



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS A. C. SIMÕES  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA, DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE  
CURSO GEOGRAFIA - BACHARELADO

RAMON ALVES DE SANTANA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA RIACHO  
REGINALDO, MACEIÓ - ALAGOAS**

Maceió  
2023

RAMON ALVES DE SANTANA

**FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA RIACHO REGINALDO,  
MACEIÓ - ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Geografia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em geografia.

Orientador: Profa. Dr. Nivaneide Alves de Melo Falcão

Coorientador: Msc. Thyago Anthony Soares Lima

Maceió

2023

**Catálogo na Fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

S232f Santana, Ramon Alves de.  
Fragilidade ambiental na bacia hidrográfica riacho Reginaldo, Maceió - Alagoas /  
Ramon Alves de Santana. – 2023.  
74 f. : il. : color.

Orientadora: Nivaneide Alves de Melo Falcão.  
Co-orientador: Thyago Anthony Soares Lima.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia: Bacharelado) –  
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio  
Ambiente. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 68-74.

1. Bacia hidrográficas. 2. Geoprocessamento. 3. Ações antrópicas. I. Oliveira,  
Nicolly Ingrid da Silva. II. Título.

CDU: 911.2:556.51(813.5)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente aos meus pais Marcio Roberto Carvalho de Santana e Wellida Alves Lima de Santana, por sempre me proporcionarem tudo que podiam da melhor forma e incentivando sempre a buscar mais. A minha irmã Rafa pelo apoio da forma dela.

A todos os demais familiares que acompanharam a minha trajetória de perto e sabem da importância dessa realização.

A minha orientadora Profa. Dr. Nivaneide Alves de Melo Falcão e ao coorientador Msc. Thyago Anthony Soares Lima por toda a orientação, e auxílio durante toda essa caminhada.

Aos meus amigos que adquiri durante esse processo de formação, Lucão e Makson que contribuíram com muitas discussões e risadas durante todo esse processo.

Mandar um beijo para os BJQ, para juju e para todo mundo que estava comigo desde sempre, espero levar todos para o resto da vida.

Agradecer a todos do laboratório GEOMORFOS pelo apoio e pelas discussões.

A todos vocês, minha profunda gratidão.

## RESUMO

O crescimento global da população evidencia uma ocupação cada vez mais ampla de áreas que muitas vezes não deveriam ser habitadas, resultando na degradação ambiental e colocando em risco as próprias comunidades em regiões inadequadas. Além disso, o aumento da demanda por recursos naturais impulsionado por avanços tecnológicos está intensificando a exploração dessas matérias-primas. Nesse cenário, torna-se crucial implementar um planejamento territorial que busque minimizar o impacto ambiental e reduzir as ações prejudiciais. O estudo da Fragilidade Ambiental, desenvolvido por Ross (1994), tem como objetivo exatamente esse propósito. Fundamentado na Teoria da Ecodinâmica proposta por Tricart (1977), esse estudo analisa as fragilidades do ambiente considerando suas características físicas e influências antrópicas. A fragilidade é classificada em cinco níveis, variando de muito baixo até muito alto. As geotecnologias e suas ferramentas como os Sistemas de informações geográficas por exemplo, vêm como fortes aliadas nas elaborações de estudos pois permitem uma alta variedade de possibilidades de execução das tarefas com maior agilidade, com também um tratamento de uma gama de variáveis permitindo uma análise completa. Dado o cenário carente de estudos sobre Fragilidade Ambiental no município, o presente estudo focou na Bacia Hidrográfica do Riacho do Reginaldo, localizada inteiramente na parte urbana de Maceió, Alagoas. Para caracterizar essa fragilidade, foram utilizadas diversas variáveis no *software* Qgis versão 3.16, sendo elas, Pluviosidade, Geomorfologia, Solos, Declividade e Geologia para a formação da fragilidade ambiental potencial. Além disso, para a fragilidade emergente, a variável Uso e Ocupação do Solo foi acrescentada. Esse estudo busca fornecer informações valiosas para estudos posteriores em busca de auxiliar no planejamento territorial mais consciente, visando a preservação ambiental e a mitigação dos impactos adversos do crescimento populacional e da exploração desenfreada de recursos naturais. A maior parte da bacia no mapa de fragilidade ambiental potencial demonstrou uma classificação baixa já o mapa de fragilidade emergente demonstra uma bacia com alta fragilidade decorrente do alto grau de urbanização.

**Palavras-chave:** Bacia Hidrográfica; Geotecnologias; Ações antrópicas.

## ABSTRACT

The global population growth highlights an increasingly widespread occupation of areas that often should not be inhabited, resulting in environmental degradation and endangering communities in unsuitable regions. Furthermore, the increasing demand for natural resources driven by technological advances is intensifying the exploitation of these raw materials. In this scenario, it becomes crucial to implement territorial planning that seeks to minimize environmental impact and reduce harmful actions. The study of Environmental Fragility, developed by Ross (1994), serves precisely this purpose. Grounded in the Theory of Ecodynamics proposed by Tricart (1977), this study analyzes environmental fragilities considering their physical characteristics and anthropogenic influences. Fragility is classified into five levels, ranging from very low to very high. Geotechnologies and their tools, such as Geographic Information Systems, for example, come as strong allies in conducting studies as they allow for a wide range of task execution possibilities with greater agility, as well as the treatment of a variety of variables for a comprehensive analysis. Given the lack of studies on Environmental Fragility in the municipality, the present study focused on the Watershed of Riacho do Reginaldo, located entirely in the urban area of Maceió, Alagoas. To characterize this fragility, various variables were used in the QGIS software version 3.16, including Precipitation, Geomorphology, Soils, Slope, and Geology for the formation of potential environmental fragility. Additionally, for emergent fragility, the Land Use and Land Cover variable was added. This study aims to provide valuable information for subsequent research to assist in more conscientious territorial planning, focusing on environmental preservation and the mitigation of adverse impacts from population growth and uncontrolled natural resource exploitation. The majority of the watershed in the potential environmental fragility map demonstrated a low classification, while the emergent fragility map shows a watershed with high fragility due to a high degree of urbanization.

**Keywords:** Hydrographic basin; Geotechnologies; Anthropic actions.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Principais atividades envolvidas nas Geotecnologias .....	16
Figura 2 - Funcionamento de um SIG .....	17
Figura 3 – Relação de movimentos de massa com umidade e velocidade .....	21
Figura 8 – Mapa de localização da área de estudo .....	29
Figura 9 - Fluxograma da criação do mapa de uso e ocupação .....	36
Figura 10 - Construção do mapa de fragilidade.....	40
Figura 11 - Gráfico da porcentagem da presença dos domínios geomorfológicos ....	41
Figura 12 - Mapa de Unidades Geomorfológicas .....	43
Figura 13 - Mapa de fragilidade das unidades geomorfológicas .....	44
Figura 14 -Gráfico da porcentagem da presença dos intervalos da declividade.....	45
Figura 15 – Mapa das classes de declividade .....	46
Figura 16 – Mapa de fragilidade da declividade .....	47
Figura 17– Gráfico da porcentagem da presença dos domínios geológicos .....	48
Figura 18 - Mapa de unidades geológicas.....	49
Figura 19 – Mapa de fragilidade das unidades geológicas.....	50
Figura 20 – Gráfico da porcentagem da presença dos Solos.....	52
Figura 21 - Mapa de solos.....	53
Figura 22 – Mapa de fragilidade de solos.....	54
Figura 23 - Gráfico da fragilidade ambiental potencial.....	56
Figura 24 - Mapa da fragilidade ambiental potencial .....	57
Figura 25 – Gráfico do uso e ocupação do solo .....	59
Figura 26 - Mapa de uso e ocupação do solo.....	60
Figura 27 - Mapa da fragilidade do uso e ocupação do solo .....	61
Figura 28 - Gráfico da fragilidade ambiental emergente.....	62
Figura 29 – Mapa de fragilidade ambiental emergente.....	63
Figura 30 - Mapa da fragilidade ambiental emergente com ocorrências da Defesa Civil Municipal de Maceió de 2021 até 08/23 .....	64
Figura 31 - Gráfico de Ocorrências de Movimento de Massa.....	65

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Descrição das nomenclaturas de classificação de solos.....	32
Tabela 2 – Tipologias geomorfológicas segundo suas características.....	34
Tabela 3 - Dados Utilizados .....	35
Tabela 4 - Pesos atribuídos as classes Geomorfológicas .....	35
Tabela 5 Pesos atribuídos ao Uso do Solo.....	36
Tabela 6 - Peso atribuídos ao Solo .....	37
Tabela 7 - Pesos atribuídos a Geologia.....	38
Tabela 8 – Peso atribuídos a Declividade .....	38
Tabela 9 – Peso atribuído a Pluviosidade .....	39
Tabela 10 – Área correspondente aos domínios geomorfológicos.....	42
Tabela 11 – Área correspondente a declividade .....	45
Tabela 12 – Área correspondente aos domínios geológicos.....	48
Tabela 13 – Área da porcentagem da presença dos domínios .....	52
Tabela 14 - Peso da pluviosidade .....	55
Tabela 15 – Área correspondente a fragilidade ambiental potencial. ....	56
Tabela 16 – Área correspondente a classe de uso e ocupação do solo.....	59
Tabela 17 – Área correspondente a fragilidade ambiental emergente .....	62
Tabela 18 – Porcentagem de ocorrências em relação a classe de fragilidade .....	65

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1 Geotecnologias .....	16
2.2 Suscetibilidade, vulnerabilidade e riscos .....	18
2.3 Movimentos de massa .....	19
2.3.1 Uso e ocupação do solo como agravante aos movimentos de massa .....	22
2.4 Fragilidade Ambiental .....	23
3 ÁREA DE ESTUDO .....	25
3.1 Características gerais .....	25
3.2 Características físicas .....	30
3.2.1 Clima .....	30
3.2.2 Geologia .....	30
3.2.3 Solos .....	30
3.2.4 Geomorfologia .....	33
4 METODOS .....	35
4.1 Levantamento e processamento dos dados e atribuição dos pesos .....	35
4.1.1. Geomorfológico .....	35
4.1.2 Mapa de uso e ocupação do solo .....	36
4.1.3 Solos .....	37
4.1.4 Geologia .....	38
4.1.5 Declividade .....	38
4.1.6 Pluviosidade .....	39
4.2 Elaboração do mapa de fragilidade final .....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
5.1 Geomorfologia .....	41
5.2 Declividade .....	45
5.3 Geologia .....	48
5.4 Solos .....	51
5.7 Pluviometria .....	55
5.7 Fragilidade potencial .....	55
5.8 uso e ocupação .....	58

5.9 Fragilidade emergente .....	62
5.10 Ocorrências de movimento de massa no mapa de fragilidade emergente ....	64
6 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS .....	68

## 1 INTRODUÇÃO

Dada à carência de estudos que identifiquem áreas suscetíveis a movimentos de massa em Maceió, esta pesquisa propõe um estudo baseado no método de estudo sobre a Análise da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados, desenvolvida por Ross (1994) e tem como base a teoria e as concepções da Ecodinâmica de Tricart (1977).

O método caracteriza o meio baseado em características geomorfológicas, geológicas, climáticas, pedológicas, pluviométricas e antrópicas como o uso e ocupação do solo. Cada característica das variáveis citadas recebe pesos que vão de um a cinco e posteriormente é feito um cruzamento dos dados para gerar um mapa final e fragilidade indo de muito baixa a muito alta.

É identificado utilizando valores naturais, o que é chamado de fragilidade ambiental potencial e quando a análise incorpora os fatores antrópicos, como a variável uso e ocupação do solo, é chamada de fragilidade ambiental emergente.

Esses dados, são de suma importância devido à preocupação gerada pelo processo acelerado de urbanização mundial, como destacado por Tominaga et al. (2009), tem conduzido ao crescimento desordenado das cidades. Áreas antes impróprias para moradia são agora ocupadas, aumentando o risco de desastres naturais. Um exemplo concreto é a cidade de Maceió, que na década de setenta abrigava cerca de cento e cinquenta mil habitantes, mas em dois mil e vinte e dois, esse número saltou para aproximadamente novecentos e cinquenta e sete mil. Esse crescimento rápido e substancial facilitou a expansão desordenada para áreas inadequadas, incluindo a Bacia do Riacho Reginaldo.

Além da influência direta da gravidade nos movimentos de massa, fatores humanos exacerbam o problema. Construções irregulares, escavações nas encostas, remoção de vegetação nativa e outras práticas contribuem para a vulnerabilidade dessas áreas e fragilidade emergente.

Para mitigar ou resolver de forma duradoura os problemas relacionados aos movimentos de massa, Bonuccelli (1999) recomenda uma abordagem que envolve a análise dos processos, características físicas do meio e todas as variáveis relevantes para um monitoramento contínuo, permitindo previsões e intervenções efetivas. A partir disso de acordo com Listo et al. (2022) no Brasil devido à grande ocorrência dessa problemática foi instituída no ano de 2012, a Lei Federal nº12.608

que estabeleceu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, que em um dos pontos importantes é a utilização de providências para as situações de risco causadas por desastres situados em terrenos geomorfologicamente declivosos.

Segundo Cardoso (2016), as obras estruturais, como sistemas de drenagem e contenção, são importantes para reduzir riscos. No entanto, ele destaca que ações de cunho cultural têm eficácia superior, com foco preventivo, como campanhas de conscientização sobre os perigos de viver em áreas de risco.

Como é uma metodologia antiga diversos trabalhos já foram feitos demonstrando que existe uma assertividade do método, pode-se destacar alguns trabalhos mais recentes como o de Pessi e Loverde - Oliveira (2019) que caracteriza a fragilidade na bacia córrego Grande no município de Rondonópolis – MG, já Carvalho et al. (2019) que elabora sobre a fragilidade ambiental à erosão em na bacia hidrográfica antropizada no nordeste de São Paulo, ambos os trabalhos demonstram a eficácia do método.

A partir disso o objetivo principal da pesquisa é partir de ponto inicial na tentativa de identificar e classificar as áreas mais frágeis na bacia hidrográfica do riacho do Reginaldo, baseada na metodologia de Jurandyr Ross com o intuito de contribuir academicamente com o entendimento servindo ao planejamento para o processo desenfreado de ocupação, com intuito de evitar a ocupação das mesmas, além de contribuir para outros estudos envolvendo a bacia e o município a partir da base de dados levantados.

Como uma tentativa de demonstração para o método, o trabalho buscou plotar os pontos de registro de ocorrências de movimentos de massa cedidos pela Defesa Civil de Maceió – Alagoas no mapa final de fragilidade com o intuito de correlacionar os locais registrados com os graus de fragilidade, onde existe uma maior frequência de chamados da população.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

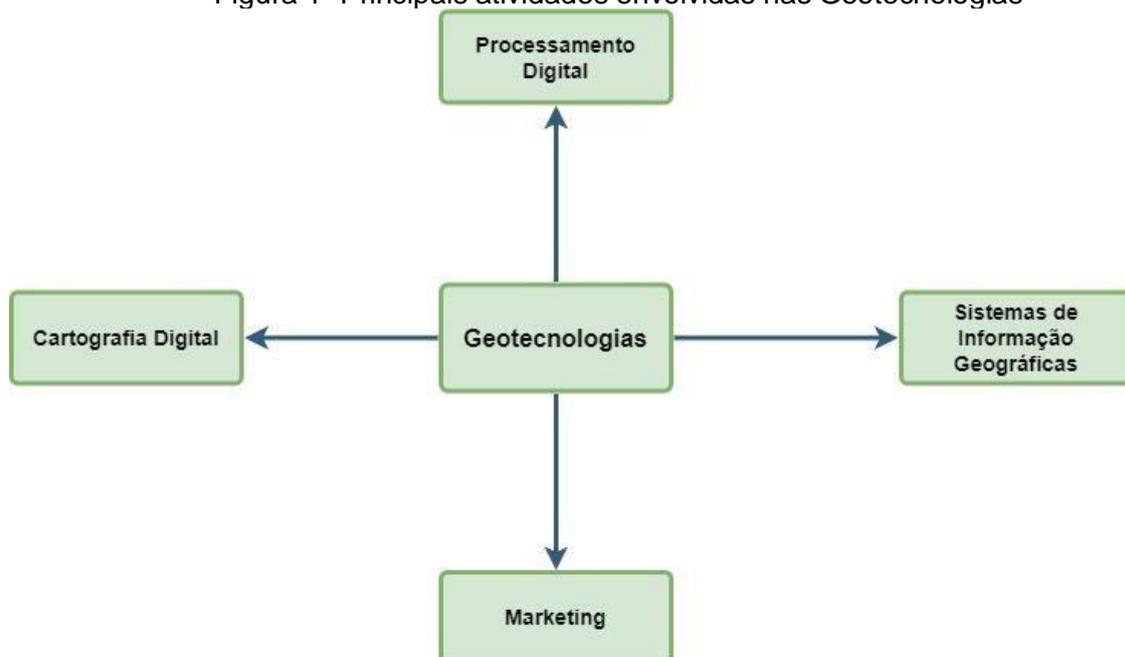
### 2.1 Geotecnologias

Com a progressão contínua das tecnologias e a modernização das abordagens, o campo da geografia experimentou avanços de grande relevância, particularmente no que diz respeito à análise de dados, tratamento de informações, processos de tomada de decisão, planejamento, gestão e outros elementos interligados ao espaço geográfico. (Rosa, 2005; IBAM, 2015)

As Geotecnologias englobam várias tecnologias, sendo as mais proeminentes o Sistema de Informação Geográfica (SIG), o Sensoriamento Remoto, a Cartografia Digital e o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), entre outras. (Reghini, Cavichioli. 2020)

Esses avanços permitiram aprofundar a compreensão dos padrões espaciais, as relações entre fenômenos geográficos e a tomada de decisões fundamentadas. As Geotecnologias têm desempenhado um papel crucial em diversos campos, como planejamento urbano, gestão ambiental, monitoramento agrícola, podem ser utilizadas para identificar pontos nos antros criminais, epidemiológicos e indicadores sociais. Ampliando as capacidades de análise e visualização do espaço geográfico em um nível sem precedentes. Rosa (2005), Correia (2011), Troleis et. al (2012), Leite (2011)

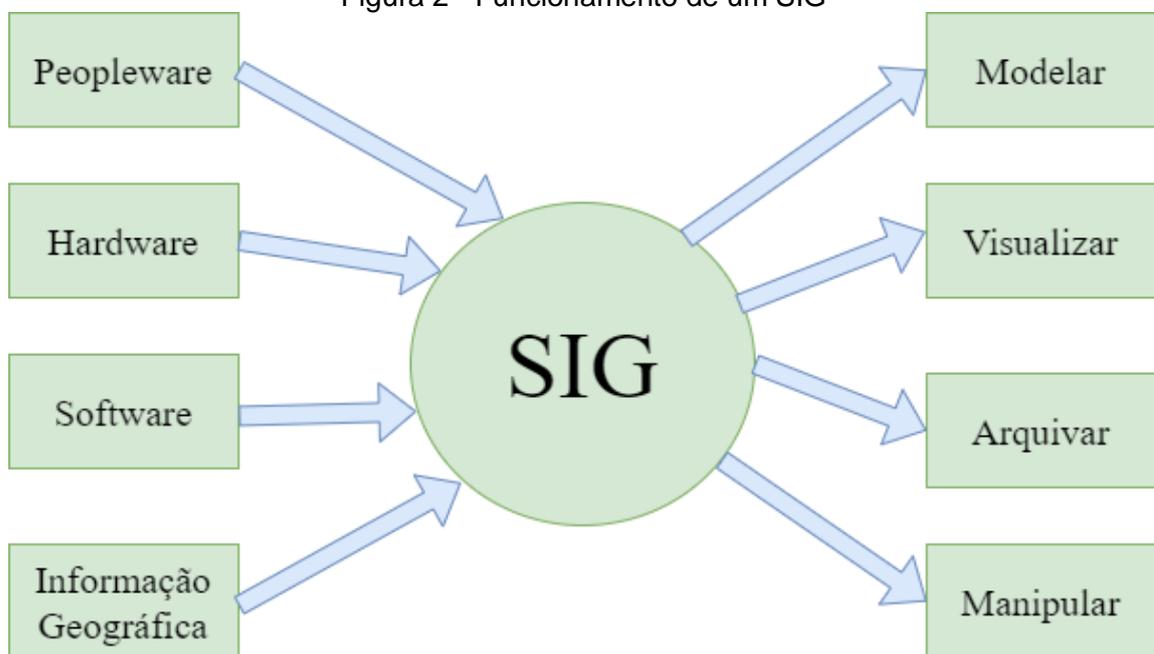
Figura 1- Principais atividades envolvidas nas Geotecnologias



Fonte: Rosa (2005), adaptado pelo autor.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) esquematizado na figura 2 é conceituado conforme as definições de Rosa (1994), Rosa (2005) e Silva Souza et al. (2021) como um sistema que abarca o armazenamento, manipulação, análise, modelagem e geração de dados referentes a localizações na superfície terrestre. Seu propósito principal é atuar como uma ferramenta abrangente para a criação de mapas, bases de dados e informações que integram múltiplos aspectos geográficos. Assim, conforme Chang (2010), O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para o gerenciamento de recursos naturais vem se mostrando cada vez mais uma ferramenta poderosa e eficiente nas diversas áreas do conhecimento.

