ser amplificada e as interferências antrópicas no meio podem ser avaliadas, isso principalmente em função da quantidade e diversidade de sensores existentes para o monitorando da superfície da Terra. (ROSA, 2003 e ROCHA, 2002 *apud* BATISTA 2013).

Segundo Câmara (1997), para análises ambientais, se enquadram trabalhos associados à modelagem climática e ambiental, ao monitoramento do desmatamento e emissão de gases poluentes, além da identificação e mapeamento mineral e petrolífero, do planejamento e supervisão de redes hidrelétricas e gerenciamento costeiro e marítimo. No mais, Vanacôr (2006) afirma que os movimentos de massa também podem ser avaliados, com resultados satisfatórios, quando são acrescentados aos dados de Sensoriamento Remoto informações adicionais sobre a problemática, juntamente com aplicação de técnicas em ambiente SIG.



Considerando isto, Silva (1997) conforme citado por Alves (2004) chamam de Geoprocessamento de Dados Ambientais as técnicas de apoio à decisão, nas quais permitem a consideração de fatores relevantes para a resolução de problemas ambientais reais ou hipotéticos. Com isso, Souza (2015) afirma que “ao permitir a organização das informações de uma área de estudo, os Sistemas de Informações Geográficas não funcionam apenas como uma ferramenta que permite a manipulação dos dados, mas também, possibilita a análise, simulação e avaliação dos modelos pré-concebidos”. Diante disso, é possível atribuir ao produto do sensoriamento remoto, informações ambientais adicionais que irão complementar a análise do fenômeno estudado.

Assim, é de grande importância a existência de softwares que possibilitam a geração de modelos para análises ambientais complexas. Não se excluindo as visitas em campo nem a interpretação técnica do analista, o ambiente SIG permite simulações com uso de metodologias que variam conforme o objetivo do trabalho.

Uma das formas de se obter resultados eficientes, principalmente relacionados ao zoneamento ambiental, de acordo com Vanacôr (2006), é a fácil sobreposição de mapas temáticos em escalas diferentes nas quais ajudam na dinâmica da criação e complementação de outros dados, com base na análise ponderada de variáveis.

### **3.2 Análise Multicritério e álgebra de mapas**

Através do conjunto de técnicas de geoprocessamento, as análises multicritério são bastante utilizadas para o estudo de eventos nos quais necessitam da integração de diversas variáveis, não sendo somente uma a ser utilizada para representar a realidade do fenômeno estudado (SANTOS, 2010).

Segundo Moura (2007), a análise multicritério é também conhecida como Árvore de Decisões ou como Análise Hierárquica de Pesos. Consiste no método de análise de alternativas para resolução de um problema que utiliza vários critérios relacionados ao objeto de estudo, sendo possível identificar e hierarquizar tais alternativas para o objeto considerado (FRANCISCO et al., 2007; SARTORI, 2010).

Dessa forma, dentre os vários métodos para a aplicação das análises multicritérios, destaca-se a técnica de álgebra de mapas, realizada em ambiente SIG, que se baseia na integração de dados quantitativos e qualitativos espacializados em uma base cartográfica na forma de mapas temáticos (SANTANA, 2019). Os mapas

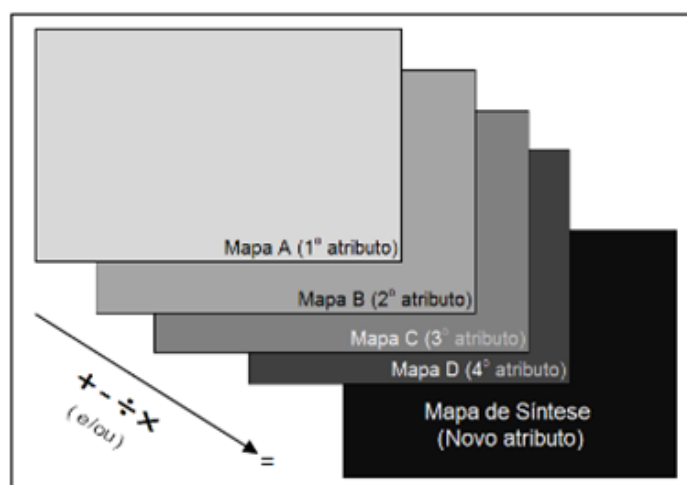
são tratados como variáveis individuais, e as funções definidas sobre estas variáveis são aplicadas de forma homogênea a todos os pontos do mapa (CÂMARA et al., 2001).

Assim, no processo da álgebra de mapas, as variáveis manipuladas são campos geográficos, sendo considerada como uma extensão da álgebra tradicional (BERRY, 1993). De acordo com Tomlin (1990), várias operações matemáticas podem ser aplicadas aos dados georreferenciados e, dentre elas, destaca-se as operações locais, nas quais resultam em campos cujos valores locais são função de valores associados ao mesmo local por uma ou mais representações de outros campos. Dentro desse tipo de operação, algumas transformações podem ser usadas para gerar campos numéricos e imagens, além de campos temáticos, tal como a Ponderação, como descreve Cordeiro (2007, pag. 5),

Uma operação de ponderação consiste em obter um campo numérico a partir de um campo temático, de tal modo que cada local de uma área de estudo fique associado a um valor indicando o peso de cada classe temática diante de uma operação quantitativa que se deseja modelar.

Com essa técnica, é possível atribuir pesos, de forma hierárquica, aos atributos de cada variável com base na sua influência no fenômeno a ser avaliado e os critérios do avaliador, de modo que o produto final é uma nova informação capaz de fornecer uma visão diferenciada do conjunto de atributos envolvidos, como ilustra a Figura 1, desenvolvida no trabalho de Sampaio (2012).

Figura 1 - Esquema ilustrativo do processo de álgebra de mapas



Fonte: Sampaio, 2012.

Um exemplo de aplicação eficaz da análise multicritério com aplicação de álgebra de mapas e ponderação é no desenvolvimento de mapas de suscetibilidade à ocorrência de movimentos de massa. Estes mapas, de acordo com Carvalho et al. (2007) conforme citado por Listo (2011), “são definidos como aqueles que apresentam os fatores naturais que influenciam a ocorrência de movimentos de massa (ou outros processos) a partir da classificação das unidades da paisagem em diferentes graus de suscetibilidade.

Assim, de acordo com Santana (2019) “os elementos escolhidos, tais como os pedológicos, geomorfológicos, morfológicos e de uso da terra são combinados e comparados entre si com o intuito de se localizar as áreas de maior probabilidade de ocorrência dos processos.”

Desse modo, sendo os movimentos de massa eventos complexos e com alto poder destrutivo, nos quais uma série de fatores podem estar associados ao seu desencadeamento, tais como geologia, geomorfologia, pedologia e precipitação, é necessária uma análise integrada das variáveis, sendo o ambiente SIG junto à álgebra de mapas uma ótima maneira para analisar a suscetibilidade a esses processos.

### **3.3 Movimentos de massa**

Segundo Bigarella et al. (2003), os movimentos de massa são caracterizados como sendo importantes processos erosivos e deposicionais modeladores do relevo, sendo as corridas de detritos ou de massa, deslizamentos planares e quedas de blocos os mais frequentes no Brasil.

De acordo com Vanacôr (2006, p.42),

Os movimentos de massa fazem parte da dinâmica da paisagem. São um dos principais processos geomorfológicos responsáveis pela evolução do relevo, principalmente em áreas com relevo acidentado e regiões montanhosas.

Suas diferenças estão relacionadas principalmente às suas características geométricas e de mobilidade (viscosidade), à sua velocidade, volume e materiais envolvidos (Bigarella et al., 2003). Para Filho e Virgili (1998), vários fatores podem condicionar esses processos, sendo eles: características geomorfológicas (características do perfil das encostas), características geológicas (litológicas e estruturais), uso e ocupação do solo, vegetação, características climáticas, solos, entre outras.

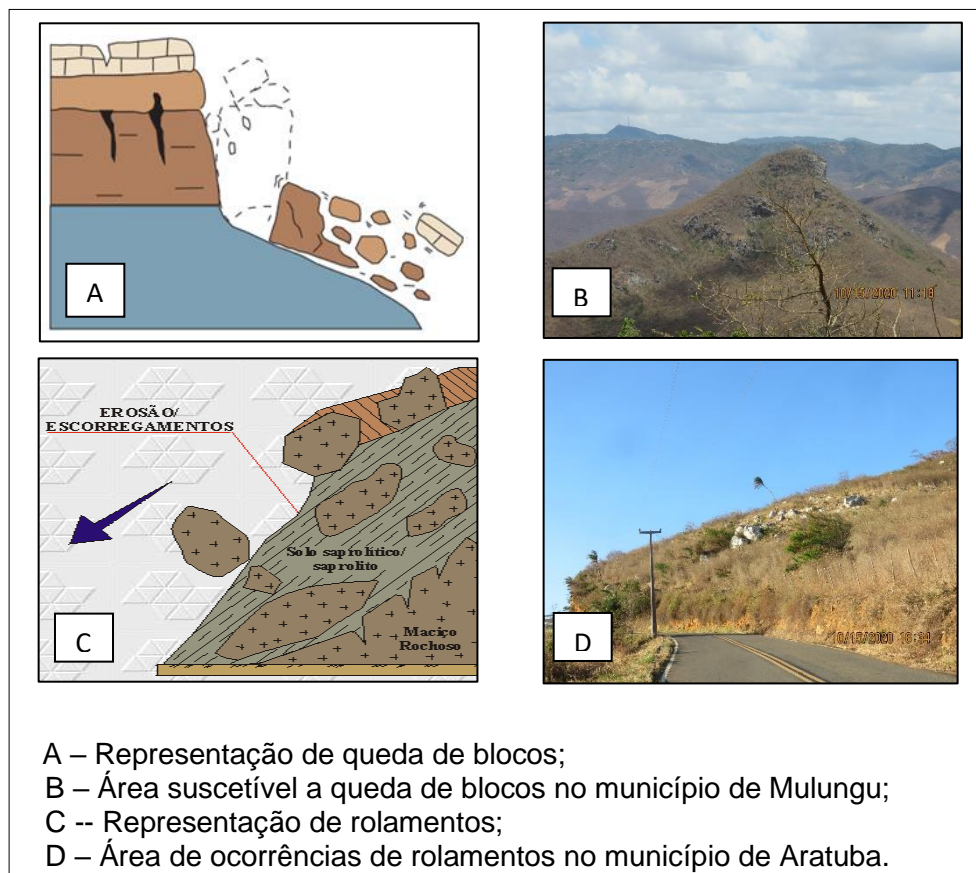
### 3.3.1 Classificação

Dependendo da bibliografia utilizada, os conceitos definidos para cada tipo de movimento de massa podem apresentar diferenças. De modo a facilitar as classificações neste trabalho, considerou-se às de Augusto Filho (1992), destacando somente os dois principais movimentos que ocorrem frequentemente na área de estudo e que foram observados em campo.

#### 3.3.1.1 Quedas de blocos (falls)

Movimentos do tipo queda livre ou em plano inclinado de material rochoso, como ilustra a Figura 2, sem planos de deslocamento, de pequenos à médios volumes, com geometria variável (lascas, placas, blocos) e velocidades altas. Podem se dividir em tombamentos e rolamento de matacões.

Figura 2 - Modelo ilustrativo de quedas de blocos e rolamentos com uma fotografia de cada movimento no Maciço de Baturité

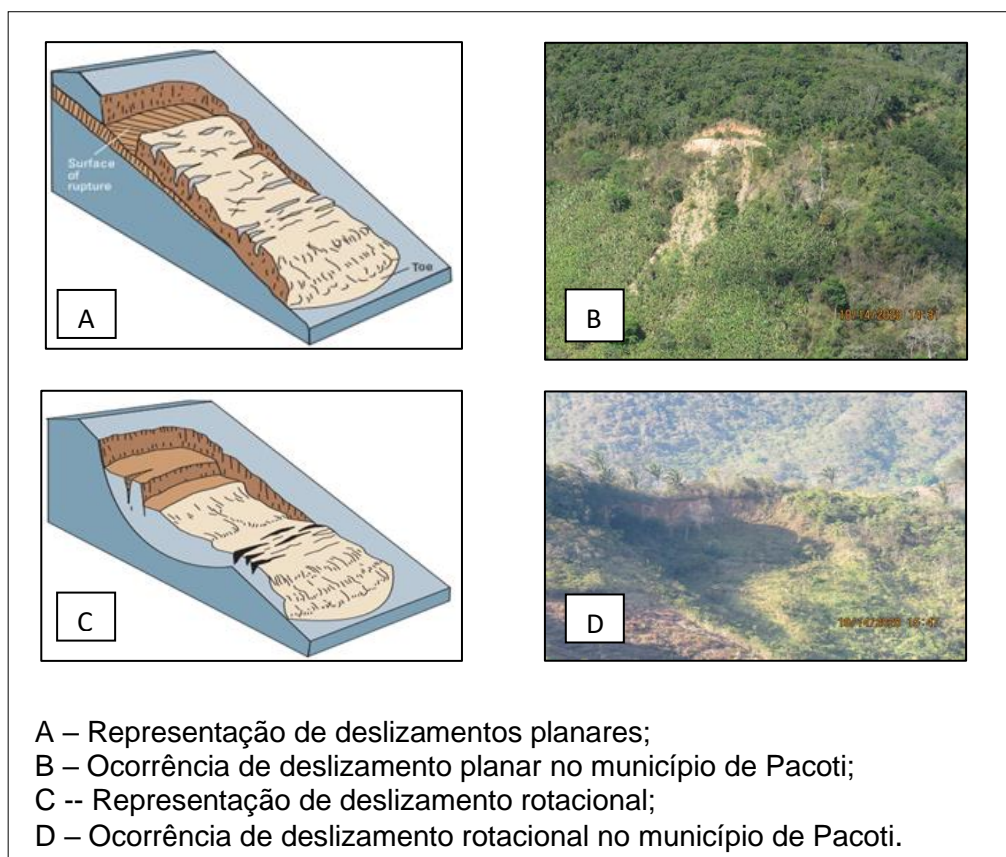


Fonte: Adaptado de Infantil Jr. & Fornasari Filho (1998); U.S. Geological Survey (2004); Fotografia de Brenda Rocha (2020).

