UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

VINICIUS NOVO DA SILVA

PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA O MUNICÍPIO DE PRINCESA ISABEL - PB

JOÃO PESSOA

2022

VINICIUS NOVO DA SILVA

PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA O MUNICÍPIO DE PRINCESA ISABEL - PB

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal da Paraíba, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima

JOÃO PESSOA

2022

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586p Silva, Vinicius Novo da.
Proposta de zoneamento ambiental para o município de Princesa Isabel - PB / Vinicius Novo da Silva. - João Pessoa, 2022.
95 f. : il.

Orientação: Eduardo Rodrigues Viana de Lima.
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Fragilidade ambiental emergente e emergente. 2. Zoneamento ambiental. 3. Degradação ambiental. 4. Princesa Isabel - PB. I. Lima, Eduardo Rodrigues Viana de. II. Título.

UFPB/BC CDU 504.61(043)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

ATA Nº 5/2022 - PRODEMA - MEST (11.01.14.50)

Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO

João Pessoa-PB, 22 de Fevereiro de 2022

Ata da 553ª Sessão Pública de Defesa de Dissertação de VINICIUS NOVO DA SILVA do Curso de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, do Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, na área de Desenvolvimento e Meio Ambiente. Aos vinte e dois dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e dois, às 14h00min, por videoconferência, reuniram-se nos termos do art. 82 do Regulamento Geral dos Cursos e Programas de Pós-Graduação "stricto sensu" da UFPB, anexo à Resolução CONSEPE no 79/2013, a Banca Examinadora, composta pelos professores(as) doutores(as): Dr. CAMILA CUNICO - UFPB, examinador externo ao Programa, Dr. BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA - UFPB, examinador interno, Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA, UFPB, orientador - presidente. Deu-se início a abertura dos trabalhos, por parte do professor Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA, que, após apresentar os membros da banca examinadora e esclarecer a tramitação da defesa, solicitou a(o) candidato (a) que iniciasse a apresentação da dissertação, intitulada "FRAGILIDADE AMBIENTAL E PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL PARA O MUNICÍPIO DE PRINCESA ISABEL - PB". Concluída a exposição, o professor Dr. EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA, presidente, passou a palavra a professora Dra. CAMILA CUNICO, para arguir o(a) candidato(a), e, em seguida, ao professor Dr. BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA para fazer o mesmo. Após alguns comentários sobre a defesa, o presidente da banca examinadora solicitou a retirada da platéia para que a banca pudesse proceder com a avaliação da discente em sessão secreta. Após a análise da banca examinadora foi atribuído o conceito (APROVADO), conforme o art. 83 do anexo à Resolução CONSEPE-UFPB no 79/2013. Nada mais havendo a tratar, eu, Clara Tavares Gadelha, secretária, lavrei a presente Ata, que lida e aprovada, assino juntamente com os demais membros da banca examinadora.

(Assinado digitalmente em 22/02/2022 15:47)
BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 4201553

(Assinado digitalmente em 22/02/2022 15:37)
CAMILA CUNICO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 1620650

(Assinado digitalmente em 24/02/2022 10:46)
CLARA TAVARES GADELHA
TECNICO EM SECRETARIADO
Matrícula: 2004872

(Assinado digitalmente em 22/02/2022 15:46)
EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
Matrícula: 338351

Processo Associado: 23074.014306/2022-56

Para verificar a autenticidade deste documento entre em https://sipac.ufpb.br/documentos/ informando seu número: **5**, ano: **2022**, documento (espécie): **ATA**, data de emissão: **22/02/2022** e o código de verificação: **268ea21680**

Á minha família e meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço meus pais Ângela Maria e José Celestino, e minha irmã Viviane Maria por todo suporte e amor durante minha jornada.

A meus tios Edivanio e Raimundo, tias Edilânia, Edna e Sandra, meu avô Dida, avós Lourdes (*in memorian*) e Maria, por sonharem junto comigo.

Ao Professor Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima pelos ensinamentos e apoio durante todo o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao professor Dr. Bartolomeu Israel de Souza e professora Drª. Camila Cunico por suas contribuições na construção desta pesquisa desde a banca de qualificação até a defesa final.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelos valiosos ensinamentos, que me auxiliaram no desenvolvimento profissional e pessoal, e me impulsionando para o crescimento enquanto pesquisador.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), pelo apoio financeiro concedido a presente pesquisa.

Aos meus queridos colegas de mestrado, por todos os ensinamentos, apoio e momentos compartilhados mesmo que de forma virtual em virtude das circunstâncias. Foi uma honra poder trilhar este caminho ao lado de vocês, especialmente da minha também colega de orientação, Maria Lucineide, com quem compartilhei sentimentos de angústia e felicidade durante essa jornada de dois anos.

Aos meus amados amigos, sou e serei eternamente grato a vocês por tudo, então meu muito obrigado Marina Nogueira, Ingrid Luana, Ari Gledson, André Trigueiro, Kênia Karoline, Marlon Moab, José Natanael, Edna Maria, Ibcen Luan, Maria Imaculada, Letícia Sousa, Paulo César, Aline Queiroga, Gheizon Raunny, Haila Nayara, Wênia Karla, Cleytiane Santos, Floriza Pereira, Ingrid Lelis e Leticia Estephane.