Figura 2 - Funcionamento de um SIG



Fonte: Rosa (2005), adaptado pelo autor

O Sensoriamento Remoto, conforme delineado por Timbó (2001) e Almeida (2012), é uma técnica que faz uso de sensores, dispositivos e softwares de processamento e transmissão para capturar imagens de objetos localizados na superfície terrestre, sem a necessidade de contato físico direto entre o objeto e o sensor, assim podendo se obter imagens assemelhando-se ao levantamento em campo porém de forma mais rápida.

Segundo Furlan e Brito (2023) e Barros (2023) o sensoriamento remoto é dividido em orbitais que consistem nos satélites que a coleta é feita a partir da radiação eletromagnética sendo ela refletida ou emitida pelo alvo em diferentes comprimentos de onda eletromagnético, ou seja a radiação solar incide na superfície

e parte dela é refletida que é captada pelo sensor a bordo do satélite como exemplo do Landsat 8, como também existem os sensores que emitem a própria radiação como exemplo do radar utilizado na missão SRTM. Também existem os suborbitais que consistem em balões, aviões e drones.

De acordo com a definição de Zanotta et al. (2011), o Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de posicionamento que abrange globalmente e fornece informações em tempo real sobre as coordenadas espaciais de pontos solicitados. Originado nos Estados Unidos, teve seu desenvolvimento motivado pela busca de aprimorar as capacidades bélicas do país. Segundo Franco (2009) a precisão varia de aproximadamente 100 metros de coordenadas planimétricas podendo chegar até 2 metros com aparelhos mais robustos.

Conforme destacado por Timbó (2001), a eficácia do GPS é viabilizada por meio de uma constelação de satélites. Para que o sistema funcione adequadamente, é necessário que pelo menos quatro satélites estejam acima do horizonte do observador. Dessa forma, o GPS é capaz de determinar com precisão a posição real do usuário.

## **2.2 Suscetibilidade, vulnerabilidade e riscos**

Quanto à "suscetibilidade", como apontado por Girão (2018), refere-se à probabilidade intrínseca de um determinado fenômeno ocorrer, independentemente de fatores sociais. No entanto, esses fatores sociais podem alterar essa suscetibilidade. Por exemplo, áreas com topografia mais íngreme já possuem, por natureza, maior suscetibilidade a movimentos de massa. Entretanto, intervenções humanas podem agravar essa situação, não sendo um fator determinante por si só, mas contribuindo para intensificar o problema.

Como é visto no trabalho de Bispo et. al (2019) que demonstra que as encostas por si no bairro do Mutange em Maceió – Alagoas já oferecem uma suscetibilidade à ocorrência de escorregamentos naturalmente e são agravadas com a interferência antrópica. Como também no estudo de dos Santos et al. (2014) demonstra como a ocupação irregular de áreas mais suscetíveis acaba agravando e tornando um ambiente mais propício a desastres.

Já no estudo de Bispo (2018) a suscetibilidade apresenta dois tipos, a primeira é a suscetibilidade natural e a induzida, a primeira é levado apenas as variáveis naturais em conta, enquanto a induzida entra os fatores antrópicos, ainda de acordo com Bispo (2019) as áreas do litoral norte de Maceió – Alagoas estão

cada vez mais ocupadas e a suscetibilidade acaba servindo de norte para elaboração de novos estudos mais aprofundados.

O conceito de vulnerabilidade apresenta várias facetas e nuances. Portanto, a vulnerabilidade pode ser vista como uma qualidade do ambiente que emerge de uma interação complexa entre processos físicos, sociais e econômicos, levando a um aumento da susceptibilidade a perigos, como indicado por Girao (2018) e Tominaga (2009). A contribuição de Cutter Finch (2003) complementa essa perspectiva ao ressaltar que o estudo da vulnerabilidade não apenas ajuda a compreender a exposição ao risco, mas também fornece a base essencial para a formulação de políticas de mitigação de riscos. Ao considerar a vulnerabilidade em conjunto com outras variáveis, é possível identificar os pontos que mais necessitam de intervenções para reduzir riscos e fortalecer a resiliência.

Em relação aos estudos com vulnerabilidade e movimentos de massa de acordo com o estudo de Nascimento (2016) a vulnerabilidade exige o conhecimento holístico de classes e atributos para relacionar com o devido evento, por exemplo em caso de uma encosta a vulnerabilidade pode ser observada se atentando a variáveis como: presença ou não de vegetação, declividade e entre outros.

Esse tópico é novamente levantado no estudo de Nascimento et al. em 2018 que conclui a partir de uma análise geomorfológica, pedológicas, litológicas, declividade e uso e cobertura do solo e conseguiu-se determinar os diferentes níveis de vulnerabilidades.

O termo "risco", de acordo com a Defesa Civil de Santa Catarina, é definido como a relação entre a probabilidade de um evento ocorrer, a vulnerabilidade do sistema receptor e seus efeitos. O guia de procedimentos técnicos do departamento de gestão territorial da CPRM (2021) acrescenta que o risco engloba a probabilidade de ocorrência e a severidade dos efeitos adversos sobre a saúde, propriedade ou meio ambiente. Aneas De Castro (2000) conclui que risco é a probabilidade da ocorrência de um evento, seja ele natural ou antropogênico, e sua avaliação em termos de efeitos prejudiciais.

### **2.3 Movimentos de massa**

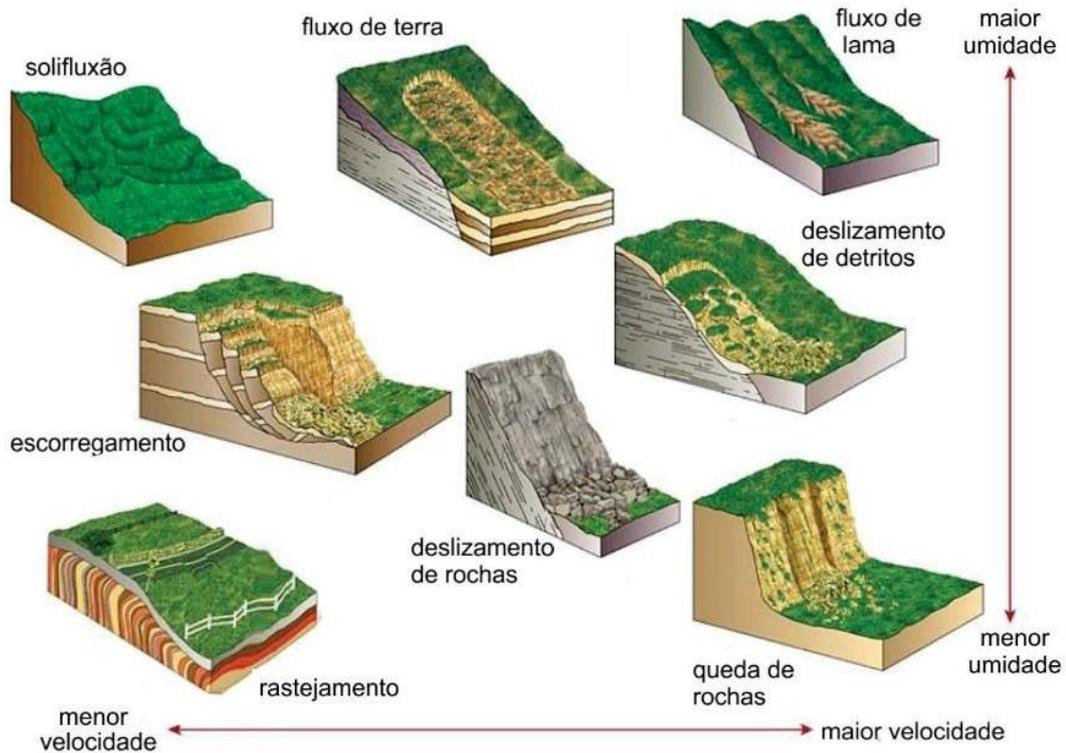
Os movimentos de massa podem ser desencadeados por diversos fatores, incluindo chuvas intensas, atividades humanas e até terremotos. Entre os anos de 2004 e 2016, registros indicam que ocorreram 4.862 vítimas de movimentos de

massa ao redor do mundo, conforme documentado por Froude e Petley (2018) Tais eventos desempenham um papel significativo na geração de problemas socioeconômicos, especialmente em áreas urbanas. Conforme Chen e Lee (2012) enfatiza, os movimentos de massa, juntamente com as enchentes, são os desastres com maior recorrência, superando a ocorrência de outros desastres naturais. De acordo com Tominaga (2009), movimentos de massa referem-se ao deslocamento de solo, rochas e/ou vegetação ao longo de uma vertente, impulsionado diretamente pela gravidade. Esses movimentos podem ser agravados pela presença de fatores adicionais, como a água ou o gelo, que tendem a reduzir a resistência dos materiais que compõem a vertente.

Já Quevedo (2019) os movimentos de massa podem ser definidos como deslocamentos descendentes de materiais, sendo causados principalmente por precipitações intensas que acabam causando a saturação do solo. Essa caracterização ressalta a importância crucial de mapear áreas de maior suscetibilidade a esses eventos e de desenvolver estratégias para minimizar os impactos resultantes desses processos.

Complementarmente, a compreensão da morfologia do movimento, seus padrões e comportamentos é essencial. Nesse sentido, surgiu uma classificação que visa diferenciar os diversos tipos de movimentos de massa. Estes incluem quedas (falls), tombamentos (topples), espalhamentos (spreads), escorregamentos (slides), escoamentos (flows) e rastejamentos (creeps). Cada categoria engloba uma gama de características, desde o material envolvido, profundidade e extensão do movimento até as peculiaridades geomorfológicas do local, como também a relação com a umidade apontada na figura 3 é importante ressaltar que em certos casos, múltiplos tipos de movimentos podem ocorrer simultaneamente, formando situações conhecidas como movimentos complexos. (Augusto Filho, 1992; Castro, 2009; Cruden e Varnes, 1996),

Figura 3 – Relação de movimentos de massa com umidade e velocidade



Fonte: Silva, C. N. da, 2021.

Castro (2006), diz que a classificação proposta por Augusto Filho em 1992 tem se destacado como a mais amplamente utilizada pelas Defesas Civis no Brasil. Isso se deve à sua simplicidade e objetividade, bem como à sua ênfase na descrição detalhada do processo e das características dos materiais envolvidos nos movimentos de massa. Essa abordagem direta e descritiva permite que profissionais e equipes de resposta a desastres compreendam facilmente os diferentes tipos de movimentos de massa e tomem medidas apropriadas em termos de prevenção, mitigação e gestão de riscos. Essa classificação desempenha um papel fundamental na identificação e avaliação de áreas propensas a movimentos de massa, bem como na implementação de estratégias eficazes de preparação e resposta.

De acordo com o CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTA DE DESASTRES NATURAIS, os movimentos de massa são classificados principalmente em:

**Quedas:** São movimentos em queda livre de fragmentos rochosos que se desprendem dos taludes íngremes, ao sofrer um movimento de rotação frontal para fora do talude o movimento passa a ser classificado como Tombamento, e é

chamado de Rolamento quando os blocos rochosos ao logo de encostas que geralmente ocorrem devido aos descalçamentos.

Deslizamentos/Escurregamentos: Ocorrem na superfície de ruptura, quando curvada no sentido superior semelhante a uma colher, com um movimento rotatório em materiais superficiais homogêneos é classificado como Deslizamento Rotacional. Quando ocorre em superfície relativamente plana e associada a solos mais rasos é classificado como Deslizamento Translacional.

Corridas de Massa: São extremamente rápidos e desencadeados por um intenso fluxo de água na superfície, em decorrência de chuvas fortes, que liquefaz o material superficial que acaba escoando, tem uma consistência viscosa pois é geralmente composto por lama e detritos rochosos, outra grande característica é o extenso raio de ação e alto poder destrutivo.

Subsidência e Colapsos: São caracterizados por afundamento rápido ou gradual do terreno devido ao colapso de cavidades redução da porosidade do solo ou deformação de material argiloso.

### 2.3.1 Uso e ocupação do solo como agravante aos movimentos de massa

Tavares (2019) cita que em decorrência do aumento populacional desregulado as margens da cidade acabam sendo ocupadas pela população mais excluída que o mesmo classifica como os que estão indiretamente impedidos de participarem de relações sociais em um espaço de alto valor financeiro, ocasionando nessa migração para as áreas margeadoras.

Segundo Arantes et al. (2022) as ocupações de terrenos íngremes como encostas de morros são comuns em centros urbanos pois é resultado da urbanização desordenada, essas construções acabam gerando uma sobrecarga maior na encosta, a ocupação irregular de terrenos inclinados emerge como um fator substancial que acelera os processos de movimentos de massa. Isso ocorre devido à modificação da inclinação natural do terreno, a retirada da vegetação de cobertura, o despejo inadequado de água

A ação antrópica tem papel condicionante na deflagração dos movimentos de massa, pois acabam alterando as características do solo, fragilizando-o, de acordo com Pacheco et al. (2020) existe um grande aumento de ocorrências de movimentos de massa em áreas que apresentam baixa ou nenhuma cobertura vegetal.

Nesse contexto, as atividades humanas têm um impacto significativo na

intensificação dos movimentos de massa, sendo a ocupação desordenada em encostas um fator especialmente preocupante.

## **2.4 Fragilidade Ambiental**

Nas últimas décadas, profundas mudanças tecnológicas, sociais e econômicas têm ocorrido. Se não forem devidamente planejadas, essas transformações podem desequilibrar o meio ambiente, potencialmente levando a impactos negativos, como a diminuição da biodiversidade (Ross e Spörl, 2004; Oliveira, 2017).

Ross (1994) já mencionava exemplos de avanços desordenados que resultavam em alterações irreversíveis no ambiente e processos degenerativos na natureza. Entre esses exemplos estavam a crescente industrialização descontrolada, a mecanização da agricultura com foco na monocultura, a ampla implantação de pastagens, bem como a exploração intensiva de recursos energéticos e matérias-primas.

A influência humana sobre a natureza, especialmente nas bacias hidrográficas, tem gerado preocupações devido ao crescimento desordenado e excessivo das cidades. Isso torna essencial a avaliação quantitativa e qualitativa dos impactos resultantes dessa influência (Santos et al., 2022).

De acordo com Miyazaki (2014), o conceito de fragilidade ambiental é de suma importância nos estudos geográfico-geomorfológicos pois se preocupa em identificar os processos e agentes que atuam em determinados ambientes, com o intuito de identificar qual a interação dos mesmos com o ambiente.

A partir dessa abordagem, o mapeamento das fragilidades e potencialidades ambientais se torna extremamente valioso para o planejamento econômico e ambiental do território pois permite uma avaliação integrada do meio. (Costa 2009)

A proposta de desenvolvimento da avaliação da fragilidade ambiental se baseia na teoria da funcionalidade intrínseca, fundamentada no conceito de Unidade Ecodinâmica introduzido por Tricart (1977). Essa abordagem classifica os ambientes morfodinâmicos com base na intensidade de interação dos processos naturais e antrópicos. Isso inclui as categorias de ambientes Estáveis, que apresentam cobertura vegetal e intervenção humana mínima ou nula; Meios Integrados, situados entre os Estáveis e os Instáveis, possuindo um balanço entre as interferências morfogênicas e pedogenéticas; e Meios Fortemente Instáveis, caracterizados por intensa morfogênese e degradação causada por atividades humanas.

Com base nesse contexto Ross (1994) e Spörl e Ross (2004) iniciaram o desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação da fragilidade potencial natural. Essa metodologia utiliza a combinação de dados de geomorfologia, solos, uso e ocupação do solo, e clima para realizar uma análise conjunta, permitindo a obtenção de um diagnóstico mais preciso sobre a fragilidade ambiental.

Ross (1994) introduziu duas classificações para as Unidades Ecodinâmicas: Estáveis e Instáveis. As Unidades Ecodinâmicas Estáveis, também chamadas de Potenciais, são aquelas que se encontram em equilíbrio natural, sem intervenção humana, permanecendo em seu estado natural. Por outro lado, as Unidades Ecodinâmicas Instáveis ou Emergentes são caracterizadas por uma intensa atividade humana. Para definir as unidades emergentes, é necessário incorporar a análise do uso e ocupação do solo à avaliação da fragilidade ambiental potencial.

### **3 ÁREA DE ESTUDO**

#### **3.1 Características gerais**

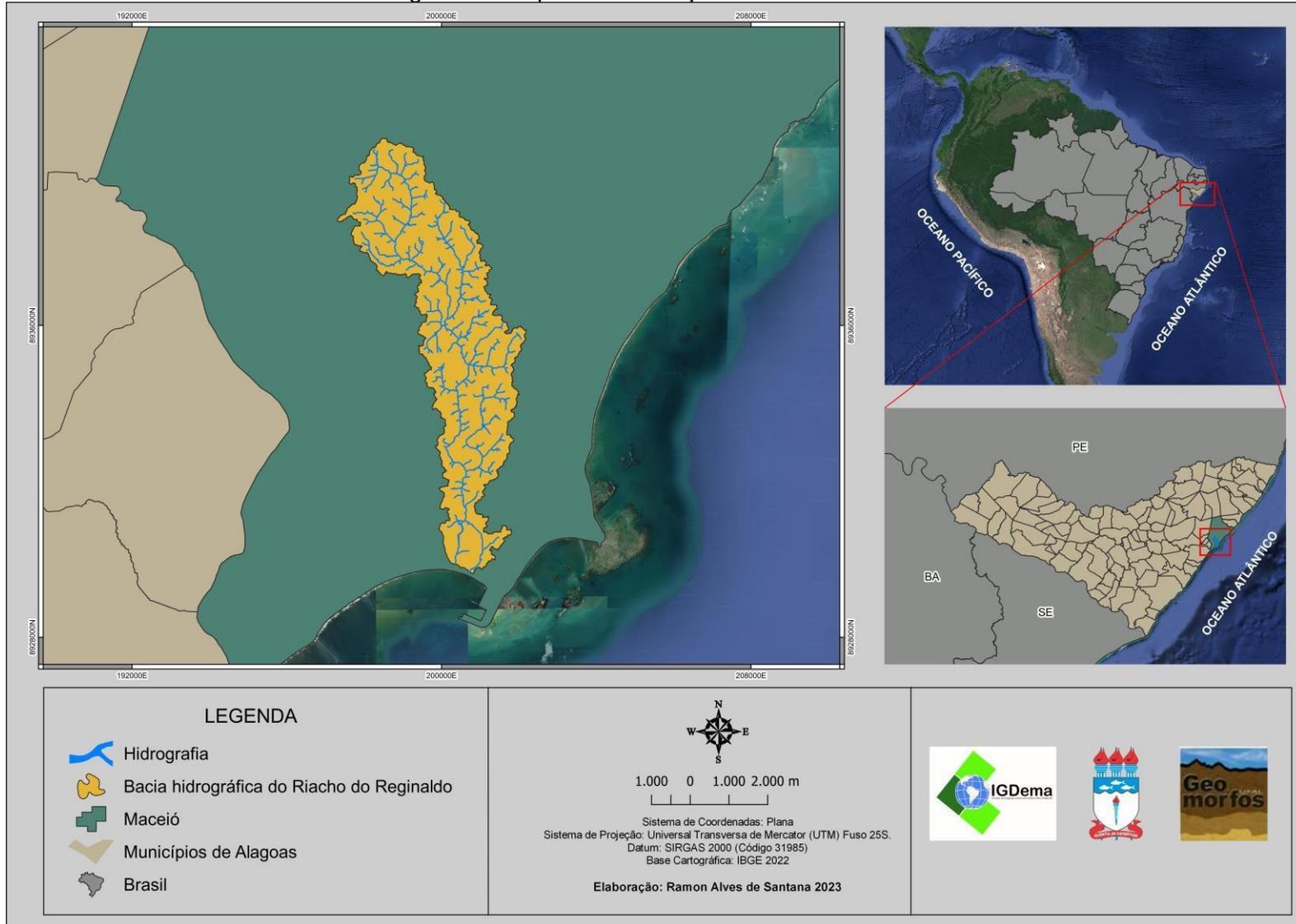
A bacia do riacho Reginaldo encontra-se completamente situada no interior do município de Maceió, como ilustrado na figura 4. Sua nascente emerge no bairro da Santa Lúcia, atravessando uma trajetória inteiramente urbana até desaguar na praia da avenida. Com uma extensão total de 26,5 km<sup>2</sup>, abrange uma porção de 18 bairros, dos 50 que compõem a região. Esses bairros incluem Santa Lúcia, Antares, Barro Duro, Canaã, Centro, Farol, Feitosa, Gruta de Lourdes, Jacintinho, Jaraguá, Jardim Petrópolis, Jatiúca, Mangabeira, Ouro Preto, Pinheiro, Pitanguinha, Poço e Serraria, conforme destacado por Holtz (2010).