### 3.3.1.2 Escorregamentos (slides)

Movimento com poucos planos de deslocamento, com velocidades médias a altas, com pequenos a grandes volumes de materiais, geometria e elementos variáveis. Podem ser divididos em planares, que se caracterizam como sendo solos pouco espessos com um plano de fraqueza ou circulares, quando os solos são mais espessos e homogêneos, com rochas muito fraturadas, como ilustra a Figura 4.

Figura 3 - Modelo ilustrativo de deslizamentos planares e circulares, com uma fotografia de cada movimento no Maciço de Baturité



Fonte: Adaptado de U.S. Geological Survey (2004); Fotografias de Brenda Rocha (2020).

### **3.3.2 Fatores que influenciam na ocorrência de movimentos de massa**

Dentre a pluralidade de fatores nos quais os movimentos de massa podem ser associados, aqui serão destacados os interpretados como mais relevantes em relação às condições naturais que influenciam nesses tipos de processos.

Em primeiro lugar, destaca-se a influência das características geológicas que, de acordo com (RITTER *et al.*, 1995; AUGUSTO FILHO e VIRGILI, 1998; BIGARELLA *et al.*, 2007) conforme citado por NERY (2011), “tais características estão relacionadas à litologia, à estrutura (fraturas, diáclases, juntas etc.), às propriedades internas (textura e mineralogia), à coesão e o ângulo de atrito, à permeabilidade e ao manto de intemperismo.”

Quanto às formas do relevo, segundo Bastos (2012) os aspectos mais importantes que são associados aos movimentos de massa são a altura e a inclinação. Guidicini e Iwasa (1976) afirmam que o aumento da declividade é diretamente proporcional ao aumento da instabilidade da encosta e, complementarmente, Behling (2017) destaca que relevos mais inclinados têm a tendência de receber uma maior influência da gravidade devido ao menor atrito na superfície e são mais suscetíveis a ruptura da estabilidade pela perda da tensão cisalhante.

As características do solo também contribuem para a estabilidade das vertentes. Molinari (2010) aponta que dependendo dos aspectos morfológicos (textura, densidade, porosidade e densidade), das propriedades hidráulicas (condutividade hidráulica influenciada pela atividade biogênica, presença de raízes, textura e estrutura do solo) e do tipo de mineral (capacidade de contração e retração pela presença de água), estes podem influenciar decisivamente no equilíbrio dinâmico das vertentes.

Ainda em relação aos fatores pedológicos, segundo Bastos (2012), as vertentes com declividades inferiores a 30° apresentam solos mais espessos sob condições climáticas úmidas, o que já favorece a ocorrência de deslizamentos. Já nas áreas com declives superiores à 40°, apresentam solos rasos, pois grande parte do material que foi intemperizado é transportado pela gravidade e depositado nas áreas mais planas. Assim, nestas elevadas declividades, a ocorrência de queda de blocos ou tombamentos é preponderante (VALERIANO, 2008).

Sobre os aspectos hidroclimáticos, de acordo com Nummer (2003), a dinâmica das águas superficiais e subterrâneas relaciona-se diretamente com as chuvas, estando associada ao desenvolvimento de poropressões, à saturação e o

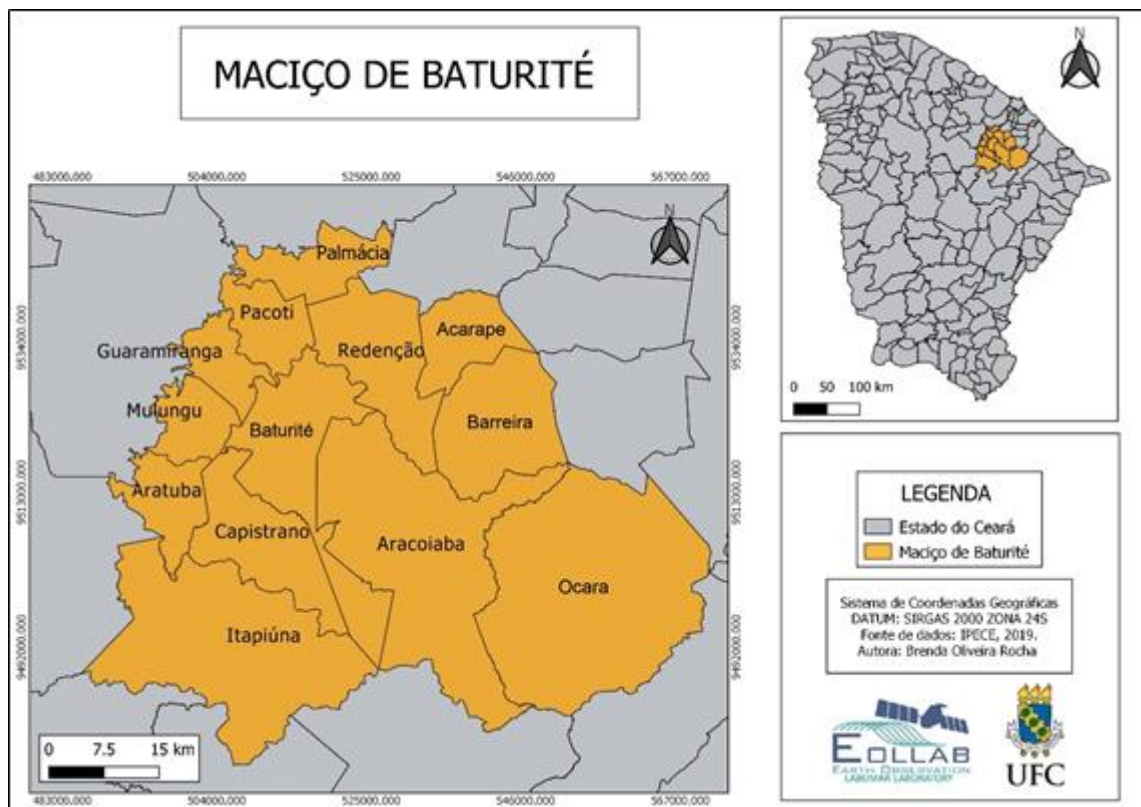
aumento do peso do solo. Para Molinari (2010), fatores como tempo de duração, intensidade mínima e as condições iniciais de umidade devem ser consideradas e Bastos (2012), de forma adicional, aponta que ambientes sujeitos a chuvas de pequena intensidade, mas por períodos longos, podem apresentar solos saturados que, quando expostos a um único evento pluviométrico mais intenso, podem desencadear movimentos de massa.

A orientação da encosta é outra condicionante importante a ser considerada devido às diferenças microclimáticas locais ocasionadas pela disposição do relevo frente a ação dos agentes atmosféricos (BATATEIRA, 2001). Essa orientação influencia quanto a distribuição da radiação solar e da umidade do solo, podendo ocasionar fraturamentos, aumento da sua porosidade e da sua capacidade de infiltração (XAVIER, 2020). Conseqüentemente, existe uma diferença no revestimento florestal que se forma entre a face de uma vertente a barlavento e outra face a sotavento, sendo distintos os modos de escoamento da água (MOLINARI, 2010).

#### 4 ÁREA DE ESTUDO

O Maciço de Baturité é um dos enclaves úmidos do Ceará, se destacando pelo diferencial de suas características naturais em relação ao semiárido predominante do estado. É composto pelos municípios de Baturité, Pacoti, Palmácia, Guaramiranga, Mulungu, Aratuba, Capistrano, Itapiúna, Aracoiaba, Acarape, Redenção, Barreira e Ocara (MAPA 1).

Mapa 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Do ponto de vista geológico, o Maciço de Baturité é majoritariamente todo composto por rochas do embasamento cristalino do Pré-Cambriano, fazendo parte do setor setentrional da Província da Borborema (ARTHAUD *et al.*, 2008). Esta fazia parte de uma unidade tectônica maior que se estendia dentro do continente africano, sendo formada por terrenos que apresentam características litológicas bem diversificadas (SILVA, 2015).

Dessa forma, a região do maciço se encontra ainda dentro de duas Unidades Geológicas: A Unidade Canindé, na qual pode ser observada no setor setentrional, apresentando rochas metamórficas, com a preponderância de gnaisses; e a Unidade Independência: também com a presença de rochas metamórficas, com



destaque para os quartzitos, que são mais resistentes aos processos de intemperismo além da ocorrência de metacalcários, configurando algumas feições cársticas (SILVA, 2015; BASTOS, 2012).

Sobre os aspectos geomorfológicos, o maciço apresenta vertentes escarpadas tanto no flanco leste (encosta úmida, a barlavento), quanto no flanco oeste (encosta seca, a sotavento) (DANTAS *et al*, 2014) como representa as Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Flanco oeste do Maciço de Baturité, caracterizado pelas vertentes secas na região de sotavento, na rodovia que liga o município de Aratuba à Caridade



Fonte: Brenda Rocha (2020).

Figura 5 - Flanco leste do Maciço de Baturité, representado pelas vertentes úmidas, na região de barlavento, no Sítio Rolador (município de Pacoti)



Fonte: Brenda Rocha (2020).

No geral, dentre as superfícies elevadas, o maciço apresenta relevos convexos arredondados (meias-laranjas) nas áreas de platô (acima de 800 metros) e, associadas a elas, podem apresentar feições aguçadas (cristas). Entre as meias-laranjas, algumas regiões são relativamente planas, configurando as planícies alveolares, que são resultado de depósitos colúvio-aluviais, com baixa declividade. Ademais, devido à resistência estrutural à erosão, possui relevos monoclinais de cornijas de quartzo e pães de açúcar (BASTOS, 2012).

Já nas superfícies rebaixadas, apresentam o relevo residual (superfícies sertanejas) caracterizadas como superfícies de aplainamento devido aos ciclos erosivos. Nessa região, é comum a presença de relevos residuais isolados (inselbergs) além de planícies fluviais, margeando os principais cursos d'água. Na região leste do Maciço, encontram-se as superfícies tabulares de acumulação (tabuleiros pré-litorâneos), sendo depósitos que se estendem até a zona costeira (BASTOS, 2012).

Em relação aos tipos de solos, estes variam conforme as alterações das rochas, da configuração do relevo e do clima, nas quais estão diretamente relacionadas aos diferentes tipos de intemperismo atuantes em cada setor do maciço (BÉTARD, 2007).

De acordo com Bastos (2012), há a predominância de Argissolos Distróficos e Eutróficos, sendo caracterizados como solos profundos e moderadamente drenados, presentes nas vertentes com fortes declividades do Maciço. Também há a presença de Luvisolos, nos quais igualmente se encontram nas vertentes com fortes declividades, porém são rasos e com alta fertilidade natural.

Os Neossolos Flúvicos situam-se nas planícies alveolares e também nas baixas fluviais do Maciço, sendo caracterizados como profundos e mal drenados. Já os Neossolos Litólicos se encontram em altas declividades, sendo rasos, pedregosos e suscetíveis à erosão. Como o Maciço de Baturité se encontra próximo ao litoral, também possui uma região onde existe a presença de Neossolos Quartzarênicos, sendo solos muitos pobres e arenosos. Os Planossolos também fazem parte das classes de solo do Maciço, estando presentes ao longo da superfície sertaneja que também compõem a paisagem, sendo definidos como mal drenados e com riscos de inundação (BASTOS, 2012).

Sobre as condições meteorológicas nas quais estão associadas diretamente a todos os aspectos naturais do Maciço, apresenta um clima úmido na vertente a barlavento devido às chuvas orográficas, subúmido à sotavento e semiárido

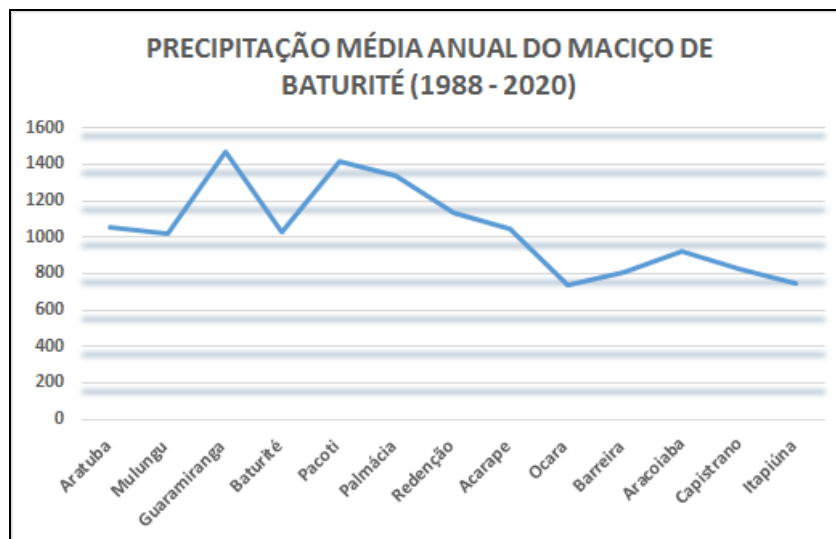
nos entornos e, segundo Zanella (2011), essa configuração da pluviosidade na região é influenciada diretamente pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e pelos ventos alísios, sendo o período entre fevereiro e abril o mais chuvoso em toda a região.