Ao meu querido companheiro Andrwey Augusto Galvão Viana, por todo suporte, amor e carinho.

“There is the sudden. There is the eventual. And in between, there is the living. We do not start as dust. We do not end as dust. We make more than dust. That’s all we ask of you. Make more than dust.”

(David Levithan)

RESUMO

O município de Princesa Isabel, localizado na Região Geográfica Intermediária de Patos enfrenta um processo de degradação ambiental em virtude das atividades socioeconômicas em sua maioria associadas a agricultura, potencializado pela não aplicação de instrumentos de gestão que possibilitem a otimização do ordenamento territorial. Dessa forma, a presente pesquisa teve como objetivo geral elaborar uma proposta de zoneamento ambiental para o município de Princesa Isabel – PB. O seu desenvolvimento se deu por meio de três etapas, correspondentes a revisão bibliográfica, atividades de campo, e elaboração e organização dos resultados. Para execução da pesquisa foram trabalhados dados vetoriais e matriciais no QGIS, tais como pedologia, de uso e cobertura da terra, de declividade, o índice de vegetação por diferença normalizada, a fragilidade ambiental potencial e emergente, as áreas de preservação permanente, as áreas prioritárias de conservação e, por fim a proposta de zoneamento ambiental. Os dados de uso e cobertura da terra foram analisados em uma escala temporal, com utilização de imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8 referentes aos anos de 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020. Os métodos adotados para o desenvolvimento dos estudos de fragilidade tiveram como referência os modelos que sugerem a hierarquização dos componentes avaliados, e sua classificação qualitativo-numérica. Os resultados obtidos apresentam uma variação intensa no uso e cobertura do município ao longo dos anos, com prevalência das classes de vegetação esparsa e vegetação rala, fortemente influenciadas pelo desenvolvimento das atividades antrópicas e influência pluviométrica. A fragilidade ambiental potencial e fragilidade emergente no município são mais expressivas no grau forte, e evidenciam o papel da cobertura vegetal sobre o grau de fragilidade ambiental, bem como a interação com os demais componentes da natureza. O zoneamento ambiental proposto apresenta cinco zonas com sugestões de medidas a serem implementadas e usos sugeridos.

Palavras-chave:

Fragilidade ambiental emergente; Fragilidade ambiental potencial; Planejamento ambiental; Uso e cobertura da terra.

ABSTRACT

The municipality of Princesa Isabel in the Intermediate Geographical Region of Patos faces a process of environmental degradation due to socioeconomic activities mostly associated with agriculture, enhanced by the non-application of management instruments that allow the optimization of territorial planning. Thus, the present research had as general objective to elaborate an environmental zoning proposal for the municipality of Princesa Isabel - PB. Its development occurred through three stages, corresponding to the literature review, field activities, and preparation and organization of results. For the execution of the research were worked on QGIS data of pedology, land use and cover, slope, normalized difference vegetation index, potential and emerging environmental fragility, permanent preservation areas, priority areas for conservation, and environmental zoning. The use and coverage data were analyzed on a time scale, using images from the LANDSAT 5 and 8 satellites for the years 1985, 1998, 2005, 2017, and 2020. The methods adopted for the development of the fragility studies had as reference the models that suggest the hierarchization of the evaluated components and their qualitative-numerical classification. The results obtained show an intense variation in the use and cover of the municipality over the years, with a prevalence of sparse vegetation and sparse vegetation classes, strongly influenced by the development of anthropic activities and rainfall influence. The potential environmental fragility and emerging fragility in the municipality are more expressive in the strong degree and show the role of vegetation cover on the environmental fragility degree, as well as the interaction with the other components of nature. The proposed environmental zoning presents five zones with suggested measures to be implemented and suggested uses.

Keywords:

Emerging environmental fragility; Potential environmental fragility; Environmental planning; Land use and occupation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Município de Princesa Isabel - PB 36
Figura 2: Precipitação anual no município de Princesa Isabel – PB (50 anos) 55
Figura 3: Distribuição espacial das chuvas no município de Princesa Isabel - PB 56
Figura 4: Mapa de altitude do município de Princesa Isabel - PB 57
Figura 5: Mapa de declividade do município de Princesa Isabel - PB 58
Figura 6: Área com morros, evidenciando declividade acentuada no município de Princesa Isabel - PB 58
Figura 7: Mapa geológico do município de Princesa Isabel - PB 59
Figura 8: Solos do município de Princesa Isabel 60
Figura 9: Bacia do açude Jatobá II no município de Princesa Isabel - PB 62
Figura 10: Uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 63
Figura 11: área das classes de uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel nos anos estudados 67
Figura 12: Área com vegetação em processo de regeneração 68
Figura 13: Área elevada com vegetação semidensa e densa 68
Figura 14 : Área com indícios de utilização para pastagem 69
Figura 15: Área com indícios de queimada possivelmente para o desenvolvimento de culturas 70
Figura 16: Supressão vegetal em área de declividade acentuada 70
Figura 17: Leito de rio seco, porém com presença de vegetação de médio e grande porte em suas margens 72
Figura 18: Leito de rio seco, porém com presença de vegetação de médio e grande porte em suas margens 72
Figura 19: Mapa de fragilidade ambiental da variável pedologia 74
Figura 20: Mapa de fragilidade ambiental da variável declividade 75
Figura 21: Mapa de fragilidade potencial 76
Figura 22: Fragilidade ambiental do uso e cobertura da terra em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 77
Figura 23: Fragilidade Emergente do município de Princesa Isabel em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 78
Figura 24: Mapa de proposta de Zoneamento Ambiental para o município de Princesa Isabel - PB 81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Implicações das ações humanas causadoras de impactos ambientais 18
Quadro 2: Exemplos da relação entre atividades, aspectos e impactos ambientais 19
Quadro 3: Dados das imagens utilizadas 38
Quadro 4: Comprimento de onda (λ), coeficientes de calibração (a e b) e irradiância espectral no topo da atmosfera (Toa) para o Landsat 5 39
Quadro 5: Número de dias sequenciais no ano 39
Quadro 6: Hierarquização da fragilidade ambiental potencial e emergente 41
Quadro 7: Média pluviométrica de Princesa Isabel e municípios vizinhos (1994 – 2020) 42
Quadro 8: Grau de fragilidade da variável pluviosidade. 42
Quadro 9: Grau de fragilidade da variável pedológica. 43
Quadro 10: Grau de fragilidade da variável declividade 44
Quadro 11: Modelo da matriz de erro 46
Quadro 12: Enquadramento do nível de exatidão da classificação do índice kappa 47
Quadro 13: Grau de fragilidade da variável uso e ocupação da terra 47
Quadro 14: Classificação dos níveis de necessidade de proteção/preservação e zoneamento 52
Quadro 15: Caracterização da população de Princesa Isabel - PB 54
Quadro 16 Litotipos das unidades litoestratigráficas do município de Princesa Isabel - PB 59
Quadro 18: Matriz de erro para análise da acurácia da classificação de 2020 65
Quadro 19: Acurácia do produtor e do usuário para a classificação de 2020 66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Escala de comparação do AHP 48
Tabela 2: Matriz de comparação da AHP para Fragilidade Potencial 49
Tabela 3: Matriz de comparação da AHP para Fragilidade Potencial 50
Tabela 4: Hierarquização da fragilidade ambiental potencial e emergente com dados ponderados 51
Tabela 5: Área das classes de uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 64
Tabela 6: Áreas das unidades de zoneamento propostas para o município de Princesa Isabel - PB 81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas

APAC - AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

USGS - Serviço Geológico Americano

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PNOT - Política Nacional de Ordenamento Territorial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 15
2. OBJETIVOS 17
2.1. GERAL 17
2.2. ESPECÍFICOS 17
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 17
3.1. IMPACTO AMBIENTAL E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL 17
3.2. USO E COBERTURA DA TERRA, PLANEJAMENTO AMBIENTAL E ZONEAMENTO 23
3.3. GEOPROCESSAMENTO 28
3.4. FRAGILIDADE AMBIENTAL 31
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 36
4.1. ÁREA DE ESTUDO 36
4.1.1. Localização 36
4.2. MATERIAIS E MÉTODOS 36
4.2.1. Processamento digital das imagens 37
4.2.2. Fragilidade Ambiental 41
4.2.2.1. Pluviosidade 42
4.2.2.2. Pedologia 43
4.2.2.3. Declividade 44
4.2.2.4. Uso e cobertura da terra 44
4.2.2.5. Fragilidade Ambiental 47
4.2.3. Áreas de preservação permanente e Áreas prioritárias de conservação 51
4.2.4. Zoneamento Ambiental 52
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 54
5.1. Caracterização do Município de Princesa Isabel - PB 54
5.1.1. População 54
5.1.2. Clima 55
5.1.3. Geomorfologia, Pedologia e Geologia 57
5.1.4. Recursos Hídricos 62
5.2. USO E COBERTURA DA TERRA 63
5.2.1. Uso e Cobertura da terra em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 63

5.3. FRAGILIDADE AMBIENTAL 73
5.3.1. Fragilidade Potencial 73
5.3.2. Fragilidade Emergente 77
5.4. ZONEAMENTO AMBIENTAL 81
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 84
REFERÊNCIAS 86

1. INTRODUÇÃO

As consequências das ações antrópicas sobre o meio ambiente vêm se tornando cada vez mais evidentes com o passar dos anos, assim como a preocupação com o que podem causar no futuro. Ao longo das décadas o progresso econômico desenfreado passou a ser associado com a escassez dos recursos naturais e com os impactos ambientais.

Santos e Ross (2012) afirmam que o homem, na medida que se apropria do território e dos recursos naturais para o atendimento de suas necessidades, também desencadeia inúmeras transformações no ambiente natural. Os autores ainda dizem que o supradito processo de apropriação ocorre de forma desorganizada e desconsidera os limites do ambiente, potencializando os impactos ambientais.