Devido ao crescimento desordenado, a bacia do riacho Reginaldo passou a ser intensamente ocupada, predominando ocupações irregulares, especialmente no Vale conhecido como Vale do Reginaldo. Esse vale, que é majoritariamente habitado por populações de baixa renda, tem sido propício para desafios na área de engenharia devido aos métodos construtivos precários e outras questões correlatas.

No contexto atual, a bacia apresenta poucas áreas com vegetação, uma vez que a maior parte é ocupada por residências e empreendimentos, resultando em uma considerável impermeabilização da região.

Neves (2007) identificou problemas adicionais, como o descarte irregular de esgoto sanitário e resíduos sólidos, resultantes da inadequação na drenagem, que acarreta no assoreamento do riacho. Esse cenário é particularmente visível na área conhecida como Salgadinho, onde é comum avistar um grande volume de esgoto sendo despejado e diversos resíduos de grande porte. Em muitos casos, é necessário realizar a dragagem dessa seção do riacho como medida de intervenção.

Figura 4 – Mapa de localização da área de estudo



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

## 3.2 Características físicas

### 3.2.1 Clima

De acordo com Almeida (2019) e INMET (2022) a cidade de Maceió está situada em uma região de clima quente e úmido. Seguindo a classificação climática de Köppen, essa região é classificada como  $As'$ , com uma média anual de umidade relativa de 77,8%, apresentando seu pico no mês de julho com 82,8% e seu menor valor em dezembro que corresponde a 73,9%. Apresenta temperaturas anuais com média de 25,4°C com uma variação média anual de 3°C com precipitação anual de 1.867,4 mm.

O clima da região é caracterizado por duas estações bem definidas: uma estação chuvosa e uma estação seca. A estação chuvosa geralmente tem início em abril e se estende até julho com resquícios em agosto. Durante esse período, concentra-se cerca de 70,47% da precipitação total anual da região. Isso indica que os meses entre abril e julho são os mais chuvosos em Maceió, enquanto os meses restantes compõem a estação seca. (Almeida 2019; INMET, 2022)

Essas características climáticas são típicas de áreas tropicais, onde as estações de chuva e seca são bem distintas, influenciando diretamente as atividades econômicas, sociais e ambientais da região.

### 3.2.2 Geologia

No contexto geológico da Região Metropolitana de Maceió, a CPRM (Serviço Geológico do Brasil) (2019) observa a presença de coberturas quaternárias que estão associadas a sedimentos recentes. Esses sedimentos são representados pelo grupo Barreiras, que é caracterizado por elementos pouco consolidados. Esses elementos são predominantemente compostos por areia, silte e argila, exibindo cores variadas. Além disso, nesses sedimentos, é possível encontrar presença de ferro e conglomerados. Essas camadas são irregulares em sua disposição, e em algumas ocasiões, elas se apresentam como lentes ou aglomerados dispersos na área.

### 3.2.3 Solos

Em relação aos solos, é possível identificar os seguintes solos segundo a

## EMBRAPA (2005):

1. Latossolo Amarelo Distrocoeso Típico A moderado e proeminente textura argilosa e muito argilosa (LA1)
2. Associação de: Latossolo Amarelo coeso típico A moderado e proeminente textura argilosa + Argissolo amarelo e Vermelho-Amarelo Distróficos latossólicos e/ou típicos + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo Distróficos típicos e/ou plínticos com textura média e argilosa/argilosa (LA2)
3. Associação de: Latossolo Amarelo coeso típico A moderado e proeminente textura argilosa + Argissolo amarelo e Vermelho-amarelo Distróficos típicos e /ou plínticos + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo Distróficos típicos e/ou plínticos com textura média e argilosa/argilosa (LA3)
4. Associação de: Latossolo Amarelo e Vermelho-amarelo e Vermelho-amarelo textura média Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo Latossolico e/ou típicos textura arenosa e média/média e argilosa + Argissolo Amarelo e Vermelho-Amarelo plínticos textura arenosa e média/média e argilosa todos distróficos (LA4)
5. Associação de: Argissolo amarelo e Vermelho-Amarelo típicos e plínticos textura média e argilosa/argilosa + Latossolo Amarelo e Vermelho-Amarelo de textura argilosa + Argissolo Amarelo e Vermelho Plínticos e Típicos de textura média argilosa/argilosa. (PA1)
6. Neossolo Quartzarênico Órtico Típico A fraco e moderado + Neossolo Fúlvico Psamítico típico A moderado e antrópico (RQ1)
7. Neossolo Quartzarenico Hidromórfico típico A fraco (RQ2)
8. Gleissolo Háplico Tb e Ta Eutrófico (e Distrófico) típico textura argilosa, muito argilosa e/ou indiscriminada A moderado. (G1)

Tabela 1 – Descrição das nomenclaturas de classificação de solos.

<b>Nomenclaturas de classificação</b>	<b>Conceito</b>
<b>Típico</b>	Não apresentam nenhuma característica restritiva no quarto nível de classificação.
<b>Distrocoeso</b>	Solos de baixa fertilidade e adensados.
<b>Tb Eutrófico</b>	Solos com argila de baixa atividade e de alta fertilidade.
<b>Ta Eutrófico</b>	Solos com argila de alta atividade e de alta fertilidade.
<b>Tb Distróficos</b>	Solos com argila de baixa atividade e de baixa fertilidade.
<b>Ta Distróficos</b>	Solos com argila de alta atividade e de baixa fertilidade
<b>Distróficos</b>	Solos de baixa fertilidade.
<b>Plínticos</b>	A presença de plintita indica drenagem imperfeita e restrição da profundidade efetiva do solo.
<b>Órtico</b>	Não apresentam restrição ao uso e manejo.
<b>Psamítico</b>	Solos arenosos com dificuldade de retenção de umidade.
<b>Hidromórfico</b>	Com presença de água

Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

De acordo com a EMBRAPA (2021) os Latossolos Amarelos são solos advindos de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares da formação barreiras na região litorânea do Brasil ou na formação Alter-do-Chão na região amazônica. Apresentam uma boa condição física de retenção e umidade e boa permeabilidade.

EMBRAPA (2021) elabora que os Argissolos Amarelos são originados principalmente de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares da formação barreira na região litorânea do Brasil. O relevo de ocorrência tende a ser um pouco movimentado que favorece a mecanização do solo possui uma fertilidade baixa no geral, apresentam um risco de erosão causada pela diferença de textura superficial

e subsuperficial. Os Argissolos Vermelho-Amarelos são muito semelhantes aos Argissolos Amarelos, porém possuem uma quantidade maior de óxidos de ferro hematita e goethita.

Os Neossolos Quartzarenicos são solos minerais derivados de sedimentos arenoquartzosos do grupo Barreiras, normalmente são profundos a muito profundos, com textura areia ou areia fraca, são excessivamente drenados, possuem uma baixa fertilidade natural, baixa capacidade de retenção de água, pouco coeso. EMBRAPA (2021)

O Neossolo Flúvico é um tipo de solo mineral com um estágio inicial de desenvolvimento pedogenético. É principalmente composto por sedimentos transportados por rios, o que o limita a áreas específicas de paisagens que formam as planícies fluviais. São muito variáveis quanto à textura e outras propriedades físicas, mas são considerados de grande potencialidade agrícola. (EMBRAPA 2021) e Governo do Paraná (2019)

O Gleissolo segundo a EMBRAPA (2021) Governo do Paraná (2019) geralmente se encontra permanente ou periodicamente saturados por água apresentam cores acizentadas, azuladas ou esverdeadas devido à redução e solubilização do ferro, comumente são encontrados próximos a cursos d'água e também podem se formar áreas inclinadas sob afloramento de água subterrânea. Os Gleissolos Háplicos Estão associados normalmente com os Gleissolos Melânicos ou com as classes dos Organossolos situando-se nas partes relativamente mais baixas da planície aluvial.

#### 3.2.4 Geomorfologia

Segundo a EMBRAPA (2005) foi possível identificar quatro características geomorfológicas que compõem a bacia, sendo elas:

Tabela 2 – Tipologias geomorfológicas segundo suas características

<b>Característica geomorfológica</b>	<b>Definição</b>
Planícies e terraços fluviais	Representam antigas planícies de inundação que, devido ao entalhamento do canal em clima úmido, foram alçados cota acima das cheias sazonais assim tornando-se hidrologicamente inativos e passam a ser dissecados. DIAS et al. (2015)
Rebordo erosivo	Para a CPRM (2019) caracterizados como relevo de degradação, acidentados, constituídos por vertentes erosivas predominantemente retilíneas, declivosas e topos levemente arredondados, com sedimentação de colúvios, associados aos tabuleiros preservados e dissecados.
Tabuleiros	De acordo com a CPRM (2019) nos tabuleiros costeiros englobam-se em domínios denudacionais de rochas sedimentares pouco litificadas do Grupo Barreiras, representados por relevos de degradação. Esta unidade é caracterizada por uma morfologia suavemente dissecada de gradientes suaves, topos planos e alongados, com predomínio de solos espessos e bem drenados
Terraços Marinhos	São constituídos por sedimentos mais antigos que se caracterizam por ocuparem posições topográficas mais altas do que o nível da planície recente. Marques et al. (2016)

## 4 METODOS

### 4.1 Levantamento e processamento dos dados e atribuição dos pesos

Os dados utilizados para a análise foram coletados a partir de diversas fontes. Como é evidenciado na tabela a seguir:

Tabela 3 - Dados Utilizados

<b>Informação</b>	<b>Fonte</b>	<b>Escala dos dados</b>
Geomorfológico	EMBRAPA (2005)	1:25000
Pluviosidade	INMET 2022	
Uso e ocupação	Google Earth 2022	Altitude do ponto de visão 3km
Solos	EMBRAPA (2005)	1:25000
Geologia	CPRM (2015)	1:1000000
Declividade	Satélite Alos Palsar de 2011	12,5 M de resolução espacial

Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

A metodologia utilizada para a atribuição de pesos e escolha das variáveis, partiu do princípio de Ross (1994), porém foram feitas adaptações onde outros autores foram incluídos com o intuito de trazer estudos mais atuais e para mais próximo da área de estudo.

#### 4.1.1. Geomorfológico

Tabela 4 - Pesos atribuídos as classes Geomorfológicas

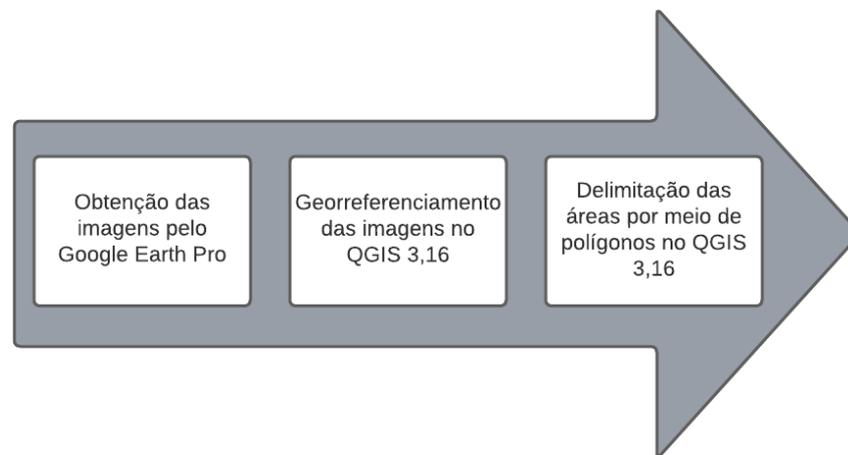
<b>Classe Geomorfológica</b>	<b>Peso atribuído</b>	<b>Justificativa</b>
Tabuleiros	1	Baixas declividades e o predomínio de solos espessos e drenados.
Planícies e terraços marinhos	3	Áreas mais baixas favorecendo a permanência de água e solos mais arenosos.
Planícies e terraços fluviais	3	Áreas mais baixas favorecendo a deposição de sedimentos e permanência de água.
Rebordo erosivo	5	Altas declividades, caracterizados por vertentes erosivas.

Fonte: Oliveira (2017) adaptado pelo autor (2023)

#### 4.1.2 Mapa de uso e ocupação do solo

O mapa de uso e ocupação do solo foi criado utilizando imagens do software Google Earth Pro datadas de 2022. Essas imagens foram posteriormente processadas no software QGIS na versão 3.16 para realizar o tratamento necessário, a categorização foi feita por meio de vetorização de polígonos manualmente no formato *shapefile*, esquematizado na figura 8.

Figura 5 - Fluxograma da criação do mapa de uso e ocupação



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Tabela 5 Pesos atribuídos ao Uso do Solo

<b>Classe de uso</b>	<b>Peso</b>	<b>Justificativa</b>
Vegetação primária	1	Vegetação mais adensada proporcionando melhores condições
Vegetação Secundária	3	Cobertura menos densa e certa presença de antropização
Corpos D`água	5	Assoreamento e contaminação
Solo Exposto	5	Falta de cobertura e mais propicio a erosão
Urbana	5	Ambiente totalmente antropizado

Fonte: Fanalli (2023) Ross (2004) adaptado pelo autor

## 1.1.3 Solos

Tabela 6 - Peso atribuídos ao Solo

<b>Classe de Solo</b>	<b>Peso Atribuído</b>	<b>Justificativa</b>
LA1	1	Solos mais profundos e bem desenvolvidos
LA2	3	Presença de camadas superficiais e subsuperficiais no Argissolo, que favorecem a infiltração e percolação da água
LA3	3	Presença de camadas superficiais e subsuperficiais no Argissolo, que favorecem a infiltração e percolação da água.
LA4	3	Presença de camadas superficiais e subsuperficiais no Argissolo, que favorecem a infiltração e percolação da água.
PA1	3	Presença de camadas superficiais e subsuperficiais no Argissolo, que favorecem a infiltração e percolação da água.
RQ1	4	Solo novo e predominantemente arenoso
RQ2	4	Solo novo e predominantemente arenoso
G1	5	Saturação de água.

Fonte: Ross (1994), Oliveira (2017) adaptado pelo (autor 2023)

### 1.1.4 Geologia

Tabela 7 - Pesos atribuídos a Geologia

<b>Tipo geológico</b>	<b>Peso</b>	<b>Justificativa</b>
-	1	
Formação barreiras	2	Composição mais argilosa
-	3	
Depósitos Litorâneos	4	Composição mais arenosa.
-	5	

Fonte: Oliveira (2017) adaptado pelo autor (2023)

### 4.1.5 Declividade

O Mapa de declividade foi obtido através da imagem do satélite ALOS PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar*) foi escolhido por obter uma resolução espacial de 12,5 x 12,5 possibilitando um maior detalhe da superfície da bacia permitindo resultados mais precisos. A imagem é datada do dia 01/08/2011 visto que esse foi o último ano de atividade do satélite, a partir disso a imagem foi tratada no *software* QGIS versão 3.16 eliminando valores negativos por meio da fórmula: *IFELSE (A < 0,0,A)*

Posteriormente foi utilizado a ferramenta “Declividade” gerando o mapa de declividade em porcentagem.

Tabela 8 – Peso atribuídos a Declividade

<b>Declividade</b>	<b>Peso</b>	<b>Justificativa</b>
0 – 6%	1	Devido a influência da
6 a 12%	2	gravidade e com bases
12 a 20%	3	em estudos que apontam
20 a 30%	4	que a partir de 30% existe
Acima de 30	5	uma maior possibilidade.

Fonte: Ross e Sporn (2004) adaptado pelo autor (2023)

#### 4.1.6 Pluviosidade

Tabela 9 – Peso atribuído a Pluviosidade

Classe da pluviosidade	Peso
Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos de 3 a 6 meses e chuvoso (abril, maio, junho e julho) quando ocorre 70 a 80% do total de precipitação do ano com volumes de 1.600 a 1.800 mm/ano	3

Fonte: Ross 2004 Paiva (2020) adaptado pelo autor 2023

#### 4.2 Elaboração do mapa de fragilidade final

Após obtenção de todos os arquivos em formato *Shapefile* foram todos transformados no ambiente do *Software* QGIS Versão 3.16 para formato *Raster*.

