



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

RUAN MAX GOMES LOURENÇO

**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL NO NÚCLEO  
URBANO DO MUNICÍPIO DE PILAR, ALAGOAS**

Maceió  
2023

RUAN MAX GOMES LOURENÇO

**IDENTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE FRAGILIDADE AMBIENTAL NO NÚCLEO  
URBANO DO MUNICÍPIO DE PILAR, ALAGOAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Nivaneide Alves de Melo Falcão

Co-orientador: Me. Esdras de Lima Andrade

Maceió

2023

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

Bibliotecária Responsável: Maria Helena Mendes Lessa – CRB4 - 1616

- L892i Lourenço, Ruan Max Gomes.  
Identificação das áreas de fragilidade ambiental no núcleo urbano do município de Pilar, Alagoas / Ruan Max Gomes Lourenço. – 2023.  
78 f. : il. color.
- Orientadora: Nivaneide Alves de Melo Falcão.  
Coorientador: Esdras de Lima Andrade  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Geografia: Bacharelado) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente. Maceió, 2023.
- Bibliografia: f. 74-78.
1. Ações antrópicas – Município de Pilar (AL). 2. Análise ambiental.  
3. Geotecnologia. 4. Geografia – Pilar (AL). I. Título.

CDU: 911(813.5)

Dedico,

A Deus por sua bondade para comigo.

Minha irmã Thayanne (in memoriam) que sempre foi minha maior incentivadora.

Aos meus amados pais José Renaldo, e Maria Telma e ao meu sobrinho Pedro Henrique que em todo tempo eles têm sido minha base e fortaleza.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha gratidão ao *divino Criador* por me conceder a graça de completar mais uma etapa em minha jornada. Fortalecendo-me, inspirando-me e capacitando-me a superar os desafios e alcançar além das minhas próprias expectativas.

Expresso minha gratidão a mim mesmo, reconhecendo o papel fundamental que desempenho como protagonista da minha própria história. Perseverei e encontrei forças para não desistir, acreditando firmemente no meu potencial e na minha capacidade de ir além das minhas limitações.

Minha profunda gratidão à minha família, em especial aos meus amados pais, Maria Telma Gomes da Silva e José Renaldo Lourenço. Eles sempre me apoiaram de forma incondicional e pelos esforços para me orientar e ensinar os valores que me norteiam até hoje.

Gostaria de dedicar uma lembrança especial à minha querida e amada irmã Thyanne (in memoriam). Ela foi uma verdadeira fonte de incentivo e minha maior admiradora durante sua vida, sempre torcendo pelo meu sucesso e constantemente me encorajando a acreditar em mim mesmo. Tenho certeza de que, se estivesse aqui hoje, ela estaria radiante de felicidade ao ver a realização de mais uma etapa da minha vida. Sua memória continua viva em nossos corações e aqui dentro de casa através do Pedrinho, seu filho.

A minha orientadora, Profa. Dra. Nivaneide Alves de Melo Falcão, pela sua orientação, durante o tempo que estive em seu grupo de pesquisa, Geomorfos. Seus conhecimentos foram essenciais para minha formação acadêmica, e sua orientação desempenhou um papel fundamental no meu crescimento profissional. Também gostaria de agradecer ao meu co-orientador, Geógrafo Me. Esdras de Lima Andrade, por compartilhar seus conhecimentos em geoprocessamento e estar sempre disponível para ajudar nas orientações necessárias para o desenvolvimento do meu trabalho.

Aos meus amigos pessoais por sua amizade constante, que tem sido um apoio valioso nos momentos difíceis. Também quero agradecer aos meus amigos e colegas de curso da turma 2017.2 noturno e do Laboratório de Geomorfologia e Solos (Geomorfos). Ao longo dos últimos cinco anos, tive a oportunidade de conhecer e conviver com vocês, criando laços de amizade e compartilhando aprendizados.

Gostaria de expressar minha gratidão aos professores do IGDEMA em geral pelo trabalho que desempenham no ensino do curso de Geografia, pelo comprometimento e por compartilharem seu conhecimento, contribuindo para a minha formação acadêmica e pessoal.

## RESUMO

O desenvolvimento da sociedade sempre dependeu do uso de recursos obtidos na natureza. A recente expansão tecnológica, somada aos hábitos de vida e consumo amplamente difundidos, acarretou em uma demanda acelerada dos recursos naturais, resultando em graves problemas ambientais. No município de Pilar, localizado no estado de Alagoas – Brasil, essa condição não é diferente, observadas principalmente, no crescimento desordenado, do seu núcleo urbano, que vem causando degradação ambiental através das transformações observadas em processos de erosão ocasionados pela ausência da mata ciliar, o desmatamento, a extração de areia por dragagem, lançamentos de esgotos domésticos *in natura*, entre outros agravantes ambientais. Diante dessa problemática, o trabalho buscou caracterizar as áreas que se apresentam propícias a fragilidade ambiental no núcleo urbano do referido município, e sendo quase inexistência estudos para o município. O objetivo geral do estudo é identificar as áreas de fragilidade ambiental no núcleo urbano do município. O trabalho baseou-se na metodologia do estudo da dinâmica dos ecótopos ou ecodinâmica proposto por Tricart (1977) complementada pelas orientações de Ross (1994) e aprimorada por Oliveira (2017), com a aplicação do método *Analytic Hierarchy Process AHP* de Saaty (1980) na distribuição dos pesos para cada variável. No estudo da fragilidade ambiental potencial, foram identificadas e mapeadas quatro classes de fragilidade: baixa, média, alta e muito alta. A análise da fragilidade ambiental revelou a distribuição espacial dos diferentes graus de fragilidade, considerando os impactos das atividades humanas e a interação com o ambiente natural. Observou-se então, que a fragilidade baixa e muito baixa no núcleo urbano do Pilar possui maior extensão, ocupando a maior parte de ambientes contidos nos tabuleiros, considerados estáveis. Conclui-se que o estudo da fragilidade potencial e ambiental, juntamente com a análise do uso e ocupação do solo e suas ações antrópicas, fornece subsídios essenciais para apoio e/ou tomada de decisões relacionadas à gestão ambiental e ao desenvolvimento sustentável do município, em especial, seu núcleo urbano.

**Palavras-chave:** Ações Antrópicas, Análise Ambiental, Geotecnologias.

## ABSTRACT

The development of society has always relied on the use of resources obtained from nature. The recent technological expansion, combined with widely spread habits of life and consumption, has led to an accelerated demand for natural resources, resulting in serious environmental issues. In the municipality of Pilar, located in the state of Alagoas, Brazil, this situation is no different, particularly observed in the disorderly growth of its urban core, which has caused environmental degradation through observed transformations such as erosion processes due to the absence of riparian vegetation, deforestation, sand extraction by dredging, discharge of untreated domestic sewage, among other environmental aggravating factors. Faced with this problem, the study aimed to characterize the areas that are prone to environmental fragility in the urban core of the municipality, considering the almost non-existent studies for the area. The general objective of the study is to identify areas of environmental fragility in the urban core of the municipality. The study was based on the methodology of ecotope dynamics or ecodynamics proposed by Tricart (1977), complemented by the guidelines of Ross (1994) and improved by Oliveira (2017), with the application of the Analytic Hierarchy Process (AHP) method by Saaty (1980) in the distribution of weights for each variable. In the study of potential environmental fragility, four classes of fragility were identified and mapped: low, medium, high, and very high. The analysis of environmental fragility revealed the spatial distribution of different degrees of fragility, considering the impacts of human activities and their interaction with the natural environment. It was observed that low and very low fragility are more extensive in the urban core of Pilar, occupying the majority of environments within the stable plateaus. In conclusion, the study of potential and environmental fragility, along with the analysis of land use and occupation and their anthropogenic actions, provides essential support for decision-making related to environmental management and sustainable development of the municipality, particularly its urban core

**Keywords:** Anthropic Actions, Environmental analysis, Geotechnology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de Matriz Quadrada Dominante.....	28
Figura 2 - Exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos pelo método AHP .....	29
Figura 3 - Mapa de Localização do Núcleo Urbano do Município de Pilar - Alagoas - Brasil	32
Figura 4 - Mapa de unidades geomorfológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil.....	39
Figura 5 - Mapa de Unidades Pedológicas do Núcleo Urbano do Município de Pilar - Estado de Alagoas - Brasil.....	42
Figura 6 - Mapa de unidades litológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas - Brasil .....	44
Figura 7 - Pesos atribuídos aos fatores de importância para a Fragilidade Potencial.....	47
Figura 8 - Mapas de declividade e fragilidade potencial da declividade do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil. ....	50
Figura 9 – Gráfico da distribuição percentual da fragilidade potencial das classes de declividade do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil .....	51
Figura 10 - Mapa de fragilidade potencial das unidades geomorfológicas do núcleo urbano do município de Pilar - estado de Alagoas- Brasil.....	52
Figura 11 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade relacionadas às classes de unidades geomorfológicas do núcleo urbano do município de Pilar - estado de Alagoas – Brasil.....	53
Figura 12 - Mapas de altitude e fragilidade potencial da altitude do núcleo urbano município de Pilar - estado de Alagoas - Brasil .....	55
Figura 13 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade relacionadas a altitude do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil.....	56
Figura 14 - Mapa de fragilidade potencial das unidades pedológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil.....	57
Figura 15 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade relacionadas às classes de unidades pedológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil .....	58
Figura 16 - Mapa de fragilidade potencial das unidades litológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil.....	59
Figura 17 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade potencial das unidades litológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas - Brasil....	60

Figura 18 - Mapa de fragilidade ambiental potencial do núcleo urbano do município de Pilar - estado de Alagoas - Brasil .....	61
Figura 19 - Gráfico da distribuição percentual da fragilidade ambiental do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil .....	62
Figura 20 - Mapa do Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal do Núcleo Urbano do Município de Pilar – Estado de Alagoas – Brasil .....	64
Figura 21 - Mapa de fragilidade potencial do uso e ocupação do solo/cobertura vegetal do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil.....	66
Figura 22 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade das classes de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil.....	67
Figura 23 - Mapa de fragilidade ambiental potencial do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil.....	69
Figura 24 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade ambiental do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil.....	70

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Escala de Importância de Saaty .....	29
Quadro 2 - Representação dos componentes, fatores e elementos da análise para determinação da sua fragilidade. ....	36
Quadro 3 - Classes de fragilidade ambiental segundo seus pesos proposto por Ross (1994)..	36
Quadro 4 - Classes de fragilidade potencial da declividade proposto por Ross (1994) .....	37
Quadro 5 - Fragilidade potencial das classes de altitude do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas - Brasil .....	40
Quadro 6 - Fragilidade potencial das classes de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas – Brasil .....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fragilidade potencial das classes de unidades geomorfológicas, segundo valores absolutos (km <sup>2</sup> ) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas - Brasil .....	38
Tabela 2 – Fragilidade potencial das classes de unidades pedológicas segundo valores absolutos (km <sup>2</sup> ) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas – Brasil.....	41
Tabela 3 - Fragilidade potencial das classes de unidades litológicas, segundo valores absolutos (km <sup>2</sup> ) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas – Brasil .....	43
Tabela 4 - Checagem de consistência da calculadora AHP-OS (1.1.1-207) no site da BPMSG .....	47
Tabela 5 - Classe de declividade/Relevo, segundo valores absolutos (km <sup>2</sup> ) e percentuais (%) do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas - Brasil. ....	49
Tabela 6 - Fragilidade potencial das classes de altitude, segundo valores absolutos (km <sup>2</sup> ) e percentuais (%) do Núcleo Urbano do Município do Pilar – Alagoas – Brasil. ....	54
Tabela 7 – Classe de fragilidade ambiental potencial, segundo valores absolutos (km <sup>2</sup> ) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – Alagoas – Brasil.....	62
Tabela 8 - Classes de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal, segundo valores absolutos (km <sup>2</sup> ) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – Alagoas – Brasil .....	65
Tabela 9 - Classes de fragilidade ambiental, segundo valores absolutos (km <sup>2</sup> ) e percentuais (%) do núcleo urbano do município de Pilar - estado de Alagoas - Brasil .....	68

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

UFAL	Universidade Federal de Alagoas
AHP	Analytic Hierarchy Process
MCDA	Análise Multicritério de Apoio à Decisão
CR	Consistency Ratio
RI	Random Consistency Index
SGI	Sistema de gestão integrada
SIG	Sistema de informação geográfica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA	Instituto do meio Ambiente
SEPLAG	Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
SHP	Shapefile
MDE	Modelo Digital de Elevação
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SEAGRI	Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária, Pesca e Aquicultura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ZAAL	Zoneamento Agroecológico do Estado de Alagoas
TIF	Tagged Image File Format
AFAP	Áreas de Fragilidade Ambiental Potencial
AFA	Áreas de Fragilidade Ambiental
DEC	Declividade
REL	Relevo (Geomorfologia)
ALT	Altitude
UP	Unidades Pedológicas
GEO	Geologia
UCS	Uso e Ocupação do Solo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Teoria dos Sistemas Ambientais .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Ações antrópicas sobre o meio ambiente.....</b>	<b>19</b>
<b>2.3</b>	<b>Fragilidade Ambiental .....</b>	<b>21</b>
<b>2.4</b>	<b>Uso das geotecnologias como ferramenta para os estudos ambientais.....</b>	<b>24</b>
<b>2.5</b>	<b>Processo de análise hierárquica .....</b>	<b>27</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da área de estudo.....</b>	<b>31</b>
3.1.1	Localização e acesso .....	31
3.1.2	Contexto histórico.....	33
3.1.3	Aspectos fisiográficos .....	34
<b>3.2</b>	<b>Materiais utilizados.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3</b>	<b>Procedimentos metodológicos.....</b>	<b>35</b>
<b>3.4</b>	<b>Construção da base de dados e hierarquização dos componentes físico-ambientais e antrópicos .....</b>	<b>37</b>
3.4.1	Mapa de Classes de Declividade .....	37
3.4.2	Mapa de Unidades Geomorfológicas.....	38
3.4.3	Mapa de Classes de Altitude .....	40
3.4.4	Mapa de Unidades Pedológicas.....	40
3.4.5	Mapa de Unidades litológicas .....	43
3.4.6	Mapa de Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal .....	45
<b>3.5</b>	<b>Integração dos dados para geração dos mapas sínteses .....</b>	<b>46</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>4.1</b>	<b>Descrição dos Componentes de Fragilidade.....</b>	<b>49</b>
4.1.1	Declividade.....	49
4.1.2	Unidades Geomorfológicas .....	51
4.1.3	Altitude.....	53
4.1.4	Unidades Pedológicas .....	56
4.1.5	Unidade Litológicas .....	58
4.1.6	Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial do Núcleo Urbano .....	60
<b>4.2</b>	<b>Descrição do Componente Antrópico da Fragilidade Ambiental.....</b>	<b>62</b>
4.2.1	Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal .....	63
4.2.2	Mapa de Fragilidade Ambiental do Núcleo Urbano do município de Pilar – Alagoas - Brasil	67
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a sociedade vem dependendo cada vez mais do uso dos recursos naturais para seu desenvolvimento. No entanto, o avanço tecnológico e os padrões de consumo exacerbados têm levado a uma demanda crescente por esses recursos, resultando em sérios problemas ambientais (CRUZ, PINESE e RODRIGUES, 2010). Estudos indicam que o meio ambiente tem mostrado sinais de desequilíbrio, muitas vezes causados pelas atividades humanas. Conforme Ross (1994), anteriormente, os ambientes naturais mantinham um equilíbrio dinâmico, mas a intervenção humana na exploração dos recursos tem dificultado esse equilíbrio.

Como afirma Spörl e Ross (2004) qualquer alteração nos elementos naturais, como relevo, solo, vegetação, clima e recursos hídricos, pode comprometer a funcionalidade do sistema, rompendo seu estado de equilíbrio dinâmico. Portanto, atividades como desmatamento para agricultura ou pastagem, ocupação desordenada do solo e diversas formas de poluição podem desencadear desequilíbrios e processos erosivos.

Segundo Oliveira (2017), a ideia equivocada do crescimento econômico acelerado na maioria das vezes ocorre pelos procedimentos diferentes que proporcionam a degradação do meio natural e o comprometimento da quantidade e qualidade dos recursos ambientais. Desta forma, os estudos relativos à fragilidade ambiental são de extrema importância, devido à identificação dos ambientes frágeis e de suas potencialidades ambientais que possibilita melhor relocação de recursos e definição das diretrizes e ações a serem criadas ao planejamento ambiental e territorial, contribuindo na melhoria, qualidade e desenvolvimento ambiental e social, fornecendo as informações ao poder público e à sociedade.

O município de Pilar não foge a essa realidade, em especial, o crescimento desordenado pela qual vem passando seu núcleo urbano nos últimos 20 anos, causando a degradação ambiental de transformações, tais como: processos de erosão causados pelo uso de atividades agropecuárias em declividades acima de 15% ou 8,5°, assoreamentos de corpos d'água devido à ausência da mata ciliar, desmatamento, extração de areia por dragagem, esgotos domésticos lançados *in natura*, entre outros agravantes ambientais.

Pode-se citar, por exemplo, as formações pioneiras flúviomarinhas (Manguezais) sobre terraços fluviolagunares, e os remanescentes de floresta ombrófila (Mata Atlântica) que recobrem ainda, pequenas áreas de encostas e tabuleiros, que sofreram e vem sofrendo com as alterações, sejam elas pela retirada da vegetação nativa ou pelo uso monocultura da cana-de-açúcar e pastagens.

Esse estudo partiu da investigação que as ações antrópicas vêm provocando problemas socioambientais no núcleo urbano do município de Pilar, Alagoas estimulando ocupações das áreas inadequadas à população, deteriorando a qualidade de vida e gerando conflitos nas interações decorrentes dessa problemática.

Adotou-se no presente estudo, a proposta metodológica de Ross (1994) que trata da análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, procurando estabelecer as áreas com fragilidade ambiental a partir das interações entre os elementos componentes do meio físico (relevo, solos, litoestrutura, declividade) e o uso e ocupação do solo.

A realização deste trabalho, tendo como área objeto de estudo, o núcleo urbano do município de Pilar, por si só, já se justifica, especialmente devido a existência de ecossistemas diversificados existentes, resultantes das dinâmicas de dissecação fluvial e estrutural (encostas) e deposicionais (flúviolacustre e fluvial). Além disso, ressaltasse a escassez de estudos disponíveis para referido município, que possam identificar, mapear, caracterizar e avaliar áreas que apresentam fragilidade ambiental no seu núcleo urbano, o que torna este trabalho, ainda mais relevante para conhecimento da sua dinâmica ambiental e organização do espaço.

O município de Pilar possui uma importância ambiental e econômica para o estado de Alagoas, especialmente devido a sua localização no entorno do estuário do rio Paraíba do Meio com a laguna Manguaba, o que lhe confere uma característica geográfica única e de ampla relevância para avaliar a fragilidade ambiental no núcleo urbano. Portanto, a realização deste estudo, busca também, preencher essa lacuna de conhecimento, contribuindo assim, para uma melhor compreensão e decorrentes dos impactos ambientais no município.

Desta forma, faz-se necessário a análise da situação atual de suas condições ambientais para que sejam tomadas decisões conscientes e instrumentadas por parte das autoridades responsáveis, a fim de compreender melhor a dinâmica socioambiental do espaço geográfico estudado. Ressalta-se que na referida área de estudo ocorrem alterações significativas na paisagem através do turismo, agricultura e ocupação urbana de forma desordenada que dão origem a pressões na sua organização espacial em suas mudanças e impactos.

O objetivo geral do estudo consistiu em identificar as áreas de fragilidade ambiental no núcleo urbano do município de Pilar, Alagoas, tendo como objetivos específicos: Levantar e organizar uma base de dados geográfica para o referido município e mapear e classificar as áreas potenciais a fragilidade ambiental.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Teoria dos Sistemas Ambientais

Baseado na concepção ecológica das Unidades Ecodinâmicas de Tricart (1977), o ambiente analisado sob o prisma da Teoria de Sistemas é um sistema dinâmico em equilíbrio na qual as trocas de energia e matéria ocorrem entre seus componentes. Entretanto, a intervenção humana nos sistemas naturais pode gerar desequilíbrios, resultando nos impactos ambientais temporários ou permanentes. Para avaliar a fragilidade ambiental, é necessário analisar os sistemas naturais de forma integrada, levando em consideração a interação entre os elementos físico-bióticos e as a intervenção pelas atividades humanas, permitindo entender assim, como estas afetam o equilíbrio do sistema (VALLE; FRANCELINO; PINHEIRO, 2016).

Já a Teoria Geral dos Sistemas, proposta por Sotchava (1977 e 1978) utiliza o conceito de paisagem, especialmente paisagens naturais para relacioná-la ao geossistema. No Brasil, o conceito de Geossistemas foi apresentado por Bertrand em 1971 e posteriormente desenvolvido por Tricart em 1977. Para Tricart, Geossistemas são conjuntos de fenômenos que surgem a partir de fluxos de matéria e energia, tendo uma nova relação integrada e dinâmica. Bertrand, por sua vez, incorpora a ação humana como uma categoria espacial no conceito de Geossistemas, afirmando a interação entre o potencial ecológico, a exploração biológica e a ação antrópica (SILVA, 2014).

O Geossistemas é uma categoria de análise da paisagem que considera a escala espacial e temporal em que ocorrem as interações entre os componentes da paisagem. Portanto, o Geossistemas é compreendido como uma unidade funcional e integrada da paisagem, onde os componentes físicos, bióticos e humanos interagem para gerar os fenômenos ambientais que observamos (TRICART, 1977).

Para Bertrand (2004) a concepção de paisagem é como uma combinação dinâmica entre os elementos físicos e antrópicos e é fundamental para entendermos as transformações do espaço geográfico. Não sendo apenas uma simples adição dos elementos geográficos, mas sendo uma determinada porção do espaço, resultado da combinação dinâmica, deste modo instável aos elementos físicos, biológicos e antrópicos que fazem da paisagem um conjunto único e indissociável em evolução. Desta forma, permitindo compreender que a paisagem é fruto das interações complexas e contínuas entre a natureza e sociedade.

Já para Suertegaray (2018), a integração dos aspectos naturais e da ação antrópica na análise da paisagem é fundamental para uma compreensão mais abrangente do território,

considerando as relações histórico-dialéticas. Assim, implica em compreender as transformações decorrentes das relações sociais, políticas e econômicas que ocorrem em determinado contexto, bem como suas implicações na organização espacial do território. Dessa forma, a análise da paisagem deve ser realizada de forma crítica e reflexiva, considerando as múltiplas dimensões que a constituem e as complexas relações que se estabelecem entre elas.