Dentre as atividades antrópicas de modificação do meio ambiente, o processo de uso e cobertura da terra pode ser citado como uma ação com alto potencial para alterações significativas, visto que ocorre de forma desordenada, considerando a inexistência ou falhas do planejamento ambiental, atrelado ao desconhecimento das potencialidades e fragilidades das áreas ocupadas.

Segundo Pereira e Santos (2012), o processo de espraiamento das atividades antrópicas pode ser entendido como um resultado do desenvolvimento de atividades como a agricultura e a indústria, e tal processo é condicionado pela relação entre os fatores naturais e sociais, e como eles afetam os sistemas ecológicos. Nesse sentido, a compreensão dos efeitos causados sobre os componentes da natureza (clima, relevo, vegetação e recursos hídricos) são cruciais para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis.

A respeito dos supraditos componentes da natureza, Spörl e Ross (2004) afirmam que alterações nesses podem gerar consequências negativas na funcionalidade do sistema ambiental e quebrar seu estado de equilíbrio dinâmico. Com base nisso, pode-se identificar o grau de fragilidade ambiental de uma área frente as intervenções antrópicas, definido por meio da gravidade dessa intervenção, tomando como base para essa análise a consideração de que o meio natural se apresenta equilibrado até o momento de intervenção vinculada as ações do homem (FRANCO, 2010).

Nessa perspectiva, a fragilidade ambiental é entendida como a sensibilidade do meio ambiente a qualquer dano, e tem como propósito a identificação de áreas tidas como frágeis, considerando as especificidades que as tornam mais sensíveis aos

impactos ambientais (TAMANINI, 2008). A fragilidade ambiental se relaciona a elementos de desequilíbrio de ordem física, como o grau de declividade da área, bem como fatores de ordem antrópica, como o processo de uso e ocupação da terra (SCHIAVO *et al.*, 2016).

Os estudos de fragilidade ambiental são de grande significância para a identificação de áreas mais suscetíveis a degradação ambiental, permitindo uma avaliação mais criteriosa do processo de planejamento ambiental no que se refere ao uso e ocupação da terra, tida como uma das variáveis mais importantes nos estudos de fragilidade ambiental.

O desenvolvimento de atividade antrópicas sem a consideração das características naturais do meio e sua relação com as atividades socioeconômicas desenvolvidas pode resultar em inúmeras adversidades ambientais como a impermeabilização dos solos, potencialização dos fenômenos erosivos, diminuição da recarga de aquíferos, assoreamento dos corpos hídricos, perda de nutrientes do solo, entre outros.

Nesta perspectiva, destaca-se o município de Princesa Isabel, no semiárido paraibano, onde é perceptível a identificação do processo de degradação ambiental intenso na área. Entre diversos problemas que existem, verifica-se atualmente a expansão da área urbana da sede municipal em direção ao manancial de abastecimento, o açude Jatobá II, e a área ocupada pelo lixão municipal, desativado no ano de 2021.

A respeito das atividades socioeconômicas desenvolvidas no município de Princesa Isabel, observa-se que estas associam-se em sua grande maioria ao:

> [...] uso e ocupação do solo e ao desenvolvimento da agropecuária que é realizada de forma tradicional envolvendo atividades extrativistas, uso de agrotóxicos, deposição inadequada de resíduos e efluentes tanto domésticos como agroindustriais. (SILVA, 2017, p.23).

No município são identificadas duas parcelas de áreas definidas como prioritárias para conservação, com importância biológica muito alta, visto a sua riqueza de espécies e a presença de espécies endêmicas (BRASIL, 2003; BRASIL, 2018). Estas áreas apresentam potencial para a composição de unidades de conservação, e desta forma necessitam de adoção de medidas que visem a utilização de seus recursos de forma sustentável.

Associado as características supraditas, o fato de o município ainda não apresentar um zoneamento estruturado que possa nortear o poder público quanto as fragilidades e

potencialidades da área e desta forma o processo de ordenamento territorial, evidencia o potencial de agravamento dos desequilíbrios ambientais.

As hipóteses desta pesquisa são de que o município de Princesa Isabel apresenta um grau elevado de fragilidade ambiental potencial, e que a área apresenta limitações expressivas no uso da terra em virtude de seu elevado grau de fragilidade ambiental emergente.

Considerando o entendimento de interdisciplinaridade como a busca pela compreensão e/ou solução de determinado problema, no qual se integra e articula duas ou mais disciplinas, permitindo uma visão holística, diversificada, unificada e abrangente da relação sociedade e natureza (COIMBRA, 2000, p.58; FLORIANI, 2000, p. 100), nesta pesquisa considera-se a integração de conhecimentos como a geografia, a ecologia e o geoprocessamento, interagindo ainda com áreas como a sociologia e a economia. Destaca-se ainda que o próprio estudo da fragilidade ambiental se baseia na integração de conhecimentos, visto que toma como base a teoria de sistemas e de equilíbrio dinâmico da ecologia e sua integração com a geomorfologia, bem como, sua compreensão sob a ótica do planejamento ambiental, onde o entendimento da sociedade é primordial.