A partir disso usou-se a ferramenta “Calculadora Raster” com a fórmula

$$(VP + VG + VS + VGE + VD) \div 5 = FP$$

Posteriormente utilizou-se novamente da ferramenta “Calculadora Raster” para:

$$(FP + VU) \div 2 = FE$$

Onde:

VP = Variável de Pluviosidade

VG = Variável de Geologia

VS = Variável de Solos

VGE = Variável de Geomorfologia

VD = Variável de Declividade

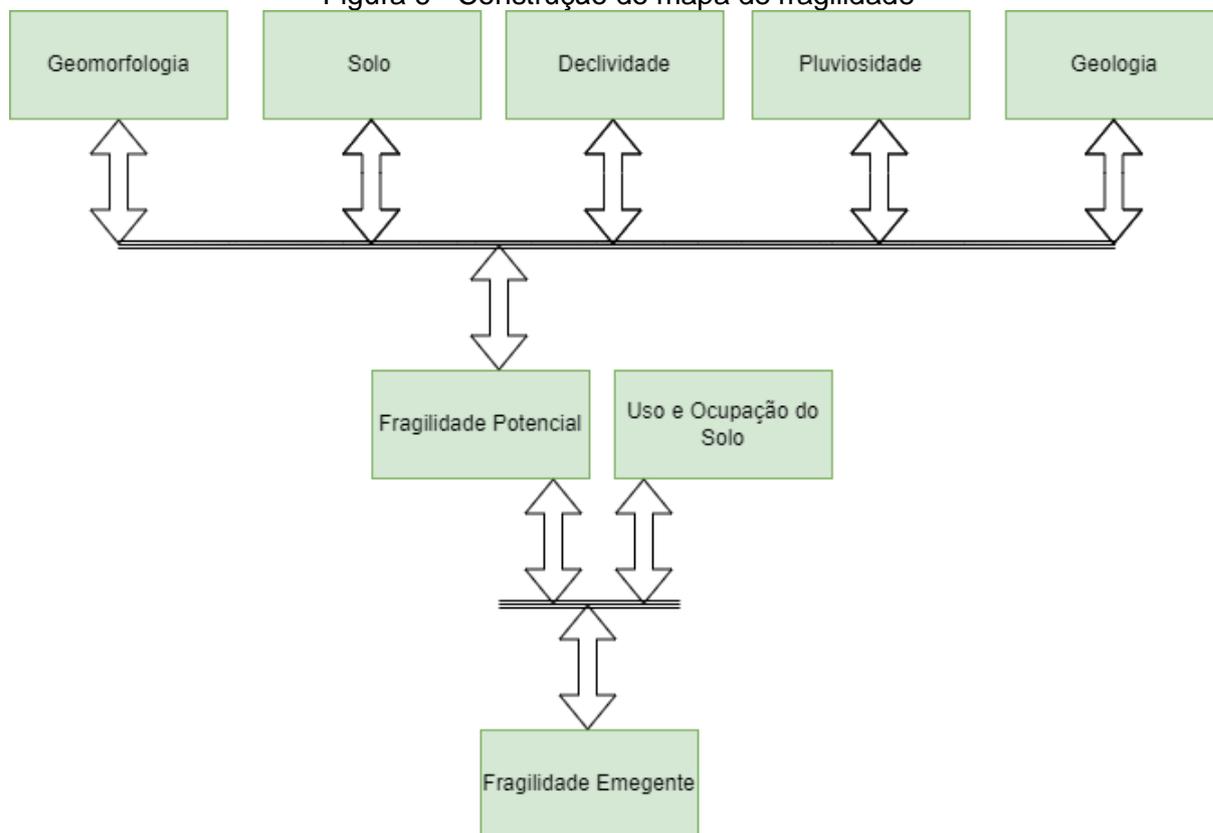
VU = Variável de Uso e Ocupação do Solo

FP = Fragilidade Ambiental Potencial

FE = Fragilidade Ambiental Emergente

Utilizou-se a média aritmética simples seguindo a metodologia de Ross com o intuito de servir de base para estudos futuros com média ponderada visto que a possibilidade de ocorrer incongruências é menor.

Figura 6 - Construção do mapa de fragilidade



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

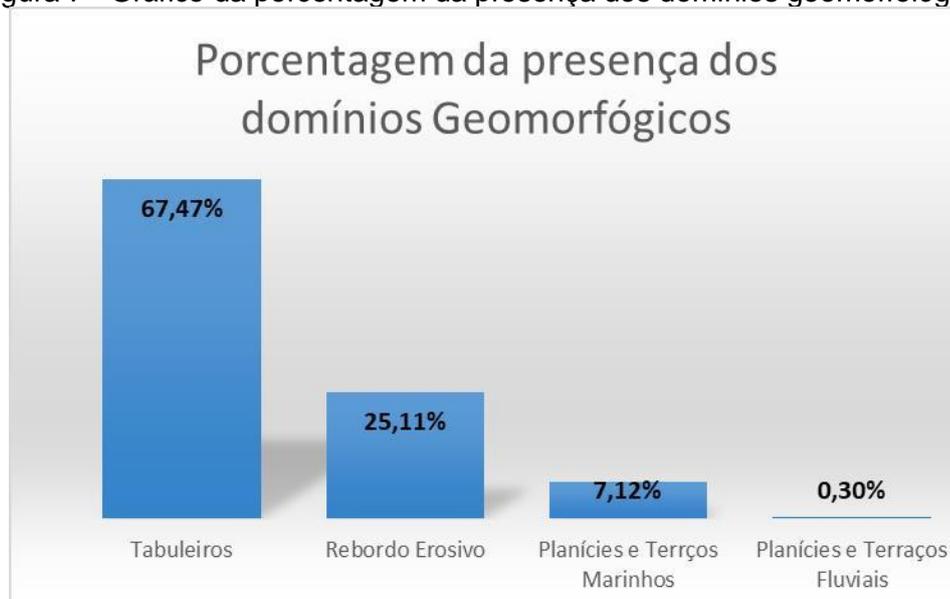
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Geomorfologia

De acordo com o mapa geomorfológico da bacia (Figura 11), é possível observar que ela apresenta poucas variações, com um predomínio de 67,47% (Figura 10) do domínio Tabuleiros, que exibe um grau de fragilidade de valor 1, correspondente a "muito baixo", como evidenciado no mapa de fragilidade (Figura 12). A segunda classe mais predominante, com 25,11%, é a dos Rebordos Erosivos, caracterizada por uma alta fragilidade ambiental de valor 5. Isso se deve à sua maior declividade e relevo degradado e acidentado, o que favorece a ocorrência de movimentos de massa.

As classes Planícies Fluviais e Terraços Marinheiros, somadas e totalizando aproximadamente 7,4%, representam um grau médio de fragilidade com valor 3. Essas classes possuem uma menor presença na bacia e sua composição favorece a ocorrência de acúmulo de água, aumentando a probabilidade de alagamentos. Isso pode ser agravado pelo escoamento das águas pluviais, uma vez que estão localizadas em terrenos com declividade mais suave.

Figura 7 - Gráfico da porcentagem da presença dos domínios geomorfológicos



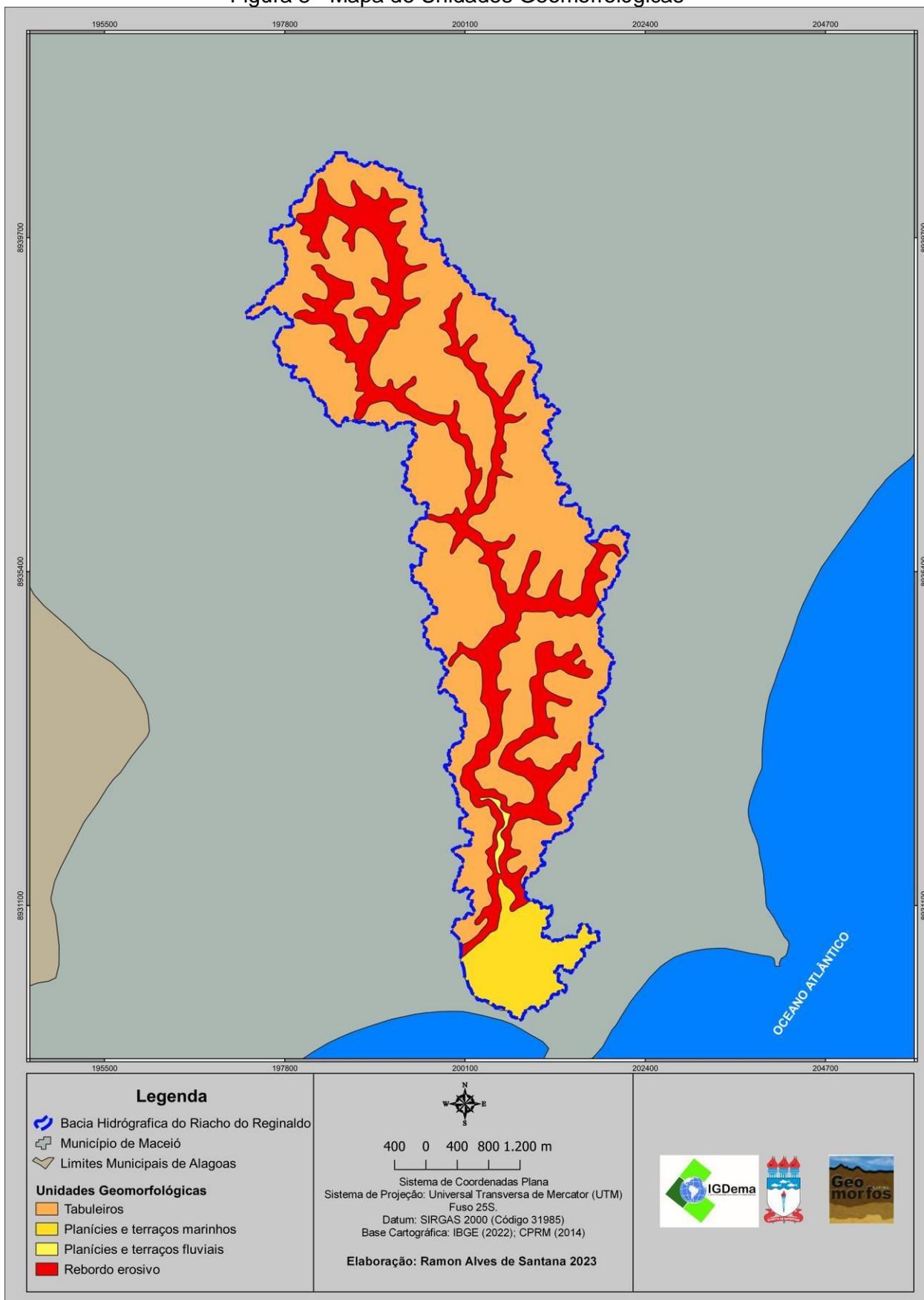
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Tabela 10 – Área correspondente aos domínios geomorfológicos.

Domínio Geomorfológico	Área km <sup>2</sup>
Tabuleiros	17,88
Rebordo erosivo	6,65
Planícies e terraços marinhos	1,89
Planícies e terraços fluviais	0,08

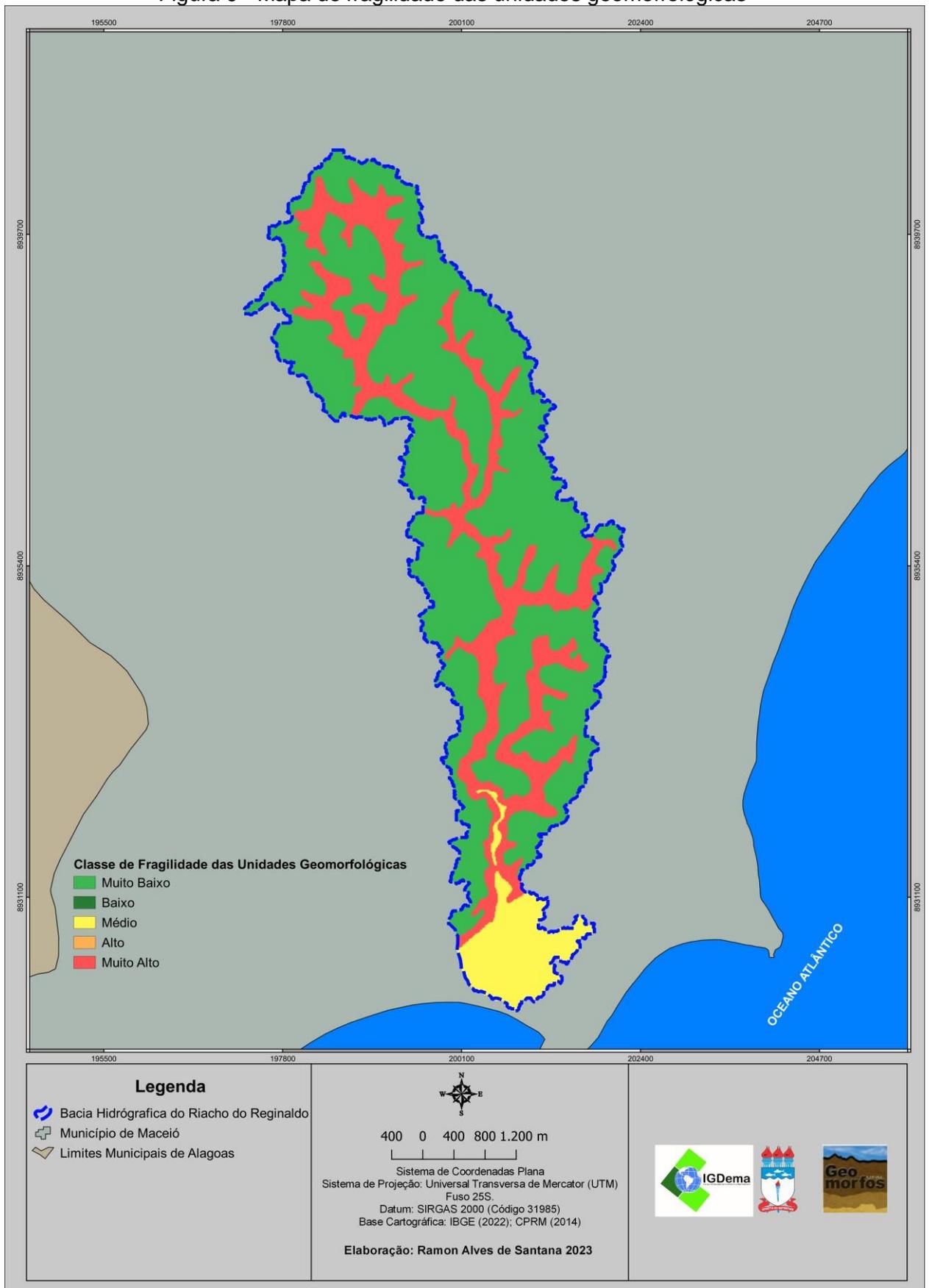
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 8 - Mapa de Unidades Geomorfológicas



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 9 - Mapa de fragilidade das unidades geomorfológicas



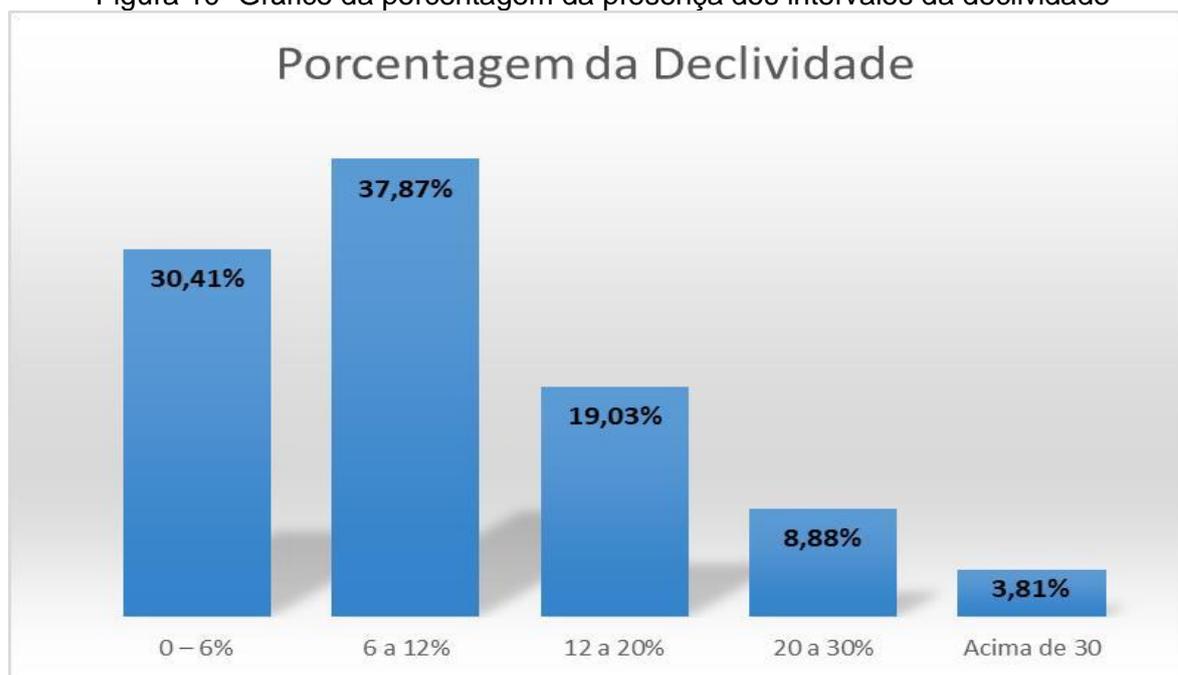
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

## 5.2 Declividade

A Declividade apresenta uma predominância entre os intervalos de 0 a 6% e 6 a 12% onde os mesmos combinados somam mais de 67% de toda a bacia, e ambos apresentam grau baixo de fragilidade, sendo eles 1 e 2 respectivamente, prevalecendo um terreno com áreas com baixas declividades.

A fragilidade média é encontrada no intervalo de 12 a 20% que corresponde a cerca de 19% do total da bacia seguido por 8,88% equivalente ao intervalo de 20 a 30% e valor 4 na escala de fragilidade e 3,81 para os valores maiores que 30% que foi adotado o valor 5, sendo esses últimos os mais preocupantes pois terrenos com essas declividades favorecem ocorrências de movimentos de massa e outros processos erosivos.

Figura 10 -Gráfico da porcentagem da presença dos intervalos da declividade



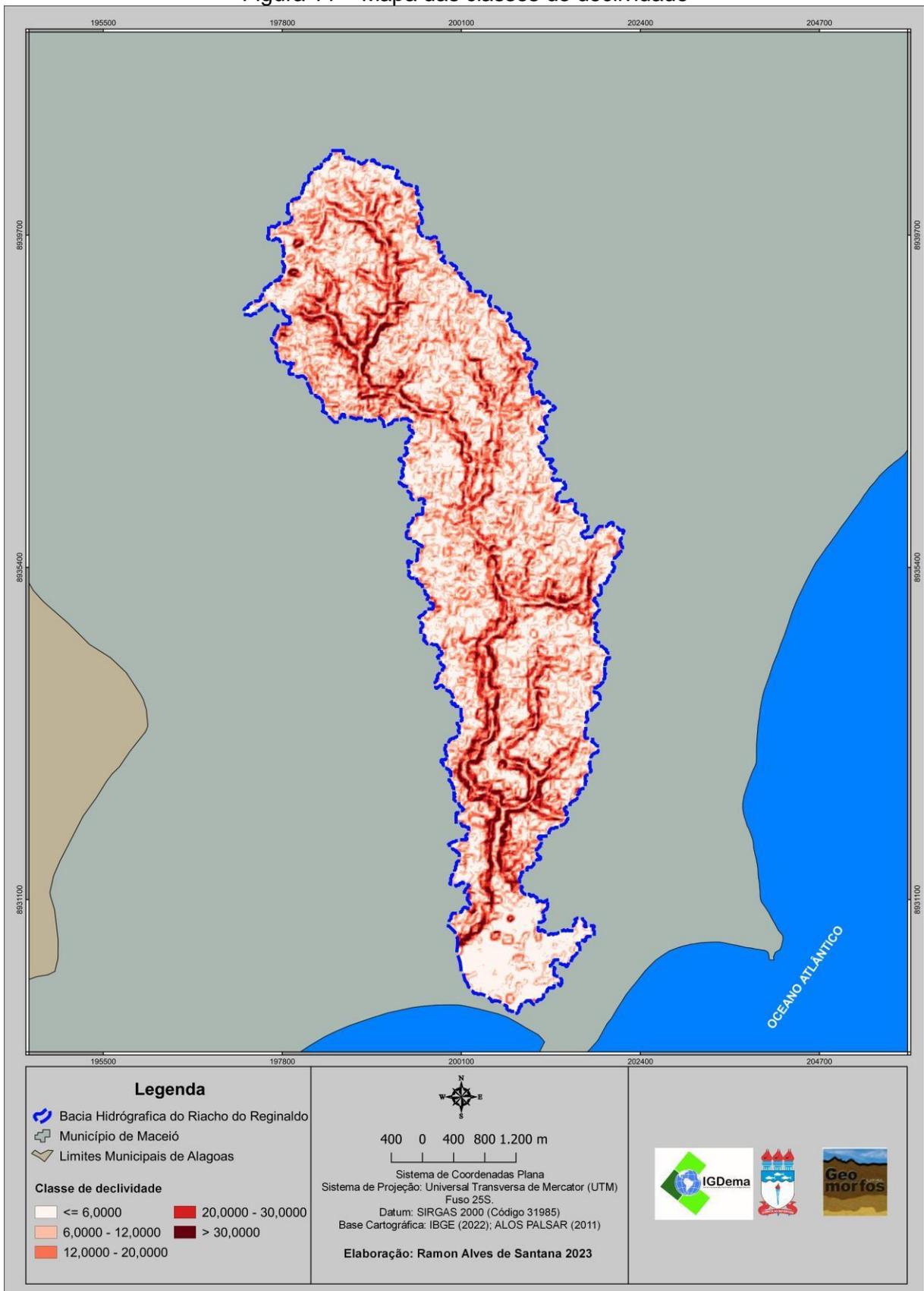
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Tabela 11 – Área correspondente a declividade