Segundo Bastos (2012, p. 27),

Alguns setores do Maciço de Baturité apresentam os mais elevados índices pluviométricos do Ceará, justificando uma dinâmica natural diferenciada, com profundos mantos de intemperismo, associados a solos profundos, além da presença de uma cobertura vegetal perenifólia, representada pela mata plúvio-nebular.

De acordo com os dados fornecidos pela Fundação Cearense de Recursos Hídricos (FUNCEME), a precipitação média anual, do período histórico de 1988 - 2020, foi acima de 1000 mm nos municípios localizados nas altitudes mais elevadas tais como Guaramiranga, Pacoti e Mulungu, conforme ilustra a figura 6. Nas cidades localizadas na depressão sertaneja, no setor leste do Maciço, a média pluviométrica apresenta valores menores, principalmente em decorrência da não influência das chuvas orográficas.

Figura 6 - Média pluviométrica anual do período de 1988-2020 do Maciço de Baturité

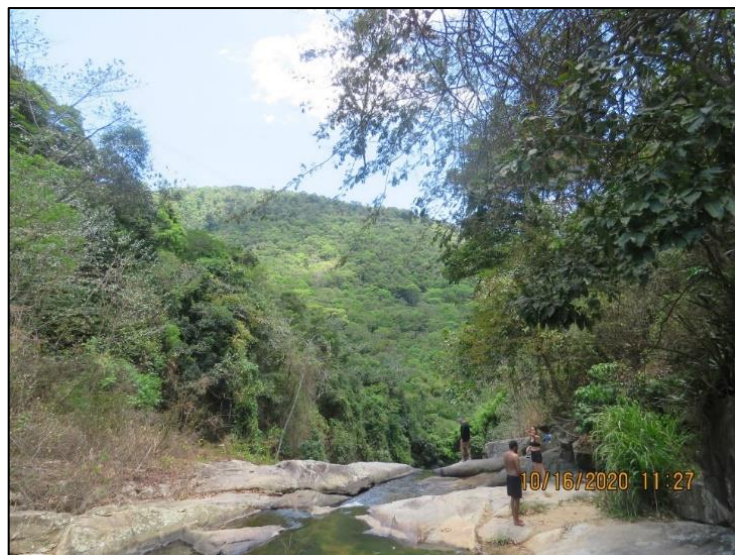


Fonte: Elaborado pela autora, com acesso aos dados da FUNCEME (2020).

Segundo Brasil (1997), o Maciço de Baturité apresenta três unidades de cobertura vegetal: mata úmida (perenifólia), mata seca (subcaducifólia) e a vegetação da caatinga (caducifólia). A partir da cota dos 600 metros, prevalece a mata úmida, onde a umidade atmosférica somada a altitude, garante a presença de uma grande biodiversidade, como mostra a figura 7.

Na vertente ocidental de sotavento, a mata seca se destaca devido à prevalência de espécies caducifólias e, na depressão sertaneja, contata-se a presença de espécies características da caatinga devido a semiaridez que é cada vez mais acentuada (BASTOS, 2012).

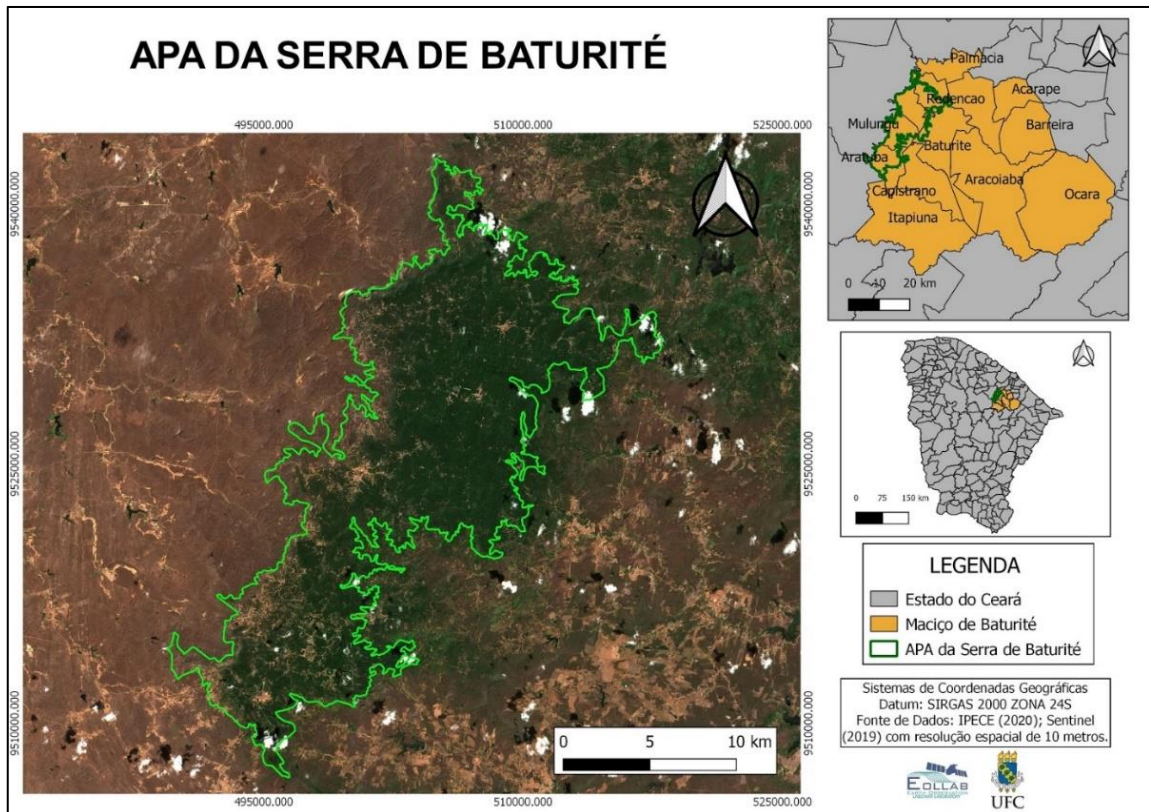
Figura 7 - Cachoeira São Pedro e São Paulo no município de Guaramiranga. A mesma se encontra na região de barlavento do Maciço de Baturité, onde se destaca a presença da mata úmida.



Fonte: Brenda Oliveira Rocha, 2020.

Uma boa parte do setor da vegetação mais densa e úmida está inserido dentro da Área de Proteção Ambiental (APA) da Serra de Baturité. A APA se localiza no setor oeste do maciço (MAPA 2), criada pelo Governo do Estado do Ceará pelo Decreto Estadual nº 20.956 de 18 de setembro de 1990, alterado pelo Decreto Nº 27.290, de 15 de dezembro de 2003 (BASTOS, 2012).

Mapa 2 - APA da Serra de Baturité



Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação aos processos de uso e ocupação, segundo o Plano Territorial de Desenvolvimento Rural e Sustentável (PTDRS) do Maciço de Baturité, por volta do século XVIII, com as sesmarias se iniciaram o surgimento das primeiras vilas e, no século seguinte, a cidade de Baturité já se destacava no comércio do algodão. Posteriormente, também nas demais cidades, veio a criação de gado, a plantação de cana-de-açúcar e café, no qual o último foi peça chave para um aumento dos níveis populacionais na região e consequentemente responsável pelo aumento da degradação ambiental no maciço (BRASIL, 2010).

Até hoje, nota-se a presença de plantações, principalmente de bananeiras, em áreas bem extensas das encostas do Maciço. Já sendo um aspecto cultural, pode-se observar que a degradação de áreas de vegetação nativa para o cultivo de sequeiros é eminente, tanto na região de barlavento (Figura 8) quanto de sotavento (Figura 9).

Figura 8 - Grande presença de plantações de bananeiras nas vertentes à sotavento (CE 060 que liga os municípios de Aratuba e Canindé)



Fonte: Brenda Rocha (2020).

Figura 9 – Plantações de bananeiras à barlavento (localidade do Rolador - Pacoti).



Fonte: Brenda Rocha, 2020.

Sobre a degradação ambiental, principalmente no que se refere à área em que a APA está localizada, sendo uma região elevada e de clima ameno, a especulação imobiliária com viés turístico tem trazido consequências negativas para a biodiversidade local. Segundo Cunha (2017) “a facilidade de acesso e o crescimento da demanda por segundas residências criaram um efeito prejudicial, ocasionado pelo crescimento populacional e pela especulação imobiliária que provocaram o aumento

dos perímetros urbanos nas cidades.” Assim, nota-se que essa expansão urbana é crescente, com destaque para as construções nas encostas íngremes (Figura 10).

Figura 10 – Loteamento e construções nas encostas íngremes na região da APA da Serra de Baturité.

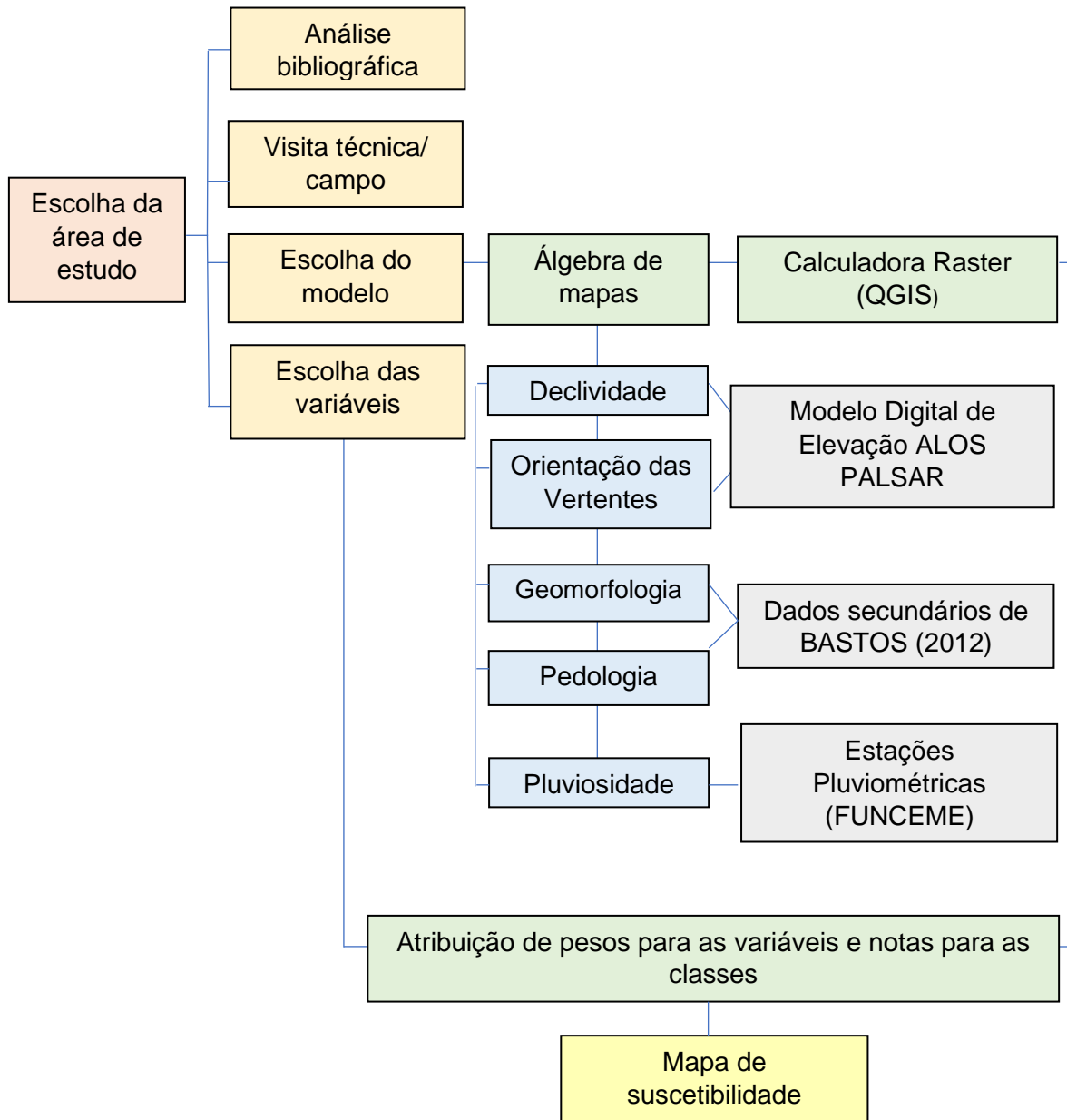


Fonte: Diário do Nordeste (2018).

## 5 METODOLOGIA

Para o alcance dos objetivos propostos neste trabalho, serão descritos a seguir as etapas metodológicas para a geração dos resultados, de acordo com os passos descritos no fluxograma (Figura 11):

Figura 11 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: Elabora pela autora.