2. OBJETIVOS

2.1. GERAL

- Elaborar uma proposta de zoneamento ambiental para o município de Princesa Isabel - PB.

2.2. ESPECÍFICOS

- Identificar e classificar as unidades da paisagem do município de Princesa Isabel em escala Têmporo-Espacial;
- Analisar as limitações de uso da terra frente as fragilidades e potencialidades ambientais e propor medidas de adequação e otimização.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. IMPACTO AMBIENTAL E DEGRADAÇÃO AMBIENTAL

Ao se falar de meio ambiente o termo impacto ambiental surge logo em seguida, geralmente associado a algum desequilíbrio ambiental observado.

Para fins de entendimento o impacto ambiental apresenta inúmeros conceitos, como por exemplo, no Artigo 1° da Resolução CONAMA N° 001 de 23 de janeiro de

1986, que estabelece definições, responsabilidades, critérios básicos e diretrizes para o uso e implementação da avaliação de impacto ambiental enquanto instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente. Impacto ambiental é definido como:

> qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:
> I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;
> II - as atividades sociais e econômicas;
> III - a biota;
> IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
> V - a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986, p.1).

Já na norma ISO 14001 de 2015, publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, e que específica os requisitos para implementação e operação do Sistema de Gestão Ambiental – SGA, nas organizações, impacto ambiental é conceituado como qualquer "modificação no meio ambiente, tanto adversa como benéfica, total ou parcialmente resultante dos aspectos ambientais de uma organização" (ISO 14001, 2015, p.15).

Sobre a definição estabelecida pela ISO 14001 de 2015, Sánchez (2013) define que impacto ambiental considerando a perspectiva da norma pode ser compreendido como um resultado dos processos de uma organização, neste sentido uma atividade, um processo ou um serviço podem ter como consequência alterações no meio ambiente, ou seja, o impacto ambiental seria qualquer modificação no meio ambiente, independentemente de sua magnitude.

Todavia, Sánchez (2013, p.45) prefere adotar um conceito fundamentado na perspectiva dos processos ambientais, que acaba considerando o dinamismo do ambiente. Sob esta óptica o autor define impacto ambiental como a "alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocada por ação humana".

Considerando a relação entre impacto ambiental e a ação humana, destaca-se que ele pode ter causas variadas, cujas implicações no ambiente podem ser observadas de três formas, como mostra o quadro1.

Quadro 1: Implicações das ações humanas causadoras de impactos ambientais

SUPRESSÃO	INSERÇÃO	SOBRECARGA
Supressão/ destruição de componentes do ecossistema e componentes físicos da paisagem.	Introdução deliberada ou involuntária de uma espécie exótica.	Aumento na demanda de bens e serviços públicos. Ex: educação e saúde.

Supressão de elementos significativos à memória ou lugares de memória. Ex: cemitérios.	Introdução de componentes construídos. Ex: barragens e rodovias.	Introdução de poluentes.

Fonte: Adaptado de Sánchez (2013).

No tocante a causa dos impactos ambientais, é pertinente salientar que estas se diferem do impacto em si, sendo conceituadas como aspecto ambiental, definido pela ISO 14001 de 2015 como um "elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização, que interage ou pode interagir com o meio ambiente" (ISO 14001, 2015, p.15).

De forma aplicada, tomando o exemplo da emissão de gases poluentes de uma indústria, tal emissão está associada ao processo produtivo, neste sentido os gases emitidos terão contato direto com o meio ambiente podendo gerar alterações na qualidade ambiental. Sob esta perspectiva a emissão de gases é compreendida como a causa, logo pode ser entendido como o aspecto ambiental, enquanto o processo de alteração da qualidade do ar em decorrência desta emissão é compreendido como o impacto ambiental (SÁNCHEZ, 2013).

Nesta perspectiva aspecto ambiental também pode ser compreendido como "o mecanismo através do qual uma ação humana causa um impacto ambiental" (SÁNCHEZ, 2013, p.45). Sendo válido mencionar que uma mesma atividade pode apresentar resultar em mais de um aspecto ambiental e por conseguinte mais de um impacto. Esta situação pode ser observada nos exemplos do quadro 2.

Quadro 2: Exemplos da relação entre atividades, aspectos e impactos ambientais

ATIVIDADES	ASPECTOS	IMPACTOS
Lavagem de roupas	Consumo de água	Diminuição na disponibilidade hídrica
Lavagem de louça com detergente	Lançamento de água com detergentes	Alteração da qualidade da água
	Consumo de água	Diminuição na disponibilidade hídrica
Transporte de carga por caminhões	Emissão de ruídos	Incomodo a população
	Aumento do tráfego	Aumento nos congestionamentos
	Emissão de gases	Alteração na qualidade do ar
Armazenamento de combustíveis	Vazamento	Contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas
Atividades agrícolas	Supressão da vegetação nativa	Exposição do solo a intempéries
		Potencialização do processo erosivo
	Uso excessivo do solo	Perda de nutrientes e empobrecimento do solo

Fonte: Adaptado de Sánchez (2013).