Classe de declividade	Área km <sup>2</sup>
0 – 6%	8,06
6 – 12%	10,04
12 – 20%	5,04
20 – 30%	2,35
Acima de 30	1,01

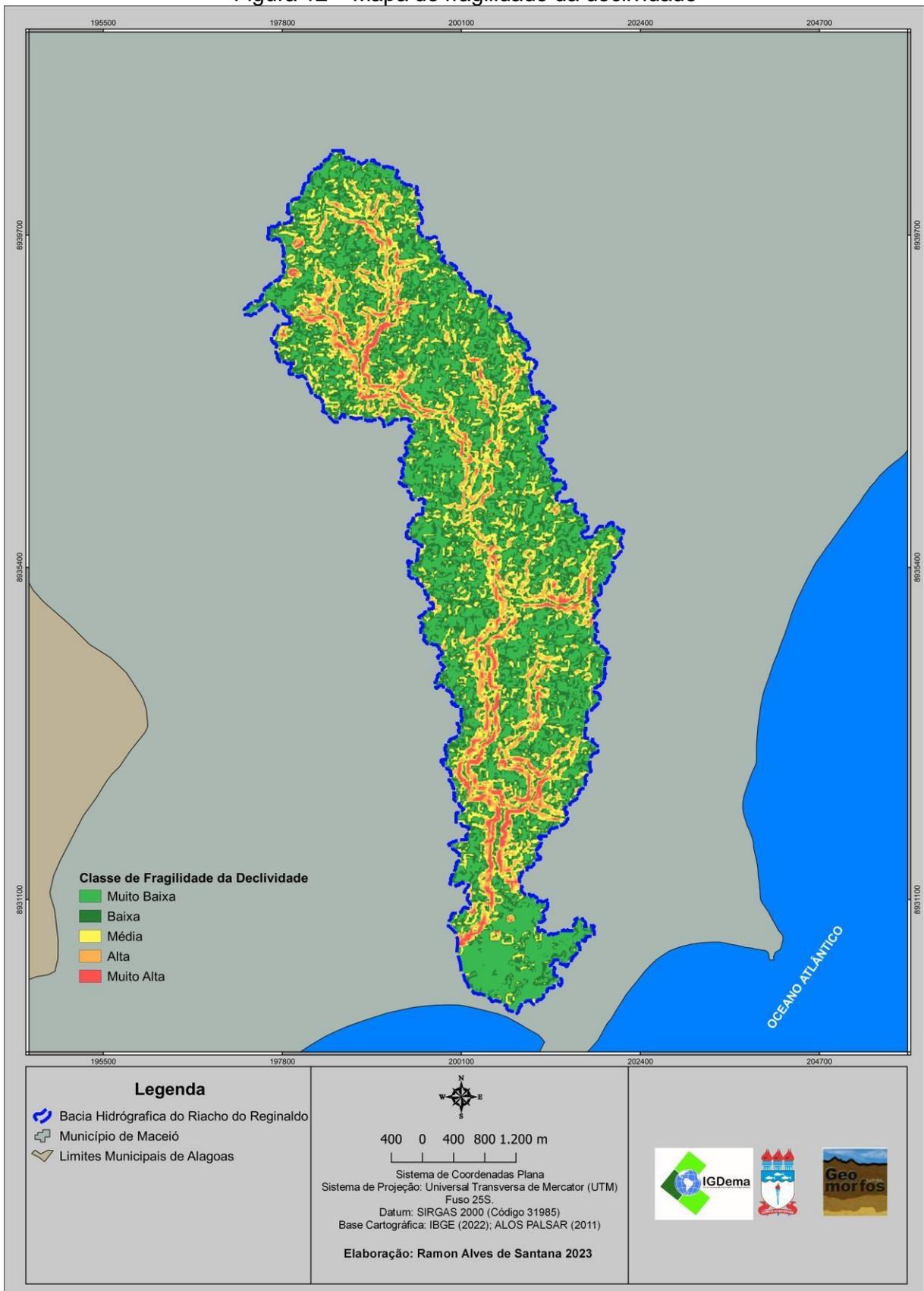
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 11 – Mapa das classes de declividade



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 12 – Mapa de fragilidade da declividade



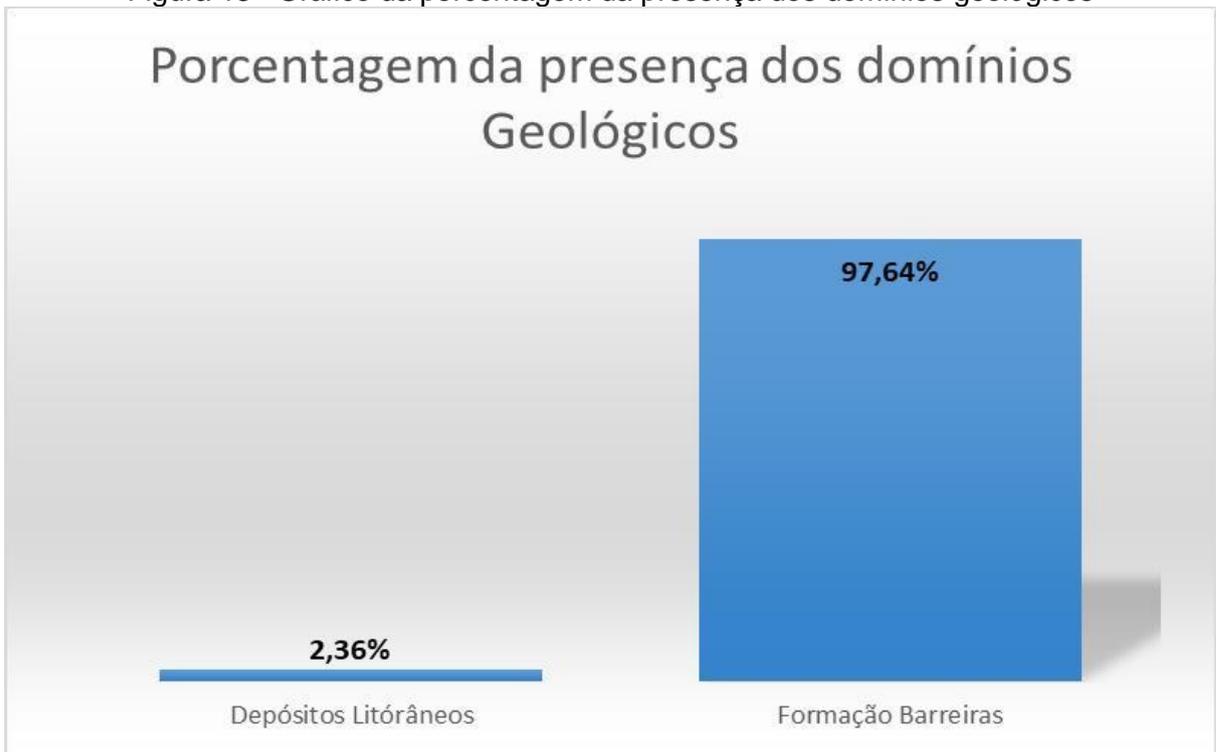
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

### 5.3 Geologia

A geologia desempenha um papel profundamente significativo quando se trata da fragilidade ambiental, pois praticamente todas as outras variáveis estão interconectadas, seja de maneira direta ou indireta. Por exemplo, a formação dos solos está intrinsecamente ligada às composições mineralógicas das rochas, o que, por sua vez, exerce influência sobre as propriedades químicas e físicas do solo.

No contexto da área de estudo em questão, prevalece a formação Barreiras, abrangendo uma extensão de 97,64% da bacia correspondendo ao grau baixo de fragilidade. Essa predominância é seguida pelos Depósitos litorâneos, que compreendem 2,36% da área total que foi adotado o valor alto devido sua composição.

Figura 13– Gráfico da porcentagem da presença dos domínios geológicos



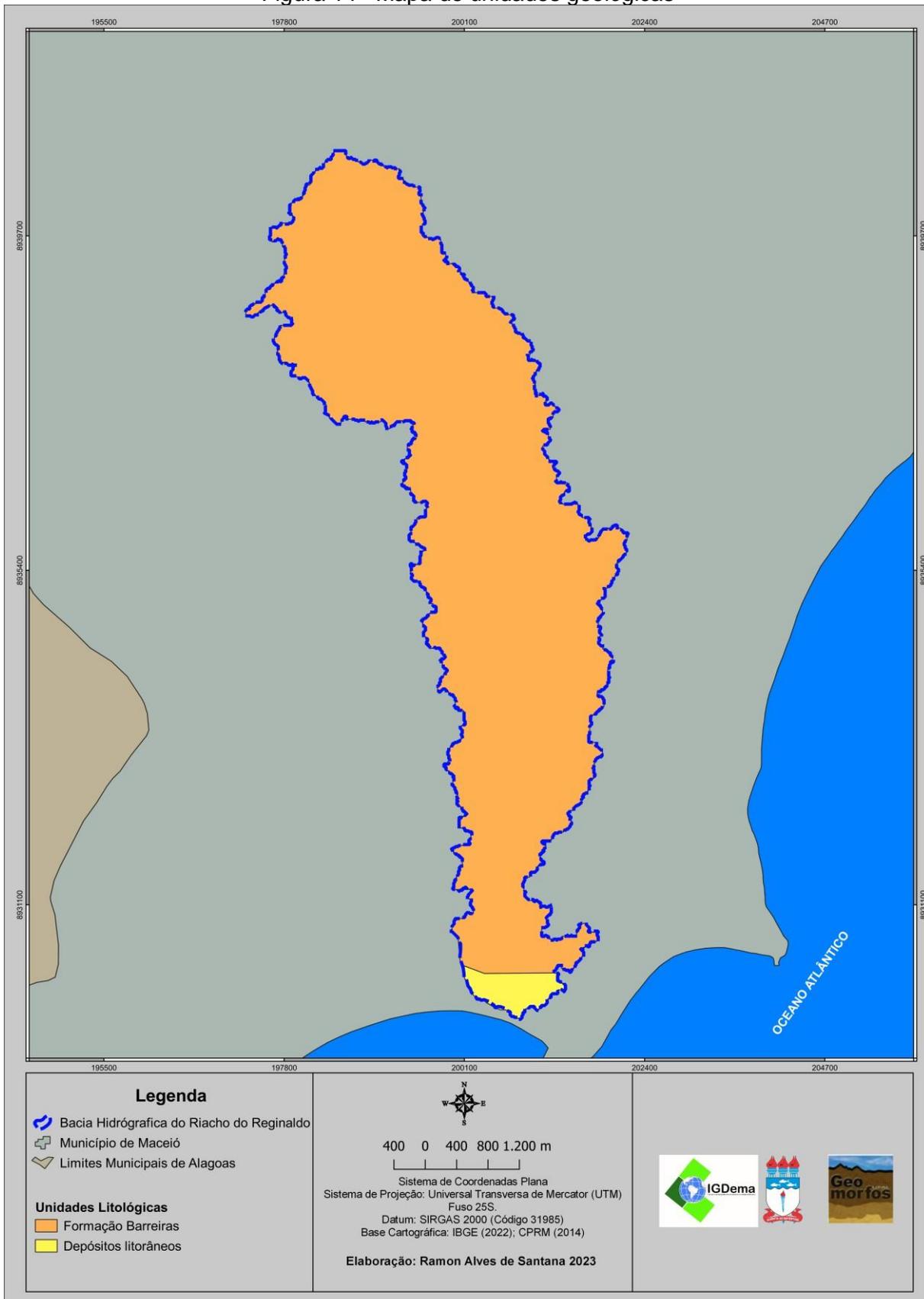
Fonte: Ramon Alves de Santana 2023

Tabela 12 – Área correspondente aos domínios geológicos

Domínio Geológico	Área km <sup>2</sup>
Depósitos litorâneos	0,63
Formação barreiras	25,87

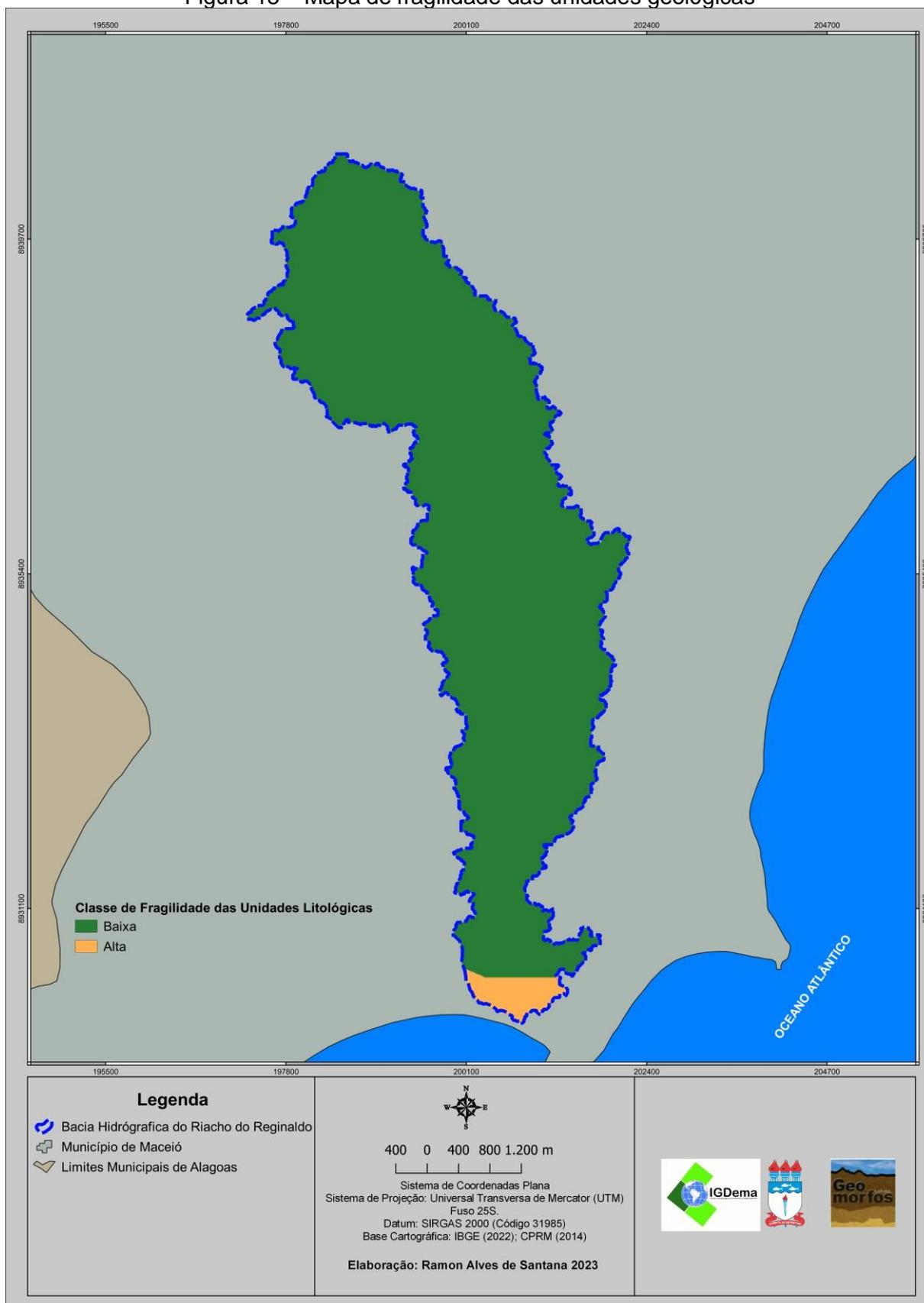
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023.

Figura 14 - Mapa de unidades geológicas



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 15 – Mapa de fragilidade das unidades geológicas



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

#### 5.4 Solos

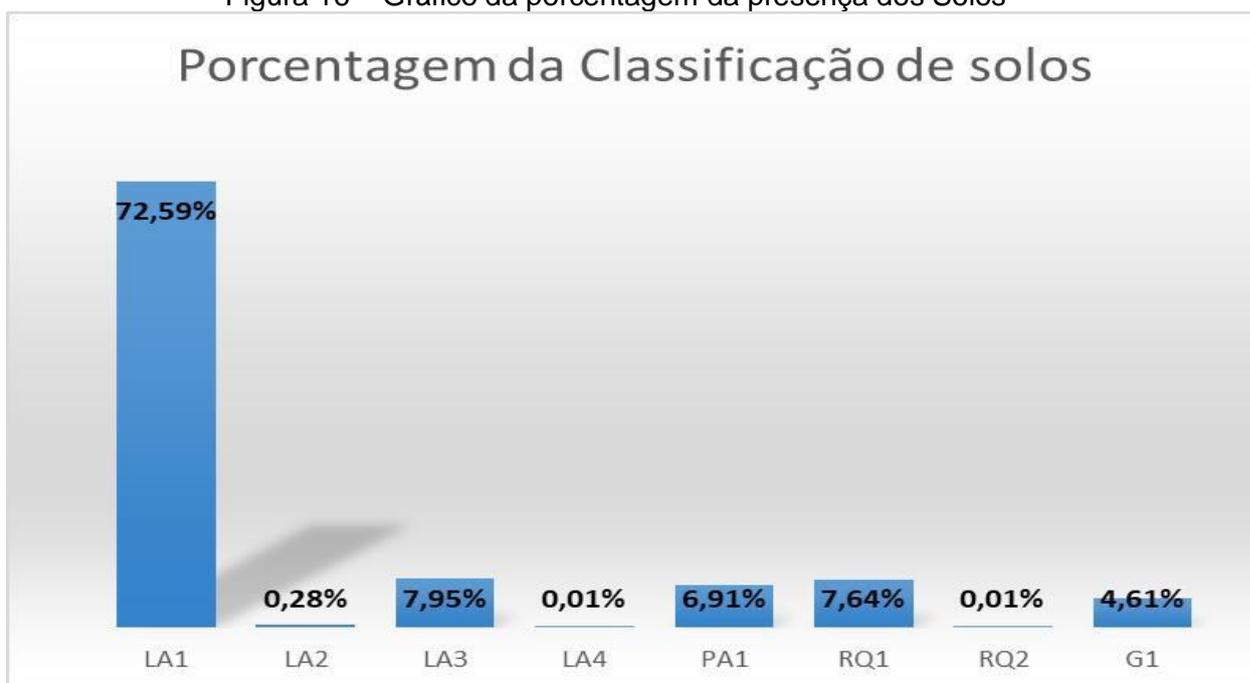
Na bacia em questão, os solos predominantes são os Latossolos, totalizando aproximadamente 81% da área total. Esses Latossolos se dividem em quatro tipos diferentes, sendo os Latossolos Amarelos os mais comuns, abrangendo cerca de 72,59% da bacia. Estes apresentam características de solos bem desenvolvidos, com texturas majoritariamente argilosas e maior compactidade, o que dificulta a ocorrência de movimentos de massa. Por essa razão, esses solos são classificados com um grau de fragilidade ambiental muito baixo (valor 1).

Os Latossolos também se associam aos Argissolos (La2, La3 e La4), e o Argissolo propriamente dito (PA1), representando cerca de 3% da bacia. Esses solos possuem um grau de fragilidade média (valor 3), devido à maior suscetibilidade à erosão, especialmente devido à presença de camadas superficiais e subsuperficiais no Argissolo, que favorecem a infiltração e percolação da água.

Os solos RQ1 e RQ2 abrangem 7,65% da área total e são predominantemente arenosos, o que contribui para um grau de fragilidade mais elevado (valor 4), devido à baixa retenção de água e pouca coesão desses solos.