As primeiras etapas consistiram na escolha da área de estudo representativa para análise dos movimentos de massa no Ceará, na pesquisa bibliográfica e posterior visita técnica ao campo, com o mapeamento das ocorrências de movimentos de massa já observadas in situ.

Posteriormente, foi definido o modelo a ser aplicado para a análise da suscetibilidade, o levantamento dos parâmetros a serem aplicados para o seu desenvolvimento e a atribuição dos pesos e das notas de cada variável, todos estes preparados com o uso de dados secundários. Por fim, foram realizadas as simulações dos cenários de suscetibilidade e discussão dos resultados obtidos.

### 5.1 Seleção da área de estudo

Comumente, movimentos de massa de dimensões expressivas ocorrem no Maciço de Baturité sendo alguns destes relatados em jornais locais, como ilustra a Figura 12. Principalmente atrelados ao período chuvoso, destacam-se aqueles eventos que mais chamam atenção devido a interrupção da circulação das rodovias principais, dificultando ou impedindo o acesso dos transportes terrestres.

Mesmo os movimentos de massa ocorrendo de forma frequente, o Maciço não apresenta um banco de dados oficial com as ocorrências antigas, o que dificulta a análise de previsões futuras.

Figura 12 – Notícia relatando a ocorrência de movimento de massa no Maciço de Baturité



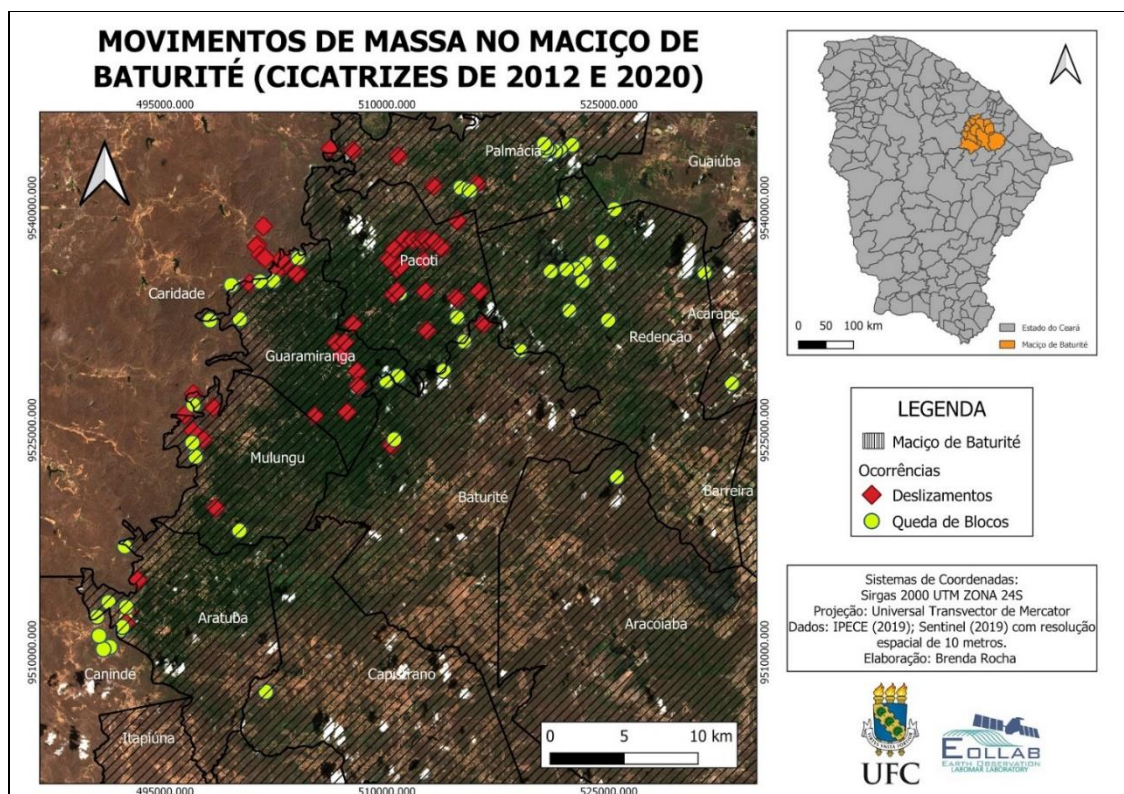
Fonte: Jornal Lagoa (2018).

## 5.2 Visita técnica

Nos dias 14, 15 e 16 de outubro de 2020, foi realizada a visita técnica à área de estudo, com o objetivo de mapear todas as ocorrências observadas em todas as cidades do Maciço de Baturité, através do percurso entre as principais rodovias que ligam tais municípios. Devido ao período anterior de estudos bibliográficos sobre o tema, facilmente foi possível diferenciar os tipos de movimentos de massa preponderantes.

Junto aos pontos mapeados no ano de 2020, também foram adicionadas as ocorrências identificadas no ano de 2011 por Bastos (2012), no qual também teve como objeto de estudo a região do Maciço de Baturité e a análise dos movimentos de massa, na sua tese de doutorado. Todas estas ocorrências foram rerepresentadas, conforme ilustra o Mapa 3.

Mapa 3 – Movimentos de massa no Maciço de Baturité (cicatrizes de 2012 e 2020)



Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3 Seleção do modelo de álgebra de mapas e do ambiente SIG

Todas as análises espaciais realizadas neste trabalho foram desenvolvidas no software QGIS 3.10, no qual possui diversas ferramentas de geoprocessamento que podem ser integradas a outros dados ambientais.

Como sendo um ambiente SIG gratuito e de fácil manipulação, com o Qgis foi possível converter todos os arquivos necessários para a aplicação da álgebra de mapas para o Sistema Coordenadas Geográficas Datum Sirgas 2000 zona 24S, no qual é o sistema oficial do Brasil, definido pelo IBGE. Com isso, houve a padronização de todos os mapas para enfim resultar em um produto final adequado e mais próximo da realidade.

Sendo assim, tendo em vista a disponibilidade de dados georreferenciados que podem ser manipulados em um ambiente SIG, existem vários modelos nos quais podem fazer estimativas e previsões com um bom grau de acurácia e que podem ser aplicados diretamente no planejamento estratégico do local de estudo. Fazendo uma integração dos dados coletados em campo e a grande espacialidade oferecida pelo geoprocessamento, é possível analisar de forma barata e mais rápida uma região mais abrangente, aumentando sua escala de estudo.

Conforme foi abordado no decorrer deste trabalho, a ocorrência de movimentos de massa está relacionada a vários fatores ambientais, sendo necessário a análise de influência de cada um deles. Portanto, para esta pesquisa de suscetibilidade, a análise multicritério com aplicação da álgebra de mapas foi o modelo escolhido por atender aos critérios da análise dos movimentos de massa.

Dessa forma, de acordo com Santana (2019), para as técnicas de análise multicritério, é necessário estabelecer dois conjuntos de valores: o primeiro seria os pesos atribuídos para cada variável analisada, que variam de 0 a 1, tendo como somatória total o valor 1 (ex. geomorfologia 0.3 + declividade 0.3 + orientação das vertentes 0.1 + precipitação 0.1 + pedologia 0.2 = 1). O segundo grupo são os pesos atribuídos às classes inseridas em cada variável, que podem variar de acordo com os critérios do avaliador (ex. fator geomorfologia: inselbergs nota 5; cristas nota 4). Neste trabalho, as notas das classes foram divididas de acordo com o Tabela 1:

Tabela 1 - Intervalo atribuído para a definição das notas

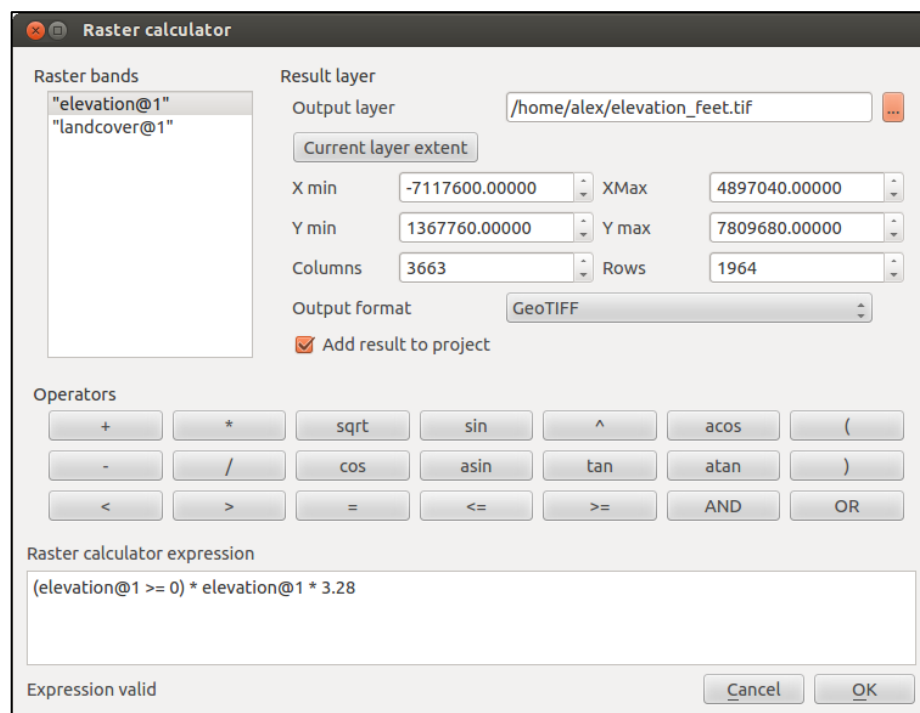
Nota	1	2	3	4	5
Suscetibilidade	Muito baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto

Fonte: Elaborado pela autora.

Portanto, cada variável escolhida receberá um valor hierárquico de peso (em relação às outras variáveis) e notas para as suas classes. Posteriormente todos estes valores e arquivos serão somados na Calculadora Raster do Qgis, local de aplicação de operações matemáticas com dados especializados, com base em valores de pixel raster existentes (QGIS Development Team, 2015), de forma a gerar um novo produto resultante de toda essa análise realizada.

Para a aplicação da álgebra na Calculadora Raster (Figura 13), é necessário reclassificar cada arquivo raster escolhido e, já nesta reclassificação, atribuir as notas para as classes de cada variável. Sob a mesma perspectiva, neste trabalho, foram realizados alguns testes antes da atribuição final dos valores aplicados na álgebra.

Figura 13 – Aba correspondente a Calculadora Raster do Qgis



Fonte: QGIS Development Team (2015).

No caso da Calculadora Raster, não é necessário que todos os arquivos possuam a mesma extensão para realizar o cálculo, porém como resultado, o arquivo possui somente a mesma extensão que todos os arquivos somados possuíam em comum.

#### **5.4 Levantamento dos parâmetros e atribuição dos pesos e das notas**

Serão descritos a seguir os parâmetros utilizados para a análise de suscetibilidade, com a descrição dos processos de obtenção e manipulação de dados, com os mapas temáticos respectivos para cada item juntamente com as tabelas contendo os pesos e as notas para os dois tipos de movimentos de massa analisados.

Os valores atribuídos nas tabelas foram pensados tendo em vista todas as características naturais do Maciço de Baturité, descrito no item 4 deste trabalho, além de toda observação realizada em campo.

Devido a disponibilidade de dois arquivos (pedológico e geomorfológico) que não abrangem o maciço inteiro, optou-se por focar mais no lado oeste do maciço, no qual apresenta todas as ocorrências mapeadas e as feições geomorfológicas que possibilitam a ocorrência dos movimentos, diferentemente do lado sudeste que é caracterizado pela depressão sertaneja.

Outro ponto importante a ser destacado é que o Maciço de Baturité, sendo caracterizado no geral como enclave úmido, apresenta uma diversidade de características nas quais podem favorecer ou não a ocorrência de movimentos de massa. Porém, em relação aos deslizamentos (tanto translacionais quanto rotacionais) e as quedas de blocos, alguns fatores diferem em relação à possibilidade de desencadeamento de ocorrências.

Quando se analisa as unidades geomorfológicas, as classes pedológicas, a declividade, a pluviosidade e o aspecto das vertentes, isso estreitamente ligado às particularidades do Maciço de Baturité, essas ocorrências podem possuir uma distribuição distinta. Por isso, neste trabalho foram desenvolvidos mapas de suscetibilidade para quedas de blocos e para deslizamentos, separadamente, de modo a serem analisados de forma mais completa a probabilidade de ocorrência desses eventos.