A paisagem alterada é um espaço produzido, no qual o relevo serve de suporte físico ou recurso, em que as diferentes formas de ocupação refletem o momento histórico, econômico e social. Portanto, o relevo e seu modelado representam o fruto da dinamicidade entre os processos físicos e os agentes sociais atuantes, que ocorrem de modo contraditório e dialético a partir da análise integrada das relações processuais de uma escala de tempo geológica para escala (NUNES, 2002, p.31 apud NUNES et. al. 2022, p.91).

Para Silva (2000) a perspectiva sistêmica pode ser aplicada na análise ambiental, resultando na definição do ambiente como um sistema. Essa visão não contradiz outras definições baseadas em características dinâmicas do ambiente, como a que considera a interação entre fatores físicos, bióticos e socioeconômicos como determinante para sua caracterização e como um fenômeno perceptível.

De acordo com Nunes et al. (2022), esses modelos são resolvidos de acordo com a sua distribuição territorial. Isso significa que os modelos ambientais são uma visão de conjunto que permite entender como esses fatores interagem entre si e como sua distribuição geográfica influencia a realidade ambiental.

Em outras palavras, a perspectiva sistêmica permite enxergar o ambiente como um conjunto de elementos interconectados e interdependentes que vai interagir entre si e influencia a dinâmica do sistema como um todo, reconhecendo que os elementos do ambiente estão em constante interação e que suas ações e reações afetam uns aos outros. Assim, a definição do ambiente como um sistema reflete essa interdependência entre seus elementos e a complexidade das interações que ocorrem entre eles (SILVA, 2000).

Ainda acompanhando o pensamento de Silva (2000), o conceito de ambiente como um sistema vai além da compreensão dos processos geradores de fenômenos ambientais, pois também exige a identificação de características importantes, como a posição geográfica, a extensão territorial e as relações espaciais e funcionais. De acordo com Chorley e Kennedy (1971) citado por Silva (2000, p.7) definem os sistemas como “[...] um conjunto estruturado de objetos e/ou atributos, que apresenta limites, partes componentes, funções internas e externas”.

Portanto, aceitar a ideia de ambiente como um sistema implica em considerá-lo

como um conjunto estruturado dos elementos e atributos que interagem entre si e possuem as funções internas e externas específicas. Dessa forma, a aplicação da visão sistêmica na análise ambiental permite uma compreensão mais profunda e precisa dos fatores que influenciam o ambiente e como eles se relacionam entre si, sendo essencial para a gestão, preservação do meio ambiente e do planejamento para entender a realidade ambiental e das ações que promovam a sua preservação.

## **2.2 Ações antrópicas sobre o meio ambiente**

A paisagem é um elemento crucial para entender as mudanças ocorridas no tempo e nos espaços que vai resultar nas relações entre a sociedade e a natureza que são mediadas pelas ações humanas. Quando falamos sobre essas ações humanas, é importante destacar a compreensão do termo "antrópico", que se refere às atividades e intervenções realizadas pelos seres humanos na natureza.

De acordo com Nunes et al. (2022), o termo "antrópico" na língua portuguesa se refere às atividades humanas e suas modificações na Terra. No entanto, esse termo não distingue entre diferentes tipos de seres humanos, suas características, técnicas, conhecimentos, culturas, classes sociais ou poder aquisitivo. As ações antrópicas são realizadas por indivíduos sociais, ou seja, as modificações na superfície terrestre são resultado de relações sociais históricas que determinam a forma como as pessoas interagem com a natureza. Portanto, não se podem ignorar as determinações sociais das ações antrópicas, pois isso pode levar à redução dos significados e intenções das alterações na paisagem.

As ações antrópicas, têm um impacto significativo sobre o meio ambiente e que desde a Revolução Industrial, essas atividades têm transformado as paisagens em diferentes escalas, tanto nos ecossistemas aquáticos quanto terrestres. Ainda segundo Nunes et al. (2022) as ações antrópicas aumentaram a quantidade de gases de efeito estufa na atmosfera, o que contribuiu para o aquecimento global e as mudanças climáticas. Essas mudanças aceleram ainda mais os amplos processos de degradação ambiental e comprometem a recuperação e a resiliência das paisagens ao interferir nos seus processos metabólicos.

Para Sporn (2007), uma das variáveis a serem examinadas deve ser o uso da terra nas relações das características do relevo e do solo, pois as diversas funções do uso acabam provocando os diferentes processos sobre o meio natural, gerando o desequilíbrio. Assim, os compartimentos geomorfológicos apropriados e ocupados pela população, esculturam a partir das construções e edificações com os diversos usos. No momento que a população interfere na dinâmica da natureza, por meio da apropriação e ocupação do relevo, muda-se todo o

comportamento dos diferentes processos, tais como, escoamento, infiltração, intemperização entre outros.

Conforme Miyazaki e Correia (2014), a exclusão e degradação ambiental nas cidades encontram-se conectados, pois as áreas mais carentes são aquelas cuja população se encontra nas situações mais de vulnerável, devido à ausência ou ineficiência das infraestruturas, causando as condições de riscos para a população, principalmente se os mesmos estiverem ligados diretamente com os períodos chuvosos mais intensos que atinge as áreas de ocupações irregulares e favelas, principalmente aquelas instaladas em vertentes íngremes ou em fundos de vales.

Da mesma forma que as ações antrópicas interferem no uso do solo e relevo, não é diferente na aparência da paisagem ao observar os seus elementos visíveis, fazendo com que se percebam os diferentes componentes sociais e naturais, principalmente causado pela variação da desigualdade social presente. Os problemas ambientais são manifestados de maneira desigual no espaço urbano e na paisagem, afetando mais significativamente os ambientes urbanos ocupados pelas classes sociais menos favorecidas, enquanto que as classes mais favorecidas sofrem menos com esses problemas. Essa desigualdade resulta em contradições e diferentes formas nos impactos socioambientais.

Ainda de acordo com Miyazaki e Correia (2014), a ocupação e uso do relevo pela sociedade para finalidades diversas podem interferir de modo direto nos processos naturais que o modelam, tais como os hidrológicos, geológicos e pedológicos. Esse impacto acarreta a formação de diversas formas de uso cultural do relevo, que são definidas pelos agentes responsáveis por sua utilização para diferentes fins, como por exemplo, construções residenciais, comerciais ou de lazer. Esse espaço é percebido como um bem de mercado que pode ser comercializado. O valor atribuído às estruturas do relevo pode variar de acordo com a disponibilidade de infraestrutura e com os interesses que operam o espaço urbano.

Para Nunes et al. (2022), os recursos naturais estão cada vez mais sendo explorados de maneira excessiva, sem levar em conta sua capacidade de renovação e que é uma consequência da manutenção do estilo de vida consumista que busca cada vez mais extrair recursos naturais, evoluindo a degradação e modificando as formas tanto em áreas rurais quanto urbanas. E é na paisagem que conseguimos identificar as modificações que exhibe marcas e vestígios decorrentes da intervenção humana sobre os elementos físicos. Nesse contexto social e histórico, a ação humana promove e intensifica os processos morfodinâmicos, gerando interferências, vulnerabilidades e fragilidade na paisagem alterada.

Segundo Silva e Santos (2018), a atual crise urbana em curso vai impor desafios

para o desenvolvimento das políticas sociais e que faz se necessário conhecer a dinâmica do espaço através do crescimento da população e das realocações que ocorre no território, compreendendo assim as necessidades e das condições de vida para que desta maneira, os gestores e planejadores através das ações públicas possam colocar em práticas as ações das políticas adotadas para amenização dos impactos que possa acontecer, devido à ocupação desordenada.

No entanto, os danos causados pelas ações antrópicas, podem ser revertidos através do desenvolvimento das tecnologias mais limpas e das adoções de práticas voltadas para a conscientização da população sobre a importância da conservação ambiental, tornando medidas que podem ajudar a mitigar os efeitos negativos das atividades humanas sobre o meio ambiente. Desta maneira, faz de importância ressaltar que o meio ambiente é um recurso finito e que a sociedade depende dele para que possa manter a própria sobrevivência.

### **2.3 Fragilidade Ambiental**

Vários autores têm discutido o sentido e abrangência do conceito de fragilidade ambiental, buscando aplicá-lo em diferentes estudos, verificando a eficácia e eficiência da integração nas pesquisas. Segundo Ross (1994), a análise da fragilidade exige um estudo integrado dos elementos dos seus componentes do estrato geográfico, assim dando suporte à vida animal e ao homem, os quais analisados e inter-relacionados, sendo gerado o produto analítico-sintético que retrata a situação da área de estudo. Diante disso, as sociedades humanas não devem ser tratadas como elementos estranhos à natureza, mas precisam ser vistas como parte fundamental para o dinamismo dessa relação de natureza e homem, fazendo parte como um todo.

A definição dos Conceitos de Fragilidade Ambiental dada por Ross (1994) se dá a partir dos conceitos, preconizadas por Tricart (1977), pois não se trata apenas de um conceito, mas de uma metodologia baseada na dinâmica dos ecótopos, a qual Tricart denominou Ecodinâmicas e que é exemplificada a partir de meios morfodinâmicos que sofreram intervenções antrópicas e modificaram intensamente os ambientes naturais e aqueles representados pelas características naturais e que os deixam frágeis diante dos processos morfogenéticos.

Conforme o entendimento de Miyazaki e Correia (2014), o conceito de fragilidade pode ser visto como algo que seja passível de quebrar, romper, de partir, de se tornar instável e relacionando-o com os estudos geográfico-geomorfológicos, sendo possível perceber que a fragilidade está diretamente ligada aos ambientes naturais e ao estado em que se encontra a

dinâmica dos processos naturais, apresentando as características particulares dos componentes que os compõem (relevo, rocha, clima e solo) e que os classificam como frágeis.

Para Souza et al. (2020) entender a concepção, a aplicação e o alcance dos estudos de fragilidade ambiental é fundamental para a busca do equilíbrio entre economia e meio ambiente. De acordo com Santos (2015) apud Souza et al. (2020) as pesquisas voltadas para a temática dos princípios da ecodinâmica, como os estudos de fragilidade, têm como objetivo principal, a classificação dos ambientes para que as intervenções antrópicas realizadas estejam de acordo com as potencialidades e limitações dos recursos naturais à ocorrência de riscos ambientais.

Segundo Nunes et al. (2022) a fragilidade se refere ao grau de suscetibilidade ao dano de determinado elemento ou de uma paisagem ante a incidência de determinadas ações. E que podem ser entendidas também como áreas frágeis aquelas que possuem características especificamente sensíveis aos impactos ambientais adversos, de baixa resiliência e pouca capacidade de recuperação.

De acordo com Sporn e Ross (2004), os estudos de fragilidade ambiental proporcionam melhor definição das diretrizes e ações a serem implantadas no espaço físico-territorial, servindo de base para o zoneamento ambiental e fornecendo subsídios à gestão e ao planejamento territorial de caráter ambiental. E associado ao conceito de ecossistema, enfoca as relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e os fluxos de energia- matéria no meio ambiente.

Em concordância com Nunes et al. (2022) para iniciar uma análise aprofundada de uma paisagem, é importante discutir a sua fragilidade ambiental. E essa análise precisa levar em conta tanto os elementos naturais quanto antrópicos da área de estudo, o que permite uma compreensão mais ampla e complexa que pode ser expressa pelo conceito de vulnerabilidade. Em resumo, a discussão sobre a fragilidade ambiental é fundamental para se entender a vulnerabilidade de uma paisagem e realizar estudos mais completos e precisos dos seus múltiplos aspectos.

Existem autores que empregam o conceito de fragilidade como sinônimos de vulnerabilidade e segundo Tamanini (2008), a fragilidade ambiental diz respeito à vulnerabilidade do ambiente que sofre qualquer tipo de dano, estando diretamente relacionada com os fatores de desequilíbrio natural e antropogênico, como por exemplo, do mau uso do solo e as intervenções em processos naturais. E de acordo com Miyazaki e Fushimi (2017), a vulnerabilidade é um conceito utilizado por diferentes áreas do conhecimento, sejam eles relacionados aos ambientes naturais, grupos sociais ou até mesmo abrangendo ambos os

aspectos, na forma de análises socioambientais.

Em seus estudos, Tricart observou que o ambiente se mantém em equilíbrio dinâmico com relações naturais de troca e sugeriu um modelo de avaliação dos graus de instabilidade usando informações sobre pedogênese e morfogênese (TRICART, 1977). Assim realizou a distinção de três grandes meios morfodinâmicos em função dos processos atuais:

- a) Meios Estáveis: são caracterizados por um modelado que evolui de modo constante e lento, contribuindo para a permanência no tempo de combinações de fatores;
- b) Meios Intergrades: são caracterizados pela transicionalidade entre os meios instáveis e estáveis, no qual há um relativo equilíbrio entre os processos pedogenéticos e morfogenéticos;
- c) Meios Fortemente Instáveis: são caracterizados pela predominância da morfogênese, determinando um sistema natural aos quais outros elementos estão subordinados.

Fundamentada no conceito das Unidades Ecodinâmicas de Jean Tricart publicados em 1977, Jurandy Ross em 1994 publica seu estudo que adaptou esse modelo com informações sobre intervenção humana, geomorfologia, solos, cobertura vegetal e clima e estabeleceu importância diferente para cada variável, com o objetivo de orientar estudos integrados aplicados ao planejamento territorial ambiental (ROSS, 1994). Desta forma, visando uma maior aplicabilidade para subsidiar o planejamento ambiental, aperfeiçoaram-se os conceitos integrando ao conceito de fragilidade ambiental, destacando dois termos distintos envolvidos:

- a) Estáveis (Fragilidade Potencial): são aqueles caracterizados pelo equilíbrio dinâmico e foram poupadas da ação humana, encontrada em seu estado natural;
- b) Instáveis (Fragilidade Emergente): são aqueles caracterizados pelas intervenções antrópicas que modificaram intensamente os ambientes naturais através dos desmatamentos e prática de atividades econômicas diversas.

Para que estes conceitos pudessem ser utilizados como subsídios ao planejamento ambiental, Ross (1994) estabeleceu para as subcategorias uma categorização a partir dos dois grandes grupos de unidades ecodinâmicas que são as “Unidades Ecodinâmicas de Instabilidade Potencial e as de Instabilidade Emergente”, na qual cada unidade apresenta subdivisões em graus que variam desde muito fraca a muito forte e para cada um dos parâmetros analisados são estabelecidas classes de fragilidades, conforme o estudo individual

de suas características, tendo seus pesos de 1 a 5 para cada parâmetro de conformidade com a classificação.

Oliveira (2017) aborda a relação entre a fragilidade ambiental e o potencial de uso das áreas para que sejam tomadas as decisões adequadas de gestão ambiental, onde as áreas com fragilidades muito baixa têm um grande potencial para serem utilizadas de várias maneiras, enquanto as áreas com alta fragilidade ambiental têm um baixo potencial para serem usadas de forma produtiva. Essa separação é baseada na possibilidade de intervenção humana nessas áreas que estão em equilíbrio dinâmico.

Para Schiavo et al. (2016), a fragilidade potencial de uma determinada área é conceituada como sendo a suscetibilidade natural de um ambiente em função de suas características físicas como a declividade, índice de pluviosidade, tipo de solo, entre outros, enquanto que a fragilidade ambiental além de considerar as características físicas, contempla também, os graus de proteção dos diferentes tipos de uso e cobertura vegetal e do território sobre o ambiente, conforme a metodologia aplicada.

Em síntese, a fragilidade potencial, representa fatores intrínsecos à paisagem, enquanto a fragilidade ambiental considera representar também a cobertura da terra e intervenções humanas. Assim o mapeamento da fragilidade ambiental possibilita uma avaliação integrada das potencialidades do ambiente, incluindo a análise das condições físicas naturais e das atividades humanas que nele ocorrem. Dessa forma, é possível embasar a tomada de decisões e promover uma gestão adequada e sustentável dos recursos naturais.

Assim sendo, o mapa de fragilidade ambiental consiste em um zoneamento do território que considera diferentes níveis hierárquicos de fragilidade, que indicam as áreas mais sensíveis às mudanças na dinâmica natural existente. Para ser eficaz, o planejamento do uso e ocupação do solo deve levar em conta a vulnerabilidade do ambiente à degradação, acompanhando os processos que afetam diretamente a oferta de serviços e recursos ambientais, como a erosão do solo, o assoreamento de cursos d'água e a perda de biodiversidade (VALLE, FRANCELINO, PINHEIRO, 2016).

#### **2.4 Uso das geotecnologias como ferramenta para os estudos ambientais**

A história da tecnologia ganhou novos rumos a partir do século XVIII junto com a primeira Revolução Industrial na Inglaterra que permitiu os surgimentos das novas tecnologias e inovações e esse processo histórico mudou o cenário mundialmente, com a produção de produtos bem mais rápidos e barato. Já a segunda Revolução Industrial tem o seu início na segunda metade do século XIX, entre 1850 e 1870, sendo representada pelo o início

de um novo período da industrialização que ocorreu na Inglaterra, porém sendo expandido para os outros países, alcançando um novo patamar na questão do desenvolvimento humano no quesito aos avanços tecnológicos e na abertura de novas indústrias.

Segundo Rosa (2013) a observação e a representação da superfície terrestre têm apresentado fator relevante na organização e no desenvolvimento das sociedades e que até meados dos anos 1950, os documentos, cartas e mapas eram elaborados de forma analógica, impossibilitando as análises mais precisas e detalhadas. Mas nos anos de 1970, com a evolução da tecnologia da informática e do sensoriamento remoto, torna-se possível obter, armazenar e representar informações geográficas em ambiente computacional.

Para Santos (2015) relatam que com o propósito de analisar o espaço geográfico por meio de técnicas computacionais, fez com que surgisse uma nova área da ciência, definida como Geotecnologia e o que antes eram consideradas tarefas demoradas e realizadas com dificuldade, tornam-se atividades que podem ser realizadas rapidamente e com melhores resultados. Ainda segundo Rosa (2013), as geotecnologias pode ser um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica. E destaca-se dentre as suas ferramentas a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e o Sistema de Informação Geográfica (SIG).

A cartografia digital pode ser entendida como sendo a tecnologia destinada à captação, organização e desenho de mapas, visando à representação gráfica da realidade geográfica através da computação, enquanto que para os sistemas de informação geográfica são os sistemas destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referenciados espacialmente. E para o geoprocessamento pode ser definido como o conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de informações espaciais e embora estas atividades sejam diferentes elas estão intimamente inter-relacionadas (ROSA, 2013).

A utilização do geoprocessamento possibilita a integração e a análise de uma grande quantidade de informações em estudos ambientais. Esse processo envolve a colaboração de profissionais especializados, conhecimentos técnicos, Sistemas de Gestão Integrada (SGI) e informações georreferenciadas. Essa abordagem permite a geração de várias geoinformações, que são resultados do cruzamento de dados em ambiente digital. O uso do geoprocessamento proporciona a otimização de recursos e tempo, bem como maior precisão nas análises ambientais, sendo, por isso, um dos elementos fundamentais nesse contexto (OLIVEIRA, 2017).

Para Rosa (2013), o SIG pode ser definido como um sistema destinado à

aquisição, armazenamento, manipulação, análise, simulação, modelagem e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias. O objetivo geral de SIG é, portanto, servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando:

- Integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região;
- Permitir a entrada de dados de diversas formas;
- Combinar dados de diferentes fontes, gerando novos tipos de informações;
- Gerar relatórios e documentos gráficos de diversos tipos, etc.

Para França (2018), dentre as aplicações dos SIGs na análise ambiental, destaca-se as atividades de Mapeamento Temático, Diagnóstico Ambiental, Avaliação de Impactos Ambientais, Ordenamento e Gestão Territorial e Prognósticos Ambientais que são ferramentas essenciais para compreender e gerenciar o ambiente. Por meio do geoprocessamento, essas análises espaciais possuem diversas aplicações, oferecendo informações valiosas para ações de manejo e planejamento ambiental, além de identificar mudanças na paisagem e conflitos relacionados ao uso do solo, fornecendo subsídios fundamentais para tomar decisões e promover uma gestão adequada dos recursos naturais.

O Geoprocessamento, segundo Andrade (2016) auxilia, especialmente, no planejamento e na gestão por permitir uma visão holística da realidade de forma sistematizada, considerando as inter-relações dos diferentes componentes e entidades que a constitui. Já o SIG, corresponde ao principal componente do geoprocessamento, pois detém recursos de processamento e análise de dados espacializados que proporcionam o gerenciamento do espaço de maneira eficaz e acurada.

Desta forma, podemos entender que o geoprocessamento resume apenas ao armazenamento eletrônico dos dados espaciais e a sua análise integrada, enquanto que os SIG potencializam a aquisição, elaboração e análise das informações e que através do desenvolvimento dos SIGs, as ferramentas de geoprocessamento vêm sendo muito utilizado nos trabalhos relacionados a dados espaciais, pois possibilita a extração das informações necessárias, direto de um computador, sem precisar da ida ao campo nos casos que não seja necessário.

Assim compreende que o uso das geotecnologias constitui importante ferramenta no gerenciamento e planejamento dos recursos naturais, pois permite avaliar a área a ser estudado, organizar e manipular tanto dados vetoriais quanto matriciais dentro de um banco

de dados georreferenciados. Possibilitando que sejam trabalhados todos os conjuntos de dados da natureza e das fontes diversas para as análises mais diversificadas e integradas, promovendo o suporte e a identificação na paisagem, onde se encontra a heterogeneidade dos diferentes fatores naturais e antrópicos que modificam as suas formações nos diferentes usos e ocupação.

## 2.5 Processo de análise hierárquica

O *Analytic Hierarchy Process (AHP)* é amplamente reconhecido como um dos métodos mais utilizados na Análise Multicritério de Apoio à Decisão (MCDA) ou Análise de Decisão com Múltiplos Critérios. Trata-se de um conjunto de técnicas matemáticas que permite considerar várias variáveis ao tomar decisões em situações complexas. No contexto das geotecnologias, o *AHP* é utilizado como uma alternativa para avaliar a importância de cada variável em relação a um determinado objetivo, ajudando a reduzir inconsistências na avaliação por meio de abordagens matemáticas.

No contexto das geotecnologias, o *AHP* é uma ferramenta valiosa para avaliar a importância de diferentes variáveis em diversas aplicações, ajudando a tomar decisões mais informadas e eficazes. Para Medeiros (2012) o método pode ser aplicado em diversas situações, podendo ser utilizado para definir áreas mais adequadas para a implantação de empreendimentos, realizar análises de risco ambiental, planejar o uso do solo e realizar análises de sensibilidade ambiental. Essas aplicações se beneficiam da capacidade do *AHP* de considerar múltiplos critérios, ponderar a importância relativa de cada critério e realizar uma análise sistemática e estruturada.

Segundo Boas (2006), a gestão ambiental é definida como o processo de tomada de decisão de caráter multidisciplinar que visa ordenar, de forma positiva, as intervenções humanas, com o menor impacto possível que envolve um processo de tomada de decisão que considera diversas disciplinas, com o objetivo de organizar as intervenções humanas de forma positiva e com o menor impacto possível. De maneira semelhante, de acordo com Vieira et al. (2015), o apoio à decisão é uma atividade que se baseia na utilização de modelos lógicos ou matemáticos para buscar respostas às questões de interesse da sociedade, expressando uma preferência por uma alternativa em relação a outra.