O Gleissolo (G1) compreende cerca de 4,61% da área e é caracterizado por estar periodicamente saturado de água. Isso diminui sua resistência, tornando-o propenso a movimentos de massa, especialmente quando encontrado em áreas inclinadas. Devido a essas características, esse solo é classificado com um grau de fragilidade muito alto (valor 5).

Figura 16 – Gráfico da porcentagem da presença dos Solos



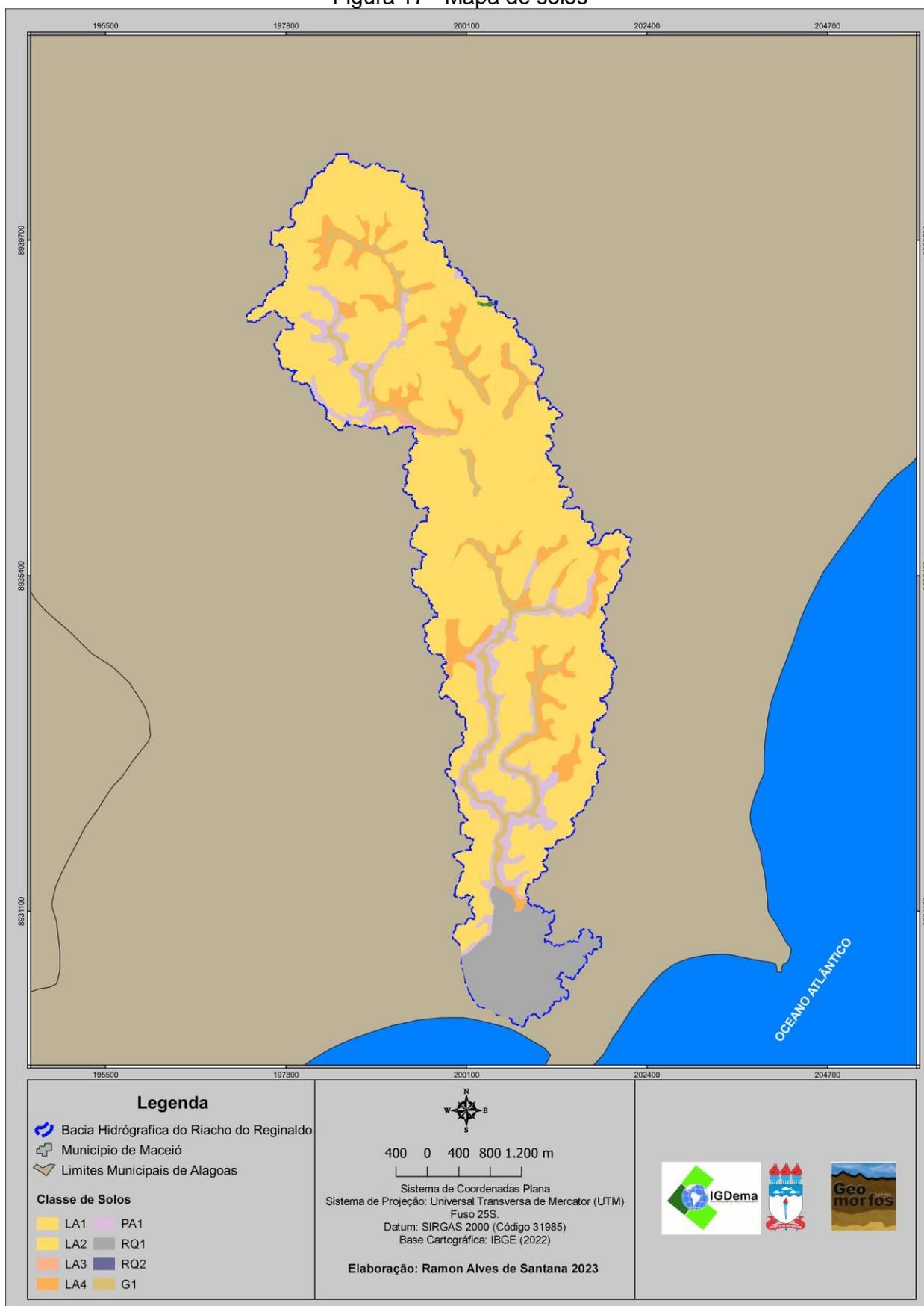
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Tabela 13 – Área da porcentagem da presença dos domínios

Tipo de Solo	Área km <sup>2</sup>
LA1	19,24
LA2	0,07
LA3	2,11
LA4	0,00265
PA1	1,83
RQ1	2,02
RQ2	0,00265
G1	1,22

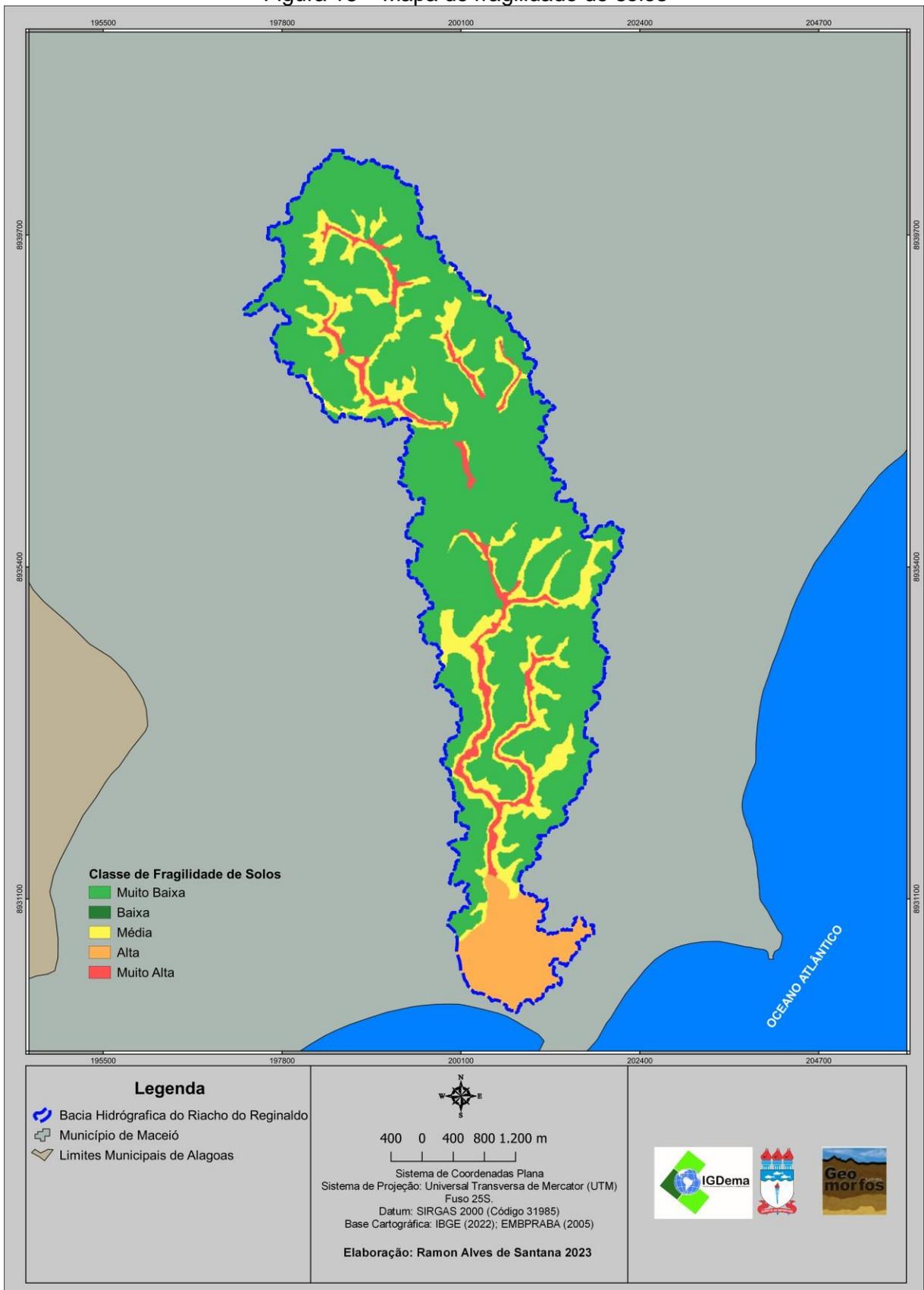
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 17 - Mapa de solos



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 18 – Mapa de fragilidade de solos



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

## 5.7 Pluviometria

Os dados de pluviometria foram utilizados para atribuir pesos às diferentes classes de pluviosidade, conforme apresentado na tabela abaixo. O peso atribuído foi 3, indicando fragilidade média para a bacia. Com base nesses dados, foi criado um arquivo em formato raster no ambiente SIG para realizar a álgebra de mapas e compor os mapas finais de Fragilidade Ambiental Emergente e Potencial.

A pluviosidade desempenha um papel crucial ao desencadear processos erosivos, movimentos de massa e também influencia alagamentos e inundações. Portanto, é um fator de extrema importância para a análise de fragilidade ambiental.

Tabela 14 - Peso da pluviosidade

Classe da pluviosidade	Peso
Situação pluviométrica com distribuição anual desigual, com períodos secos de 3 a 6 meses e chuvoso (abril, maio, junho e julho) quando ocorre 70 a 80% do total de precipitação do ano com volumes de 1.600 a 1.800 mm/ano	3

Fonte: O autor (2023)

## 5.7 Fragilidade potencial

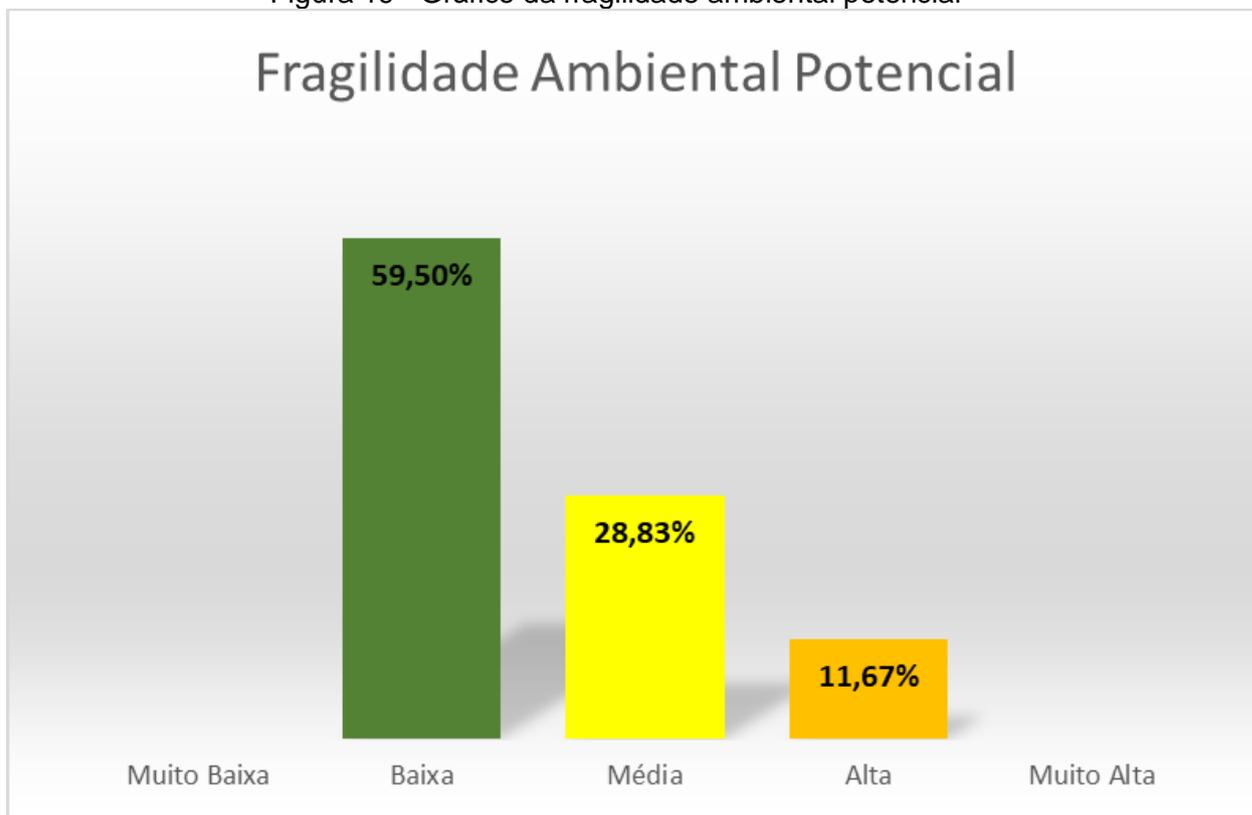
A fragilidade potencial representa a fragilidade do ambiente sem considerar a influência humana. Para seu cálculo, foram utilizadas variáveis como Geologia, Geomorfologia, Declividade, Pluviosidade e Solos. A maior parte da bacia (59,50%) apresenta baixa fragilidade. Isso se deve à presença predominante de Latossolos, que são solos profundos, ao domínio geomorfológico de Tabuleiros e à pouca variação de declividade.

A média fragilidade corresponde a cerca de 28,23% da área. Essa porção abrange áreas intermediárias entre relevos planos e ondulados, com declividades moderadas. Esses valores indicam que a bacia, em sua maioria, naturalmente apresenta baixos níveis de fragilidade. Isso sugere que um planejamento urbano adequado e medidas preventivas podem ser suficientes para manter esses níveis baixos.

A fragilidade alta abrange apenas 11,67% da bacia. Está associada a

declividades mais íngremes, favorecendo processos erosivos e principalmente presentes nos cursos d'água. Essa região indica riscos de inundação, alagamentos e movimentos de massa. Qualquer intervenção humana sem planejamento aumentaria esses níveis de fragilidade para níveis muito altos.

Figura 19 - Gráfico da fragilidade ambiental potencial



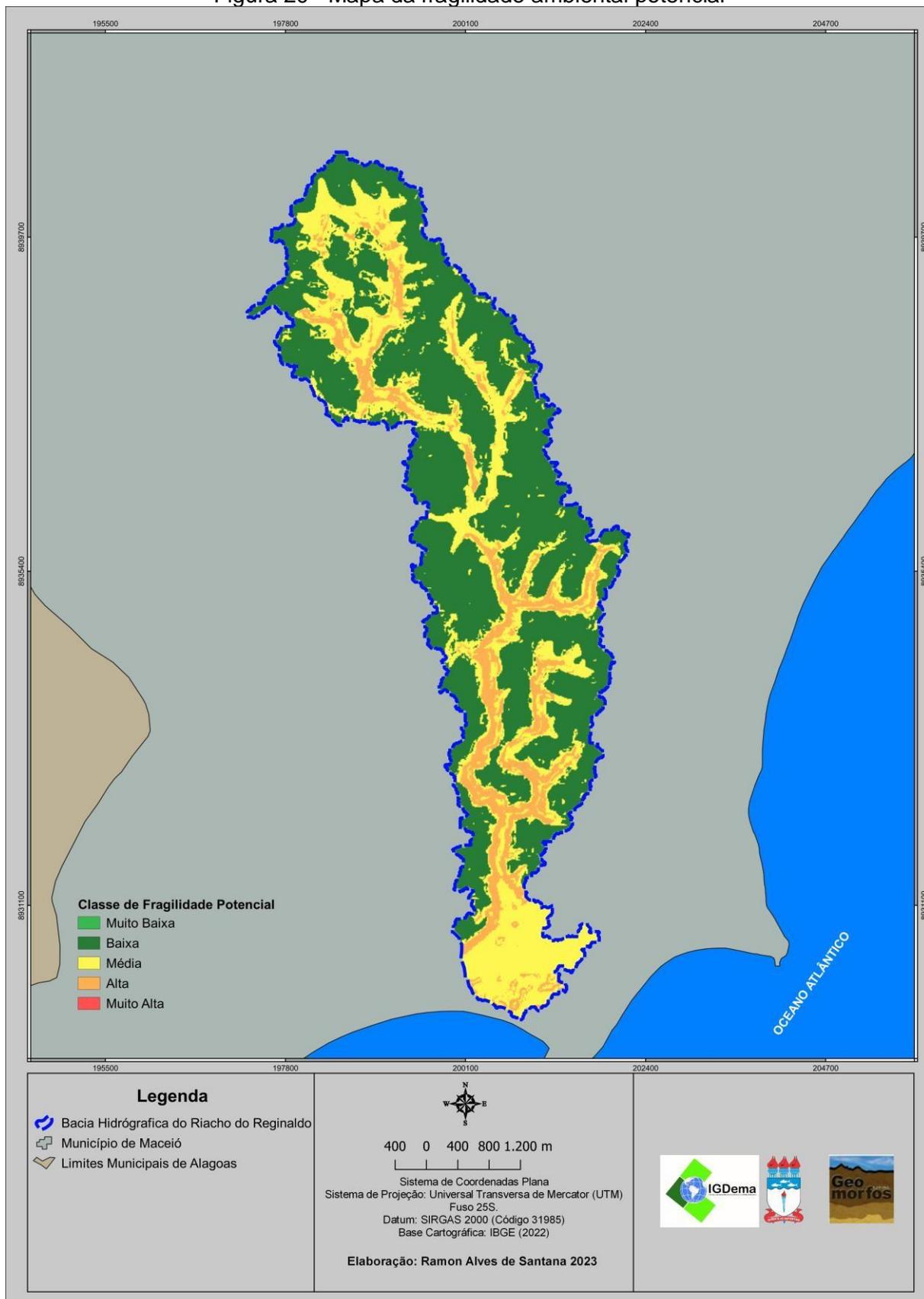
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Tabela 15 – Área correspondente a fragilidade ambiental potencial.

Fragilidade ambiental potencial	Área km <sup>2</sup>
Baixa	15,77
Média	7,64
Alta	3,09

Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 20 - Mapa da fragilidade ambiental potencial



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

## 5.8 uso e ocupação

Para o Mapa de Uso e Ocupação do Solo foi verificado que apenas 23,14% de Vegetação primária que corresponde ao grau 1 de fragilidade ambiental devido a ser uma área que preserva as suas características naturais e com uma vegetação mais densa, que auxilia nos na mitigação dos processos erosivos primeiramente ligado as chuvas pois a cobertura faz com que não haja esse contato direto das gotículas de água advindas da precipitação.

A Vegetação Secundária é uma vegetação menor, se localiza em meio as áreas urbanizadas, sendo áreas verdes, jardins, praças etc. por isso recebe-se uma classificação de valor 3 correspondentes ao grau de fragilidade médio correspondendo a 5,11% do total.

A classificação Urbano é a maior porcentagem com 70,2% recebe um valor cinco 5 a toda degradação antrópica que é feita, coma impermeabilização dos solos, nas construções em áreas com grande declividade fazendo cortes indevidos, seja na retirada da vegetação primária com intuito de expansão urbana ou até mesmo plantação de espécies degradantes ou que promovem processos de riscos.