Um detalhe relevante quanto aos impactos ambientais é que apesar de sua conotação geralmente estar associada a algo negativo, estes também podem ter características positivas para a sociedade e a economia em especial, como a geração de empregos a movimentação do mercado, entre outros.

Contudo os impactos negativos são os mais comuns e de maior significância, visto os danos por eles causados. E justamente vinculados a estes impactos negativos está a degradação ambiental.

O termo degradação ambiental ou degradação da qualidade ambiental é definido no inciso II, do artigo 3° da Lei n° 6.938/81 que dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, como sendo "a alteração adversa das características do meio ambiente". Já o Decreto 97.632 de 10 de abril de 1989, que regulamenta o artigo 2° e o inciso VIII da lei supradita, define degradação como "processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais".

Degradação ambiental pode ser entendida como "qualquer alteração adversa dos processos, funções ou componentes ambientais, ou alteração adversa da qualidade ambiental" (SÁNCHEZ, 2013, p.45).

Segundo Tyagi, Garg e Paudel (2014) a degradação ambiental é uma das 10 ameaças advertidas oficialmente pelo Painel de Alto Nível das Nações Unidas, e atribuem o seguinte conceito para o termo:

> Degradação ambiental é a deterioração do meio ambiente através do esgotamento dos recursos como o ar, água e solo; a destruição dos ecossistemas e a extinção da vida selvagem. Degradação ambiental pode ser definida como qualquer mudança ou perturbação ao meio ambiente percebida como deletéria ou indesejável (TYAGI; GARG; PAUDEL, 2014, p.1, tradução nossa).

A degradação ambiental pode ser entendida como um conceito guarda-chuva, visto que abarca desde assuntos como a poluição, até a perda da biodiversidade, desertificação, aquecimento global, entre outras adversidades (CHOUDHARY, CHAUHAN e KUSHWAH, 2015).

A principal causa da degradação ambiental são as atividades antrópicas, cujo grau do impacto ambiental pode variar de acordo com a atividade ou o ecossistema em que as mudanças ambientais ocorrem, onde as atividades mais comumente responsáveis por tais mudanças são o processo de urbanização, o crescimento populacional e econômico

e a intensificação da agricultura e no consumo energético (CHOUDHARY, CHAUHAN; KUMAR, 2015; TYAGI; GARG; PAUDEL, 2014).

O crescimento populacional descontrolado associado ao desenvolvimento econômico que tem gerado crescimento da industrialização e intensificação da agricultura, são os principais responsáveis por inúmeras adversidades causadas ao meio ambiente, como, por exemplo, degradação do solo, esgotamento de recursos naturais, problemas de saúde pública, perda de biodiversidade entre outros (RAY e RAY, 2011)

Em outra perspectiva, Silva (2017) afirma que as causas da degradação estão vinculadas ao esgotamento dos recursos naturais em decorrência das ações do homem, resultando no desequilíbrio dos ecossistemas e gerando alterações no meio ambiente. Segundo a autora a degradação é vista como um resultado do desequilíbrio gerado frente ao aumento no consumo dos recursos naturais, que ocorre de forma desarmônica, em paralelo com o crescimento populacional.

Ainda analisando a relação sociedade e degradação ambiental, a pobreza pode ser compreendida como uma causa e ao mesmo tempo uma consequência da degradação ambiental, visto que o elo entre pobreza e meio ambiente é extremamente complexo. A desigualdade resulta na insustentabilidade, visto que a população mais carente é mais dependente dos recursos naturais, logo esgotam mais rapidamente tais recursos, vistos como a única alternativa para sua sobrevivência. Em paralelo, o ambiente degradado potencializa pauperização, tendo em vista a dependência dos recursos naturais por parte da população mais carente (RAY; RAY, 2011).

É válido mencionar que apesar de estar mais comumente associada aos fatores antrópicos, a degradação ambiental também sofre influências naturais, visto que o meio ambiente está em constante processo de mudança. Eventos naturais como deslizamentos, terremotos, furacões ou queimadas naturais, apresentam a potencialidade para destruir um ecossistema. Esta degradação pode ocorrer por meio dos eventos catastróficos mencionados ou de forma gradativa perante a presença de uma espécie invasora. Esta degradação natural ocorre como uma tentativa de adaptação do ambiente a adversidades (CHOUDHARY, CHAUHAN; KUMAR, 2015).

A características naturais de uma área são capazes de potencializar o processo de degradação ambiental, tomando, por exemplo, o semiárido característico por sua irregularidade pluviométrica e temperaturas elevadas, que o torna mais propenso a fenômenos como a desertificação. Quando se agrega as fragilidades naturais a

influência do homem, fenômenos naturais adversos acabam sendo potencializados, ocorrendo de forma rápida e mais danosa.

No bioma Caatinga, ao qual se associa o semiárido brasileiro, a degradação ambiental está diretamente associada a fatores de uso e ocupação da terra, visto que o processo de gestão e ocupação resulta em graus e tipos diferentes de impacto, que afetam de maneiras diversas o meio ambiente (SILVA, T. S. DA; CÂNDIDO; FREIRE, 2016).