O método *AHP* é uma abordagem de apoio à decisão que surgiu nos Estados Unidos e foi criada por Thomas Saaty na década de 70. Seu objetivo principal é ajudar na tomada de decisões por meio da combinação de princípios matemáticos e psicológicos. Inicialmente, o método foi aplicado em contextos militares e empresariais para planejar ações

em situações de contingência, alocar recursos escassos, resolver conflitos e garantir a participação política em acordos negociados (TRAMARICO, MARINS e SALOMON, 2010). Este método decompõe o problema em níveis hierárquicos, determina uma medida global para cada alternativa através da síntese dos valores dos agentes de decisão, classificando-as ou priorizando-as.

O *AHP* é uma ferramenta muito útil na hierarquia dos princípios e critérios. Ele aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema dentro de uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica (BOAS, 2006). Ainda segundo Boas (2006), o método *AHP* é flexível e capacita as decisões a se adequarem às constantes mudanças, que são típicas de problemas complexos e dinâmicos, e facilita a análise e a sintetização das informações. Segundo Vieira et al. (2014), os resultados obtidos vão depender do conjunto de ações consideradas, da qualidade dos dados, do peso atribuído a cada critério, do modelo utilizado, da organização dos critérios e da participação dos atores.

Para Silva e Belterrain (2009), uma vez que os critérios forem hierarquicamente divididos, o tomador de decisão precisa realizar uma comparação em pares de cada elemento do nível hierárquico. Isso resulta na criação de uma matriz quadrada recíproca positiva, conhecida como matriz dominante (Figura 1). Essa matriz dominante reflete o número de vezes em que uma alternativa domina ou é dominada pelas demais, sendo que as alternativas são comparadas uma a uma em relação às outras.

Figura 1 - Exemplo de Matriz Quadrada Dominante

<b>Alternativas</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>A</b>	1	9	7
<b>B</b>	1/9	1	3
<b>C</b>	1/7	1/3	1
<b>Σ</b>	<b>1,25</b>	<b>10,33</b>	<b>11,00</b>

Fonte: Briozo e Musetti (2015) apud Couto (2019)

Para realizar as comparações é necessário o conhecimento prévio relativo à importância dos elementos, para assim fazer os julgamentos corretos e equilibrados. A calculadora *AHP* converte esses julgamentos em valores numéricos que podem ser

comparados entre si, permitindo uma integração adequada dos mapas e das variáveis, considerando a importância de cada uma para compreender o fenômeno em análise.

A escala recomendada por Saaty (1991), mostrada no quadro 1, vai de 1 a 9, com 1 significando a mesma importância de um critério em relação ao outro, e 9 significando a extrema importância de um critério sobre outro estágios intermediários de importância entre esses níveis 1 e 9.

Quadro 1 - Escala de Importância de Saaty

Valores de Importância	Definição	Explicação
1	Mesma Importância	Contribuição equiparada para o objetivo.
3	Importância Moderada	Um objetivo ligeiramente favorável em detrimento de outro.
5	Alta Importância	Um objetivo fortemente favorável em detrimento de outro.
7	Importância Muito Alta	Um objetivo muito fortemente favorável em detrimento de outro; domínio demonstrado na prática.
9	Importância Extrema	É a maior ordem de afirmação possível de um objetivo em detrimento de outro.
2, 4, 6, 8	Valores Intermediários de Importância	Possível necessidade de se interpolar julgamentos numéricos.

Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

É importante notar que o elemento mais importante da comparação é sempre usado como um valor inteiro da escala, e o menos importante, como o inverso dessa unidade. Se o elemento linha é menos importante do que o elemento-coluna da matriz, entramos com o valor recíproco na posição correspondente da matriz. Devido à relação de reciprocidade e à necessidade de consistência entre duas atividades ou critérios, os recíprocos dos valores acima de zero são inseridos na matriz criada quando uma comparação entre duas atividades já foi realizada. A seguir é apresentado o exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos de acordo com o método AHP.

Figura 2 - Exemplo do preenchimento da matriz de julgamentos pelo método AHP

Matriz A				
Iluminação	A	B	C	D
A	1	5	6	7
B	1/5	1	4	6
C	1/6	1/4	1	4
D	1/7	1/6	1/4	1

Fonte: Maxwell, PUC - RIO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> <https://shre.ink/H1FY>. Acesso em: 26/05/2023

As posições da diagonal serão sempre 1, afinal, um elemento é igualmente importante a ele mesmo. Para preencher os outros elementos da matriz fora da diagonal, fazem-se os julgamentos e determina-se a intensidade de importância de acordo com o quadro 1, que apresenta a escala de comparações empregadas no método. Para as comparações inversas, isto é, na parte inferior esquerda da matriz, colocam-se os valores recíprocos dos da parte superior direita da mesma.

No caso da Matriz A, observa-se pela parte superior direita que todos os elementos-linha eram mais dominantes do que os elementos-coluna, pois todas as posições estão com números maiores que 1. Lê-se: A é 5 vezes mais dominante do que B e 6 vezes mais dominante do que C. A consistência da matriz deve ser garantida, a partir de uma quantidade básica de dados, todos os outros podem ser logicamente deduzidos. Se A é 5 vezes mais dominante do que B, e A é 6 vezes mais dominante que C, então  $A=5B$  e  $A=6C$ . Logo,  $B/C = 6/5 =$  posição (B, C). Portanto, se o julgamento da posição (B, C) for diferente de  $6/5$ , então a matriz é inconsistente, como ocorre na Matriz A.

Das Matrizes são calculados os autovetores máximos e os autovalores máximos (ou “lâmbda”  $\lambda_{max}$ ). Os autovetores se dão pela somatória dos pesos da avaliação. Após essa etapa, procede-se ao cálculo da matriz de comparação em pares normalizada, em que cada elemento da matriz original é dividido pela soma dos pesos da avaliação. Em seguida, para obter o autovetor máximo, realiza-se a divisão do somatório das linhas da nova matriz normalizada pelo somatório total. O próximo passo é calcular o autovalor máximo, o qual é obtido através da multiplicação da matriz original (COUTO, 2019).

De acordo com Briozo e Musetti (2015) e Couto (2019), após o cálculo do autovalor, é verificado o índice de Consistência, que avalia a consistência das comparações realizadas. É desejável que esse índice seja inferior a 0,20. Por fim, é calculada a Razão de Consistência (CR - *Consistency Ratio*), que leva em consideração um erro aleatório relacionado à ordem da matriz, expresso pelo Índice de Consistência Aleatório (RI - *Random Consistency Index*) estabelecido para matrizes de ordem de 1 a 10. É recomendado que, caso a Razão de Consistência seja superior a 0,10, a avaliação do avaliador seja revisada.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área de estudo

##### 3.1.1 Localização e acesso

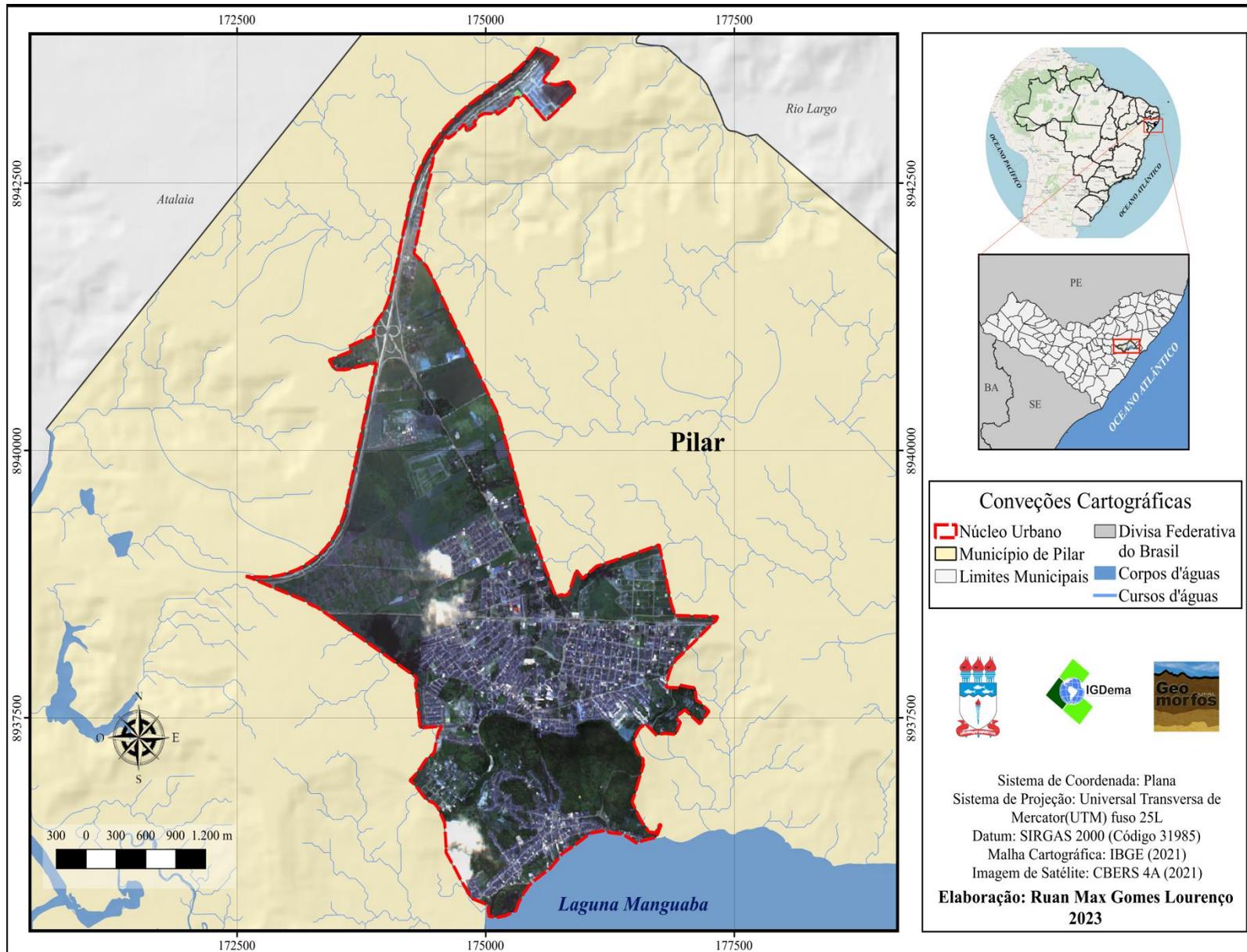
De acordo com Andrade (2016) o espaço geográfico possui a sua materialidade, se expressando nas determinadas áreas das superfícies terrestres, fazendo com que seja necessária a definição ou delimitação do recorte espacial que deseja estudar, não sendo feito de maneira arbitrária, mas alinhado a necessidade metodológica diretamente pautada aos pressupostos teóricos admitidos no estudo.

Para isso, definiu-se a área de estudo o Núcleo Urbano do município de Pilar (Figura 3), que tem sua área total de 11,865 km<sup>2</sup>, localizado entre os paralelos 9° 32' 37.82" e 9° 36' 57.55"S de lat. S e os meridianos 35° 57' 13.36" e 35°57'34.68" de long. W de Greenwich. A coordenada geográfica central do seu núcleo urbano, está localizada pelo paralelo 09°35'49,2" de lat. S e 35°57'25,2" de long. W de Greenwich. O município de Pilar está localizado no estado de Alagoas, região Nordeste do Brasil, abrangendo uma área de 259,614 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021).

A altitude varia de 0m nas proximidades da laguna Manguaba e 200 m no topo dos tabuleiros. O município limita-se ao norte com os municípios de Atalaia e Rio Largo; Ao sul com os municípios de São Miguel dos Campos e Marechal Deodoro; A leste com os municípios de Satuba, Santa Luzia do Norte e Coqueiro Seco e a Oeste com o município de Boca da Mata (IBGE, 2021).

O principal acesso ao núcleo urbano do município de Pilar a partir de Maceió (capital do estado de Alagoas) é realizado por meio da rodovia pavimentado BR-316 com percurso em torno de 37 km. O município de Pilar, juntamente com os municípios de Rio Largo, Marechal Deodoro, São Miguel dos Campos, Barra de São Miguel, Barra de Santo Antônio, Messias, Satuba, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte e Paripueira, compõe a Região Metropolitana de Maceió.

Figura 3- Mapa de Localização do Núcleo Urbano do Município de Pilar - Alagoas - Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

### 3.1.2 Contexto histórico

Relatam os historiadores que a cidade do Pilar surgiu no século passado de um engenho que pertenceu ao espanhol José de Mendonça Alarcão Ayala, ancestral do Barão de Mundaú. Em 1854, foi criada a freguesia do Pilar e com o progresso, foi elevada à categoria de vila em 1857. Em março de 1872, a lei 624 garantiu autonomia administrativa. Em 1944, o nome de Pilar foi mudado para Manguaba pelo fato da laguna ser o principal acidente geográfico do município e em 1949 voltou a se denominar Pilar (IBGE, 2021).

No Pilar, registrou-se a última execução de pena de morte no Brasil, depois que o escravo Prudêncio, pertencente a João Lima e outros dois escravos Vicente e Francisco se uniram e resolveram matar os patrões. Isso levou o Imperador D. Pedro II, ao encontrar autorizar o enforcamento de Prudêncio. A visita de D. Pedro II ao Pilar é considerada um dos mais importantes fatos históricos da cidade e da região (IBGE, 2021).

A cidade do Pilar já foi considerada a terceira mais desenvolvida de Alagoas, levando em função a sua fluidez de capital através da produção de açúcar e a circulação de mercadorias via laguna. Com o fim do modal lacustre, a cidade perde seu papel regional de entreposto e o poder econômico até a segunda metade do século XIX. Assim, os engenhos e, posteriormente, as usinas (Usina Terra Nova, no caso de Pilar) influenciam bastante na dinâmica das cidades do leste alagoano, em vista da lógica extensiva da monocultura canavieira (DANTAS, 2019).

Destaca-se que a expansão do cultivo de cana-de-açúcar trouxe um significativo avanço para o município do Pilar, ampliando o seu território corporativo, tais como: construções de conjuntos habitacionais, com o apoio do município por meio de concessão de lotes que, no passado, eram ocupados por empresas sucroalcooleiras. Cabe salientar que esta ação acaba se tornando um jogo de interesse das partes envolvidas (SILVA, 2020).

No que diz respeito aos bairros, a cidade é formada organizada pelo: o Auto da Rosa, Engenho Velho, Torrão, Pernambuco Novo, Centro e Chã do Pilar. Os quais, historicamente foram surgindo com a implantação de um engenho de açúcar, sendo assim construídos os primeiros bairros, Engenho Velho, Centro e Pernambuco Novo, onde se concentravam a população urbana e as atividades econômicas. Já em relação ao bairro Torrão, a principal característica dos moradores são as atividades de cata e pesca na laguna Manguaba. E por último, construiu-se o bairro de Chã do Pilar (SILVA, 2020), onde atualmente se concentra a maior quantidade populacional e que tem tido crescimento em sua economia e na extensão territorial.

### 3.1.3 Aspectos fisiográficos

O município é banhado pela laguna Manguaba, que se encontra localizada na sua porção sul, abrangendo uma área de aproximadamente 42 km<sup>2</sup>. O município é banhado também pelos cursos d'água das bacias hidrográficas dos rios Sumaúma, Paraíba do Meio que banha a porção central do município e tem como principal afluente, o riacho Tangi e outros riachos menores que fazem parte da bacia do Complexo Estuarino-Lagunar Mundaú-Manguaba. O padrão de drenagem predominante dos cursos d'água dessas bacias hidrográficas é do tipo pinado com variação para o dendrítico. (MASCARENHAS, BELTRÃO e SOUZA, 2005).

Ainda segundo esses autores, o clima predominante no município, segundo a classificação de Thornthwaite é do tipo megatérmico sub-úmido com excedente hídrico no inverno e deficiência no verão com temperaturas médias mensais superiores a 24°C e precipitação superior a 1.300 mm. E a sua vegetação é do tipo floresta subperenifólia. Destaca-se no município de em Pilar, a presença de quatro ecossistemas: mata atlântica de tabuleiro, mata atlântica de encosta, várzea e terraço flúvio-lagunar.

A litoestrutura do município é formada pelos sedimentos da Bacia Alagoas, das formações Poção, Ponta Verde, Coqueiro Seco, Barreiras e dos Sedimentos de Praia e Aluvião e as rochas cristalinas (BRASIL, 1986). As principais ocorrências minerais são de gás natural e o petróleo (MASCARENHAS, BELTRÃO e SOUZA, 2005). Os solos mais representativos do município são formados pelos Latossolos e Argissolos com ocorrência nos topos do tabuleiro e nas encostas; e os Gleissolos e Neossolos Aluviais nas áreas de várzeas (MASCARENHAS, BELTRÃO e SOUZA, 2005).

Referente à geomorfologia do município, os autores destacam a ocorrência de dois compartimentos: um formado pelo baixo planalto sedimentar (tabuleiro) e a outro pela planície flúvio-lagunar. O planalto apresenta topo sub-horizontal e encostas trabalhadas pela ação da chuva que dão origem a depósitos colúvio-aluvionares no sopé. A planície, resultado da acumulação fluvial e lagunar, cortada por meandros que contornam terraços e baixas colinas.

## 3.2 Materiais utilizados

Para a padronização dos mapeamentos, adotou-se o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), Zona.Fuso SC.25 Sul e Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) para dados vetoriais e matriciais. Assim, Todos os dados coletados foram recortados no limite da área de estudo, sendo processado no

software livre QGIS 3.22.16 e Google Earth Pro 7.3.6.9345 de propriedade da Google LLC, sendo usado como equipamento para a elaboração dos dados. Para a tabulação, formatação, e manipulação dos dados numéricos em formato de tabelas e gráficos, utilizou o Microsoft Excel Starter 2010, desenvolvido pela Microsoft Corporation.

Inicialmente foi criada a base cartográfica do Núcleo Urbano do município do Pilar formado a partir da malha de Setores Censitários, disponibilizada para download pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) e da área urbana pela Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio (SEPLAG, 2020). Em seguida foi ajustada manualmente com uso de imagem do satélite do Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres do programa de cooperação tecnológica entre China e Brasil - CBERS 04A, obtidas pela Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) passagens em 19.02.2021 e 29.04.2022.

As informações coletadas se deram a partir de cartas planialtimétricas, imagens de satélite, fontes bibliográficas, documentais em sites governamentais e revistas acadêmicas, tais como Artigos Científicos, Trabalhos de Conclusão de Curso, Dissertações de Mestrado, Teses de Doutorado, bem como, arquivos vetoriais disponíveis em órgãos públicos do Instituto de Meio Ambiente de Alagoas (IMA-AL), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Secretaria de Estado do Planejamento, Gestão e Patrimônio (SEPLAG).

### **3.3 Procedimentos metodológicos**

A pesquisa baseou-se na abordagem da ecodinâmicas de Tricart (1977) complementada pelas orientações de Ross (1994) (solos, litoestrutura, relevo, pluviometria uso do solo e cobertura vegetal), porém não sendo utilizados os dados pluviométricos, pela falta de postos pluviométricos na área de estudo, mas sendo aprimorada pela metodologia adotada por Oliveira (2017) que não utilizou dados pluviométricos, porém, além dos elementos base da metodologia de Ross, adicionou os componentes individuais do relevo importantes como declividade e hipsometria para análise e definição dos possíveis graus de fragilidade identificados na área de estudo. Os componentes, fatores e os respectivos elementos que compõem a base de dados, considerada nesta análise, estão dispostas no Quadro 2, abaixo.

Quadro 2 - Representação dos componentes, fatores e elementos da análise para determinação da sua fragilidade.

<b>Componentes</b>	<b>Fatores/Tipo de Mapa</b>	<b>Descrição dos elementos</b>
Físico-Ambientais	Unidades Litológicas	Formações existentes e suas características
	Unidades Geomorfológicas	Tipos e características das formas de relevo
	Unidades Pedológicas	Tipos e características dos solos verificados
	Declividade	Faixas de declividade e associação com o relevo
	Altitude	Faixas de altitude e associação com o relevo
Antrópicos	Organização do Espaço	Localização e características da cobertura vegetal e uso antrópico diverso.

**Fonte:** Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023), com base em AMARAL (2005) apud OLIVEIRA (2017).

Cada um dos fatores analisados é hierarquizado em graus de fragilidade, variando entre Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta. As unidades de fragilidades potenciais são hierarquizadas numa classificação qualitativa, com a sua variável de 1 a 5, representando um dos referidos parâmetros de acordo com a hierarquia apresentada e os classificando em função de cinco graus de fragilidade (ROSS, 1994). E a análise integrada dos fatores, permitiu a criação dos dois mapas, o de Fragilidade Potencial e o de Fragilidade Ambiental. A seguir é apresentada o quadro 3 com as respectivas classificação e peso das unidades de Fragilidade Ambiental.

Quadro 3 - Classes de fragilidade ambiental segundo seus pesos proposto por Ross (1994)

<b>Classificação de Fragilidade Ambiental</b>	<b>Peso</b>
Muito Baixa	1
Baixa	2
Média	3
Alta	4
Muito Alta	5

**Fonte:** Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Para realização da análise conjunta das informações da área de estudo, tornou-se essencial elaborar planos de informação para cada fator ambiental e antrópico a ser investigado, organizando a base de dados do núcleo urbano do município de Pilar, Alagoas na escala de 1:50.000 e realizando posteriormente por meio da média ponderada os mapas Sínteses pela utilização dos pesos por meio da metodologia *AHP*.

Com o material georreferenciado, foram gerados mapas digitais temáticos que serviram como planos de informação para a etapa de integração das informações geoambientais. Esses mapas foram redimensionados, organizados e configurados de acordo com a escala adotada. As bases de dados que já estavam em meio digital passaram por uma

verificação de seus componentes e receberam legendas e representações coerentes com cada mapa por meio do software QGIS, utilizando-se de semiologia gráfica e salvo no formato *Shapefile (SHP)*.

### 3.4 Construção da base de dados e hierarquização dos componentes físico-ambientais e antrópicos

Após realizar a coleta das informações e dados pertinentes para a elaboração dos mapas temáticos, a etapa seguinte envolveu a integração dos dados contidos nos planos de informação. Nessa etapa, foram selecionados os temas mais relevantes a partir dos mapas base para criar os mapas síntese necessários para concluir o levantamento. A integração desses dados permitiu obter uma visão geral das informações coletadas e fornecer uma compreensão mais abrangente da área estudada.