Solo exposto segue logo abaixo com 1,21% e também recebe um valor cinco devido à falta de cobertura que denota uma aceleração ao processo de erosão. Os corpos D'água também são classificados com 5 no grau de fragilidade devido ao processo de acumulação de resíduos, contaminação, assoreamento

Figura 21 – Gráfico do uso e ocupação do solo



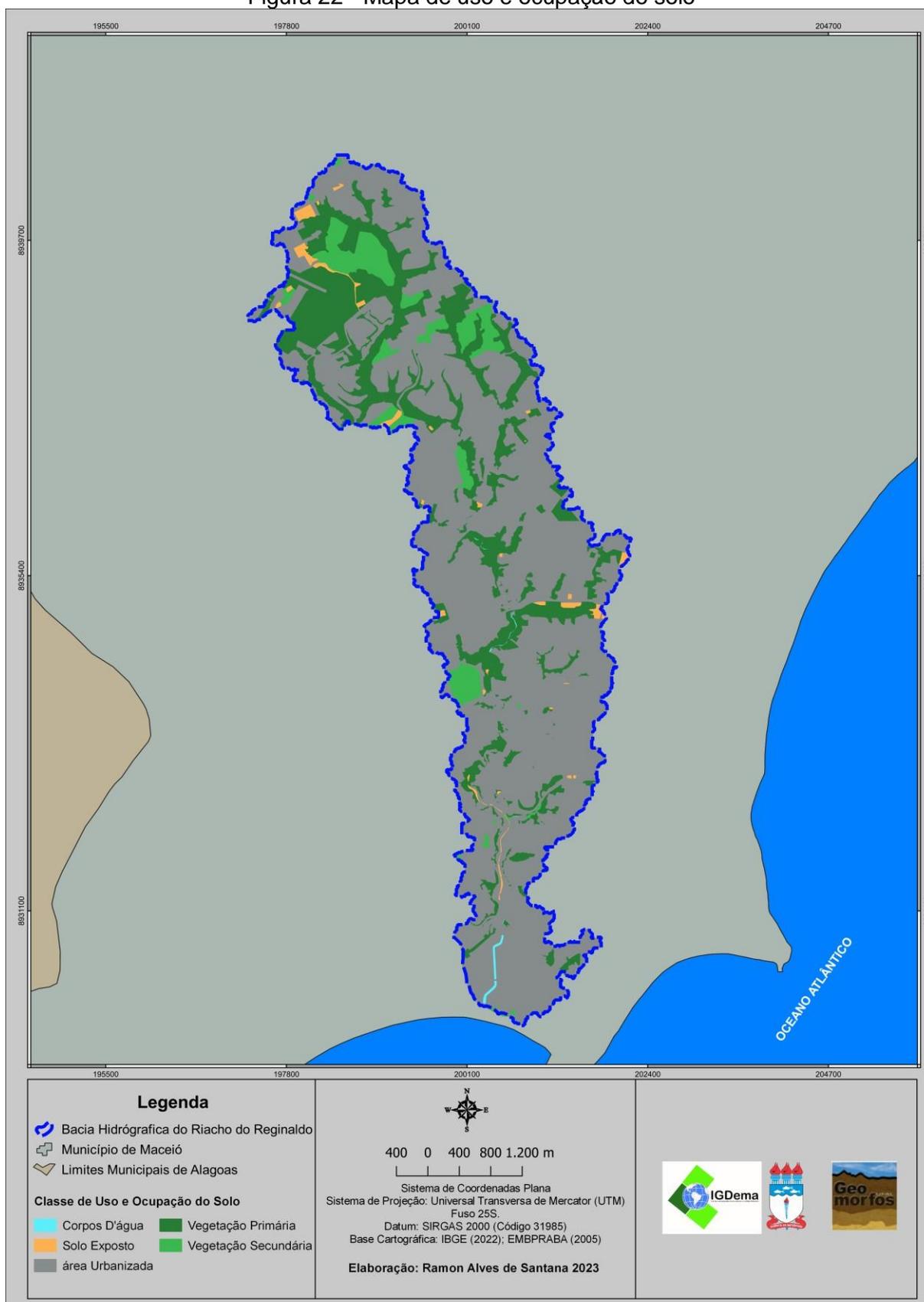
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Tabela 16 – Área correspondente a classe de uso e ocupação do solo

Classe de uso e ocupação do solo	Área km <sup>2</sup>
Vegetação primária	6,13
Vegetação secundária	1,35
Urbano	18,60
Corpos D'água	0,09
Solo exposto	1,21

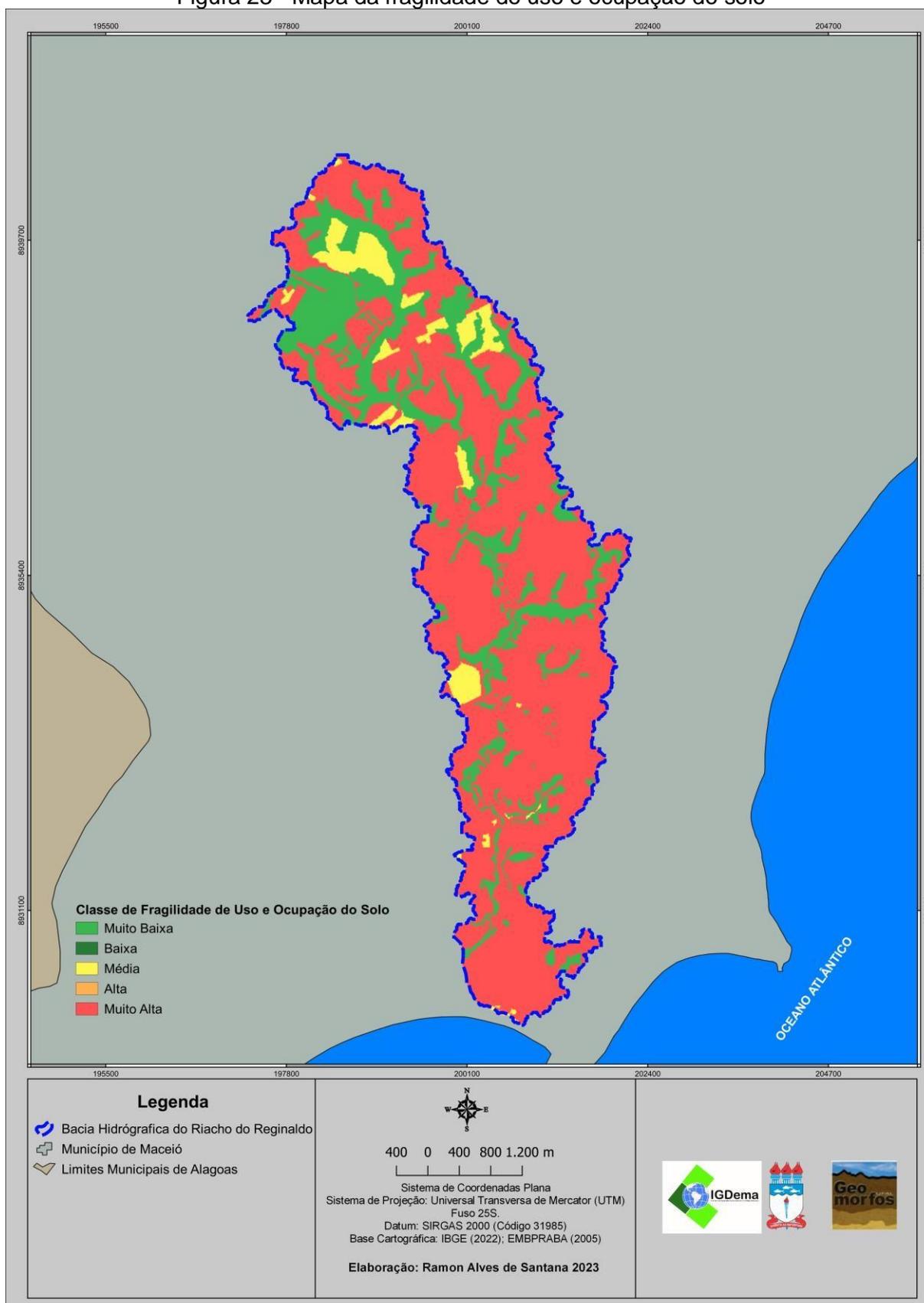
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 22 - Mapa de uso e ocupação do solo



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 23 - Mapa da fragilidade do uso e ocupação do solo



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

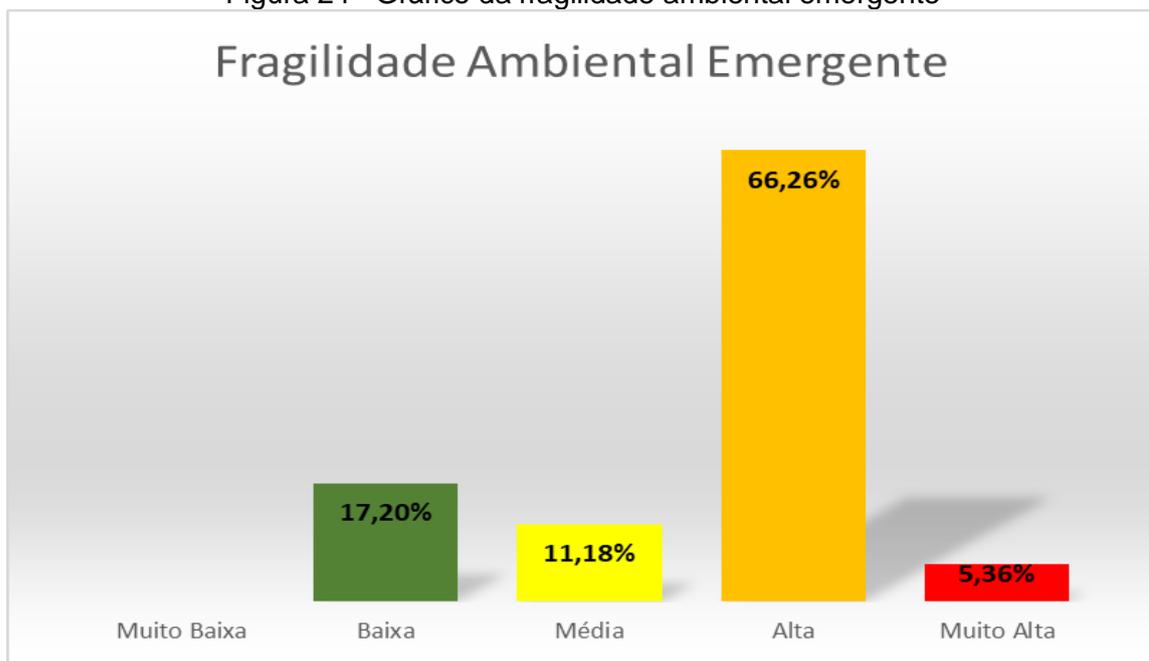
## 5.9 Fragilidade emergente

Como a bacia é composta majoritariamente pela classe urbanizada e a fragilidade emergente foi feita pela fórmula entre fragilidade potencial + mapa de uso e ocupação do solo dividido por 2, faz com que os valores antes encontrados no geral entre baixos e médios se potencializassem e se concentrem agora em altos.

A fragilidade emergente baixa corresponde a 17,20% enquanto a correspondia a 59,50% na Fragilidade Potencial. Quando se trata da classe 3 (média) houve também um decréscimo de 28,83% para 11,18%.

O valor mais alto se concentra na classe 4 (Alta) com 66,26% que antes correspondia a 11,67%, agora não apenas áreas com declividades mais acentuadas encontram-se nessa classe, áreas mais planas. Valores classe 5 nem existiam e agora compõem 5,36% da bacia demonstrando que houve um crescimento sem planejamento e uma degradação das áreas mais propícias já evidenciadas no mapa de fragilidade potencial.

Figura 24 - Gráfico da fragilidade ambiental emergente



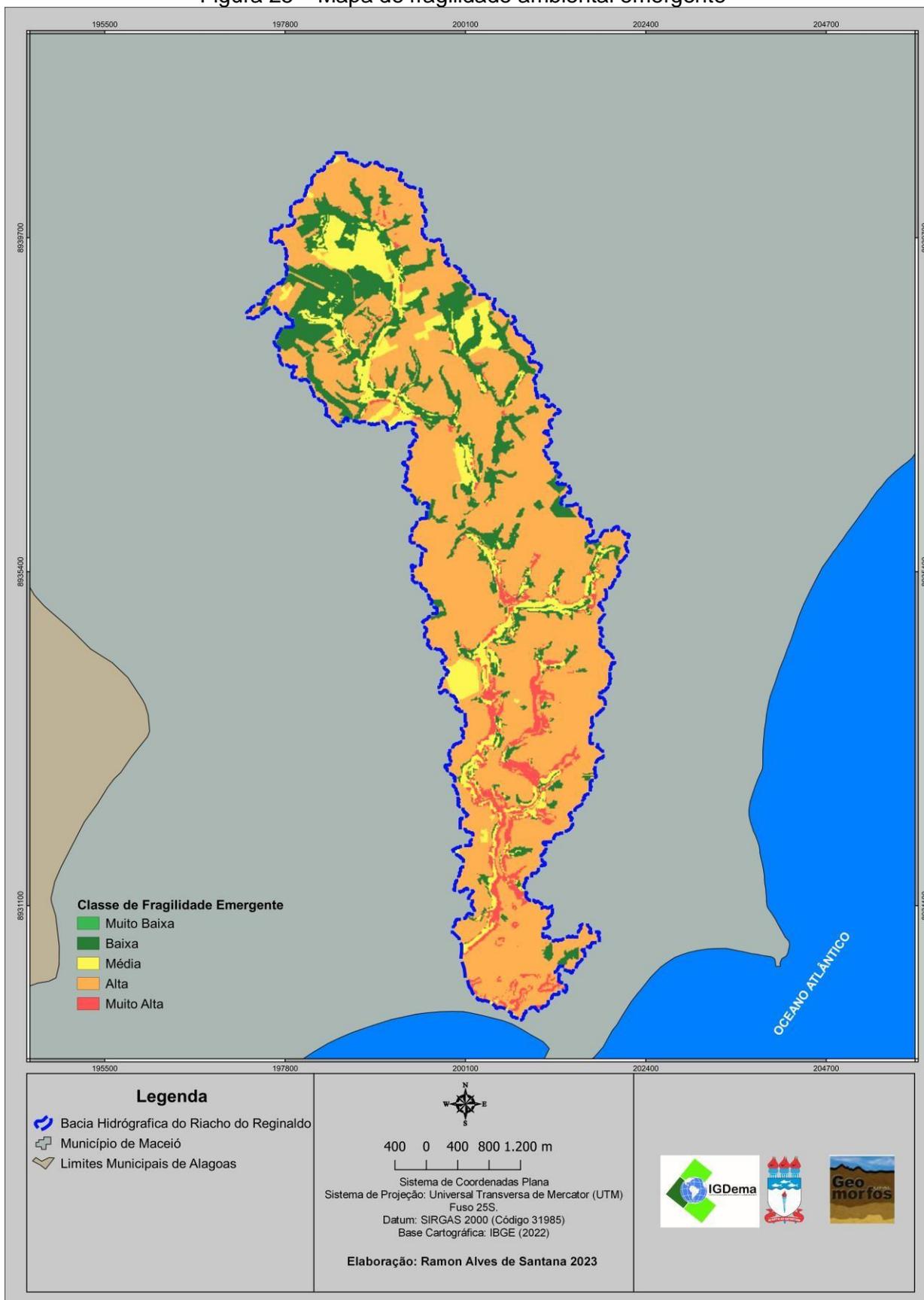
Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Tabela 17 – Área correspondente a fragilidade ambiental emergente.

Fragilidade ambiental emergente	Área km <sup>2</sup>
Baixa	4,56
Média	2,96
Alta	17,56
Muita Alta	1,42

Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

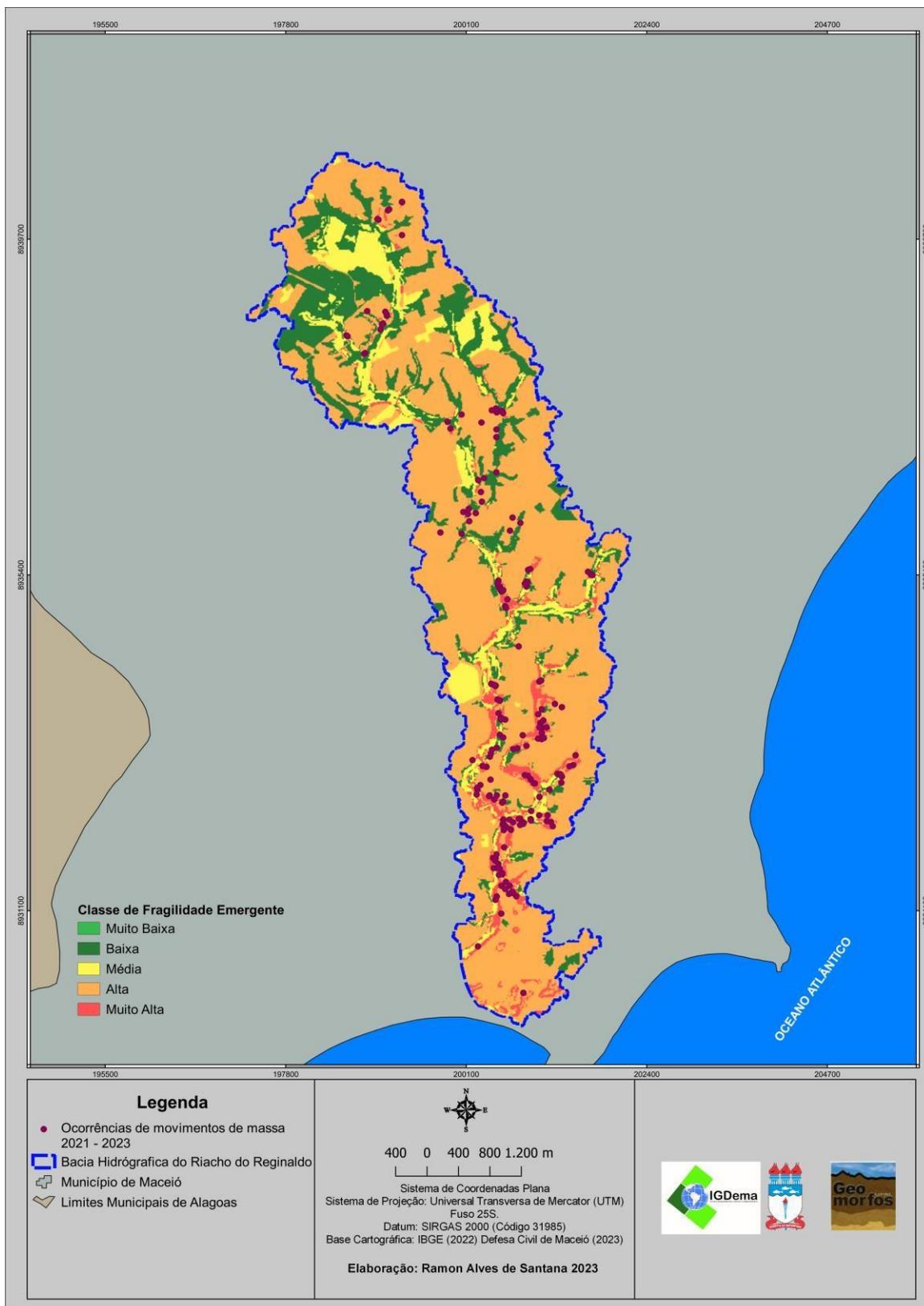
Figura 25 – Mapa de fragilidade ambiental emergente



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

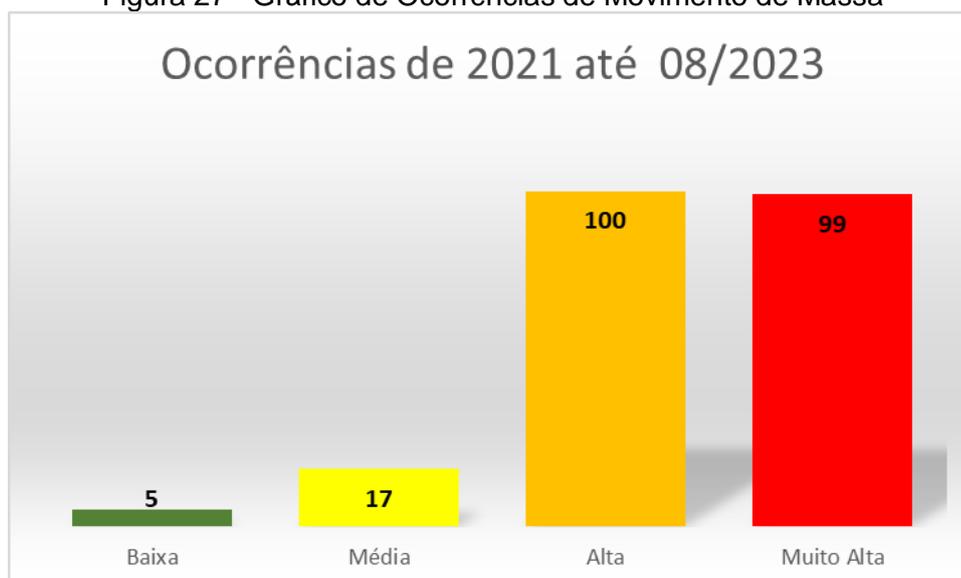
## 5.10 Ocorrências de movimento de massa no mapa de fragilidade emergente

Figura 26 - Mapa da fragilidade ambiental emergente com ocorrências da Defesa Civil Municipal de Maceió de 2021 até 08/23



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Figura 27 - Gráfico de Ocorrências de Movimento de Massa



Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Tabela 18 – Porcentagem de ocorrências em relação a classe de fragilidade

<b>Classe de fragilidade emergente</b>	<b>Porcentagem de ocorrências</b>
Baixa	2,26
Média	7,69
Alta	45,25
Muito Alta	44,80

Fonte: Ramon Alves de Santana, 2023

Com base nas ocorrências registradas pela Defesa Civil de Maceió no período de 2021 até agosto de 2023, é possível observar que os graus mais elevados de fragilidade ambiental (muito alto e alto) representam uma porcentagem significativa das ocorrências. A classe de fragilidade muito alta corresponde a 44,80% das ocorrências, enquanto a classe alta abrange 45,5% das ocorrências. Por outro lado, as classes de fragilidade média e baixa possuem porcentagens menores, com 7,69% e 2,6%, respectivamente.