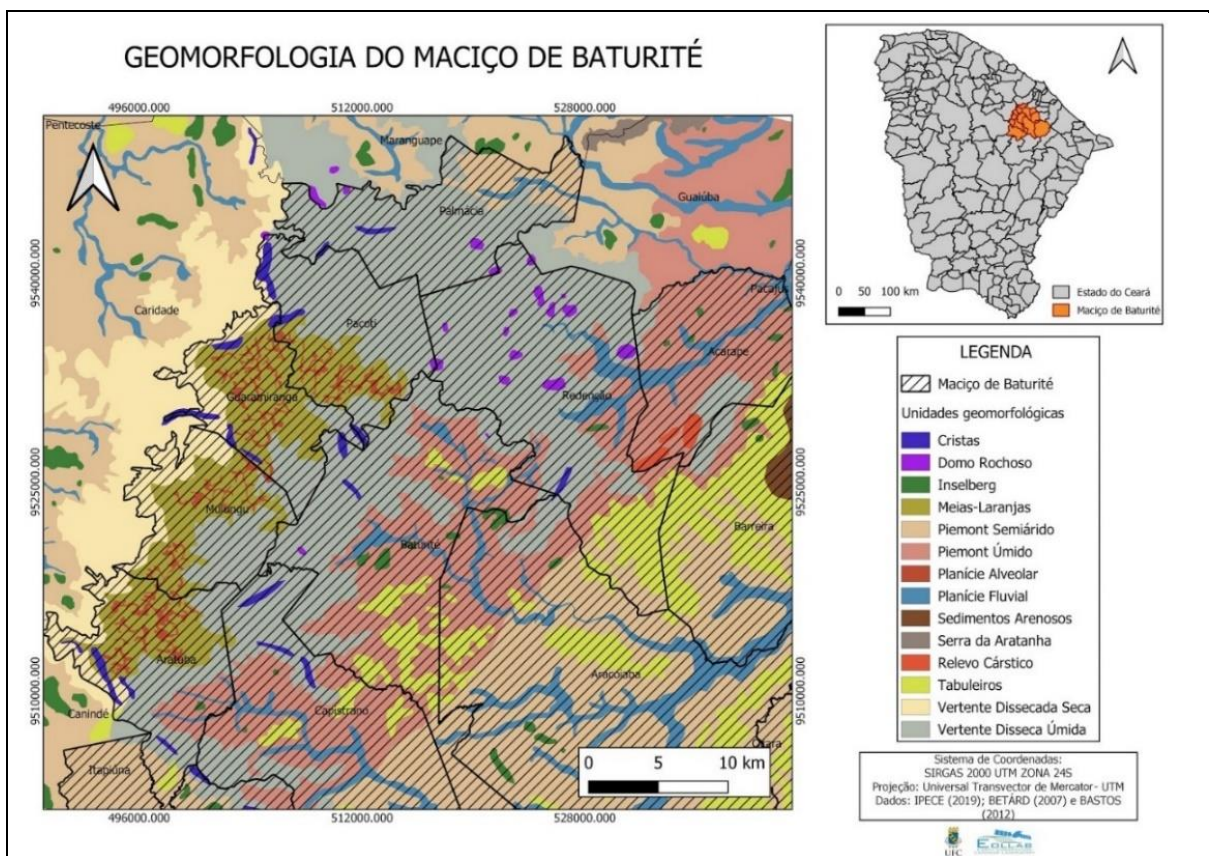
### 5.4.1 Geomorfologia

Para a elaboração do mapa de geomorfologia, foi utilizado o arquivo shape disponibilizado por BASTOS (2012), no qual também teve contribuições de BÉTARD (2007). O arquivo shape foi reprojetoado do Sistema de Referências de Coordenadas (SRC) SAD 69/ UTM ZONA 24S para SIRGAS 2000/ UTM ZONA 24S através da ferramenta *Reprojetar*, na aba *Gerenciar Dados* da opção *Vetor*, do Qgis.

Posteriormente, o shape foi convertido para raster, através da ferramenta *Conversão de Vetor*, da caixa de ferramentas, com atribuição do campo “valor” do shape como reclassificação, nos quais estes possuem um número para cada unidade geomorfológica, conforme a representação no Mapa 4.

Em seguida, o arquivo raster foi reclassificado, através da ferramenta “*Classificar por tabela*”, do Qgis, de modo a atribuir as notas escolhidas para cada classe, conforme importância na probabilidade de desencadeamento de movimentos de massa (Tabela 3).

Mapa 4 – Geomorfologia do Maciço de Baturité



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 2 – Pesos e notas atribuídos para a variável “geomorfologia” para deslizamento e quedas.

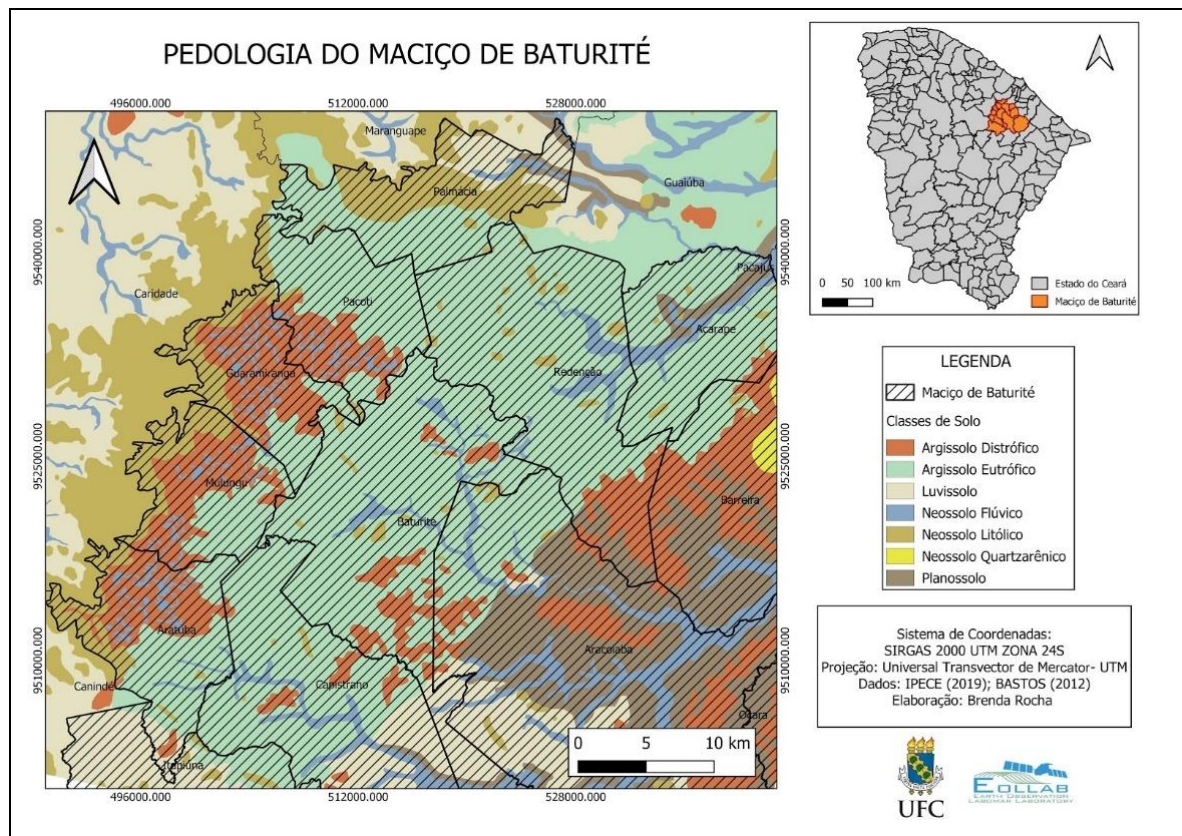
GEOMORFOLOGIA				
Classes	Deslizamentos		Quedas	
	Peso	Nota	Peso	Nota
Tabuleiros	0,1	1	0,3	1
Relevo Cárstico	0,1	2	0,3	4
Cristas	0,1	3	0,3	5
Domo Rochoso	0,1	3	0,3	5
Inselberg	0,1	1	0,3	5
Meias-laranjas	0,1	5	0,3	3
Piemont Semiárido	0,1	1	0,3	1
Piemont Úmido	0,1	1	0,3	1
Planície Alveolar	0,1	1	0,3	1
Planície Fluvial	0,1	1	0,3	1
Sedimentos Arenosos	0,1	1	0,3	1
Serra da Aratanha	0,1	1	0,3	1
Vertente Dissecada Seca	0,1	3	0,3	5
Vertente Dissecada Úmida	0,1	5	0,3	3

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.4.2 Pedologia

Da mesma forma que o mapa geomorfológico, o arquivo shape das classes de solo, elaborado por Bastos (2012), também foi disponibilizado. O arquivo apresentava as mesmas configurações e foi reprojetoado, rasterizado e reclassificado conforme descrito no item 5.4.1 deste trabalho, e por fim representado conforme o Mapa 5.

### Mapa 5 – Pedologia do Maciço de Baturité



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 3 – Peso e notas atribuídos para a variável “pedologia” para deslizamento e quedas

PEDOLOGIA				
Classes	Deslizamentos		Quedas	
	Peso	Nota	Peso	Nota
Argissolo Distrófico	0,3	5	0,2	3
Argissolo Eutrófico	0,3	5	0,2	5
Luvissole	0,3	1	0,2	1
Neossolo Flúvico	0,3	1	0,2	1
Neossolo Litólico	0,3	3	0,2	5
Neossolos Quartzarênicos	0,3	1	0,2	1
Planossolos	0,3	1	0,2	1

Fonte: Elaborado pela autora.



### 5.4.3 Declividade

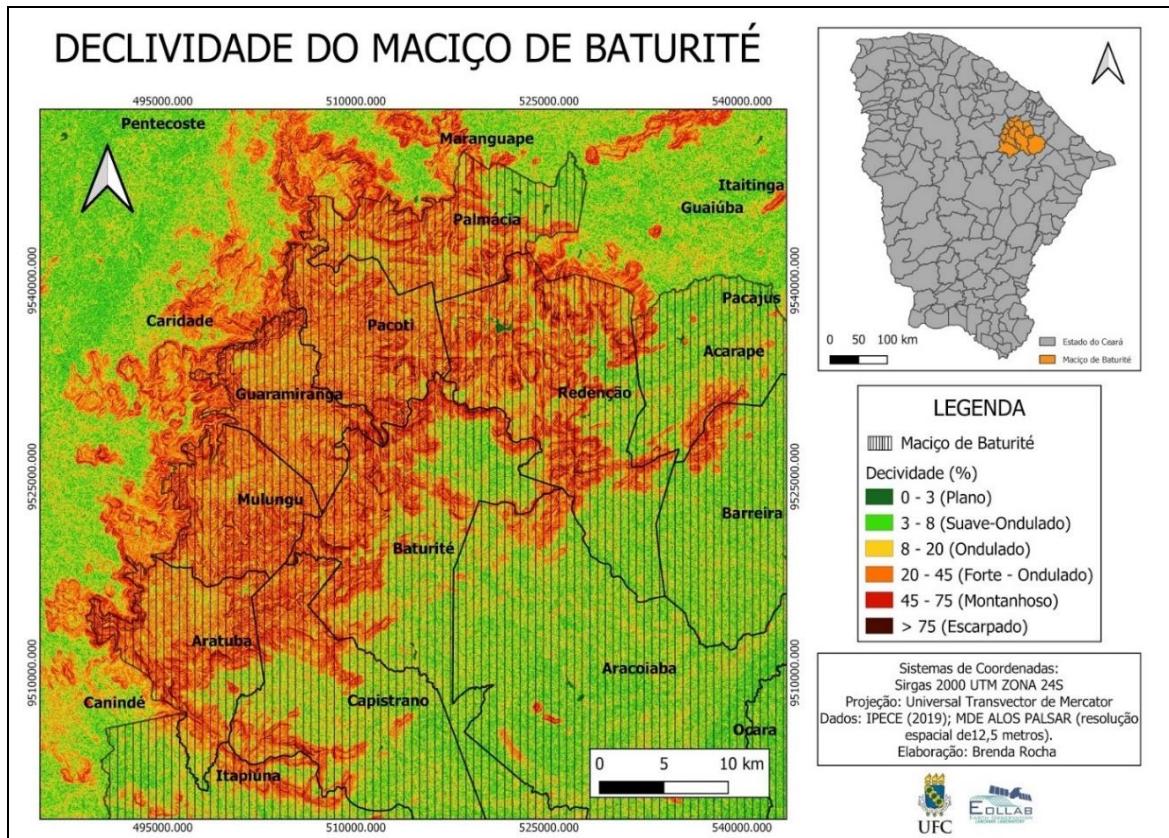
De acordo com Valeriano (2008), conforme citado por Marion (2015) “um MDE (Modelo Digital de Elevação) consiste em uma matriz com um valor de elevação em cada célula (pixel), ou seja, são arquivos estruturados em linhas e colunas georreferenciados, contendo registros altimétricos.” Assim, sob a mesma perspectiva, com um MDE é possível extrair variáveis relacionadas aos fatores geométricos, tais como declividade e orientação das vertentes, podendo ser utilizado para diversos fins científicos e de planejamento estratégico.

O MDE ALOS PALSAR foi o escolhido para aplicação neste trabalho por apresentar resolução espacial de 12,5 metros, por estar disponível de forma gratuita através da Alasca Satellite Facility (ASF) e não precisar de nenhuma correção. O satélite ALOS e o seu sensor radar de abertura sintética PALSAR, desenvolvido de forma conjunta pela Japan Aerospace Exploration Agency - JAXA e a JAROS (Japan Resources Observation System Organization), foram lançados em 2006 com o intuito de contribuir para o mapeamento da topografia terrestre, da análise de cobertura vegetal e ainda no levantamento de recursos naturais (ASF DAAC, 2018).

Dessa forma, para o mapa de declividade, 4 arquivos raster foram baixados a fim de englobar melhor a área de estudo. Estes foram mesclados, através da ferramenta *Mesclar* da aba *Miscelânea* da opção *Raster* e o mosaico gerado foi reprojetoado do SRC WGS 84/ UTM zona 24S para SIRGAS 2000/ UTM zona 24S, através da ferramenta *Reprojetar* da aba *Projeções* da opção *Raster*. Depois, foi utilizada a ferramenta *Declividade* na opção *Raster*, na qual calcula o ângulo de inclinação para cada célula em graus ou em porcentagem.