#### 3.4.1 Mapa de Classes de Declividade

O Mapa de Classes de Declividade foi gerados a partir de imagens do modelo digital de superfície do Copernicus do Sentinel 1 de resolução espacial de 30m que fornece acesso completo, gratuito e aberto aos produtos, a partir da Revisão de Comissionamento em Órbita (IOCR). Antes de gerar a declividade, esse dado foi reprojetoado para o sistema de referência utilizado no projeto, Datum SIRGAS 2000 - Zona 25 Sul e com a imagem reprojetoada, a fim de obter a declividade a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE), sendo assim gerada a declividade em porcentagem para que fosse possível realizar a medida de classes e identificar a de inclinação do terreno predominante na área de estudo.

Neste estudo em particular, em vez de empregar os Índices de Dissecação do Relevo como base para a elaboração da carta-síntese de fragilidade, optou-se por utilizar as Classes de Declividade e para estabelecer os intervalos das classes de declividade, foram classificadas em cinco categorias, seguindo a hierarquia descrita por Ross (1994), fornecendo informações ligadas às classes de fragilidade da área em estudo, estabelecendo as categorias hierárquicas de fragilidades da declividade (Quadro 4).

Quadro 4 - Classes de fragilidade potencial da declividade proposto por Ross (1994)

<b>Fragilidade Potencial</b>	<b>Classes de Declividade %</b>	<b>Relevo</b>
Muito Baixa	< 6	Plano
Baixa	6 - 12	Suave Ondulado
Média	12 - 20	Ondulado
Alta	20 - 30	Forte Ondulado
Muito Alta	> 30	Montanhoso ou Escarpado

**Fonte:** Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

### 3.4.2 Mapa de Unidades Geomorfológicas

A base de dados para o Mapa das Unidades Geomorfológicas (Figura 4) foi obtida a partir da base já existente das curvas de nível com equidistância de 20 metros, extraídas do Modelo Digital de Superfície Copernicus, de resolução espacial de 30m, ajustada ao mapeamento geomorfológico elaborado por Maria Hilde de Barros Goes (2003) para a Região Metropolitana de Maceió, escala 1:50.000 e Imagem do Satélite WorldView, composição colorida e resolução espacial de 0,50 metro, aonde foram identificadas três categorias presentes na área de estudo.

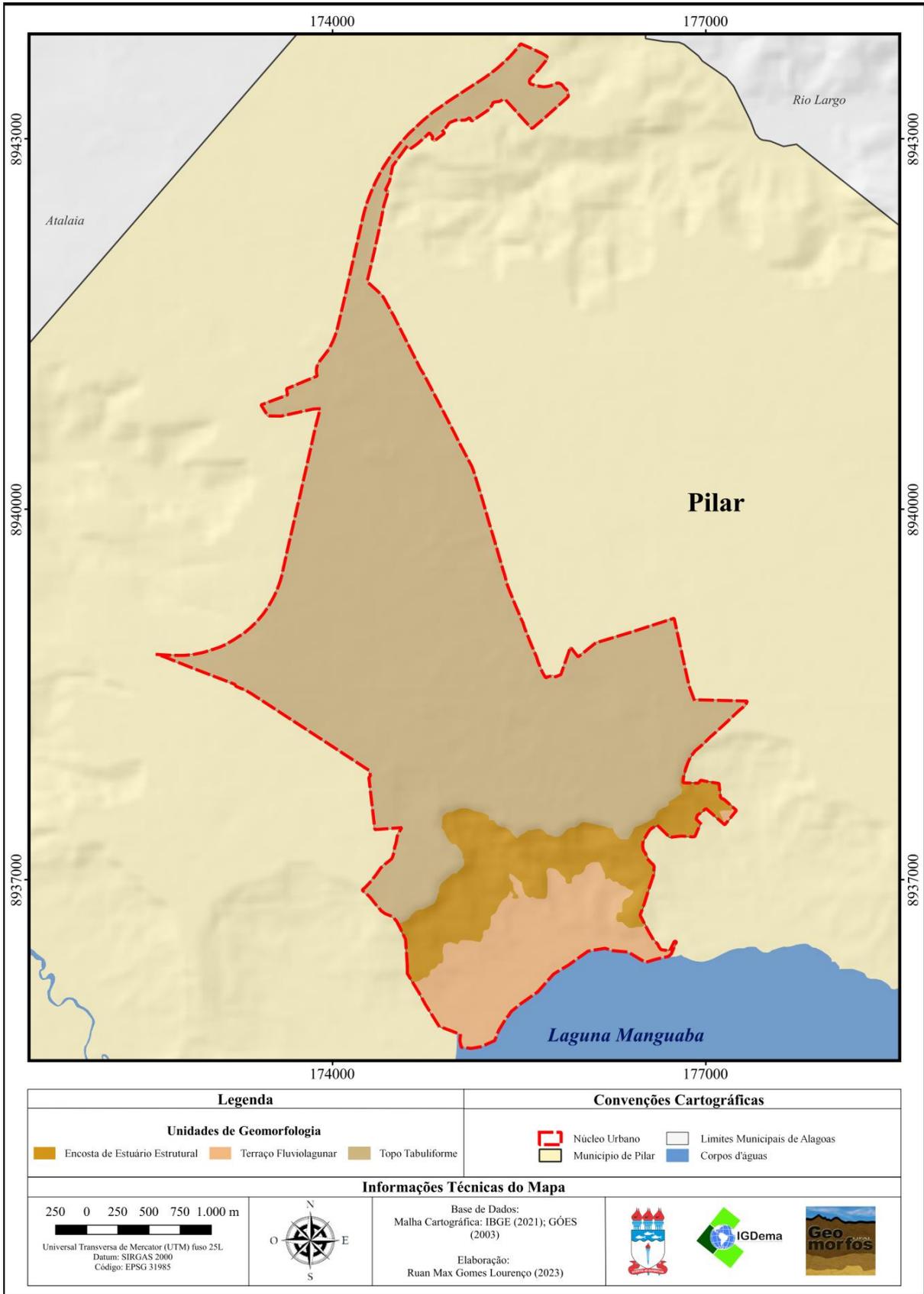
Essas categorias correspondem às unidades de topo tabuliforme, que abrange uma área de 9,261 km<sup>2</sup>, representando a maior parte, ou seja, 78,05%. A categoria de encosta de estuário estrutural ocupa uma área de aproximadamente 1,316 km<sup>2</sup>, correspondendo a 11,09% da área total. Já a categoria de terraço fluviolaguna abrange uma área de 1,288 km<sup>2</sup>, equivalente a 10,85% da área total de estudo. Para tanto, foi gerado a tabela 1, apresentando as classes de fragilidade a partir das unidades geomorfológicas na área de estudo, levando-se em consideração as formações possíveis de classificação a partir da escala adotada neste estudo.

Tabela 1 – Fragilidade potencial das classes de unidades geomorfológicas, segundo valores absolutos (km<sup>2</sup>) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas - Brasil

Fragilidade Potencial	Classe de unidades geomorfológicas	Áreas	
		km <sup>2</sup>	%
Baixa	Topo Tabuliformes	9,261	78,05
Baixa	Encosta de Estuário Estrutural	1,316	11,09
Média	Terraço Flúviolagunar	1,288	10,85
<b>Total</b>		<b>11,864</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Figura 4 - Mapa de unidades geomorfológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

### 3.4.3 Mapa de Classes de Altitude

Para a construção do Mapa de Classes de Altitude foi feita previamente uma análise topográfica na área, considerando que essa é a mais significativa, já que não há convenções estabelecidas para o agrupamento das curvas. A base para esse mapeamento foi gerada por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE) disponível pelo Projeto Topodata - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, que oferece as suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir da missão espacial dos dados da *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)* disponibilizados pela United States Geological Survey (USGS). Os intervalos de altimetria foram definidos a partir da base de dados digital na escala compatível de 1:50.000, com curvas de nível com equidistância de 30 metros. E com o intuito de ajustar as variáveis de altitude aos métodos de Ross (1994) e integrá-las à análise, as faixas de altimetrias acima de 120 metros foram unidas em uma única classe.

A componente altitude é considerada de extrema importância, visto que possui os atributos ambientais que influenciam diretamente a formação geomorfológica e nos processos dinâmicos da área em questão. Conseqüentemente, o grau de fragilidade varia conforme o aumento das faixas de altitude, de modo que altitudes mais baixas correspondem a graus de fragilidade mais baixos, enquanto altitudes mais elevadas indicam fragilidade elevada (OLIVEIRA, 2017).

Logo após, foi gerado conforme o quadro 5, as classes de altimetria, correspondendo com as classes de fragilidade na área de estudo, levando-se em consideração as formações possíveis de classificação a partir da escala adotada neste estudo.

Quadro 5 - Fragilidade potencial das classes de altitude do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas - Brasil

<b>Fragilidade Potencial</b>	<b>Classes de Altitude</b>
Muito Baixa	< 30m
Baixa	30 – 60m
Média	60 – 90m
Alta	90 – 120m
Muito Alta	> 120m

**Fonte:** Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

### 3.4.4 Mapa de Unidades Pedológicas

O Mapa de Unidades Pedológicas foi gerado a partir dos dados de pedologia correspondem às informações da distribuição geográfica e dos diferentes solos já existentes na área de estudo. A obtenção dos dados de Pedologia foi compilada a partir do mapeamento Pedológico do Estado de Alagoas elaborado através do convênio da Secretaria de Estado da

Agricultura, Pesca e Aquicultura – SEAGRI-AL e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) no ano de 2012, na escala 1:100.000, integrante do acervo digital do Zoneamento Agroecológico de Alagoas – ZAAL.

Através da utilização de dados secundários, foi elaborado o Mapa das Unidades Pedológicas (Figura 5) para a área de estudo, que corresponde ao núcleo urbano do município. Esse mapa identificou três unidades distintas presentes na região. A primeira é composta pelos Latossolos Amarelos, que ocupam uma área de 9,259 km<sup>2</sup>, correspondendo a aproximadamente 78,04% da área total, solos que predominam na região de tabuleiros.

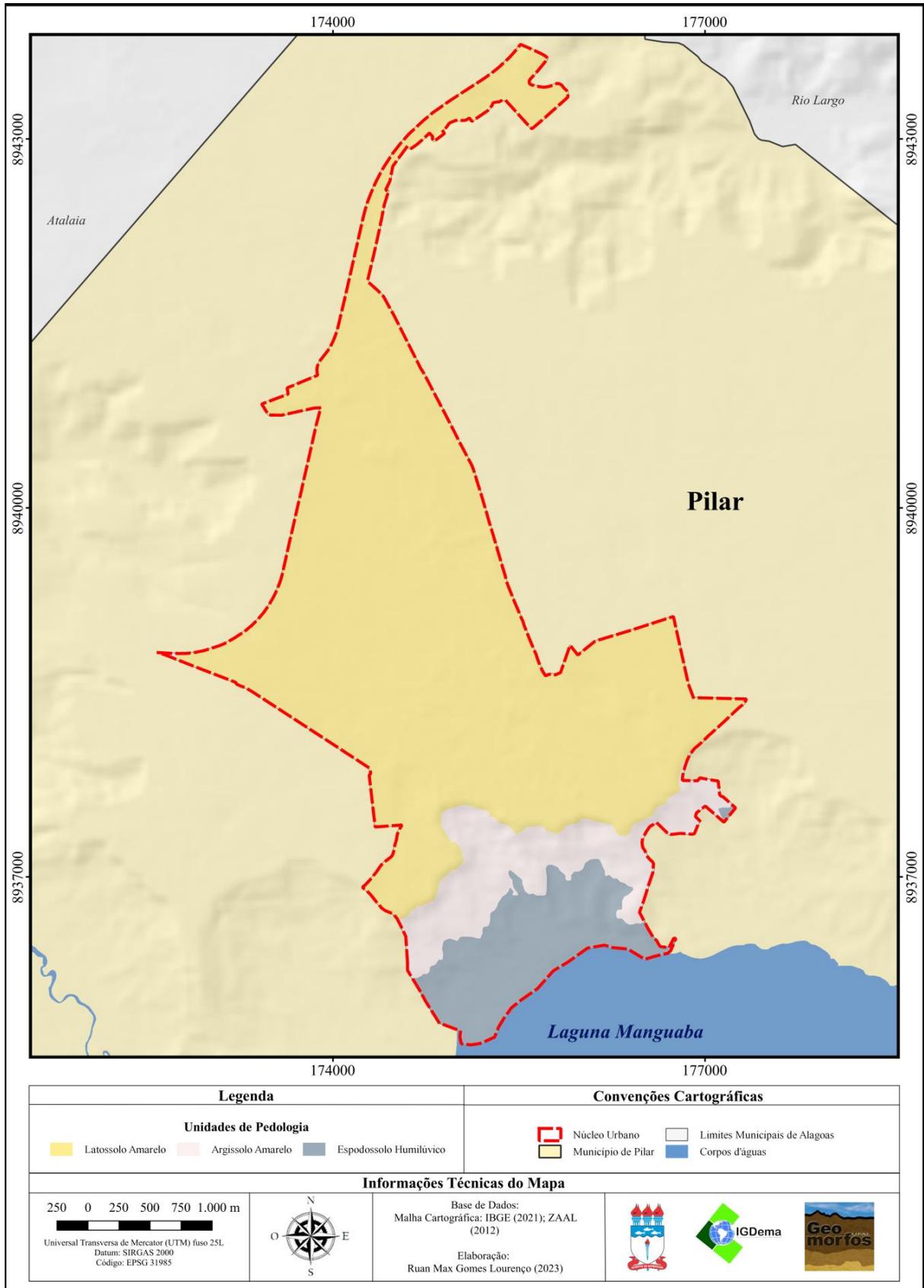
A segunda unidade corresponde aos Argissolos Amarelos, presentes nas encostas da área de estudo, abrangendo uma área de 1,319 m<sup>2</sup>, o que representa 11,12% da área total. A terceira unidade é composta pelos Espodossolos Ferrihumilúvicos, encontrados nas áreas mais baixas, ocupando uma área de 1,287 m<sup>2</sup>, o que corresponde a aproximadamente 10,85% da área total. Posteriormente, foi gerada a tabela 2, apresentando as classes de fragilidade a partir das unidades de pedologia na área de estudo.

Tabela 2 – Fragilidade potencial das classes de unidades pedológicas segundo valores absolutos (km<sup>2</sup>) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas – Brasil.

Fragilidade Potencial	Classes de Solos	Área	
		km <sup>2</sup>	%
Baixa	Latossolos Amarelos	9,259	78,04
Baixa	Argissolos Amarelo	1,319	11,12
Alta	Espodossolos Humilúvico	1,287	10,85
<b>Total</b>		<b>11,865</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Figura 5- Mapa de Unidades Pedológicas do Núcleo Urbano do Município de Pilar - Estado de Alagoas - Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

### 3.4.5 Mapa de Unidades litológicas

O Mapa de Unidades Litológicas (Figura 6) foi construído a partir da base de dados digital das Cartas Geológicas da Bacia Sedimentar Sergipe - Alagoas: PETROBRÁS S.A. – DNPM, escala 1:50.000 (1975) – Folhas: Rio Largo (SC.25-V-C-I-3) São Luís do Quitunde (SC.25-V-C-I-4), Marechal Deodoro (SC.25-V-C-IV-1) e Maceió (SC.25-V-C-IV-2). E no contexto desse estudo, o componente geológico foi incorporado à metodologia de Ross (1994), levando em consideração o conhecimento e as informações sobre sua relevância como componente ambiental.

Através da criação de um mapa base das diferentes unidades geológicas presentes no núcleo urbano de Pilar, Alagoas, foram estabelecidos unidades hierárquicas. Essas categorias incluem as formações geológicas denominadas Barreira, Coqueiro Seco e Sedimentos Aluviais. Após a conclusão do mapa, os resultados foram tabulados. Dessa forma, determinando a área de cada formação geológica na área de estudo.

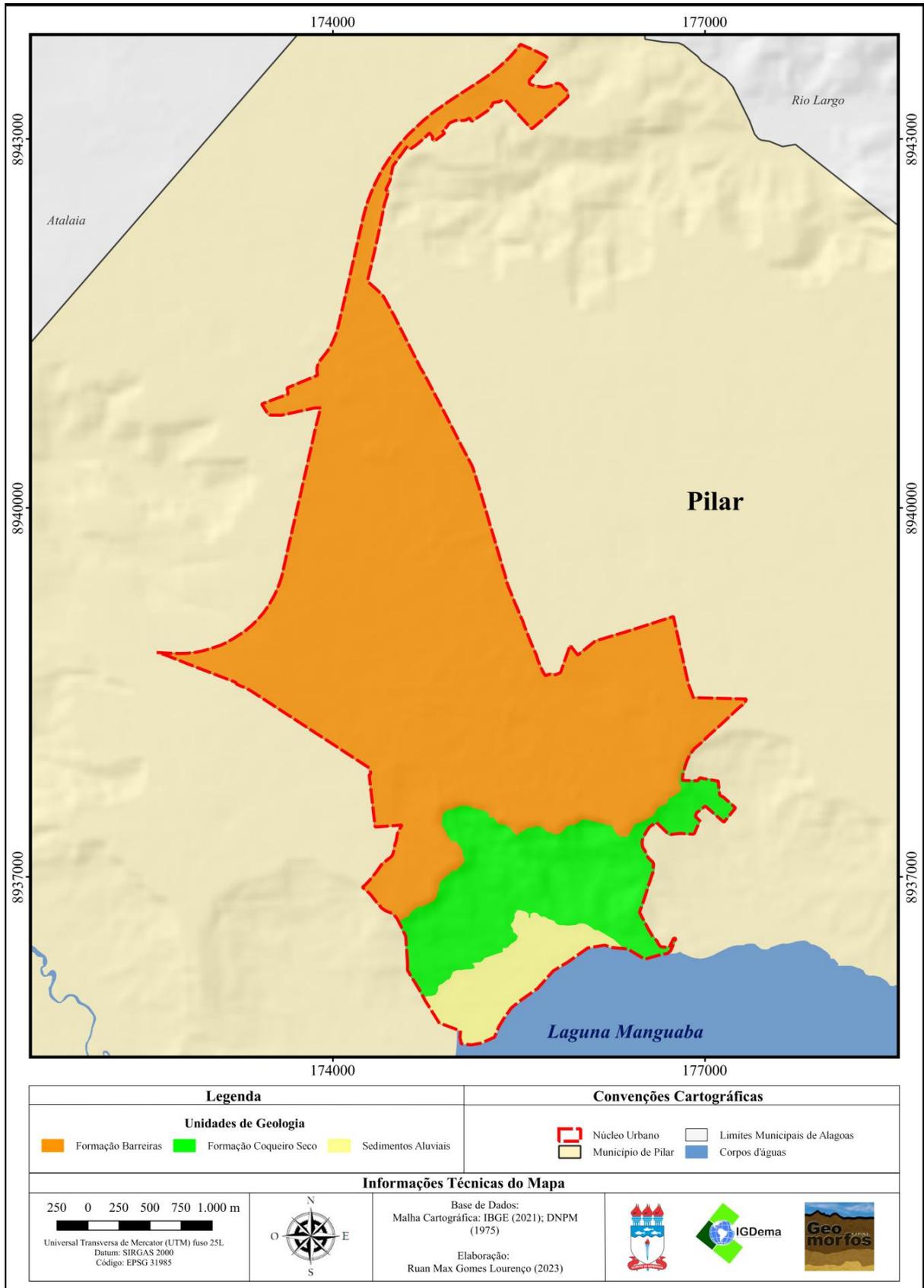
A Formação Barreira é a de maior extensão no núcleo urbano, ocupando uma área total de 9,261 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 78,05% da área total. A Formação Coqueiro Seco abrange uma área de 1,943 km<sup>2</sup>, representando aproximadamente 16,38% do território. Por fim, a Formação de Sedimentos Aluviais que ocupa uma área de 0,661 km<sup>2</sup>, correspondendo a 5,57% do total. Com base nisso, foi gerado a Tabela 3, apresentando os graus de fragilidade associados às unidades geológicas identificadas.

Tabela 3 - Fragilidade potencial das classes de unidades litológicas, segundo valores absolutos (km<sup>2</sup>) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas – Brasil.

Fragilidade Potencial	Classes de Unidades Litológicas	Área	
		km <sup>2</sup>	%
Baixa	Formação Coqueiro Seco	1,943	16,38
Média	Formação Barreira	9,261	78,05
Alta	Sedimentos Aluvião	0,661	5,57
<b>TOTAL</b>		<b>11,865</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Figura 6 - Mapa de unidades litológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas - Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço, 2023.

### 3.4.6 Mapa de Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal

Para a elaboração do Mapa de Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal, usou-se a classificação digital com a vetorização do uso do solo no formato SHP no formato de polígonos, usando as imagens de satélite CBERS 4A que devido à presença de nuvens nas imagens em alguns pontos da área de estudo, foram utilizadas duas cenas com datas de registros diferentes, a de 19.02.2021 e 29.04.2022, com o intervalo de 14 (quatorze) mês e com as cenas escolhidas, foram feitos os reajustes, para que as mesmas pudessem ficar mais viáveis para a classificação e seguiu assim a definição de notas para as classes já pré-definidas por Ross (1994) para os diferentes tipos de uso, sendo definido sucessivamente o Grau de Fragilidade que as mesmas conferem ao meio.

Os reajustes iniciaram mesclando as imagens para composição colorida, com resolução de 8 metros, usando as bandas 1, 2, 3 e 4, gerada um único arquivo e logo após fazendo a composição colorida, com a sequência de banda vermelha (3), verde (2) e azul (1), resultando a composição com as cores verdadeiras. Em seguida, realizou a melhoria da resolução da imagem de satélite de 8 para 2 metros, sendo processada a cena com as cores verdadeiras mais a banda PAN (0), usando a ferramenta do QGIS Pansharpening, executando a fusão das imagens com melhor qualidade para a identificação das classes.

A classificação foi atribuída ao banco de dados, os valores referentes a cada grau de proteção e fragilidade correspondente as classes de uso e posteriormente exportado em formato Tiff e inserido no QGIS, realizando a integração das informações adquiridas. O Mapa de uso e ocupação do solo teve suas notas hierarquizadas, conforme podemos ver no quadro 6.

Quadro 6 - Fragilidade potencial das classes de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal do núcleo urbano do município do Pilar – estado de Alagoas – Brasil

<b>Fragilidade Potencial</b>	<b>Classes de Uso e Cobertura do Solo/Cobertura Vegetal</b>
Muito Baixa	Remanescente Florestal
Baixa	Formação Pioneira Flúviolacustre
Média	Pastagem
Média	Coco-da-baía
Alta	Fruticultura e/ou Cultura de Subsistência
Alta	Cana-de-Açúcar
Muito Alta	Solo Exposto
Muito Alta	Área Urbanizada

**Fonte:** Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

### 3.5 Integração dos dados para geração dos mapas sínteses

Para o resultado, consistiu com que fosse envolvida a combinação dos diferentes mapas digitais temáticos, sendo assim feito as integrações dos mapas digitais das variáveis para que fossem identificadas as fragilidades potencial e ambiental na área de estudo. Nesta etapa, as diferentes variáveis ambientais selecionadas são combinadas usando o SIG, onde são atribuídos pesos e notas de acordo com a literatura, gerando informações através de tabela de atributos e dos mapas sínteses, produto dessa integração pela média ponderada.