Sobre a degradação no semiárido, Silva et al. (2013) e Patrício e Francisco (2013) afirmam que a combinação das condições climáticas, falhas no planejamento ambiental, desmatamento, queimadas entre outras práticas antrópicas podem gerar inúmeros problemas para a população e o meio ambiente. Segundo os autores a degradação ambiental tem crescido gradativamente na região semiárida, e tem gerado inúmeras consequências como a perda da biodiversidade e degradação dos solos e recursos hídricos, considerando o grau de fragilidade da área, e o aumento do risco da permanência da população na zona rural.

Outras consequências da degradação do meio ambiente são:

> Aumento da pobreza, superlotação, fome, condições climáticas extremas, perda de espécies, doenças médicas crônicas e agudas, guerras e abusos dos direitos humanos, e uma crescente situação de instabilidade global [...] (TYAGI, GARG e PAUDEL, 2014, p.2, tradução nossa).

Como medidas para a mitigação da degradação, algumas medidas podem ser tomadas como a priorização na compra de produtos recicláveis, o uso racional da água, a disposição adequada de resíduos sólidos, economia de energia e propagação das informações a respeito da temática (CHOUDHARY, CHAUHAN e KUSHWAH, 2015).

Contudo, para implementação de medidas que visem a minimização da degradação ambiental é primordial a compreensão de sua relação com a desigualdade social instaurada, visto que existe uma relação intrínseca entre a pobreza na população e o crescimento do uso não sustentável dos recursos naturais no intuito de se garantir a sobrevivência (RODRIGUES, et al. 2016).

Esta relação complexa e variável entre a pobreza e a degradação ambiental também foi observada por Oliveira (2013), que constatou sob uma ótica diferente que existe influência da degradação ambiental sob o nível de pobreza de uma região, de

forma que diretamente quanto maior o grau de degradação ambiental, maior o nível de pobreza.

No intuito de minimização da degradação ambiental, em especial associada a população mais carente cujo sustento está diretamente ligado a utilização dos recursos naturais, faz-se necessário uma ampliação do acesso a tecnologias, crédito e especialmente informação que possa auxiliar esta população mais vulnerável a adotar medidas mais sustentáveis (SILVA, 2017).

A relação entre as características socioeconômicas e a degradação ambiental tornam evidente que os problemas ambientais vão além de uma ótica natural, e que exigem uma abordagem holística para que os efeitos por eles causados sejam minimizados de forma efetiva. Sendo necessário a implementação de ações que visem muito mais que a redução dos impactos ambientais negativos, mas que também minimizem a desigualdade social e otimizem o crescimento econômico de forma menos danosa ao ambiente.

3.2. USO E COBERTURA DA TERRA, PLANEJAMENTO AMBIENTAL E ZONEAMENTO

O processo de uso e ocupação da terra está intrínseco ao desenvolvimento antrópico, representado por atividades como a agricultura e a pecuária, atividades industriais ou até mesmo ampliação de áreas urbanizadas.

Para Ferreira e Filho (2009) o uso e ocupação deve ser compreendido como o método pelo qual o homem ocupa o espaço. Segundo os autores o entendimento do processo de uso e ocupação é primordial para a compreensão organizacional do ambiente, visto que o uso desequilibrado tem como resultado a potencialização dos impactos ambientais e logo a degradação ambiental.

O uso da terra é conceituado como as [...] “atividades exercidas pela ação humana em uma determinada área ou ecossistema e a forma pelo qual esse espaço está sendo ocupado” (PIRES et. al, 2016, p.2).

Os estudos associados ao uso e cobertura da terra apresentam a distribuição geográfica de cada classe de uso, definidas por meio de padronização das homogeneidades da cobertura terrestre. Estes são primordiais para a compreensão dos meios de uso e ocupação do território, sendo essenciais para auxiliar o processo de tomada de decisões no que se refere ao planejamento ambiental, o desenvolvimento de

indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental (IBGE – Manual Técnico de Uso da Terra, 2013).

No processo de ocupação do território e gestão do espaço existem duas grandes ordens de fatores que podem influenciar este processo, os naturais e os cultural-econômicos. Desta forma se considerado um determinado meio com características especificas de relevo e clima, uma sociedade com hábitos tradicionais mais simples tem o potencial para gerar um nível específico de alterações no território, ao passo que no mesmo ambiente uma sociedade com maior desenvolvimento tecnológico e disponibilidade de recursos financeiros pode alterar de forma mais intensa o ambiente (ROSS, 2006).

O uso da terra sem o devido planejamento ou a exploração exacerbada dos recursos naturais podem resultar em inúmeros malefícios para os ecossistemas, como o empobrecimento dos solos, extinção de espécies nativas, intensificação dos fenômenos erosivos, inundações e assoreamento dos corpos hídricos, alteração da qualidade da água, e outras adversidades. (SANTOS, et al. 2017; FERREIRA e FILHO, 2009).