Posteriormente, os valores do arquivo obtido da última etapa foram divididos entre as 6 classes de declividade propostas pela EMBRAPA, em porcentagem, conforme a legenda do Mapa 6 e, em seguida, foram reclassificados, de modo a atribuir as notas para as classes da variável correspondente, como mostra a Tabela 4.

Mapa 6 – Declividade do Maciço de Baturité



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4 – Pesos e notas atribuídos para a variável “declividade” para deslizamento e quedas

DECLIVIDADE				
	Deslizamentos		Quedas	
Classes (%)	Peso	Nota	Peso	Nota
0- 3 (Relevo Plano)	0,3	1	0,3	1
3-8 (Relevo suavemente ondulado)	0,3	5	0,3	1
8-20 (Relevo ondulado)	0,3	5	0,3	5
20-45 (Relevo fortemente ondulado)	0,3	5	0,3	5
45-75 (Relevo montanhoso)	0,3	3	0,3	5
>75 (Relevo fortemente montanhoso)	0,3	1	0,3	5

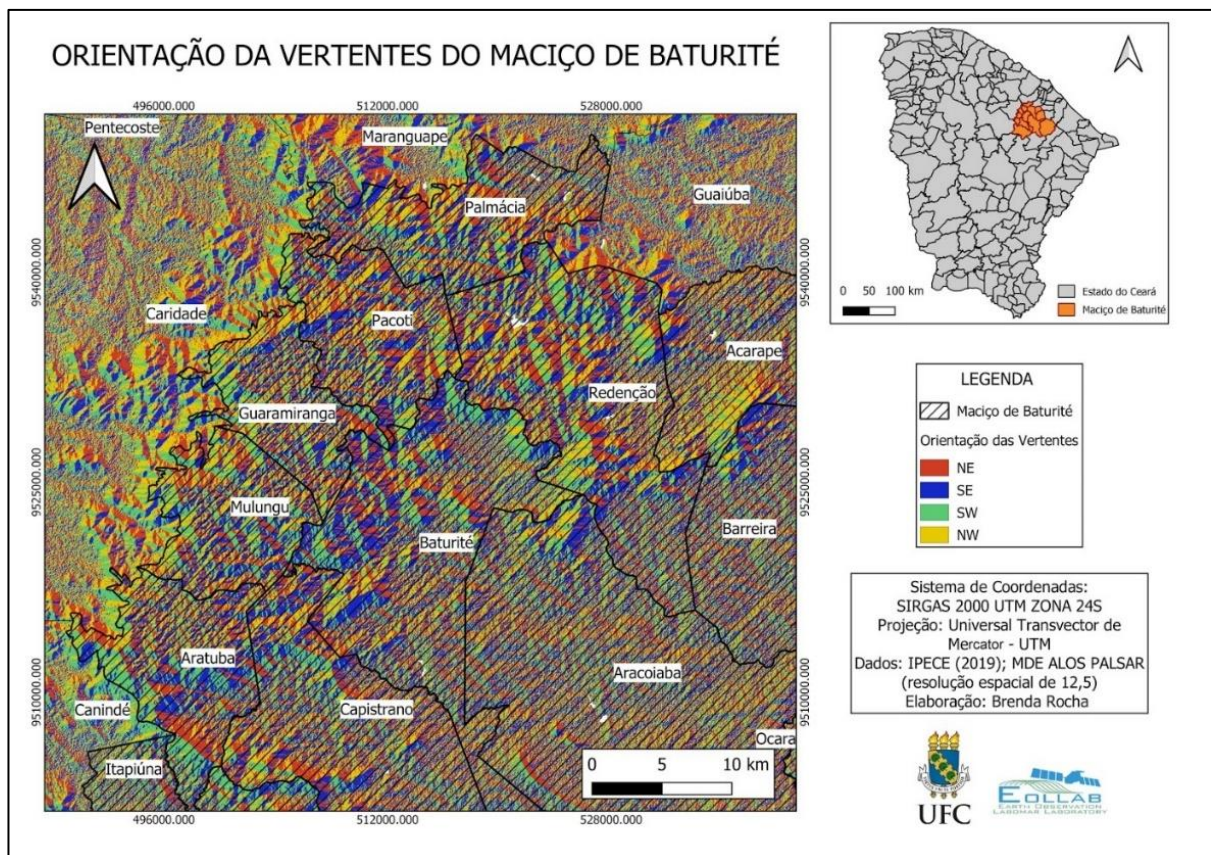
Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.4.4 Orientação das Vertentes

Para o desenvolvimento do arquivo raster com a orientação das vertentes, o mesmo mosaico do MDE ALOS PALSAR foi utilizado (como descreve o item 5.4.3) e, através da ferramenta *Aspecto* da opção *Raster*, o arquivo passou a adquirir valores de exposição.

Os valores foram divididos em quatro classes, NE: nordeste ( $0^{\circ}$ -  $90^{\circ}$ ) SE: sudeste ( $90^{\circ}$  -  $180^{\circ}$ ), SW: sudoeste ( $180^{\circ}$  -  $270^{\circ}$ ) e NW: noroeste ( $270^{\circ}$  -  $360^{\circ}$ ), de acordo com os graus característicos da rosa dos ventos (Mapa 7) e, posteriormente, o arquivo foi reclassificado para atribuição das notas correspondentes para cada classe, conforme a Tabela 5.

Mapa 7 - Orientação das Vertentes do Maciço de Baturité



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 5 – Pesos e notas atribuídos para a variável “orientação das vertentes” para deslizamento e quedas

ORIENTAÇÃO DAS VERTENTES				
	Deslizamentos		Quedas	
Classes	Peso	Nota	Peso	Nota
NE	0,1	5	0,1	3
SE	0,1	5	0,1	3
SW	0,1	3	0,1	5
NW	0,1	3	0,1	5

Fonte: Elaborado pela autora.

#### 5.4.5 Pluviosidade

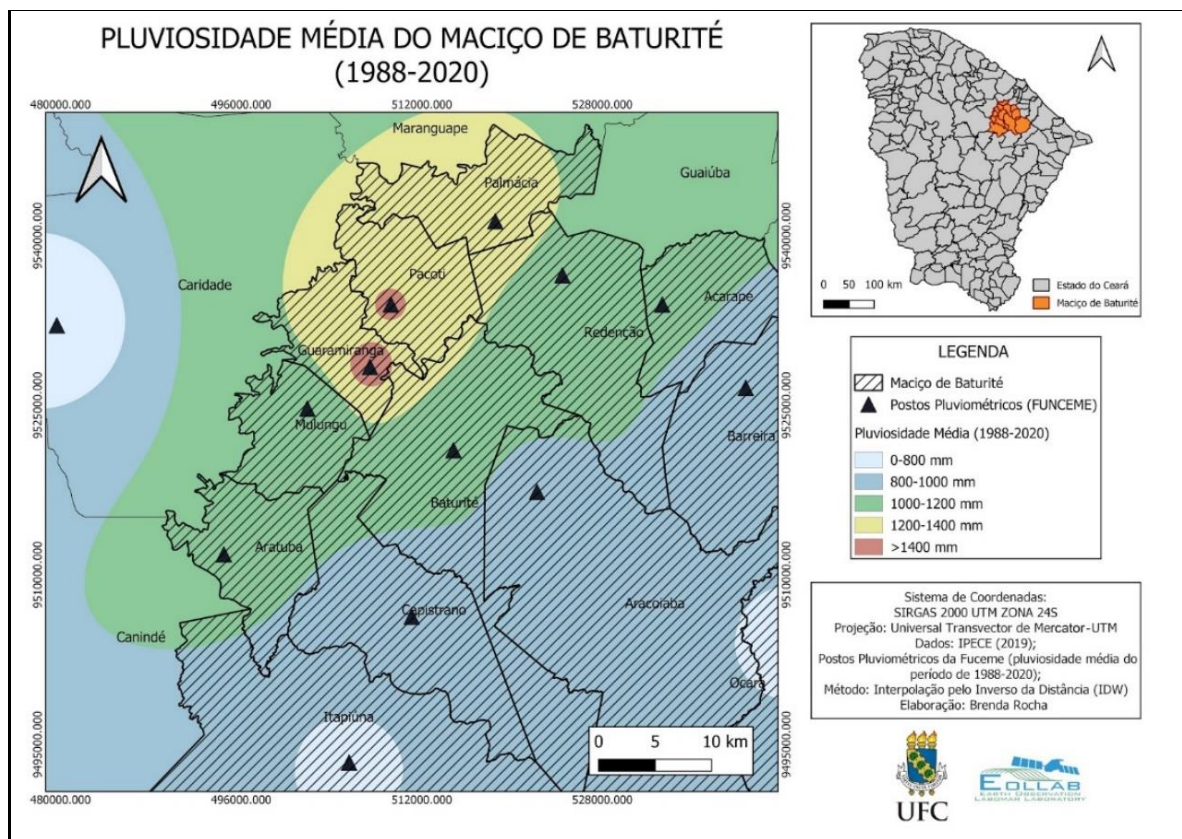
Para o desenvolvimento do arquivo raster de precipitação mais atualizado da região, foi baixado o arquivo shape dos postos pluviométricos do Brasil disponibilizado no *site* do Portal Brasileiro de Dados Abertos do governo. Na opção “Organizações”, se encontra o banco de dados da Agência Nacional das Águas (ANA), com vários arquivos em formatos diferentes, incluindo o shapefile das estações pluviométricas. Este apresenta dados de diversas organizações voltadas para a meteorologia do país, porém foram selecionados apenas os postos que estavam incluídos dentro da área de estudo e onde a FUNCEME se apresenta como responsável.

Com isso, após a seleção da localização dos postos, foram baixados os dados pluviométricos das estações da FUNCEME, no próprio site da mesma, e realizada a análise dos dados de cada estação, com o intuito de escolher uma série temporal abrangente e com pouca ausência de dados. Assim, foi selecionado um posto para cada município e a média histórica do período de 1988 à 2020, sendo esta média inserida como um novo campo do shapefile dos postos selecionados.

Após esse processo, foi realizada a interpolação dos valores dos postos para toda a área de estudo através da ferramenta IDW (Ponderação pelo Inverso da Distância), da caixa de ferramentas do Qgis. Esse método utiliza os pontos com valores conhecidos para estimar os valores em pontos desconhecidos, sendo baseada na distância ponderada de um ponto amostral (QGIS Development Team, 2015).

Como resultado, foi gerado um arquivo raster com os valores da média pluviométrica interpolados e, de modo a facilitar a divisão dos milímetros de chuva (contido na legenda do mapa a seguir), o raster foi reclassificado através da ferramenta *Reclassificar por Tabela*, da caixa de ferramentas, gerando um novo raster com as 5 classes estabelecidas. (Mapa 8). Posteriormente, o raster foi reclassificado novamente, com atribuição dos pesos estabelecidos para cada classe, para os dois tipos de movimentos de massa analisados, conforme apresentado na Tabela 6.

Mapa 8 – Pluviosidade Média do Maciço de Baturité (1998 – 2020)



Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 6 – Pesos e notas atribuídos para a variável “pluviosidade” para deslizamento e quedas

PLUVIOSIDADE				
	Deslizamentos		Quedas	
Classes (mm)	Peso	Nota	Peso	Nota
0-800	0,2	1	0,1	1
800-1000	0,2	1	0,1	1
1000-1200	0,2	5	0,1	5
1200-1400	0,2	5	0,1	5
>1400	0,2	5	0,1	5

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.5 Aplicação da equação

Após elaboração dos mapas, com reclassificação dos seus valores conforme a atribuição dos pesos e das notas, foi realizada a somatória dos mapas, para cada tipo de movimento de massa, sendo a equação (1) para deslizamentos e a equação (2) para quedas:

$$S = \text{Geom} * 0,1 + \text{Decl} * 0,3 + \text{Pluv} * 0,2 + \text{Pedo} * 0,3 + \text{Orient} + 0,1 \quad \text{Equação (1)}$$

$$S = \text{Geom} * 0,3 + \text{Decl} * 0,3 + \text{Pluv} * 0,1 + \text{Pedo} * 0,2 + \text{Orient} + 0,1 \quad \text{Equação (2)}$$

Onde: S representa suscetibilidade, Geom = fator geomorfologia, Decl = fator declividade, Pluv = fator pluviosidade, Pedo = fator pedologia e Orient = fator orientação das vertentes.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Depois da adoção de todas etapas descritas anteriormente, como resultado, foram elaborados dois mapas de suscetibilidade para os dois movimentos de massa analisados, sendo que suas classes foram divididas conforme a Tabela 1 do item 5.3 deste trabalho.