A natureza e a capacidade de integrar diferentes informações faz com que o geoprocessamento possibilite utilizar várias técnicas de integração, sendo a álgebra de mapas a abordagem utilizada neste estudo. Em resumo, a álgebra de mapas é que permite associar os diferentes conjuntos de dados geográficos por meio de cálculos matemáticos, possibilitando uma compreensão mais completa e detalhada do cenário em estudo (ANDRADE, 2016).

A integração levou em conta a hierarquização adotada através da proposta de Ross (1994), adaptada à atribuição de pesos e notas aos planos de informação que para o de Fragilidade Potencial, considerou as variáveis de Litológicas, Geomorfológicas, Pedológicas, Clinográficas e Altimétricas para a Fragilidade Ambiental as mesmas variáveis já citadas anteriormente, porém adicionando a variável da Ocupação e Uso do Solo/Cobertura Vegetal. Assim, o uso da análise multicritério pelo algoritmo da média ponderada permitiu agrupar e classificar.

Ao realizar as integrações usando a média ponderada, a cada mapa é atribuído a um peso específico. Neste estudo, esses pesos foram determinados utilizando a metodologia AHP, distribuídos entre as diferentes variáveis até atingir 100% de responsabilidade pelo fenômeno estudado, com base em seu grau de importância,

Dessa forma, foi estabelecido um critério para atribuir notas às classes de acordo com sua contribuição na ocorrência do fenômeno. As classes que possuíam uma participação insignificante ou quase nula recebiam a nota 1. Para as classes com uma importância moderada, foram atribuídas notas de 2 a 4. As classes com alta importância receberam notas variando entre 5 e 6, enquanto aquelas com uma importância muito alta receberam notas entre 7 e 8. Nas classes em que a ocorrência do fenômeno era muito provável ou extremamente provável, foram atribuídas notas 9.

Por meio da calculadora AHP-OS (1.1.1-207) disponível no site da BPMSG (Figura 7), foram calculados para as classes seus pesos de importância, seguindo todos os critérios e exigências da metodologia. O cálculo consiste na confrontação das variáveis e de

seus graus de importância para a concretização do objetivo que, neste caso, são para as Áreas de Fragilidade Potencial e Ambiental no núcleo urbano do município de Pilar.

Figura 7 - Pesos atribuídos aos fatores de importância para a Fragilidade Potencial

	A - wrt AHP priorities - or B?		Igual	Quanto mais?							
1	<input checked="" type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> Hipsometria	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
2	<input checked="" type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> Geomorfologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
3	<input checked="" type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> Pedologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input checked="" type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
4	<input checked="" type="radio"/> Declividade	<input type="radio"/> Geologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input checked="" type="radio"/> 9
5	<input checked="" type="radio"/> Hipsometria	<input type="radio"/> Geomorfologia	<input checked="" type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
6	<input checked="" type="radio"/> Hipsometria	<input type="radio"/> Pedologia	<input type="radio"/> 1	<input checked="" type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
7	<input checked="" type="radio"/> Hipsometria	<input type="radio"/> Geologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
8	<input checked="" type="radio"/> Geomorfologia	<input type="radio"/> Pedologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
9	<input checked="" type="radio"/> Geomorfologia	<input type="radio"/> Geologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input checked="" type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
10	<input checked="" type="radio"/> Pedologia	<input type="radio"/> Geologia	<input type="radio"/> 1	<input type="radio"/> 2	<input checked="" type="radio"/> 3	<input type="radio"/> 4	<input type="radio"/> 5	<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 7	<input type="radio"/> 8	<input type="radio"/> 9
CR = 2.2% OK											

Fonte: BPMSG (2023) <sup>2</sup>.

Desse modo, as comparações foram realizadas par a par entre as variáveis, chegando à checagem dos pesos para cada variável e depois do cálculo, verificando o índice de Consistência que mede a consistência das comparações. Sendo aconselhável que este índice de consistência se mantenha abaixo de 0,10. Após isso, a calculadora é atualizada automaticamente e apresenta os valores de consistência da atribuição dos pesos (Tabela 4).

Tabela 4 - Checagem de consistência da calculadora AHP-OS (1.1.1-207) no site da BPMSG

<b>Categoria</b>	<b>Peso</b>	<b>Consistência</b>
Declividade	0,475	<b>Consistência OK – 0,022</b>
Geomorfologia	0,209	
Hipsometria	0,171	
Pedologia	0,100	
Geologia	0,045	
<b>Total</b>	<b>1</b>	

Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Após estabelecer os pesos para as variáveis e suas respectivas classes, essas

<sup>2</sup> Disponível em: <https://shre.ink/HHHV>. Acesso: 14/05/2023

informações foram inseridas na tabela de atributos de cada arquivo SHP. Em seguida, os dados foram convertidos para o formato matricial (TIF) com uma resolução espacial de 10 metros, adequada para a escala de 1:50.000. A integração dos mapas foi realizada em um ambiente de SIG, utilizando a calculadora raster do *software* QGIS 3.22.16.

Com a calculadora raster, permitiu executar a expressão matemática que combinou as variáveis, resultando nos mapas das Áreas de Fragilidade Potencial (AFP) e Fragilidade Ambiental (AFA) para o núcleo urbano do município de Pilar. Após a classificação das Áreas de Fragilidade Potencial, foi realizada a combinação do Mapa de Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal, e Fragilidade Potencial, utilizando o peso de 0,5 para ambos. Desta forma, foram inseridas na calculadora, formato raster as seguintes equações para se obter os resultados finais:

$$\text{AFP} = (\text{Dec} * 0,475) + (\text{Rel} * 0,209) + (\text{Alt} * 0,171) + (\text{Up} * 0,1) + (\text{Geo} * 0,045) \quad (1)$$

$$\text{AFA} = (\text{AFP} * 0,5) + (\text{UCS} * 0,5) \quad (2)$$

Onde:

AFP = Áreas de Fragilidade Potencial

AFA = Áreas de Fragilidade Ambiental

DEC = Declividade

REL = Relevo (Geomorfologia)

ALT = Altitude

UP = Unidades Pedológicas

GEO = Geologia

UCS = Uso e Ocupação do Solo

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Descrição dos Componentes de Fragilidade

Os mapas digitais temáticos foram categorizados em termos de suas componentes ambientais. A seguir são apresentados os resultados de suas classes representando por mapas digitais temáticos, tabelas e gráficos relacionados ao grau de fragilidade do tema analisado.

#### 4.1.1 Declividade

A variação da inclinação do terreno é um indicador relevante dos processos erosivos e dos riscos associados, como deslizamentos, inundações e alagamentos. O grau de fragilidade e sua classificação correspondente variam de acordo com a porcentagem de inclinação. Nesse sentido, terrenos com inclinações menores estão associados a graus de fragilidade mais baixos, enquanto terrenos com inclinações mais íngremes apresentam graus de fragilidade mais elevados.

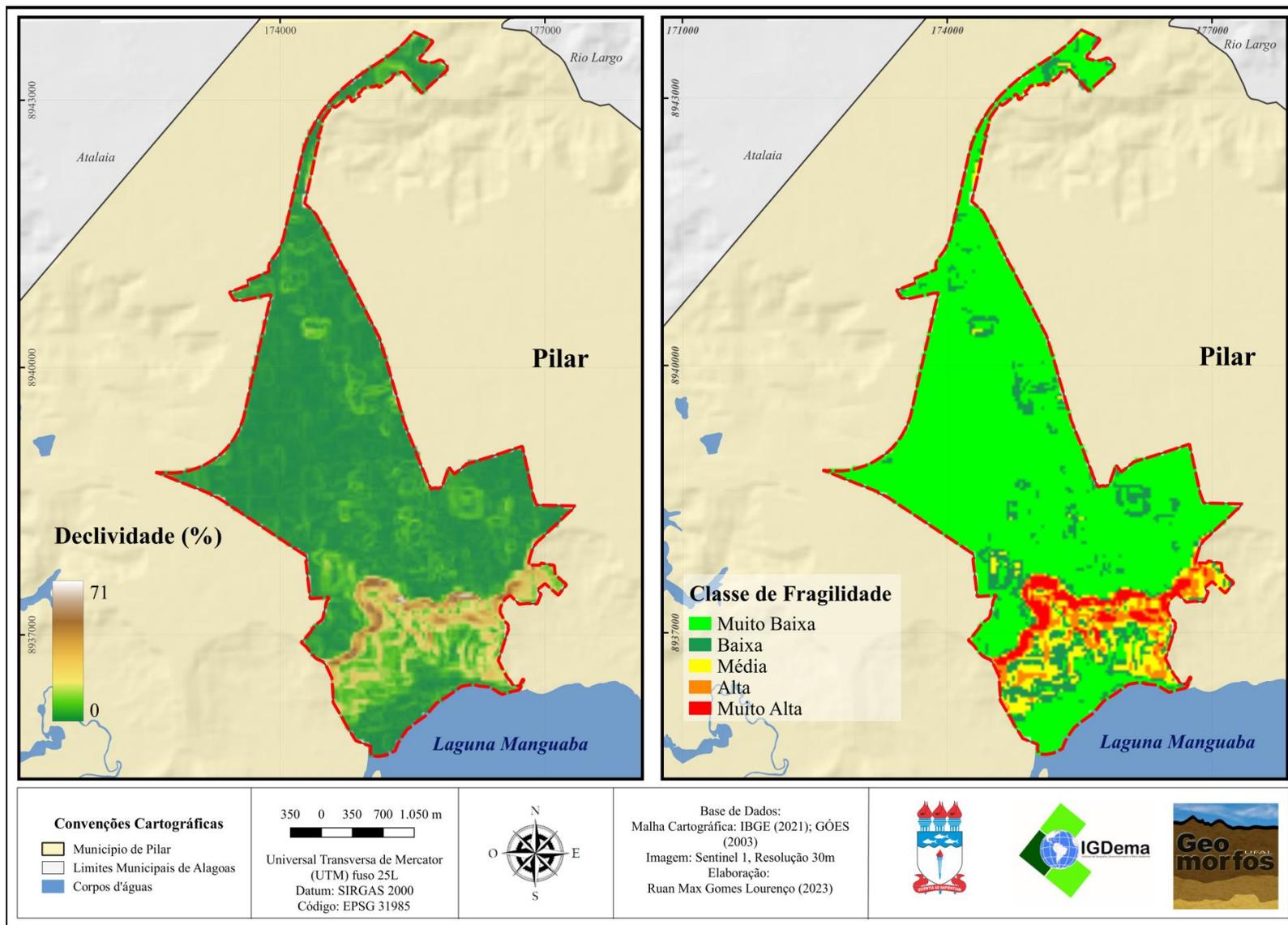
Na área de estudo, o relevo predominante é caracterizado como plano abrange uma área de 8,995 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 75,81% da área total. A segunda classe mais presente é o relevo suave ondulado, ocupando uma área de 1,235 km<sup>2</sup>, correspondendo a 10,41% da área total. O relevo ondulado abrange uma área de 0,749 km<sup>2</sup>, representando 6,31% da área total, enquanto a região classe forte ondulado e montanhoso ou acidentada ocupa, sequentemente 0,501 e 0,385 km<sup>2</sup>, correspondendo apenas 4,22 e 3,24 % da área total, sendo as de menores ocupações (Tabela 5 e Figura 8).

Tabela 5 - Classe de declividade/Relevo, segundo valores absolutos (km<sup>2</sup>) e percentuais (%) do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas - Brasil.

Classes De Declividades	Relevo	Área	
		km <sup>2</sup>	%
< 6%	Plano	8,995	75,81
6 a 12%	Suave Ondulado	1,235	10,41
12 a 20%	Ondulado	0,749	6,31
20 a 30%	Forte Ondulado	0,501	4,22
> 30%	Montanhoso ou Escarpado	0,385	3,24
<b>TOTAL</b>		<b>11,865</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborador por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

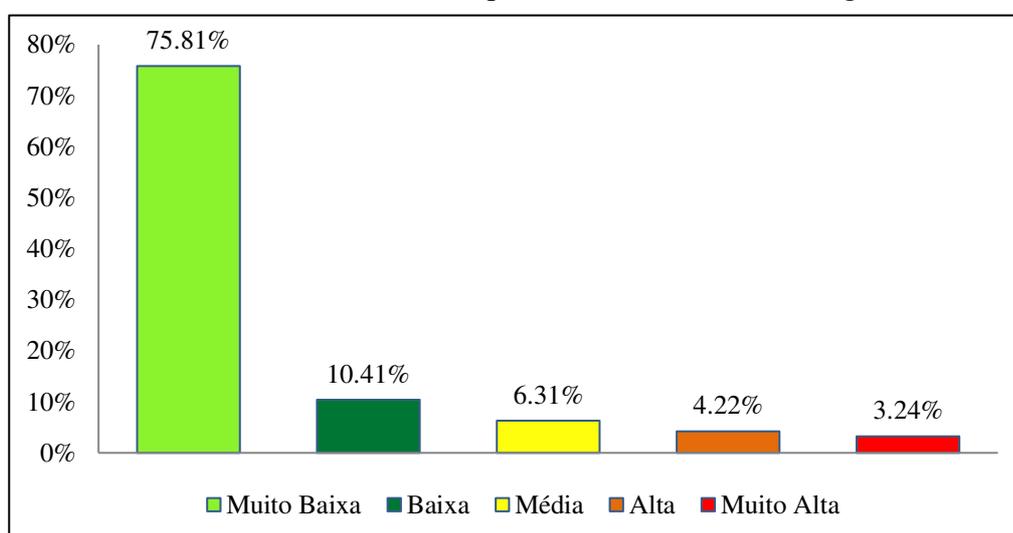
Figura 8 - Mapas de declividade e fragilidade potencial da declividade do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas-Brasil.



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Após a realização dos procedimentos, houve a correlação dos diferentes níveis de fragilidade com as áreas de inclinação do terreno, o que possibilitou atribuir a porcentagem de cada componente na área de estudo. Esses componentes incluem as seguintes categorias de fragilidade: muito baixa para declividades de até 6%, abrangendo 75,81% da área; baixa para declividades de 6 a 12%, representando 10,41% da área; média para declividades de 12 a 20%, englobando 6,31% da área; alta para declividades de 20 a 30%, correspondendo a 4,22% da área; e muito alta para declividades acima de 30%, ocupando 3,24% da área. A categoria de fragilidade mais extensa é a de "muito baixa", associada a terrenos planos, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Gráfico da distribuição percentual da fragilidade potencial das classes de declividade do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil

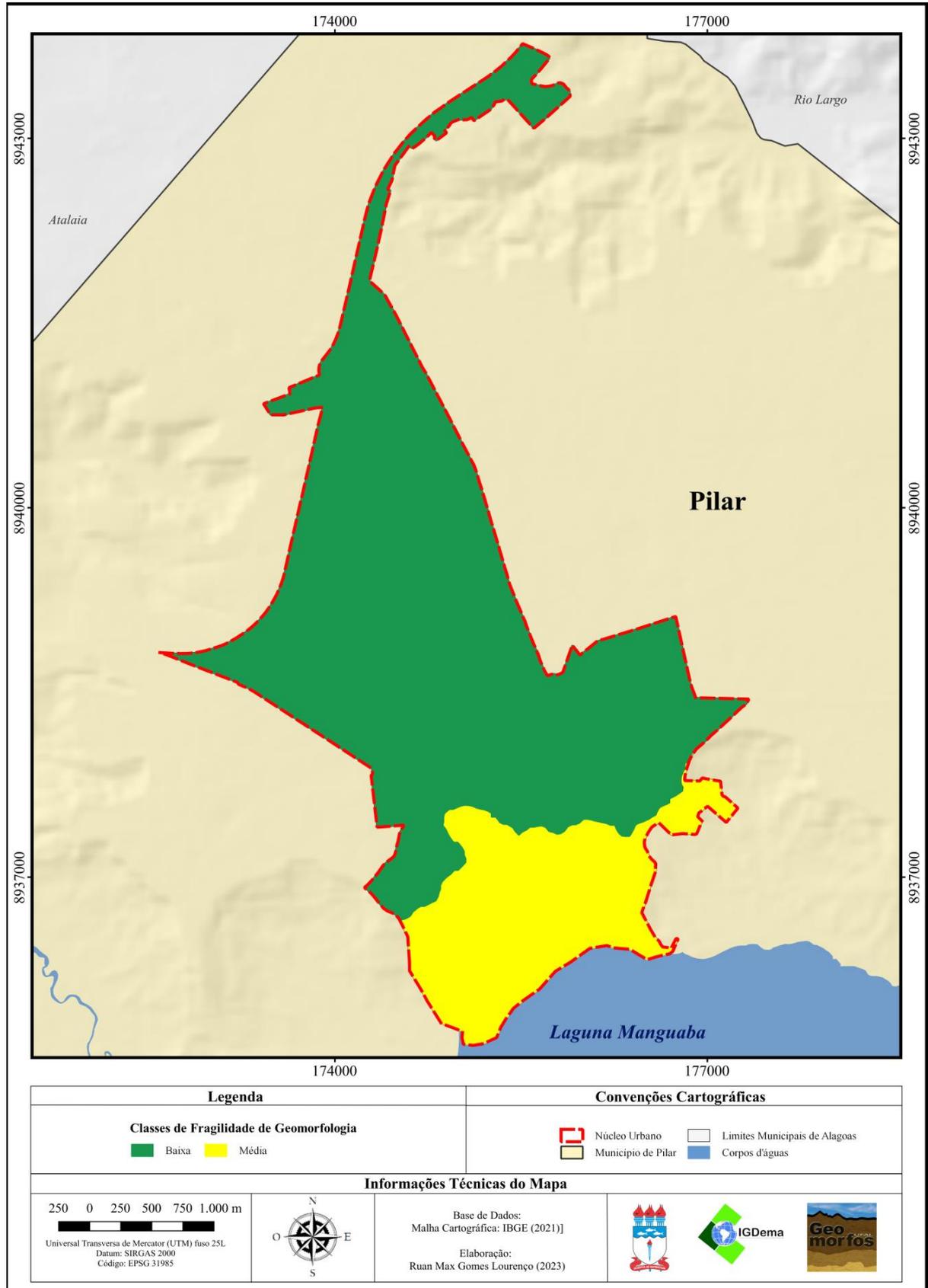


Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

#### 4.1.2 Unidades Geomorfológicas

Após a elaboração do Mapa das Unidades Geomorfológicas (Figura 10), realizou-se a associação das unidades com os graus de fragilidade. Isso envolveu a relação das áreas em quilômetros quadrados e a determinação da porcentagem de cada unidade na área de estudo. No parâmetro de fragilidade ambiental geomorfológica, foram classificadas apenas duas classes: baixa e média.

Figura 10 - Mapa de fragilidade potencial das unidades geomorfológicas do núcleo urbano do município de Pilar - estado de Alagoas- Brasil

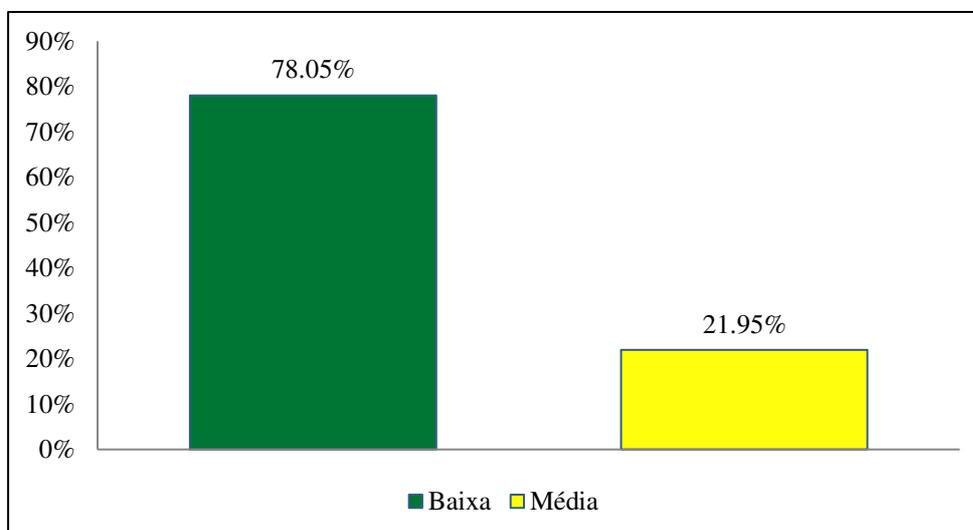


Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

As formas de relevo influenciam a hidrologia da área, ou seja, no comportamento, fluxo e o escoamento da água. E a má drenagem, como a formação de áreas alagadas em planícies, ou o escoamento rápido em áreas íngremes, pode afetar negativamente, afetando na exposição e aos riscos naturais, como inundações e deslizamentos de terra. Por exemplo, áreas localizadas nos vales estreitos podem ser mais propensas a inundações, enquanto áreas com encostas íngremes podem ser mais suscetíveis a deslizamentos de terra. O conhecimento da geomorfologia é essencial para avaliar e gerenciar os riscos e minimizar os devidos impactos, tornando fundamental para o planejamento e a gestão adequada do meio ambiente, a fim de promover a sustentabilidade e a conservação dos recursos naturais.

As classes de fragilidades Baixa que está nas unidades geomorfológicas de Topo Tabuliforme representa uma maior porcentagem de ocupação, correspondendo a 78,05% do núcleo urbano. A classe média foi atribuída às unidades de geomorfologia de Encosta de Estuário Estrutural e Terraço Fluvialagunar, que abrange aproximadamente 21,95% da área total do local de estudo (Figura 11).

Figura 11 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade relacionadas às classes de unidades geomorfológicas do núcleo urbano do município de Pilar - estado de Alagoas – Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

#### 4.1.3 Altitude

A variação de altitude tem um impacto significativo, desempenhando papel importante na análise da fragilidade ambiental. Em regiões com terrenos montanhosos ou acidentados, a água tende a se deslocar mais rapidamente das áreas mais elevadas para as áreas mais baixas, tornando-as mais suscetíveis aos processos erosivos. A associação entre a altitude e a fragilidade permite identificar áreas de maior suscetibilidade a processos erosivos,

como voçorocas, ravinas e deslizamentos de terra. O conhecimento da hipsometria auxilia no planejamento de áreas de conservação, identificando regiões mais vulneráveis que requerem maior proteção.