## 6 CONCLUSÃO

Após a coleta e processamento dos dados, verificou-se que o ambiente inicialmente apresentava uma fragilidade denominada "Potencial", predominantemente baixa, com exceção de algumas áreas mais declivosas que alcançavam o grau de fragilidade alta. Ao comparar esse mapa de "Fragilidade Potencial" com o mapa de "Fragilidade Emergente", foi possível identificar mudanças significativas:

- A classe de fragilidade baixa na "Fragilidade Potencial" regrediu cerca de 71,01% no mapa de "Fragilidade Emergente".
- A classe de fragilidade média também teve um decréscimo de 61,18%.
- A classe de fragilidade alta aumentou aproximadamente 466,05%.
- Na classe de fragilidade muito alta, que nem havia sido detectada na fragilidade potencial, agora ocupa 5,36% da área.

Essa análise demonstra uma transformação do ambiente ao longo do tempo, com áreas inicialmente consideradas menos frágeis passando a ser mais vulneráveis. Evidenciando como a variável uso e ocupação do solo estabeleceu um peso alto no mapa de fragilidade ambiental emergente.

O modelo de fragilidade ambiental por elaborado por Ross é amplamente difundido, porém existem algumas desvantagens que podem acabar gerando algumas incongruências como a ocorrência de movimentos de massa em áreas baixas.

Pode ocorrer devido a equação que atribui uma média simples fazendo com que os pesos das variáveis sejam iguais que no caso é 20% para fragilidade ambiental potencial e 50% para emergente, caso fosse atribuída uma média ponderada os resultados poderiam demonstrar uma assertividade maior, e uma melhor correspondência com a realidade.

Contudo é importante reconhecer que áreas mais frágeis da bacia estão ocupadas de maneira irregular, dados que são expostos nos mapas de fragilidades potenciais e com o mapa de uso e ocupação do solo, que acaba expondo a população moradora da bacia ao risco.

Esta pesquisa serve como um ponto de partida para estudos posteriores

fornecendo dados valiosos que podem ser utilizados para identificar áreas de maior fragilidade. Com esse conhecimento prévio, é possível tomar medidas para mitigar os riscos e proteger as comunidades em áreas de fragilidade ambiental, alinhando-se com o objetivo central deste estudo.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. M. A. **A cidade como um sistema complexo: transformações morfológicas e climáticas em Maceió**. 2019. 198 f. Tese de doutorado. Maceió, Universidade Federal de Alagoas.
- ANEAS DE CASTRO, S. D. “Riesgos y peligros: una visión desde lá Geografía”. **Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Barcelona, n.60, 15 de mar. 2000. Disponível em: <https://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm> Acesso em: 01 set. 2023.
- Arantes, N. D. G., Simões, R. C. N., & Ferreira, T. A. A. **Deslizamento de encostas: estudo de caso no bairro Gabiroba, Itabira-MG**. Disponível em: [https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/28552/1/ATCC%20-%20Deslizamentos%20de%20encostas\\_final.pdf](https://repositorio.animaeducacao.com.br/bitstream/ANIMA/28552/1/ATCC%20-%20Deslizamentos%20de%20encostas_final.pdf) acesso em: 01 set 2023.
- Argissolos. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/argissolos> Acesso em: dia, 01 set 2023.
- AUGUSTO FILHO, O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: **CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS**, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. 1992, p. 721-733.
- BISPO, C. de O.; MELO. N. A. de; TOUJAGUEZ, R.; Ocupação irregular de encostas urbanas no município de Maceió – AL. In: **OKARA: Geografia em debate**, [S.l.] v.13, n.1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2019v13n1.39080>
- BISPO, C de O.; **Suscetibilidade natural e induzida à ocorrência de escorregamentos no litoral norte de Maceió, Alagoas**. 2018. Dissertação de mestrado – Curso de Geografia – Universidade Federal de Pernambuco – Pernambuco. 2018 Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/32077/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Carlos%20de%20Oliveira%20Bispo.pdf>
- BONUCELLI, T. J. **Estudo dos movimentos gravitacionais de massa e processos erosivos com aplicação na área urbana de Ouro Preto (MG): escala 1:10.000**.1999. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil – Universidade de São Carlos. São Paulo. 1999. Disponível em <https://doi.org/10.11606/T.18.2018.tde-19072018-145252>.
- BRITO, J. L. S. de; ROSA, R. Introdução aos sistemas de informação geográfica. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 6, n. 11 / 12, 1994. DOI: 10.14393/SN-v6-1994-60986. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/60986>. Acesso em: 1 set. 2023.

CARDOSO, G; CARDOSO, C. Gestão de riscos associados a movimentos de massa. **Revista Ordem Pública**. V. 9 N. 1 Jan/Jun, 2016. Disponível em: <https://rop.emnuvens.com.br/rop/article/viewFile/124/117>. Acesso em: 1 set. 2023.

Carvalho, A. P. P. et al. Environmental fragility to erosion in an anthropogenic watershed in the northeast of the state of São Paulo, Brazil. **Anuario do Instituto de Geociências**, v. 42, n. 3, p. 7-18, 2019. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/221382>. Acesso em: 1 set. 2023.

CHEN C.Y. LEE W. C. Damages to school infrastructure and development to disaster prevention education strategy after Typhoon Morakot in Taiwan **Disaster Prevention and Management: An International Journal**, v. 21 n. 5, p.541- 555, 2004. Disponível <https://www.proquest.com/docview/1147589269> Acesso em: 01 set. 2023

Costa, N. M. C. da; Costa, V. C. da ; Santos, J. P. C. dos. Definição e Caracterização de Áreas de Fragilidade Ambiental, com Base em Análise Multicritério, em Zona de Amortecimento de Unidades de Conservação. In: **12o Encuentro de Geógrafos de América Latina - EGAL 2009**, 2009, Montevideo - Uruguai. 12 Encuentro de Geógrafos de América Latina - Caminando en una América Latina en transformación, 2009. Disponível <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Nuevastecnologias/Sig/08.pdf>. Acesso em: 01 set. 2023

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL)**. Brasília 2019. Disponível <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/21133/1/relatoriosintese.pdf>. Acesso em: 01 set. 2023

CRUDEN, D. M.; VARNES, D. J. Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3- Landslide types and processes. **Transportation research board special report**, n. 247, 1996.

CUTTER, S. L. The vulnerability of science and the science of vulnerability. **Annals of the Association of American Geographers**, v.93, n.1, p.1-12, 2003.

Gestão de Risco. **Defesa Civil de Sana Catarina**. Disponível em: <https://www.defesacivil.sc.gov.br/municipios/gestao-de-risco-o-que-e/#:~:text=O%20termo%20%22risco%22%2C%20na,sistema%20receptor%20a%20seus%20efeitos>. Acesso em; 01 de set. 2023

DOS SANTOS, J.R.; DOS SANTOS; E. O.; SANTOS, E. de O.; MELO, N. A. Os impactos antropogênicos versus riscos geomorfológicos em encostas urbanas: Um estudo de caso no bairro do bebedouro, Maceió - Alagoas. **Revista Geonorte [S.I.]** V.10, n.1 p.210 – 217, 2014.

DOS SANTOS, M. M.; CHANG, M. R. C.; KIANG, C. H. UTILIZAÇÃO DE SIG NA AVALIAÇÃO DO USO DA ÁGUA DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI NO ESTADO DE SÃO PAULO. **Águas Subterrâneas, [S. I.]**, 2010. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/23135>. Acesso em: 1 set. 2023.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA.  
**Diagnostico ambiental do município de Maceió, AL: levantamento semidetalhado de solos, potencial agroecológico das terras, áreas de risco para construção civil e de risco de poluição, uso atual das terras.** Recife – 2005.

FRANCO, T. C. R. Análise da precisão no posicionamento com um receptor GPS de navegação. **Revista Agrogeoambiental**, [S. l.], v. 1, n. 3, 2009. DOI: 10.18406/2316-1817v1n32009215. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/215>. Acesso em: 25 set. 2023.

Froude, M. J. and Petley, D. N.: Global fatal landslide occurrence from 2004 to 2016, **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, 18, 2161–2181, <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2161-2018>, 2018. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/18/2161/2018/> Acesso em: 01 set. 2023.

FURLAN, L. M.; BRITO, M. A. de M. Sensoriamento remoto, geofísica e educação popular: integração de tecnologias duras e leves na produção de conhecimento geológico com relevância científica e social. **Geociências: Entraves, lacunas profissionais e pesquisa**. P. 20 – 28, 2023. DOI: 10.22533/at.ed.465230304

GIRÃO, Ítalo R. F.; RABELO, D. R.; ZANELLA, M. E. Análise teórica dos conceitos: Riscos Socioambientais, Vulnerabilidade e Suscetibilidade. **Revista de Geociências do Nordeste**, [S. l.], v. 4, p. 71–83, 2018. DOI: 10.21680/2447-3359.2018v4n0ID13273. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/article/view/13273>. Acesso em: 1 set. 2023.

Gleissolos do subplanalto Cascavel – características e potencial de uso. **Governo do Paraná**, Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/PronasolosPR/Pagina/GLEISSOLOS-DO-SUBPLANALTO-CASCATEL-caracteristicas-e-potencial-de-uso#:~:text=Gleissolos%20s%C3%A3o%20solos%20minerais%20formados,dentro%20dos%20primeiros%2050%20cm>. Acesso em: dia, 01 set de 2023.

Gleissolos. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/gleissolos> Acesso em: dia, 01 set de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – **Caderno de estudo: Introdução à geotecnologia**. 2015. Rio de Janeiro.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA DO BRASIL – **INMET. Normais Climatológicas (1991/2020)**. Brasília - DF, 2022.

Latossolos Amarelos. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solos-tropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-amarelos> Acesso em: dia, 01 set 2023.

LEITE, Marcos Esdras. **Geotecnologias aplicadas ao mapeamento do uso do solo urbano e da dinâmica da favela em cidade média: o caso de Montes**

**Claros/MG.** 2011. 288 f. Tese (Doutorado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011.

LISTO, R. L. de F. Movimentos de massa: estado da arte, escalas de abordagem, ensaios de campo e laboratório e diferentes modelos de previsão. *In Revisões da Literatura da Geomorfologia Brasileira*. Org. Júnior Carvalho, O.A. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. 1057p.

MENESES, P.R.; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, Brasília: UnB, p. 1-266, 2012. Disponível em: <https://cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8> Acesso em: 1 set. 2023.

MIYAZAKI; L. C. P. **Dinâmica de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de Presidente Prudente e Marília/SP.** Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Tecnológica, Universidade Estadual paulista, Presidente Prudente/SP, 2014.

Movimento de massa. **CEMADEN**, 2016. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/> Acesso em: dia, 01 set 2023.

Movimento de massa. **CEMADEN**, 2016. Disponível em: <http://www2.cemaden.gov.br/deslizamentos/> Acesso em: dia, 01 set 2023.

Nascimento, M. C. do, **Contribuição metodológica para seleção de indicadores de vulnerabilidade socioambiental por meio das geotecnologias à região metropolitana de Maceió.** Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista. São Paulo, 2016. 212p.

Nascimento, M. C. do, Lombardo, M. A.; Júnior, S. A. M. G.; Andrade, E. de L.; Análise da vulnerabilidade físico-ambiental causadas pelas chuvas intensas na região metropolitana de Maceió. **Revista Caminhos da Geografia**. Uberlândia, V.19 N. 67, Set/2018.

Neossolo Flúvico – situação na paisagem características e funcionalidades. **Governo do Paraná. 2019.** Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/PronasolosPR/Noticia/Neossolo-Fluvico-situacao-na-paisagem-caracteristicas-e-funcionalidades> Acesso em: dia, 01 set 2023.

Neossolos Flúvicos. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-fluvicos> Acesso em: dia, 01 set 2023.

Neossolos Flúvicos. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-fluvicos> Acesso em: dia, 01 set.

Neossolos Quartizarenicos. **EMBRAPA**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-quartizarenicos>

[sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-quartzarenicos](#) Acesso em: dia, 01 set 2023.

NEVES, M. G. F. P. das; SOUZA, V. C. B. de; PEPLAU, G. R.; SILVA JÚNIOR, R. I. da; PEDROSA, H. T. S.; CAVALCANTE, R. B. L. **Características da bacia do riacho Reginaldo em Maceió-AL e suas implicações no escoamento superficial.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17, 2007, São Paulo. Anais... São Paulo: ABRH, 2007. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA, A. N. S. **A fragilidade ambiental como suporte na identificação de conflitos ambientais na APA da Marituba do Peixe, Alagoas.** Dissertação de mestrado em Geografia – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 168 p. 2017.

OLIVEIRA, M.T. **Estudo de movimentos de massa gravitacionais no município de Belo Horizonte, MG.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal Viçosa. 2009. 279p.

PACHECO, T. C. K. F.; KUX, H. J. H.; MENDES, R. M. IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS DE SUSCETIBILIDADE A ESCORREGAMENTOS DE ENCOSTA UTILIZANDO O MODELO MATEMÁTICO SHALSTAB. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 3, p. 228-243, 10 jul. 2020.

O que é o Sensoriamento Remoto? Conceitos e Características. Jocilene Barros, **Geoaplicada**, 2023. Disponível em: <https://www.geoaplicada.com/sensoriamento-remoto/>

Pessi, D. Loverde-Oliveira, S. M. 2019. Aplicação da análise geoespacial para caracterização da fragilidade de terrenos. **Revista de Geografia** (Recife), 36, (1), 243-260.

QUEVEDO, R. P.; GUASSELLI, L. A.; OLIVEIRA, G. G.; RUIZ, L. F. C. Modelagem de áreas suscetíveis a movimentos de massa: avaliação comparativa de técnicas de amostragem, aprendizado de máquina e modelos digitais de elevação. **Geociências** v. 38, n.3, p. 781-795), 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Renata-Pacheco-Quevedo/publication/338052446\\_Modelagem\\_de\\_Areas\\_Suscetiveis\\_a\\_movimentos\\_de\\_Massa\\_Avaliacao\\_Comparativa\\_de\\_Tecnicas\\_de\\_amostragem\\_Aprendizado\\_de\\_maquina\\_e\\_modelos\\_Digitais\\_de\\_Elevacao/links/5dfbe0874585159aa48a3d0f/Modelagem-de-Areas-Suscetiveis-a-movimentos-de-Massa-Avaliacao-Comparativa-de-Tecnicas-de-amostragem-Aprendizado-de-maquina-e-modelos-Digitais-de-Elevacao.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Renata-Pacheco-Quevedo/publication/338052446_Modelagem_de_Areas_Suscetiveis_a_movimentos_de_Massa_Avaliacao_Comparativa_de_Tecnicas_de_amostragem_Aprendizado_de_maquina_e_modelos_Digitais_de_Elevacao/links/5dfbe0874585159aa48a3d0f/Modelagem-de-Areas-Suscetiveis-a-movimentos-de-Massa-Avaliacao-Comparativa-de-Tecnicas-de-amostragem-Aprendizado-de-maquina-e-modelos-Digitais-de-Elevacao.pdf) acesso; 01 set 2023.

REGHINI, F. L.; CAVICHIOLI, F. A. UTILIZAÇÃO DE GEOPROCESSAMENTO NA AGRICULTURA DE PRECISÃO. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 329–339, 2020. DOI: 10.31510/infa.v17i1.750. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/750>. Acesso em: 1 set. 2023.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 16, p. 81-90, 2011. DOI: 10.7154/RDG.2005.0016.0009.

Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47288>. Acesso em: 1 set. 2023.

ROSA, R. **Introdução ao geoprocessamento**. Uberlândia: Universidades Federais de Uberlândia, 2013. 142 p.

ROSS, J. L. S. ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADOS. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 8, p. 63-74, 2011. DOI: 10.7154/RDG.1994.0008.0006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327>. Acesso em: 1 set. 2023.

ROSS, J. L. S. **Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados**. Revista do Departamento de Geografia - FFLCH-USP, N.9. 1994. pp. 63-74.

SANTOS, M. dos; SOUZA, C. A. de .; SOUSA, J. B. de . The environmental fragility within the Cachoeirinha stream Hydrographic basin, in Cáceres city, Mato Grosso state . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 10, p. e594111033111, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i10.33111. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33111>. Acesso em: 1 set. 2023.

SILVA, C. N. da; Movimentos de Massa. Jovem Explorador, 30 nov. 2021. Disponível em: <<http://jovemexplorador.iag.usp.br/?p=movimentos-de-massa>>. Acesso em: 1 set. 2023.

SOUZA, E. G. da S.; REBELATO, M. G. Avaliação da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Baixo Mogi com uso da geotecnologia / Environmental fragility assessment of the Baixo Mogi watershed through geotechnology. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 411–426, 2021. DOI: 10.34188/bjaerv4n1-036. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/23890>. Acesso em: 1 set. 2023.

SPORL, C. ROSS J.L.S. **Análise comparativa da Fragilidade Ambiental com Aplicação de Três Modelos**. GEOUSP -Espaço e Tempo.2004; (15), 39-49 Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/268358676.pdf> Acesso em: dia, 01 set 2023

TAVARES, C. A. J. da S. DESASTRES AMBIENTAIS:: ANÁLISE DE CASO NO BAIRRO GRANJEIRO, EM CRATO/CE. **Revista Tocantinense de Geografia**, [S. l.], v. 8, n. 15, p. 54–63, 2019. DOI: 10.20873/rtg.v8n15p54-63. Disponível em: <https://sistemas.uft.edu.br/periodicos/index.php/geografia/article/view/6949>. Acesso em: 1 set. 2023.

TIMBÓ, M. A. **Elementos de cartografia**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. 57p. Disponível em: [http://www.csr.ufmg.br/cart01/elementoscartografia\\_timbo.pdf](http://www.csr.ufmg.br/cart01/elementoscartografia_timbo.pdf) Acesso em 1 set. 2023.

TOMINAGA, L.K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. (organização). 2009. **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009. 160 p. : il. color. ; 24 cm. ISBN 978-85-87235-09-1

TRICART, J.T. ECODINÂMICA. IBGE. Rio de Janeiro. Diretoria Técnica SUPREN 1977.

TROLEIS, A. L. et al. Uso de geotecnologias na definição da localização de uma barragem e suas implicações legais. **Sociedade e Território**, v. 24, n. 2, p. 189-208, 2012.

ZANOTTA, D. C.; CAPPELLETTO, E.; MATSUOKA, M. T. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física / The GPS: connecting science and technology in physics classes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 2, p. 2313, 2011. DOI: <10.1590/S1806-11172011000200014>. Disponível em: <<http://doi.org/10.1590/S1806-11172011000200014>>. Acesso em: 01 set. 2023.