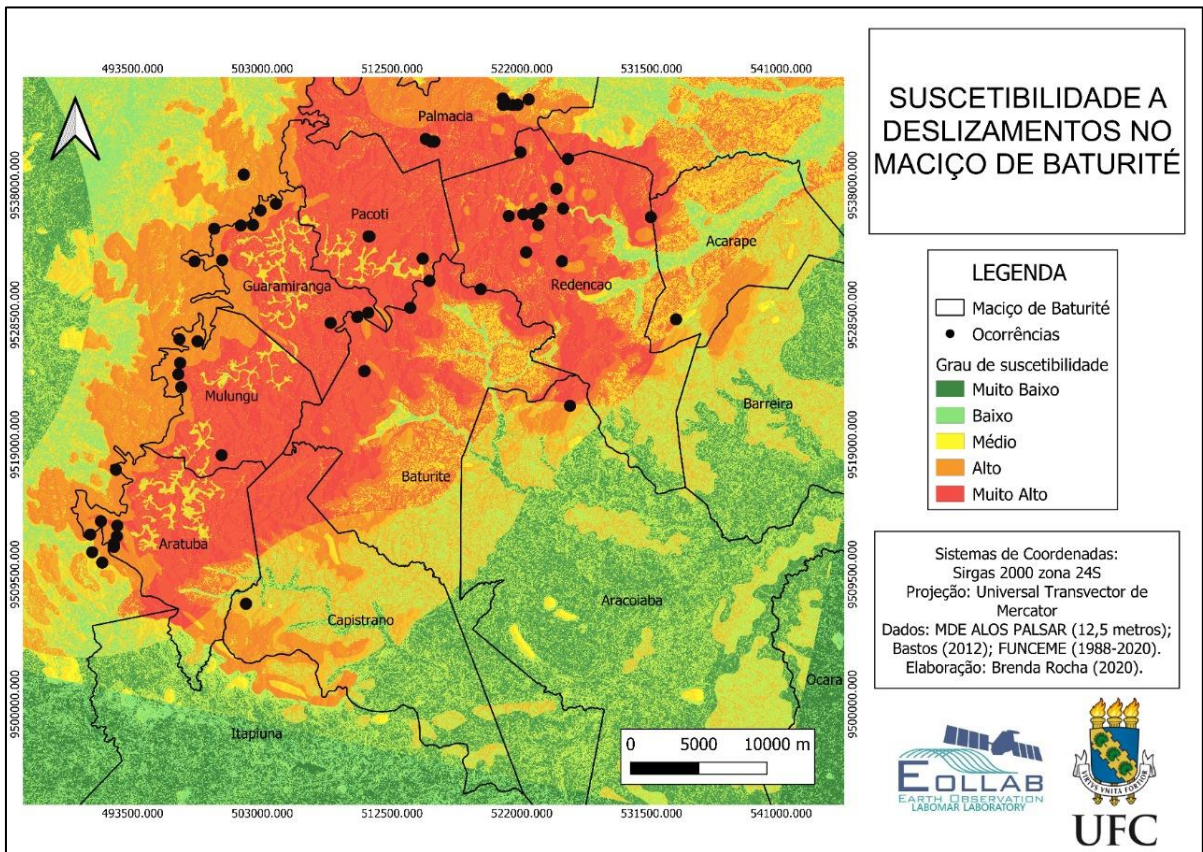
Portanto, serão discutidas as características de cada mapa nos dois tópicos a seguir, de modo a ressaltar os fatores que contribuíram para o desenvolvimento de cada modelo e observação da sobreposição das ocorrências mapeadas como forma de validação dos resultados.

### **6.1 Mapa de suscetibilidade a deslizamentos**

Conforme a análise aprofundada da área de estudo, considerando suas características geomorfológicas, pedológicas, pluviométricas, além da sua declividade e disposição frente aos agentes atmosféricos, o mapa de suscetibilidade à deslizamentos foi desenvolvido (Mapa 9), de modo a focar na região oeste onde se encontram as maiores declividades, possibilitando a ocorrência desse tipo de agente modificador da paisagem.

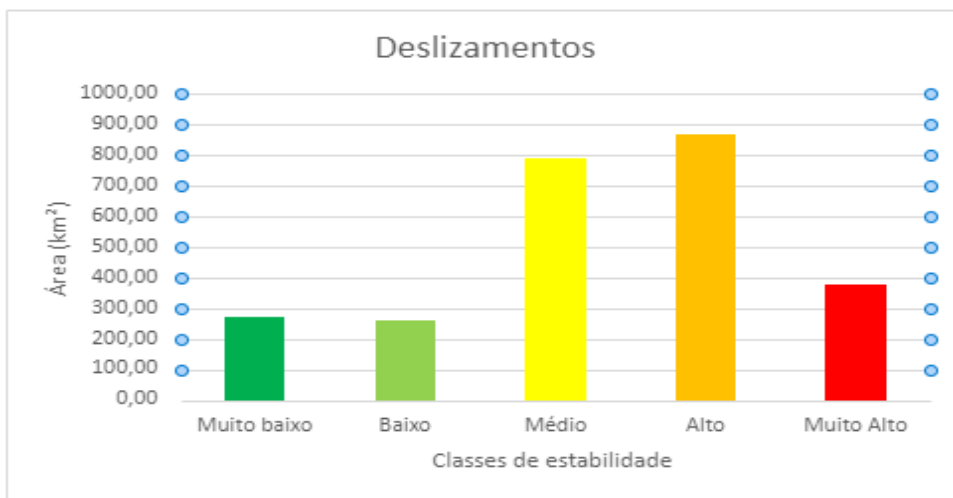
De forma complementar, foi elaborado o histograma do modelo desenvolvido, conforme apresentado na Figura 14.

Mapa 9 – Suscetibilidade a Deslizamentos no Maciço de Baturité.



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 14 - Histograma das classes apresentadas no mapa de suscetibilidade a deslizamentos, indicando suas áreas de extensão



Fonte: Elaborado pela autora.



Tendo em vista a amostragem dos resultados, pôde-se observar no mapa que as áreas classificadas com grau de suscetibilidade “Muito Alto” foram aquelas onde a declividade é acentuada, entre 20 - 45%, localizada na maior parte da vertente dissecada úmida onde, juntamente com as características pedológicas dos argissolos (eutrófico e distrófico) e da maior influência pluviométrica das chuvas orográficas, mostraram ser mais prováveis à ocorrência de deslizamentos.

Complementarmente, a presença de profundos mantos de intemperismo dos argissolos do Maciço de Baturité, que possuem naturalmente uma drenagem moderada (BRASIL, 2002), associada com a forte influência das características pluviométricas, que podem influenciar tanto a longo prazo quanto nas ocasiões de fortes tempestades, são diretamente proporcionais à ocorrência de deslizamentos, como comprova a localização das ocorrências mapeadas.

Em relação as áreas classificadas com grau de suscetibilidade “Alto”, estas se apresentaram na vertente dissecada seca, juntamente com os domos rochosos, cristas e na medida em que a declividade se encontra abaixo de 20%. Nota-se a presença de muitas cicatrizes na vertente dissecada seca que, mesmo apresentando características pedológicas menos favoráveis dos neossolos litólicos do Maciço de Baturité, nos quais são mais rasos e pedregosos (BRASIL, 2002), ainda possui ocorrências frequentes e por isso classificado corretamente.

Sobre o grau de suscetibilidade “Médio”, se destaca as áreas em que a declividade se encontra abaixo de 8%, sendo estas localizadas principalmente na região sudeste do Maciço, em direção à superfície sertaneja. Outra região importante que recebeu essa classificação foram as planícies alveolares, localizadas na região da APA, entre os relevos arredondados (meias-laranjas), sendo estas caracterizadas como regiões de depósitos e não apresentando realmente influência na ocorrência de movimentos de massa.

As últimas classificações, “Baixo” e “Muito Baixo”, representaram as planícies fluviais, que se adentram de forma considerável nos municípios de Redenção e Baturité, fazendo um contraste com as áreas classificadas nesses municípios com grau de suscetibilidade “Alto”. No mais, toda a região da depressão sertaneja da região de entorno da área elevada do Maciço apresentou baixa suscetibilidade.

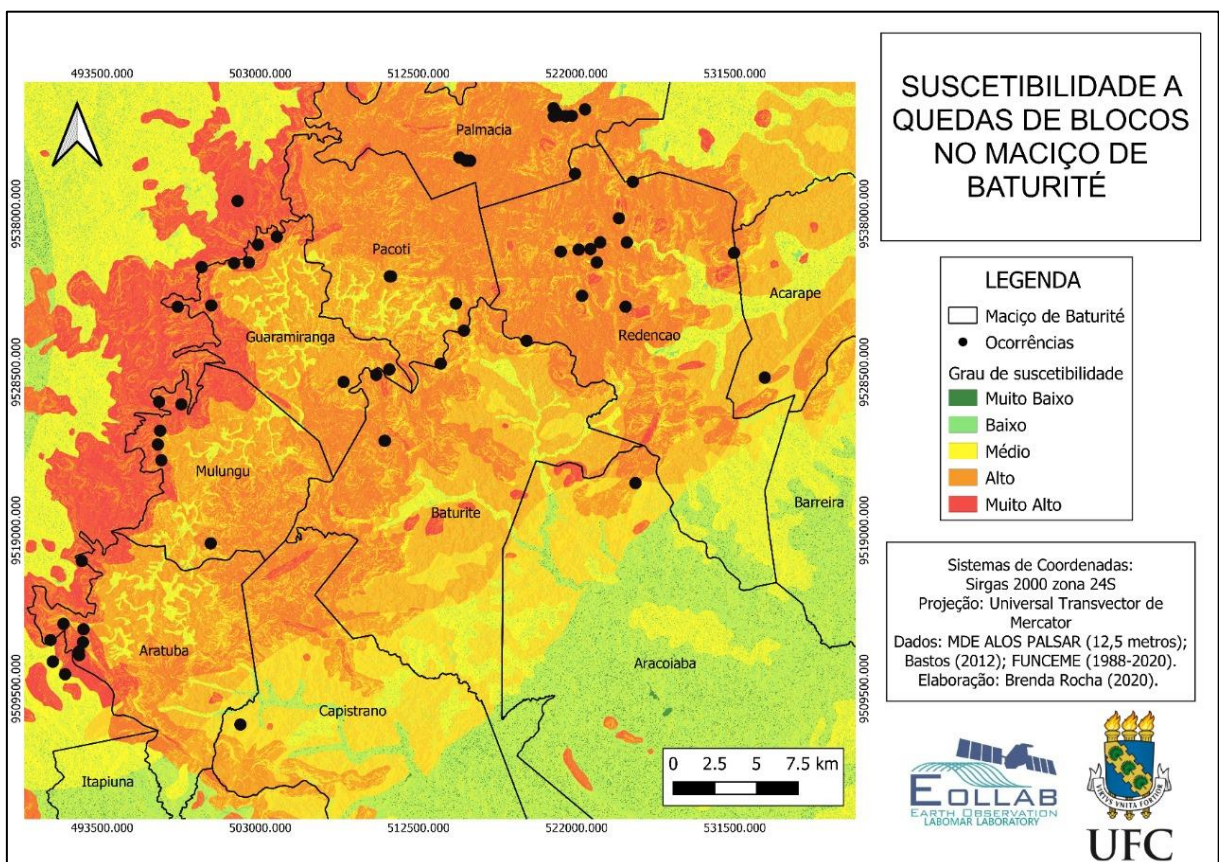
No que se refere o histograma, as classes que apresentaram uma maior extensão territorial, em relação somente à delimitação do Maciço de Baturité foram, respectivamente, “Alto”, “Médio”, “Muito Alto”, “Muito Baixo” e “Baixo”. Então, mesmo sendo um modelo simples e um pouco mais subjetivo, nota-se a importância de alerta para os municípios localizados nessas regiões, principalmente nos períodos mais chuvosos do ano.

## 6.2 Mapa de suscetibilidade a quedas de blocos

Da mesma forma que o mapa relacionado aos deslizamentos, o mapa de suscetibilidade a quedas de blocos foi elaborado (Mapa 10), conforme os valores de pesos e notas atribuídos especificamente para cada tipo de movimento.

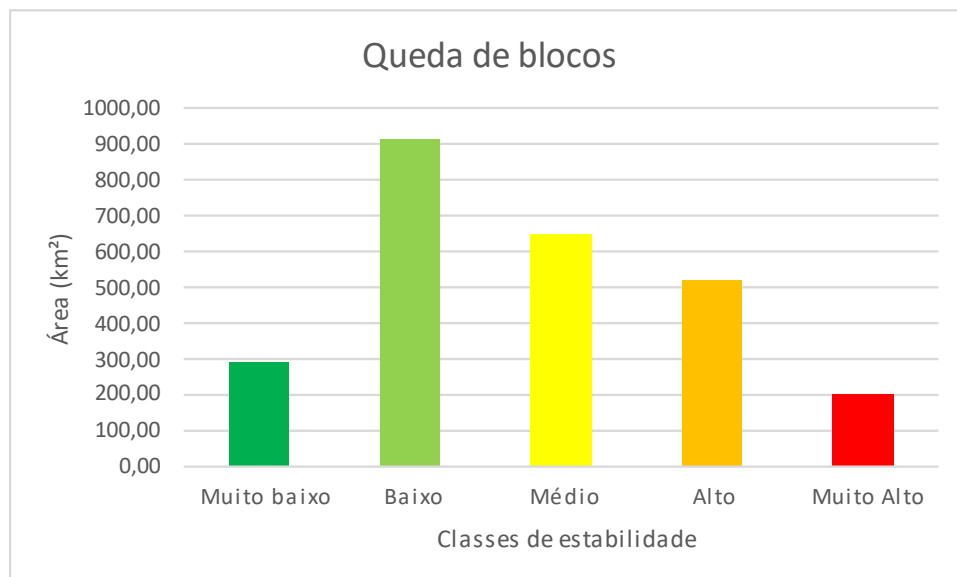
Complementarmente, foi elaborado o histograma do modelo desenvolvido, conforme apresentado na Figura 15.