Através da elaboração do mapa, foram identificados os intervalos de altimetria presentes na área, permitindo verificar a distribuição e os componentes de altitude (Figura 12). Ao analisar o mapa digital de altitude do núcleo urbano de Pilar, Alagoas, observa-se que a altitude acima de 120 m que predomina, abrangendo uma área de 7,413 km<sup>2</sup>. Em seguida, o intervalo de altitude de 90 a 120 m com área de 2,019 km<sup>2</sup>. Já o intervalo de 0 a 30 m abrange uma área de 1,292 km<sup>2</sup>. O intervalo de 30 a 60 m ocupa uma área de 0,677 km<sup>2</sup>. Por fim, o intervalo de 60 a 90 m que abrange uma área de 0,464 km<sup>2</sup> (Tabela 6).

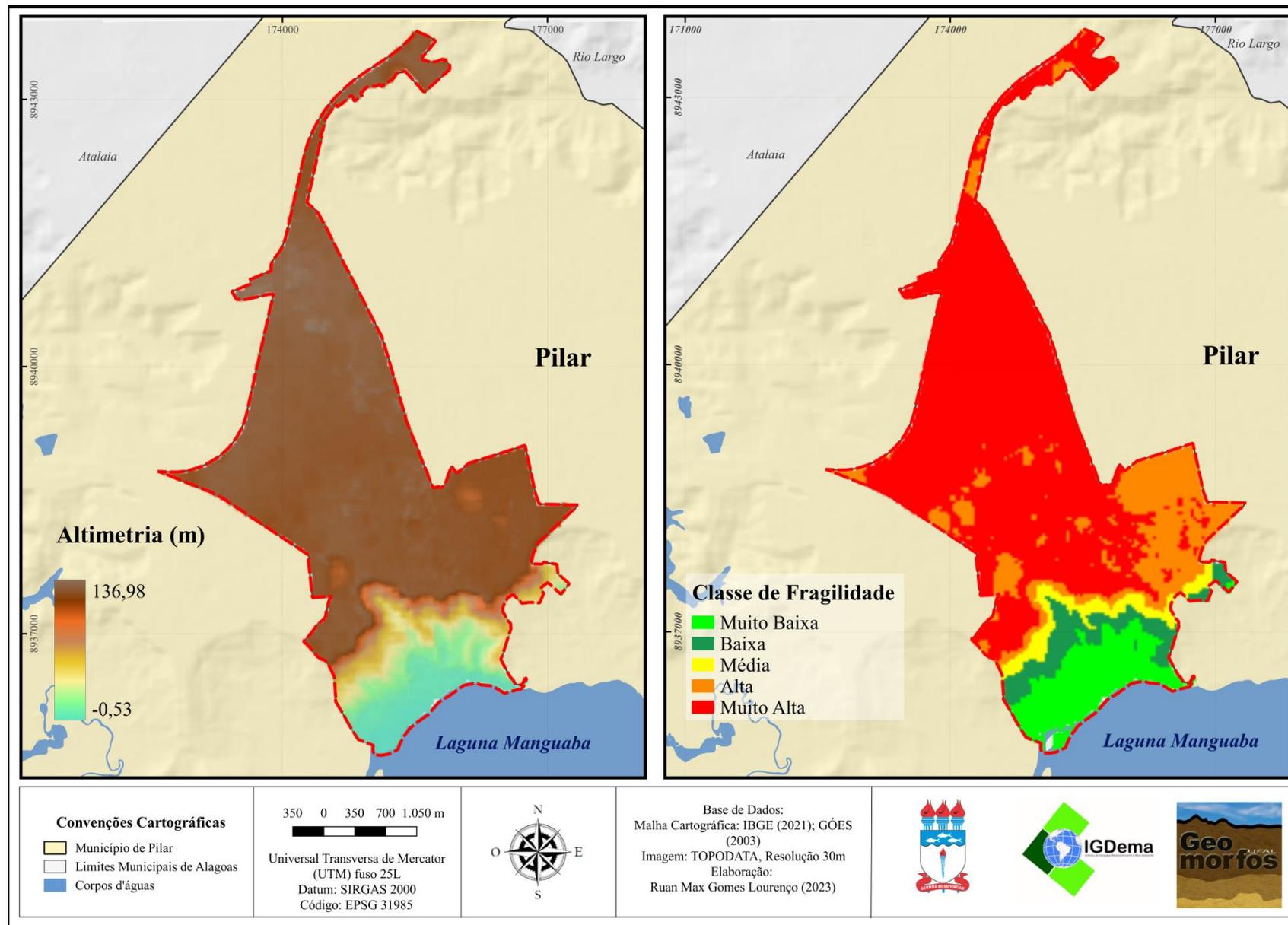
Tabela 6 - Fragilidade potencial das classes de altitude, segundo valores absolutos (km<sup>2</sup>) e percentuais (%) do Núcleo Urbano do Município do Pilar – Alagoas – Brasil.

Fragilidade Potencial	Classe de Altitude	Área	
		km <sup>2</sup>	%
Muito Baixa	0 – 30m	1,292	10,88
Baixa	30 – 60m	0,677	5,71
Média	60 – 90m	0,464	3,91
Alta	90 – 120m	2,019	17,02
Muito Alta	Acima de 120m	7,413	62,48
<b>TOTAL</b>		<b>11,865</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Após a categorização dos intervalos de altitude e determinação da área de ocupação correspondente, foi estabelecido o grau de fragilidade para cada componente, levando em consideração a porcentagem de cada unidade em relação à área de estudo. A classe de fragilidade varia de acordo com o aumento das faixas de altitude. Assim, altitudes mais baixas estão associadas às classes de fragilidade mais baixas, enquanto faixas de altitude mais altas indicam fragilidade elevada.

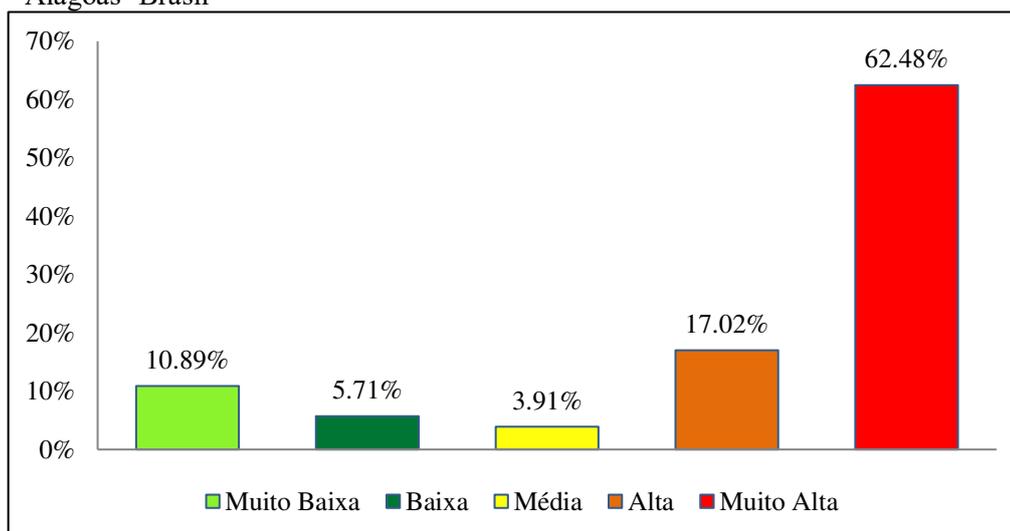
Figura 12 - Mapas de altitude e fragilidade potencial da altitude do núcleo urbano município de Pilar - estado de Alagoas - Brasil



Fonte: Elaborador por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Ao relacionar a contribuição da maior unidade com a classe de fragilidade, pode-se afirmar que as altitudes acima de 120m, que abrangem 62,48% da área total, estão classificadas como fragilidade muito alta. Por outro lado, a classe de fragilidade média é representada pela menor porcentagem, que corresponde a 3,91% da área total (Figura 13).

Figura 13 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade relacionadas a altitude do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil



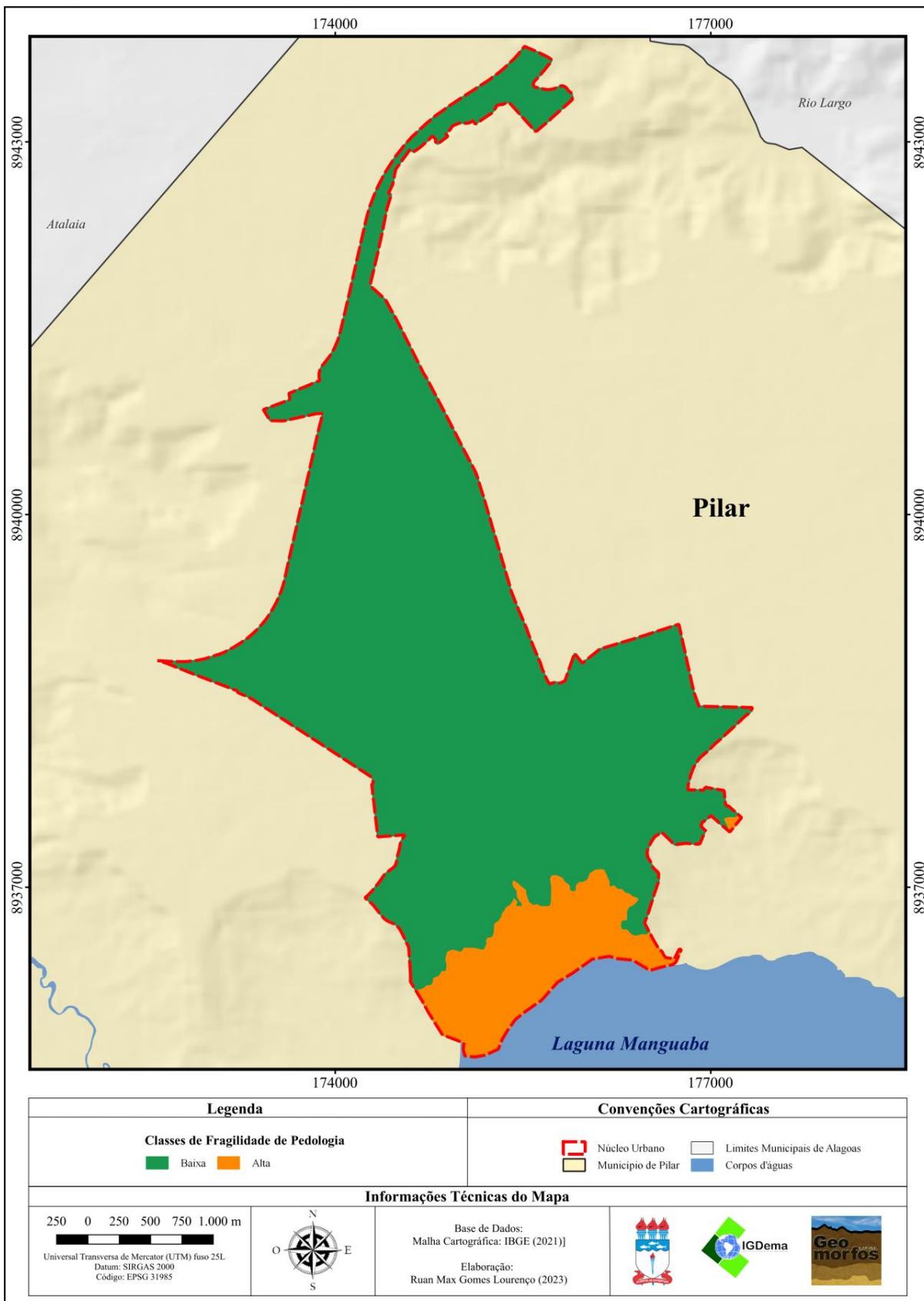
Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

#### 4.1.4 Unidades Pedológicas

O estágio de desenvolvimento dos solos pode ser considerado como resultado da interação dos processos morfogênicos e pedogenéticos, o que indica o nível de estabilização desses processos, contribuindo para a análise da fragilidade ambiental ao considerar os diferentes tipos de solos presentes na área. A associação das classes de solos com as classes de fragilidade permite identificar áreas onde há maior suscetibilidade à erosão, compactação do solo, indicando a necessidade de práticas adequadas de manejo e conservação do solo.

Com base nos resultados obtidos, foi realizado o cruzamento das classes de solos com as classes de fragilidade ambiental, relacionando a porcentagem de cada classe de fragilidade, sendo identificadas duas classes de fragilidade ambiental: baixa e alta. Não foram encontrados solos que se enquadrassem nas classes de fragilidade muito alta, muito baixa ou média (Figura 14).

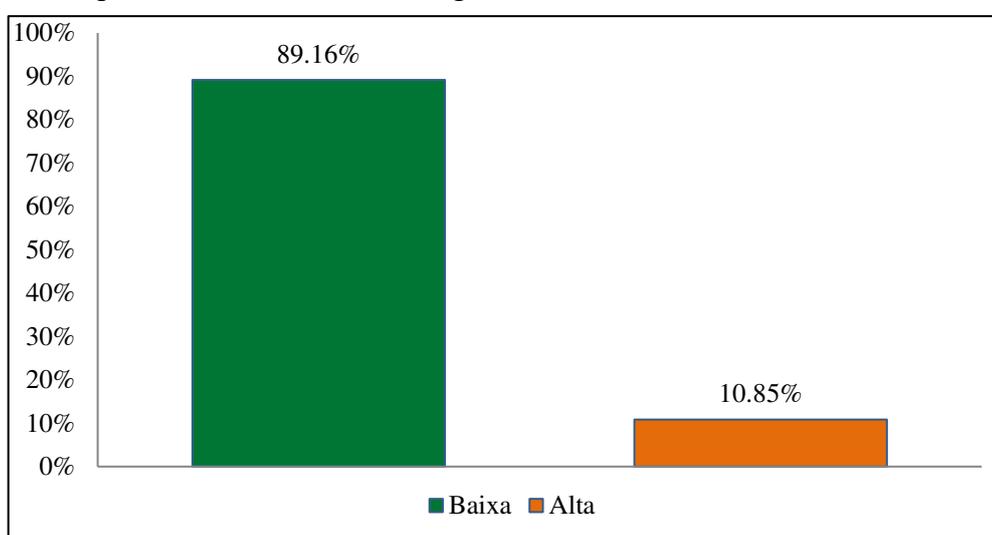
Figura 14 - Mapa de fragilidade potencial das unidades pedológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

A classe de fragilidade baixa representa aproximadamente 89,16% de toda a área do núcleo urbano, indicando que a maioria dos solos na região possui uma baixa fragilidade ambiental. Por outro lado, a classe de fragilidade alta abrange 10,85% da área total, indicando que uma parcela menor de solos apresenta uma maior fragilidade ambiental. Essas informações são importantes para compreender a distribuição da fragilidade ambiental relacionada aos solos na área de estudo, auxiliando no planejamento e na tomada de decisões relacionadas à gestão ambiental e urbana (Figura 15).

Figura 15 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade relacionadas às classes de unidades pedológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil



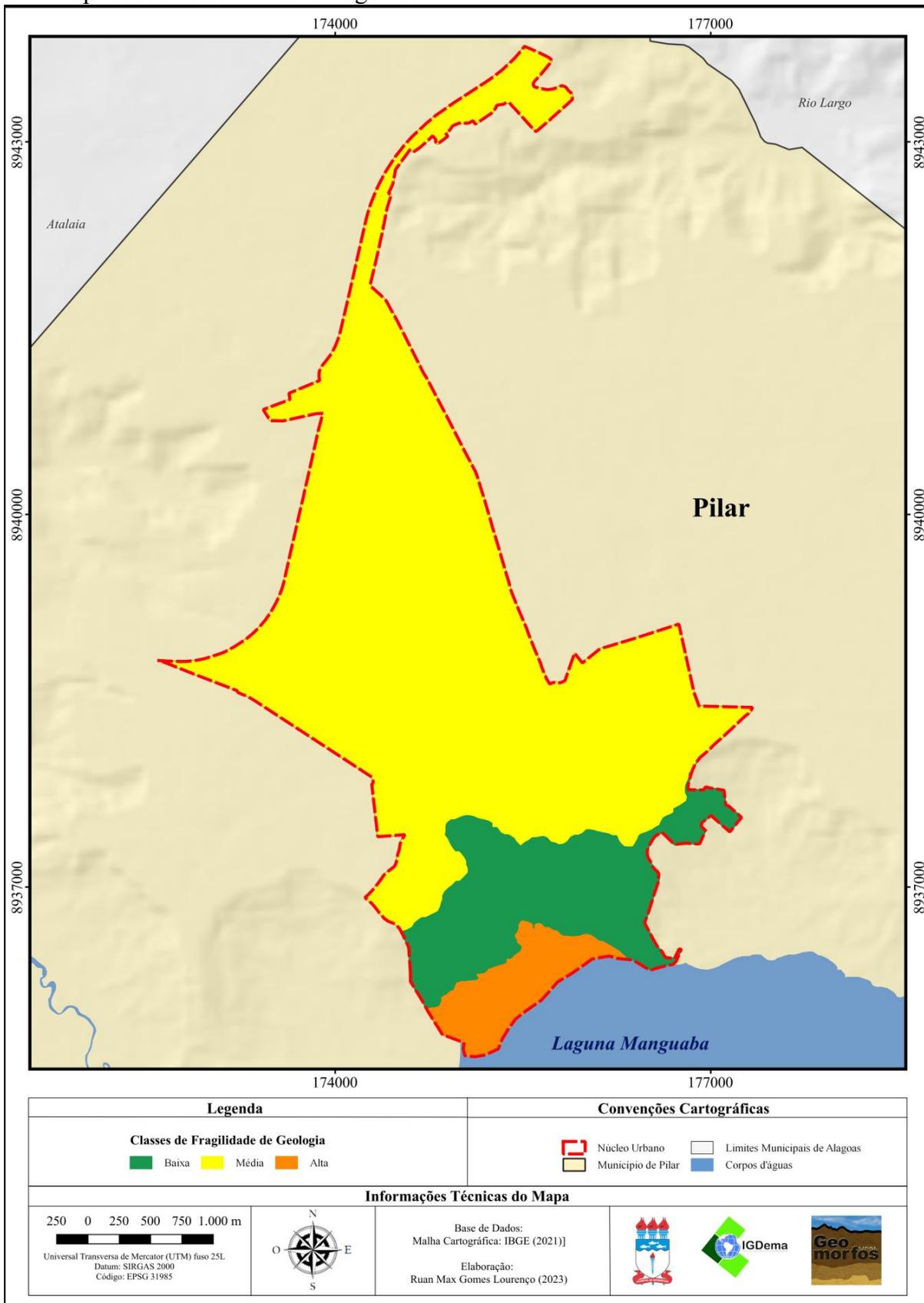
Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

#### 4.1.5 Unidade Litológicas

No contexto da análise e definição da fragilidade a geologia desempenha um papel fundamental no estudo, pois influencia a Geologia contribuindo fornecendo as informações relevantes sobre a história da evolução geológica do ambiente em que está localizada, bem como sobre o grau de coesão das rochas que compõem a unidade. Esses aspectos são fundamentais para compreender a fragilidade do ambiente a processos naturais e antropogênicos, auxiliando na definição de estratégias para sua conservação e uso sustentável. Essa integração torna-se essencial para a avaliação, gestão e a conservação do meio ambiente de maneira sustentável.

Após a execução dos processos relacionados às categorias presentes no mapa digital, houve a associação dessas categorias aos graus de fragilidade (Figura 16). Esse procedimento envolveu a análise das áreas das unidades geológicas e a determinação da porcentagem de cada unidade em relação à área de estudo.

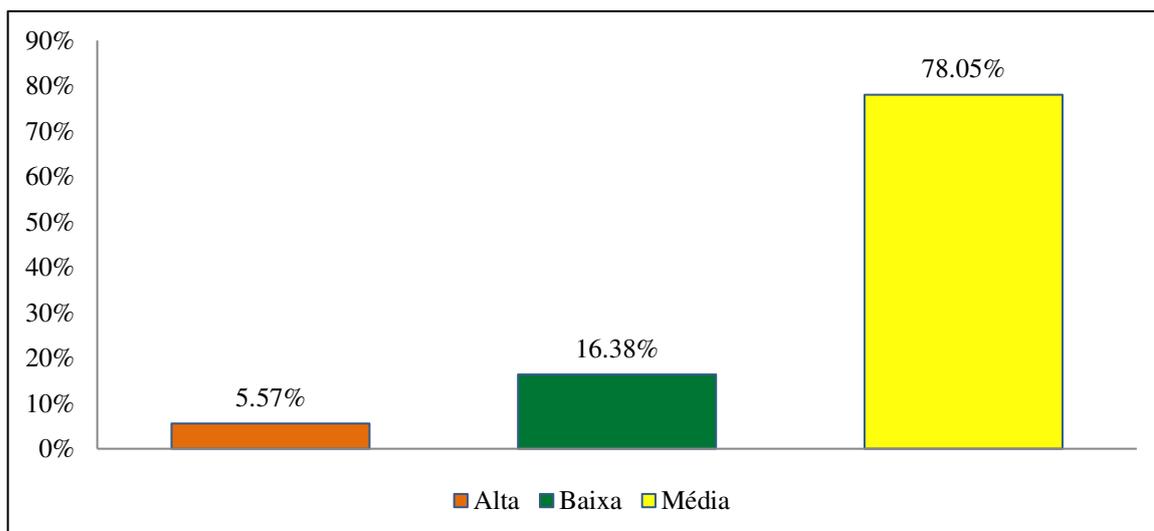
Figura 16 - Mapa de fragilidade potencial das unidades litológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas- Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Ao relacionar a contribuição da maior unidade com Sua classe de fragilidade, pode-se concluir que, em termos de parâmetro geológico, a maior parte do núcleo urbano é considerada de alta fragilidade, abrangendo 78,05% da área total. A fragilidade média representa 16,38% da área, enquanto a fragilidade baixa corresponde a 5,57% da área (Figura 17).