Mapa 10 – Suscetibilidade a quedas de blocos no Maciço de Baturité



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 15 - Histograma das classes apresentadas no mapa de suscetibilidade a quedas de blocos, indicando suas áreas de extensão



Fonte: Elaborado pela autora.

Sobre o mapa de suscetibilidade a quedas, o grau classificado como “Muito Alto” representou a área da vertente dissecada seca, a região de domos rochosos, as cristas e os inselbergs. Essas unidades geomorfológicas realmente favorecem a ocorrência de quedas, tanto pela formação de pacotes pouco expressivos de material intemperizado devido as elevadas declividades (com regiões acima de 45%, de acordo com o MDE utilizado), quanto pelos processos intempéricos que atuam diretamente na rocha exposta, favorecendo o desencadeamento de ocorrências, como as que foram mapeadas e sobrepostas ao modelo.

A área classificada com grau de suscetibilidade “Alto”, foi toda a região da vertente dissecada úmida, pois também podem estar associadas aos deslizamentos (que necessitam de um pacote pedogenético maior), blocos soltos de diferentes tamanhos, não sendo os dois necessariamente desassociados. Principalmente nas áreas onde existem os cortes das rodovias, é comum a ocorrência de queda de blocos associados a deslizamentos rasos, o que pode ser diretamente proporcional à ocorrência de acidentes.

É importante destacar que os municípios de Mulungu, Aratuba, Guaramiranga e Pacoti apresentam probabilidade muito elevada aos dois tipos de movimentos de massa, tanto por alguns setores receberem a influência das chuvas orográficas (no noroeste e sudeste do maciço, recebendo uma maior influência da

água, seja para a formação dos mantos de intemperismo seja para o desencadeamento de ocorrências) quanto por apresentarem feições características de áreas mais secas (setor noroeste e sudoeste do maciço, sendo a declividade e a menor formação de mantos de intemperismo fatores cruciais para o desencadeamento de quedas de blocos).

A classe “Médio” também caracterizou as planícies alveolares, sendo áreas localizadas em elevadas altitudes, porém em fundo de vales. Com a diminuição da declividade, as classes “Baixo” e “Muito Baixo” foram se estabelecendo, em direção à superfície sertaneja.

Em relação ao histograma, as classes que apresentaram uma maior extensão territorial, em relação somente à delimitação do Maciço de Baturité foram, respectivamente, “Baixo”, “Médio”, “Alto”, “Muito Baixo” e “Muito Baixo”. Então, mesmo sendo predominante o menor grau de suscetibilidade, também é importante o alerta para os municípios, principalmente nas estradas que se encontram na vertente dissecada seca, pela quantidade de ocorrências mapeadas.

## 7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na pesquisa foram satisfatórios na identificação das áreas suscetíveis a movimentos de massa no Maciço de Baturité. Tendo em vista a singularidade dos aspectos naturais e a frequência de ocorrências de tais eventos, foi possível associar as técnicas de SIG, as características da área de estudo e ainda os fatores desencadeadores de movimentos de massa à pesquisa, realizando uma interdisciplinaridade de conhecimentos para a geração de um produto final que pode ser utilizado para outros fins.

De forma mais específica, os locais em que foram identificados nos dois mapas com grau de suscetibilidade “Muito Alto” e “Alto” coincidiram com as ocorrências identificadas por Bastos (2012) e pela autora, da mesma forma em que as regiões menos suscetíveis (“Baixo” e “Muito baixo”) não apresentaram a sobreposição de ocorrências.

Ademais, a aplicação da álgebra de mapas para cada um dos movimentos de massa se mostrou mais adequado, tendo em vista os diferentes aspectos relacionados aos tipos de movimentos de massa analisados.

Sobre a Calculadora Raster, esta se mostrou uma ferramenta muito eficaz na aplicação desse tipo de operação, onde também se considera a avaliação do analista, sendo possível a atribuição de informações adicionais aos dados. Como resultado, a divisão dos graus de suscetibilidade se encaixou com os principais aspectos relacionados às variáveis analisadas, levando em consideração os fatores que podem estar associados ao desencadeamento de ocorrências.

Outro aspecto importante foi que a escolha das variáveis englobou as principais características do Maciço de Baturité que podem estar associadas as ocorrências. Dessa forma, para a aplicação da metodologia escolhida, é necessário um conhecimento aprofundado da área de estudo, tanto com pesquisa bibliográfica, quanto pela análise em campo além das técnicas computacionais.

No geral, o Maciço de Baturité, de acordo com os histogramas, possui uma alta suscetibilidade a deslizamentos e uma baixa suscetibilidade a quedas de blocos, isso destacando os valores, em km<sup>2</sup>, das classes analisadas.

Por fim, os mapas de suscetibilidade podem ser ainda mais completos quando adicionadas outras variáveis, se tornando um modelo mais robusto, de acordo com toda a interpretação do analista a respeito dos aspectos naturais do ambiente a ser aplicada a pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ASF DAAC. **Alaska Satellite Facility Distributed Active Archive Center.**

Disponível em: <https://www.asf.alaska.edu/sar-data/palsar/about-palsar/>

ARTHAUD, M.H. *et al.* Geology of the northern Borborema Province, NE Brazil and its correlation with Nigeria, NW Africa. In: PANKHURST, R.J., TROUW, R.A.J., BRITO NEVES, B.B., De WIT, M.J. (eds), West Gondwana Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region. **Geological Society**, London, Special Publications, 294, 49-67, 2008.

AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1, 1992, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 1992, v.2, p.721-733.

ALVES, E. L.; SUERTEGARAY D. M. A. Análise e determinação de movimentos de massa através de SIG. In: V SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA I ENCONTRO SUL-AMERICANO DE GEOMORFOLOGIA. **Anais...**,1, 2004, Santa Maria, p. 1-4. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/5/5/Ernesto%20Luiz%20Alves.pdf>

BARBOSA, C. C. et al. Operadores Zonais em Álgebra de Mapas e Sua Aplicação a Zoneamento Ecológico Econômico. IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, **Anais ...**, INPE: São José dos Campos, 1998, p. 487-500. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/papers/sbsr98.pdf>

BASTOS, F.H. **Movimentos de massa no maciço de Baturité (CE) e contribuições para estratégias de planejamento ambiental.** 2012. 257 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2012.

BATATEIRA, C. **Movimentos de vertente no NW de Portugal, susceptibilidade geomorfológica e sistemas de informação geográfica.** 2001. 475 p. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto, 2001.

BATISTA, C. C. F.; DIAS, C. O uso do geoprocessamento para a análise ambiental do município de Goiás. [S.l]. **Revista Mediação.** 2013. p. 1- 5. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/mediacao/article/view/620>

BEHLING, A., A. **Fatores condicionantes dos movimentos de massa no município de Agudo/RS.** 2017. 151 p. (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2017.

BÉTARD F.; PEULVAST J-P; CLAUDINO-SALES, V. Caracterização morfopedológica de uma serra úmida no Semi-árido do Nordeste brasileiro: o caso do maciço de Baturité-CE. **Mercator**, 2007, 12: 107-125.

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; PASSOS, E. **Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais.** Vol.3, Cap.8, Editora da UFSC. Florianópolis, 2003, p.1026-1098.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Plano Territorial de Desenvolvimento Rural Sustentável: Território Cidadania Maciço do Baturité** – MDA/SDT/CONSAD Fortaleza: Instituto Agropolos do Ceará, 2010.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S.; **Princípios Básicos em Geoprocessamento**. In: ASSAD, E. D Sistemas de Informações Geográficas. Aplicação na agricultura / editado por Eduardo Delgado Assad; Edson Eyji Sano - 2º ed., rev. e ampl. - Brasília: EMBRAPA - SPI/ EMBRAPA - CPAC, 1988.

CÂMARA, G. *et al.* **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica**. Curitiba: SAGRES Editora, 1997, 193 p.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001

CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente - **Zoneamento Ambiental da APA da Serra de Baturité. diagnósticos e diretrizes**. Fortaleza: 1992. 136p.

CE-253: Trecho entre Guaramiranga e Caridade pode ser liberado nesta terça-feira (02). **O Lagoa**, Fortaleza – Ceará, 1 de abril de 2019. Disponível em: <https://olagoa.com.br/ceara/ce-253-trecho-entre-guaramiranga-e-caridade-pode-ser-liberado-nesta-terca-feira-02/>

CORDEIRO, J. P.; BARBOSA, C. C. F; CÂMARA, G.; **Álgebra de Campos e Objetos**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, São José dos Campos, 2001.

CUNHA, M. A. R. **A rota verde do café como estratégia de desenvolvimento integrado do turismo sustentável no Maciço de Baturité**. 2017. 149 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Negócios Turísticos) - Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2017.

FILHO, O. A; VIRVILI, J. C. Estabilidade de Taludes. In: OLIVEIRA, OLIVEIRA, A.M.S.; BRITO, S.N.A. (Org.). **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), 1998, p. 443-269.

FLORENZANO, T.G. Geotecnologias na Geografia Aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, [S.I], v. 17, p. 24-29, 2005.

FRANCISCO, C. E. S. *et al.* Espacialização de análise multicritério em SIG: prioridades para recuperação de Áreas de Preservação Permanente. XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais ...** Florianópolis: INPE, p. 2643-2650, 2007. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.18.13.55/doc/2643-2650.pdf>

GUIDICINI, G. e IWASA O. Y. **Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido**. IPT, São Paulo, p. 48, 1976.

LISTO, F., R., S., **Análise da Suscetibilidade e do grau de risco a escorregamentos rasos na bacia do alto Aricanduva**. 2011. 151 p. (Programa de

Pós-Graduação em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

MOLINARI, D.C., 2010. Hidrologia, processos erosivos e movimentos de massa, in: Rebello, A. (org.), Contribuições teórico-metodológicas da Geografia Física. **Editora da Universidade Federal do Amazonas**, Manaus, 2010, p. 67-103.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. 2. ed. Belo Horizonte: A autora, 2007, 272 p.

NERY, T. D. **Avaliação da Suscetibilidade a Escorregamentos Translacionais Rasos na Bacia da Ultrafértil, Serra do Mar**. 2011. 97 p. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NUMMER, A. V. **Parâmetros geológicos-geotécnicos controladores dos movimentos de massa na Rota do Sol/ RS 486 - Itati, RS**. 2003. 241 p. (Programa de Pós-Graduação em engenharia Civil) - Universidade Federal do Sul, Porto Alegre, 2003.

QGIS Development Team, 2015. QGIS 2.8. Geographic Information System API Documentation. Open Source Geospatial Foundation Project. Electronic document: <http://doc.qgis.org/&lt;DOCUMENT>>

ROCHA, A. P. **Avaliação espaço-temporal da suscetibilidade a movimentos de massa utilizando produtos fotogramétricos e modelagem espacial multicritério na dinâmica de áreas de risco nas microrregiões do Jordão e Ibura, Recife – PE**. 2015. 141 p. (Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SANTANA, J. K. R *et al.* Análise Multicritério e Álgebra de Mapas na Identificação de Áreas de Perigo a Escorregamentos na Cidade do Recife (PE). In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. 2019, Fortaleza. **Anais...**Fortaleza, CE: UFC, 2019, p. 1-10. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333802432\\_Analise\\_Multicriterio\\_e\\_Algebra\\_de\\_Mapas\\_na\\_Identificacao\\_de\\_Areas\\_de\\_Perigo\\_a\\_Escorregamentos\\_na\\_Cidade\\_do\\_Recife\\_PE](https://www.researchgate.net/publication/333802432_Analise_Multicriterio_e_Algebra_de_Mapas_na_Identificacao_de_Areas_de_Perigo_a_Escorregamentos_na_Cidade_do_Recife_PE)

SARTORI, A. A. C. **Análise Multicritério na Definição de Áreas Prioritárias à Conectividade entre Fragmentos Florestais**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). 2010.

SANTOS, A. A. **Geoprocessamento Aplicado à Identificação de Áreas de Fragilidade Ambiental no Parque Estadual da Serra do Rola Moça**. 2010. 39 p. (Especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SAMPAIO, T. V. M. Diretrizes e procedimentos metodológicos para a cartografia de síntese com atributos quantitativos via álgebra de mapas e análise multicritério. **Boletim de Geografia**, Curitiba, v. 30, n. 1, p. 121-131, 21 jun. 2012.



SILVA, J. B.; CAVALCANTE, T. C. **Atlas escolar, Ceará: espaço geo-histórico e cultural**. João Pessoa: Editora Grafset, 2004, 200p.

SILVA, F. E. S. **A conservação da biodiversidade da Serra de Baturité na perspectiva das unidades de conservação**. 2015. 221 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2015.

TOMLIN, D. Geographic information systems and Cartographic Modeling. **Prendice Hall**, New York, 1990.

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**. 2006. 132 p. (Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, São José dos Campos, 2008.

XAVIER, J. P. S. **Erosão Pluvial e Escorregamentos no Estado de Pernambuco: áreas de ocorrências, unidades de paisagem e banco de dados geográfico**. 2020. 221 p. (Programa de Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

ZANELLA, M. E., SALES, M. C. L. Considerações sobre o clima e a hidrografia do maciço de Baturité. In: BASTOS, F. H. (org) Serra de Baturité: Uma visão integrada das questões ambientais. **Expressão gráfica e editora**. Fortaleza, 2011.