Figura 17 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade potencial das unidades litológicas do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas - Brasil

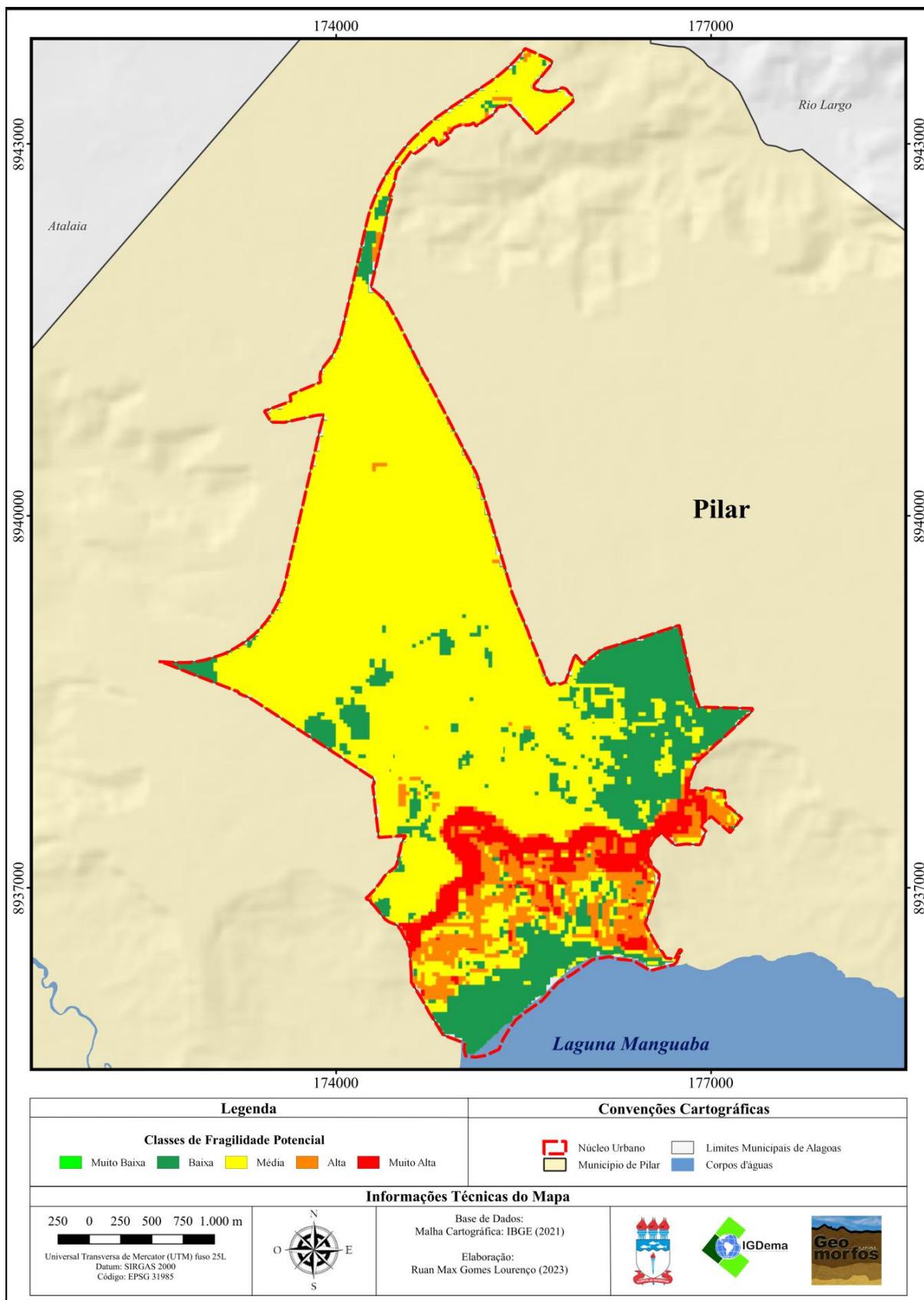


Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

#### 4.1.6 Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial do Núcleo Urbano

A integração dos planos de informação referentes aos fatores ambientais, como Declividade, Geomorfologia, Hipsometria, Solos e Geologia, é fundamental para compreender as questões de fragilidade ambiental potencial. Através da integração dos componentes supracitados foi elaborado então o Mapa de Fragilidade Ambiental Potencial do Núcleo Urbano de Pilar - Alagoas – Brasil (Figura 18), utilizando os procedimentos computacionais descritos na metodologia.

Figura 18 - Mapa de fragilidade ambiental potencial do núcleo urbano do município de Pilar - estado de Alagoas - Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

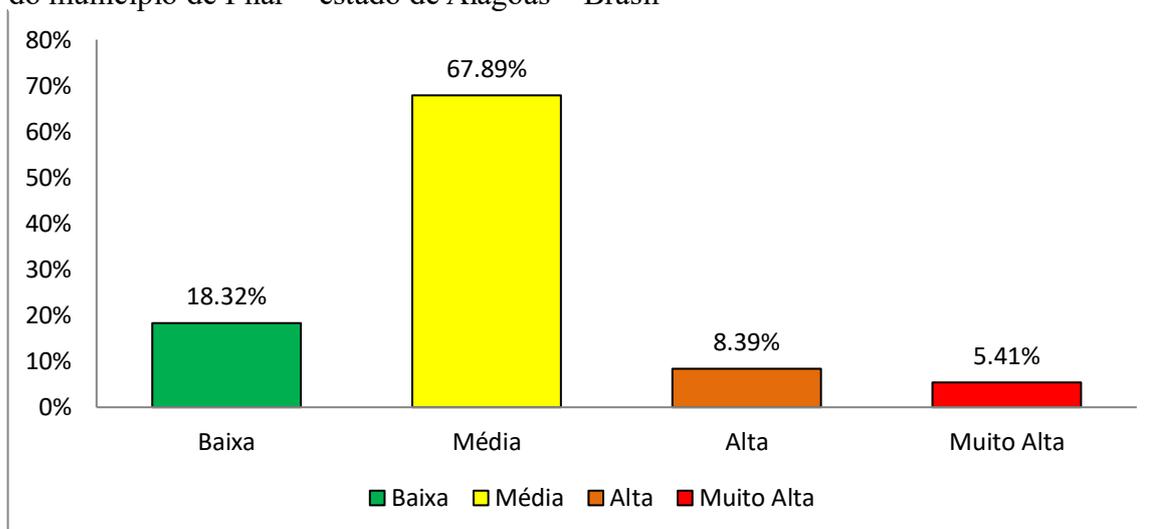
O resultado dessa associação é apresentado na Tabela 7, onde são apresentadas as áreas em metros quadrados das diferentes classes e a respectiva porcentagem de cada unidade na área de estudo. Essas informações fornecem uma visão mais detalhada da distribuição da fragilidade ambiental potencial na região estudada, auxiliando no planejamento e na tomada de decisões. A partir dos dados foi possível também representá-las em gráfico para que tivesse mais detalhamento (Figura 19).

Tabela 7 – Classe de fragilidade ambiental potencial, segundo valores absolutos (km<sup>2</sup>) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – Alagoas – Brasil

Fragilidade Ambiental	Área	
	km <sup>2</sup>	%
Muito Baixa	-	-
Baixa	2,173	18,32
Média	8,055	67,89
Alta	0,996	8,39
Muito Alta	0,641	5,41
<b>TOTAL</b>	<b>11,865</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Figura 19 - Gráfico da distribuição percentual da fragilidade ambiental do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

É evidente que a área de fragilidade potencial aumenta à medida em direção ao sudeste, resultando em uma maior presença das classes de alta e muito alta fragilidade ambiental potencial. Essa tendência está relacionada principalmente aos locais com declividades mais acentuadas. Ressalta-se que declividades acentuadas aumentam a velocidade do fluxo de água, com isso causando o aumento dos processos de erosão do solo, intensificando cada vez mais se não for adequadamente controlada e gerenciada a tempo.

#### 4.2 Descrição do Componente Antrópico da Fragilidade Ambiental

Essa etapa foi realizada a partir da combinação das variáveis do uso e ocupação

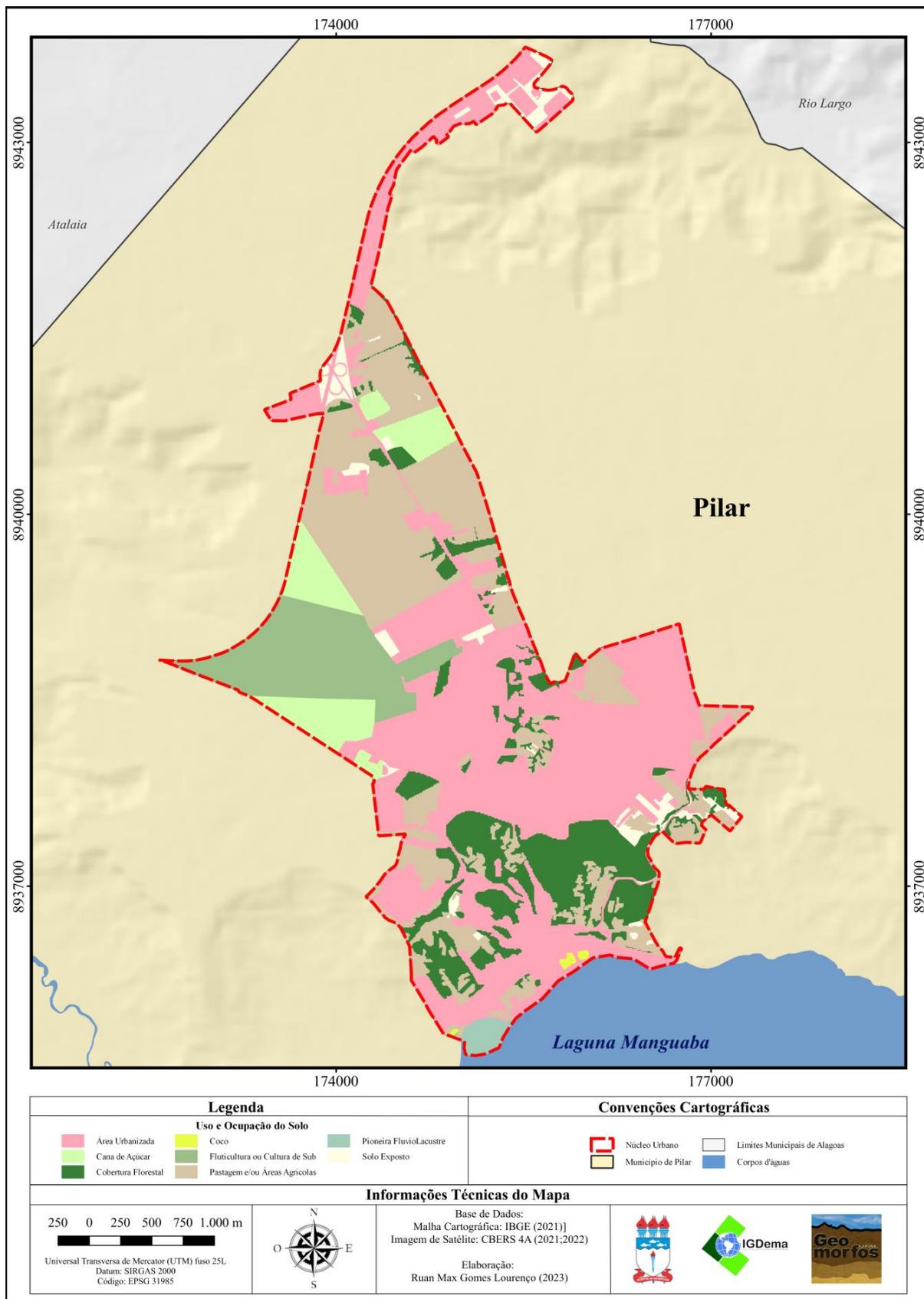
do solo com a de fragilidade potencial, duas variáveis de forma direta por média aritmética dos valores das classes existentes nos mapas. A seguir são apresentados os resultados de suas classes representando por mapas digitais temáticos, tabelas e gráficos relacionados ao grau de fragilidade do tema analisado.

#### 4.2.1 Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal

Durante a elaboração do Mapa de Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal do Núcleo Urbano (Figura 20), foi realizada a identificação e mapeamento dos componentes de uso antrópico e vegetação nativa presentes na área. Em seguida, os dados foram tabulados e organizados em Tabela, na qual foram registradas as áreas em quilômetros quadrados correspondentes às diferentes classes de uso e ocupação do solo, juntamente com a porcentagem de cada unidade em relação à área total de estudo. Essa tabela fornece uma visão clara e quantitativa da distribuição espacial dos diferentes usos do solo na área em análise.

As análises realizadas revelam que 43,28% da área de estudo são ocupadas por áreas urbanizadas, com uma extensão de aproximadamente 5,135 km<sup>2</sup>. A segunda maior categoria de uso do solo no núcleo urbano é a pastagem com áreas agrícola, abrangendo uma área de 2,850 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 24,02% da área total. Em terceiro lugar, temos a presença da vegetação remanescente do tipo Floresta Ombrófila, cobrindo uma área de 1,690 km<sup>2</sup>, o que representa 14,25% de toda a área. Essa vegetação é predominante em áreas de declives, como encostas e vales, desempenhando um papel crucial na proteção ambiental desses ambientes. Por fim, temos a classe de coco, que abrange as porções da orla lagunar, apresentando uma menor ocupação em relação às outras categorias, com 0,016 km<sup>2</sup>, representando 0,14% (Tabela 8).

Figura 20 - Mapa do Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal do Núcleo Urbano do Município de Pilar – Estado de Alagoas – Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Tabela 8 - Classes de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal, segundo valores absolutos (km<sup>2</sup>) e percentuais (%) do núcleo urbano do município do Pilar – Alagoas – Brasil

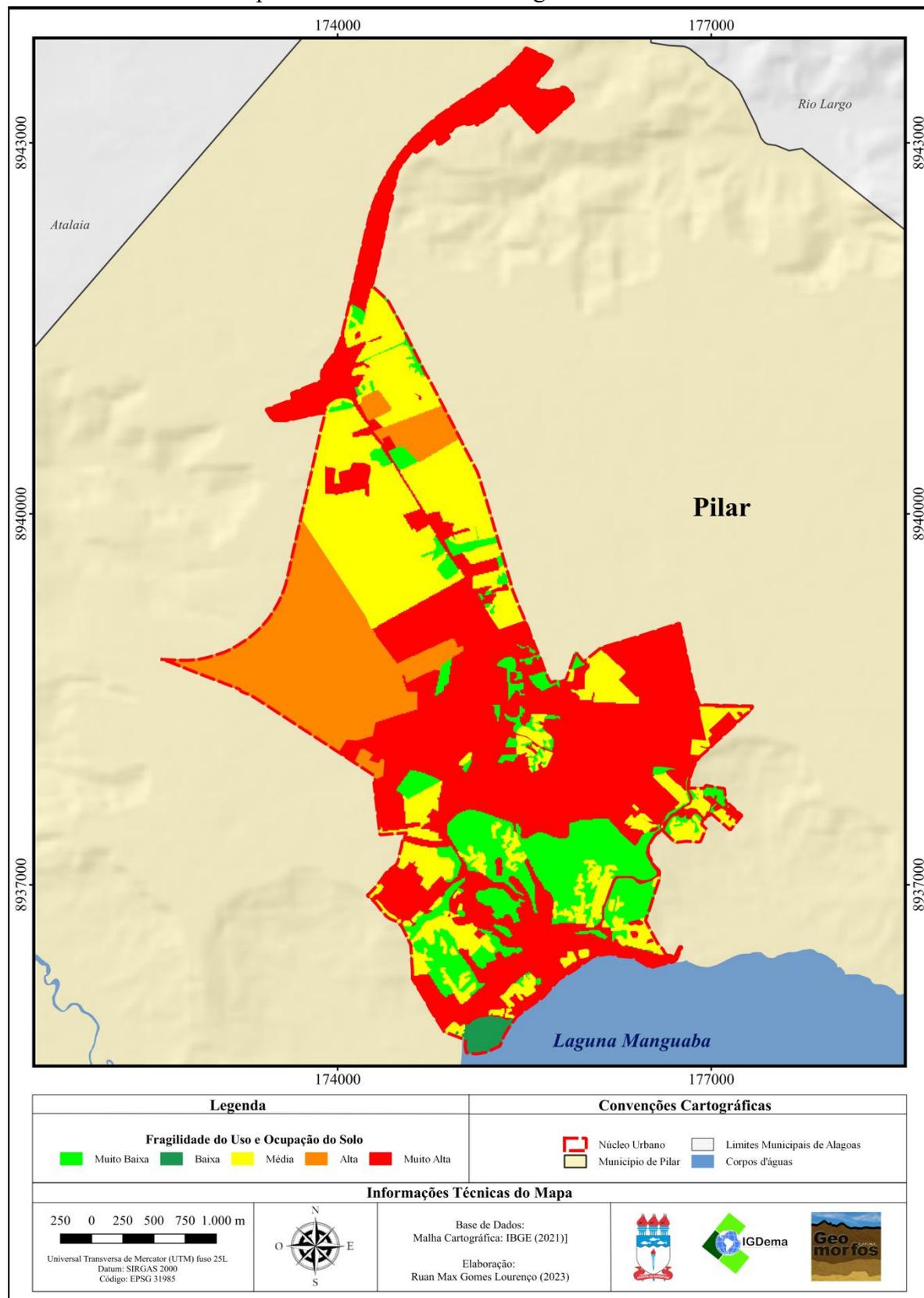
Classe de uso e ocupação do solo/ cobertura vegetal	Área	
	km <sup>2</sup>	%
Remanescente Florestal	1,691	14,25
Formação Pioneira Flúviolacustre	0,085	0,72
Pastagem	2,850	24,02
Coco-da-Baía	0,016	0,13
Fruticultura e/ou Cultura de Subsistência	1,032	8,70
Cana-de-Açúcar	0,691	5,82
Solo Exposto	0,365	3,08
Área Urbanizada	5,135	43,28
<b>TOTAL</b>	<b>11,865</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

O uso e ocupação do solo têm uma influência significativa nas questões de fragilidade ambiental. E o uso e ocupação inadequados do solo podem contribuir para a fragilidade ambiental, resultando na perda de vegetação, fragmentação do habitat, erosão do solo, contaminação do solo e da água, e perda de biodiversidade. Após a elaboração do mapa, realizou-se a associação das unidades com os graus de fragilidade. Isso envolveu a relação das áreas em quilômetros quadrados e a determinação da porcentagem de cada unidade na área de estudo. Sendo identificadas no Mapa Fragilidade Potenciais de Uso e Ocupação do Solo/Cobertura Vegetal as cinco classes de fragilidades: muito baixa, baixa, média, alta e muito alta (Figura 21).

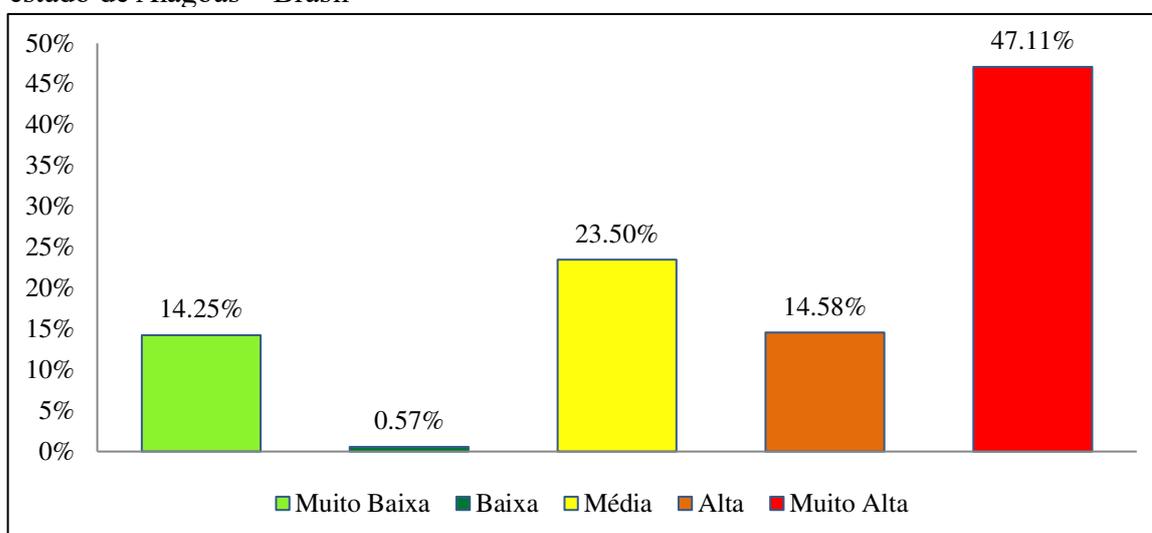
Após a execução dos processos relacionados às categorias presentes no mapa digital, houve a associação das classes de fragilidade. Esse procedimento envolveu a análise das áreas do uso e ocupação do solo, sendo assim determinada a porcentagem de cada unidade em relação à área de estudo (Figura 22).

Figura 21 - Mapa de fragilidade potencial do uso e ocupação do solo/cobertura vegetal do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Figura 22 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade das classes de uso e ocupação do solo/cobertura vegetal do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Ao analisar a contribuição das classes de fragilidade, podemos observar que a classe de fragilidade muito alta é a que apresenta a maior porcentagem, correspondendo a 47,11% de toda a área. Isso se deve principalmente ao uso do solo para a ocupação urbana, que possui um baixo grau de proteção. Em segundo lugar, temos a classe de fragilidade média, representando 23,50% da área, influenciada pela presença de solos expostos e áreas de pastagem agrícola. A fragilidade alta ocupa uma porcentagem de 14,58%, principalmente devido à presença de cultivos de fruticultura, agricultura de subsistência e cana-de-açúcar.

A área com fragilidade muito baixa abrange 14,25% do total e é caracterizada pela presença de cobertura vegetal. A classe de fragilidade baixa é a de menor porcentagem, correspondendo a apenas 0,57% da área total, associada à vegetação pioneira flúvio-lacustre, encontrada nas áreas de encontro entre o rio e a laguna Manguaba. Portanto, os graus de fragilidade muito baixa e baixa indicam um nível elevado de proteção, graças à presença da cobertura vegetal, que desempenha um papel crucial na preservação dos ecossistemas naturais. Essas áreas são essenciais para a conservação da biodiversidade e para a manutenção dos recursos naturais.

#### 4.2.2 Mapa de Fragilidade Ambiental do Núcleo Urbano do município de Pilar – Alagoas - Brasil

O mapa de fragilidade ambiental do Núcleo Urbano do Município de Pilar - Alagoas - Brasil (Figura 23) foi obtido por meio da integração dos dados dos fatores ambientais de fragilidade potencial e do uso e ocupação do solo. Esse cruzamento foi realizado utilizando procedimentos computacionais conforme descrito na metodologia. A

partir desse mapa, foi realizada a associação das classes com as classes de fragilidade, e os resultados foram apresentados na Tabela 9.

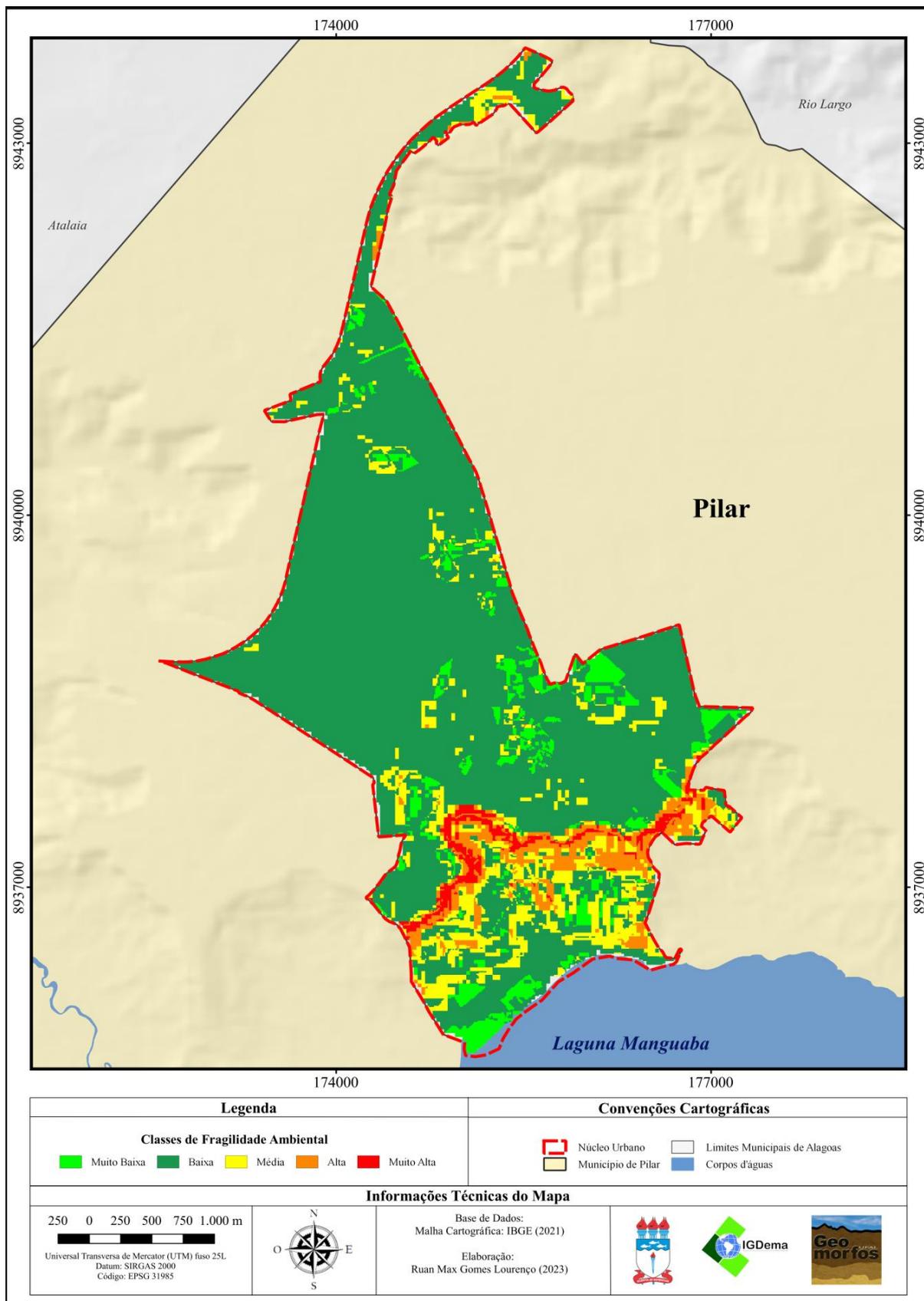
Nessa tabela, são apresentadas as áreas em quilômetros quadrados das diferentes classes de fragilidade, juntamente com a porcentagem de cada unidade em relação à área de estudo. Essas informações fornecem uma visão mais detalhada da distribuição da fragilidade ambiental na região estudada. E determinada abordagem permite identificar áreas que apresentam maior ou menor fragilidade, auxiliando na tomada de decisões. A partir dos dados foi possível também representá-las em gráfico para que tivesse um maior detalhamento (Figura 24).

Tabela 9 - Classes de fragilidade ambiental, segundo valores absolutos (km<sup>2</sup>) e percentuais (%) do núcleo urbano do município de Pilar - estado de Alagoas - Brasil

GRAU DE FRAGILIDADE	Área	
	km <sup>2</sup>	%
Muito Baixa	0,784	6,61
Baixa	9,409	79,30
Média	1,072	9,03
Alta	0,241	2,03
Muito Alta	0,359	3,03
<b>TOTAL</b>	<b>11,865</b>	<b>100</b>

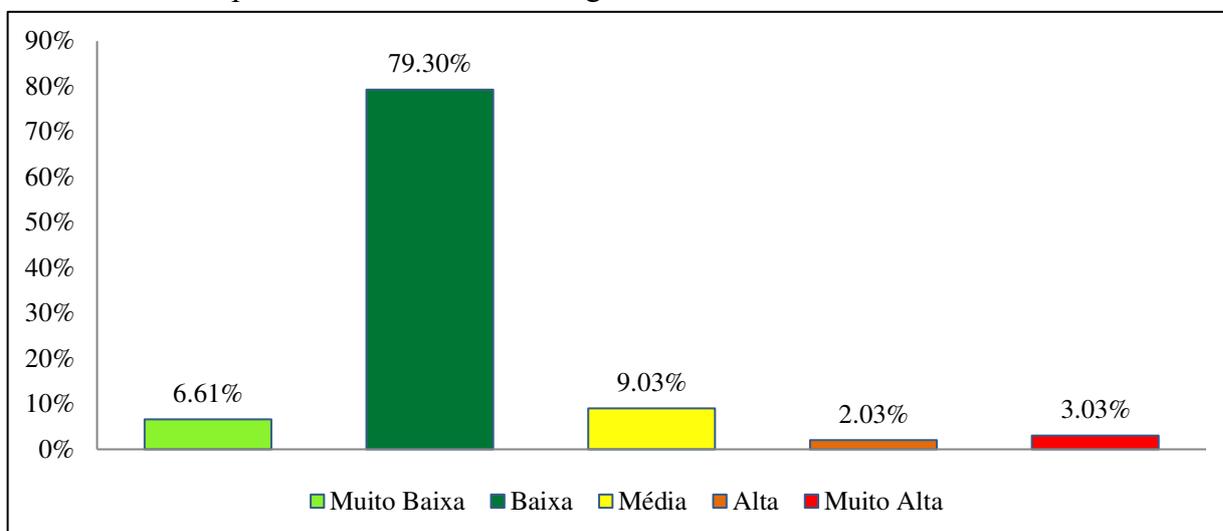
Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Figura 23 - Mapa de fragilidade ambiental potencial do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Figura 24 - Gráfico da distribuição percentual das classes de fragilidade ambiental do núcleo urbano do município de Pilar – estado de Alagoas – Brasil



Fonte: Elaborado por Ruan Max Gomes Lourenço (2023).

Com uma área total de 11,865 km<sup>2</sup>, o núcleo urbano apresenta a maior parte classificada como grau de fragilidade baixa, abrangendo 79,30% da área total, o que corresponde a 9,409 km<sup>2</sup>. Em seguida, a fragilidade média ocupa a segunda maior porção, englobando uma área de 1,072 km<sup>2</sup>, representando 9,03% do total. A fragilidade muito baixa é a terceira em extensão, abrangendo uma área de 0,784 km<sup>2</sup>, correspondendo a 6,61% da área total. Por outro lado, as classes de fragilidade alta e muito alta têm a menor abrangência, ocupando uma área de 0,241 km<sup>2</sup> (2,03% da área total) e 0,359 km<sup>2</sup> (3,03% da área total), respectivamente.

O grau de fragilidade ambiental baixa e muito baixa foi registrado em um total de 85,91% do núcleo urbano, o que corresponde a 10,193 km<sup>2</sup>. Essa predominância é atribuída principalmente à presença de cobertura vegetal, que desempenha um papel fundamental na determinação dessas classes. Essa ocorrência pode ser observada em áreas com uso menos intenso ou associadas a características físicas favoráveis do ambiente. A presença da cobertura vegetal contribui para a proteção do solo e dos ecossistemas, reduzindo os riscos de degradação e impactos ambientais. Observa-se também um baixo grau de fragilidade nos tabuleiros, mesmo tendo a influência urbana, porém sendo um ambiente de estabilidade.

O grau Fragilidade Ambiental Média é a classe de terceira maior ocupação, Envolve usos diversos, como pastagem e solo exposto, principalmente nas áreas de encosta e nos terraços. Os graus de fragilidade alta e muito alta ocupam 0,6 km<sup>2</sup>, representando 5,06% de toda delimitação da área de estudo, considerada uma ocupação pequena, porém de alerta, por essas áreas serem ocupada por construções humanas nas áreas íngremes que vem sendo

intensificada cada vez mais com a retirada da cobertura vegetal, principalmente nas encostas que vem sofrendo alterações urbanas ao decorrer do tempo.

É evidente que a área de maior fragilidade ambiental tem sua concentração nas cabeceiras das encostas, resultando em uma maior presença das classes de alta e muito alta. Essa tendência está relacionada principalmente as locais com declividades mais acentuadas, tornando-se propicio para os processos erosivos, como os deslizamentos de terra, agravando as desigualdades sociais e vulnerabilidade de certos grupos populacionais.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A conjugação das variáveis, e aplicação do método AHP como apoio na distribuição dos pesos para cada variável e a metodologia de Ross (1994) permitiu identificar e classificar as áreas frágeis para o núcleo urbano de Pilar, Alagoas. As variáveis desempenharam um papel fundamental na compreensão da dinâmica e fragilidade do ambiente, fornecendo informações importantes para a avaliação da fragilidade ambiental.

Ao avaliar a fragilidade ambiental potencial, identificamos diferentes classes de fragilidade, como baixa, média, alta e muito alta, cada uma com suas características específicas e influências nos diferentes componentes ambientais. Verificamos que a maior parte da área de estudo possui fragilidade potencial baixa, representando uma porção significativa do núcleo urbano. No entanto, também foi identificada a presença de fragilidades média, alta e muito alta, que requerem atenção especial devido aos riscos ambientais associados.

No que diz respeito ao uso e ocupação do solo, identificamos diferentes categorias, como ocupação urbana, áreas agrícolas, vegetação nativa, entre outras. Essas categorias refletem as ações antrópicas presentes na região, como expansão urbana, atividades agropecuárias e preservação da vegetação nativa. A associação dessas categorias com as classes de fragilidade revelou a relação entre as atividades humanas e os níveis de fragilidade ambiental, evidenciando a importância de um planejamento adequado e sustentável do uso do solo.

A análise da fragilidade ambiental revelou a distribuição espacial das diferentes classes de fragilidade, considerando os impactos das atividades humanas e a interação com o ambiente natural. Observamos que a fragilidade baixa e muito baixa ocupa a maior parte da área dos tabuleiros, ambiente de estabilidade. Por outro lado, as classes de fragilidade alta e muito alta possuem menor abrangência, mas exigem medidas de controle e mitigação devido aos impactos negativos associados a essas áreas, preservando a cobertura vegetal que se encontra nas encostas, pois representa como um fator determinante para o grau de proteção da área.

Conclui-se que o estudo da fragilidade potencial e ambiental, juntamente com a análise do uso e ocupação do solo e suas ações antrópicas, fornece subsídios essenciais para a tomada de decisões relacionadas à gestão ambiental e ao desenvolvimento sustentável. É importante promover a conscientização sobre os impactos das atividades humanas no ambiente, adotando práticas de uso do solo que minimizem a degradação ambiental e buscar

soluções integradas que equilibrem as necessidades socioeconômicas com a preservação dos recursos naturais.

Diante disso, fazem-se necessárias medidas preventivas e de manejo para minimizar os riscos associados à fragilidade potencial e ambiental, especialmente nas áreas com maior declividade. Essas informações são relevantes para compreender a distribuição da fragilidade ambiental no núcleo urbano, auxiliando assim na implementação de políticas e medidas adequadas para a promoção da sustentabilidade e a proteção dos ecossistemas, com medidas de gestão e planejamento urbano visando à proteção e preservação ambiental e uma expansão urbana mais ordenada, com implementação de restrições e regulamentações específicas para o uso do espaço.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, E de L. **Áreas de risco ambiental aos acidentes com transporte rodoviário de produtos perigosos no trecho alagoano da rodovia BR-101. Uma proposta metodológica.** 2016. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2016.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **RA'EGA: o espaço geográfico em análise**, Curitiba, PR, n. 8, p. 141 – 152, 2004.
- BOAS, C.L.V. Análise da aplicação de métodos multicritérios de apoio à decisão (MMAD) na gestão de recursos hídricos. Disponível em: < <https://shre.ink/H1oU>>. Acesso em: 26 mai. 2023.
- COUTO, W. C. S de. **Avaliação por geoprocessamento do potencial ambiental para o cultivo do eucalipto, na área de proteção ambiental do Pratagy - Alagoas - BR.** 2019. 100 f. Trabalho de conclusão de curso de Geografia – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2019.
- DANTAS, T. C. **Entre o pão e o concreto: os usos do território revelando os pilares de uma terra.** 2019. 189 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2019.
- DIAS, R. L; FILHO, P. A. Novas considerações sobre geossistemas e organizações espaciais em geografia. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, BH, v. 29, n. 3, p. 413 – 425, 2016.
- FRAGOSO, M de L de C; SILVA, T. A. A da. Desastre, risco e vulnerabilidade urbana: uma análise a partir das enchentes e inundações no município de Escada/PE. **Cadernos de Ciências Sociais**, Recife, PE, v. 1, n.14, jan./jun., 2019.
- FRANÇA, L, C de J. **Fragilidade ambiental potencial da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, Minas Gerais, Brasil.** 2018. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, MG, 2018.
- FRANÇA, L, C de J; PIUZANA, D. ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental Potencial e Emergente em núcleo de desertificação no semiárido brasileiro (Gilbués, Piauí). **Espacios**, n. 31, v. 38, 2017.
- FIERZ, M de S, M. **As abordagens sistêmica e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do estado de São Paulo: contribuição à geomorfologia das planícies costeiras.** 2008. 410 f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2008.
- GOUVEIA, I. C. M. C; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental: uma Proposta de Aplicação de Geomorphons para a Variável Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v. 37, p. 123 – 136, 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico de uso da terra - IBGE.. Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manuais técnicos em geociências**. Número 7. 3ª Ed. Rio de Janeiro, 2013.

**IBGE Cidades**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/pilar/panorama> > Acesso em 05 mar.2023.

LIMA, S. F de; ÁGUAS, T de A. COSTA, K. C. P. Uso de geotecnologias para análise ambiental da bacia hidrográfica do Córrego Santa Fé. **Fórum ambiental da alta paulista**, Tupã, SP, n. 5, v. 11, p. 64 – 78, 2015.

LIRA, K. C da S; FRANCISCO, H. R; FEIDEN, A. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, v. 34, jan./fev., 2022.

Manual Técnico de Geomorfologia. Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manuais técnicos em geociências**, n. 5. 2ª Ed. Riode Janeiro, 2009. 182 p.

MASSA, E. M; Ross, J. L. S. Aplicação de um modelo de fragilidade ambiental relevo-solo na serra da Cantareira, bacia do Córrego do Bispo, São Paulo-SP. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, SP, v. 24, p. 57-79, 2012.

MASCARENHAS, J. de C; BELTRÃO, B.A; SOUZA JÚNIOR, L.C. de. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**. Diagnóstico do município de Pilar, AL. 1. ed. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005, 22 p. E-book. Disponível em: [www.rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15319/1/rel\\_cadastrros\\_pilar.pdf](http://www.rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/15319/1/rel_cadastrros_pilar.pdf). Acesso em 20 de mar., 2023.

MIYAZAKI, L. C. P. **Dinâmicas de apropriação e ocupação em diferentes formas de relevo**: análise dos impactos e da vulnerabilidade nas cidades de Presidente Prudente/SP. 2014. 265 f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, SP, 2014.

MEDEIROS, A.M.L. Artigos sobre Conceitos em Geoprocessamento. 2012. Disponível em <http://andersonmedeiros.com/>. Acesso em: 26 mai. 2023.

MELO, N. A de. **Fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do Alto Parnaíba**. 2007. 137 f. Tese (Doutorado em Geociências). Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2007.

NUNES, J. O. R. et al. Diagnósticos e intervenções: estudos de caso sobre vulnerabilidade/fragilidade da paisagem e conservação dos solos. *In*: COSTA, J. L. P. O; ZACHARIAS, A. A.; PANCHER, A. M (Org.). **Métodos e técnicas no estudo da dinâmica da paisagem física nos países da CPLP** - comunidade dos países de expressão portuguesa. Málaga, Espanha: EUMED, 2022. p.10 – 30. E-book. Disponível em: [www.eumed.net/uploads/libros/a897792b8dcea0f25ad9f57bc006eb50.pdf](http://www.eumed.net/uploads/libros/a897792b8dcea0f25ad9f57bc006eb50.pdf). Acesso em 24 de mar., 2023.

OLIVEIRA, A, N. S. **A fragilidade ambiental como suporte na identificação de conflitos ambientais na APA da Marituba do Peixe, Alagoas**. 2017. 168 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas. Maceió, AL, 2017.

PADILHA, D, G. **Geoprocessamento aplicado na caracterização da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do Arroio Grande, RS**. 2008. 68 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) - Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2008.

PASSOS, M. M dos. O GTP aplicado ao estudo do meio ambiente. *In*: COSTA, J. L. P. O; ZACHARIAS, A. A; PANCHER, A. M (Org.). **Métodos e técnicas no estudo da dinâmica da paisagem física nos países da CPLP - comunidade dos países de expressão portuguesa**. Málaga, Espanha: EUMED, 2022. p.10 – 30. E-book. Disponível em: [www.eumed.net/uploads/libros/a897792b8dcea0f25ad9f57bc006eb50.pdf](http://www.eumed.net/uploads/libros/a897792b8dcea0f25ad9f57bc006eb50.pdf). Acesso em 24 de mar., 2023.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 8, p. 63-74, 1994.

ROSA, R. **Introdução ao Geoprocessamento**. Uberlândia: UFU, 2013. E-book. Disponível em: [mega.nz/file/B8NCxBKK#BTLXFVL7vrKixuv9i1N58TsPObUdb9Y036JrYLLFdaM](http://mega.nz/file/B8NCxBKK#BTLXFVL7vrKixuv9i1N58TsPObUdb9Y036JrYLLFdaM). Acesso em 25 de mar., 2023.

RODRIGUES, S. C; PINESE, J. F. J; CRUZ, L. M. Abordagem cartográfica da fragilidade ambiental na Bacia hidrográfica do Glória – MG. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, MG, n. 62/03, p. 505 – 516, 2010.

SANTOS, J de O; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, Dourados, MS, n. 10, v. 8, p. 127 – 144. ago./dez., 2012.

SANTOS, A. R dos (ORG); et, al. **Geotecnologia e análise ambiental: aplicações práticas**. Alegre, ES: CAUFES, 2015. 231 p. E-book. Disponível em: [mega.nz/file/VIVRzQpB#Mdk6MDH0rEM0QIxO4qG0Z8XjC7VIKWIIIEjsF6ptk9M](http://mega.nz/file/VIVRzQpB#Mdk6MDH0rEM0QIxO4qG0Z8XjC7VIKWIIIEjsF6ptk9M). Acesso em 25 de mar., 2023.

SANTOS, J. C. de J dos; SANTOS, M. L. L. F dos. **As transformações da cidade de pilar como processo de aprendizagem em geografia**. 2020. 22 f. Trabalho de conclusão de curso de Geografia – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2020.

SCHIAVO, B. N de V. et al. Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria -RS. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, RS, v. 20, n.1. jan./abr., 2016.

SILVA, V. M de A; SANTOS, C. A. C dos. Uso de geotecnologias para aplicação urbana. *In*: FRANCISCO et al. **Geotecnologias aplicada à estudos ambientais**. Campina Grande, PB: EPGRAF, 2018. p.178 – 187. E-book. Disponível em: [janayresespgeo.files.wordpress.com/2018/04/geotecnologias-aplicada-a-estudos-ambientais.pdf](http://janayresespgeo.files.wordpress.com/2018/04/geotecnologias-aplicada-a-estudos-ambientais.pdf). Acesso em 26 de mar., 2023.

SILVA, P dos S. **A expansão urbana em movimento no bairro Chã do Pilar/AL**. 2020. 26 f. Trabalho de conclusão de curso de Geografia – Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, AL, 2020.

SILVA, B. R; PAULA, L. D. L de. **Análise temporal das fragilidades ambientais na área de influência direta na usina hidrelétrica Corumbá IV, no Estado de Goiás**. 2022. 77 f. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, GO, 2022.

SILVA, J. X da. **Geoprocessamento para análise ambiental**. 2000. E-book. Disponível em: [mega.nz/file/JksAAJoT#IRWeXRt1Rr3Yw7VrN92sxfh85BBg6Qm-mLeBou9kes](https://mega.nz/file/JksAAJoT#IRWeXRt1Rr3Yw7VrN92sxfh85BBg6Qm-mLeBou9kes). Acesso em 25 de mar., 2023.

SILVA R.M.; BELTERRAIN M.C.N. ITA - Instituto Tecnológico de Aeronáutica. São Paulo. Considerações sobre métodos de decisão multicritério. Disponível em: [www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf](http://www.bibl.ita.br/xiencita/Artigos/Mec03.pdf). Acesso em: 26 mai. 2023.

SILVA, T. C. P da. **Diagnóstico da fragilidade ambiental como subsídio ao zoneamento ambiental do município de Pains/MG**. 2014. 42 f. Monografia de especialista em Geoprocessamento - Departamento de Cartografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2014.

SOUZA, D. S. L de. Et al. Análise e Mapeamento da Fragilidade Ambiental no Município de Inconfidentes – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, PE, v. 13, n. 5, p. 2269 – 2292. Jun./out., 2020.

SUERTEGARAY, D. M. A. **Geografia física e geomorfologia: uma releitura**. 2 ed. Porto Alegre, RS: ComPasso Lugar Cultura, 2018. p. 126. E-book. Disponível em: [lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/224517/001129250.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/224517/001129250.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em 22 de mar., 2018.

SPÖRL, C; ROSS, J. L. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP: Espaço E Tempo**, São Paulo, SP, n. 15, p. 39 – 49, 2004.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 2007. 185 f. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2007.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnostico Físico-Ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária- PR**. 2008. 105 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2008.

TERRA, G. L. et al. Geoprocessamento algébrico utilizado na caracterização da fragilidade ambiental do município de Santiago-RS. **Caminhos de geografia**, Uberlândia, MG, v. 17, n. 57, p. 167 – 174, mar/2016.

TRAMARICO, C. L.; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A. P. Proposta de um modelo para gerenciamento de estoques utilizando o método AHP combinado com classificação abc-xyz.

In: Encontro nacional de engenharia de produção, 30., 2010, São Carlos. Anais... . São Paulo: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2010. p. 1 – 11.

TREVISAN, D. P; MOSCHINI, L. E. Determinação das áreas com fragilidade ambiental do município de São Carlos, São Paulo, Brasil. **Geografia, Ensino e Pesquisa**, Santa Maria, RS, v. 20, n. 3, p. 159 – 167. dez., 2016.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/ SUPREN, 1977.

VALLE, I. C; FRANCELINO, M. R; PINHEIRO, H. S. K. Mapeamento da Fragilidade Ambiental na bacia do rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, RJ, v. 23, p. 295 – 308. abr./jun., 2016.

VIEIRA, A. S. et al. A análise multicriterial no apoio à gestão ambiental. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.142-156., abr. 2015.