Silva e Silva (2017) afirmam que a identificação da capacidade de suporte do solo é primordial para o planejamento do seu uso no desenvolvimento de atividades industriais, ambientais e agrícolas. Os autores sustentam tal argumento tomando como base o aumento na demanda alimentícia, bem como o crescimento urbano acelerado, e como tais ações resultaram em alterações nos sistemas de produção e tiveram como consequências a exploração excessiva do solo, além de alterações na capacidade de suporte natural.

As adversidades causadas pelo uso a terra são reafirmadas por Santos (2015). Segundo o autor ações como a retirada da cobertura vegetal, o aterramento dos corpos hídricos, ocupação de áreas íngremes ou encharcadas e o aumento da impermeabilização do solo apresentam a capacidade de perturbar de forma expressiva os processos naturais, e por consequência gerar inúmeros impactos ambientais e riscos emergentes.

Uma análise semelhante quanto os avanços econômicos foram feitos por Ross (2006, p.51) que afirma “a tecnificação e a sofisticação crescente dos padrões socioculturais e o aumento demográfico interferem cada vez mais no ambiente natural, e a procura por recursos naturais torna-se mais intensa”.

Segundo Oliveira e Galvíncio (2011) visto a extensão geográfica do Brasil, o nível de heterogeneidade dos ecossistemas presentes no país exige uma melhor afinidade com as novas tecnologias, de forma que se possa subsidiar a otimização no processo de levantamento e monitoramento dos recursos naturais, permitindo assim um melhor planejamento quanto ao seu uso, e por consequência assegurar o desenvolvimento de forma sustentável.

Honda et al. (2015) afirmam que após os anos 1960 o processo de urbanização no Brasil trouxe em seu processo diversos obstáculos no que se refere as políticas públicas e a gestão do território. Ainda segundo os autores:

> Nos grandes centros urbanos, é bastante visível o quadro de miséria social com grande percentual da população residindo em áreas ilegais, clandestinas, favelas e de risco. Essa realidade tem se propagado também para cidades médias e pequenas. Frente ao processo de crise urbana, o enfrentamento dos graves problemas que atingem a população requer soluções articuladas de planejamento e gestão urbanos (HONDA. et al., 2015, p.65).

Atualmente o processo de produção no espaço territorial brasileiro é oriundo da união de fatores naturais, técnico-científicos e político-econômicos associados aos mais diversos momentos históricos do país, onde o foco do governo federal e estadual era a instituição de programas, projetos e planos que permitissem o desenvolvimento econômico acelerado sem a consideração dos impactos negativos gerados sob o meio ambiente e a sociedade (ROSS, 2006).

Como uma forma de mitigar os impactos causados ao meio ambiente, em especial aqueles associados ao ordenamento territorial, o planejamento ambiental surge enquanto uma alternativa para direcionar o processo de uso e ocupação.

O planejamento ambiental surgiu nas últimas décadas perante o crescimento expressivo da competição por espaço e recursos naturais, cuja consequência foi a necessidade de ordenamento território de forma que os diversos usos ocorressem de forma harmoniosa com a proteção do meio ambiente e a otimização da qualidade de vida da população. Ele teve como propósito solucionar os possíveis conflitos entre os ideais da conservação ambiental e do desenvolvimento tecnológico (SANTOS, 2009).

O planejamento ambiental mostra-se como uma forma de reavaliação do espaço urbano e da relação entre espaço e natureza. Permitindo uma otimização do planejamento das cidades, e reafirmando a relevância do desenvolvimento do

planejamento de forma participativa e do uso sustentável dos recursos naturais (ALBANO, 2013).

> De uma forma geral, o planejamento ambiental consiste na adequação de ações à potencialidade, vocação local e à sua capacidade de suporte, buscando o desenvolvimento harmônico da região e buscando a manutenção da qualidade do ambiente físico, biológico e social (SANTOS, 2009, p.28).

O planejamento ambiental ocorre sob uma ótica ampla da gestão ambiental e do planejamento legal, e nas mais diversas escalas, partindo do local ao regional, nacional e internacional, onde as abordagens são múltiplas e adaptáveis para cara escala de trabalho (HAUGHTON, 2017).

Haughton (2017) destaca que analisando o planejamento ambiental sob a perspectiva legal e não legal, a principal preocupação quanto a este instrumento é a de lidar com as características ambientais, políticas e administrativas. Desta forma é pertinente observar que o planejamento ambiental existe comumente como parte do processo legal para o uso da terra, relacionando-se a uma diversidade de setores e organizações, a exemplo do abastecimento de água e energia.

O planejamento ambiental funciona sob uma ótica que considera as fragilidades e potencialidades do meio, utilizando-as como base para organizar o processo de ocupação da terra e definir como devem ser conduzidas as atividades antrópicas frente as caraterísticas do ambiente (SANTOS, 2009).

A implementação do planejamento ambiental e forma efetiva está associada a articulação dos instrumentos nele definidos, e na concepção do planejamento de forma dinâmica, pautada na integração das questões político-institucionais e a gestão participativa, de forma a garantir a implementação e o acompanhamento das medidas de ordenamento propostas (PERES e CHIQUITO, 2012).

Sob uma ótica de cenários desejados com a efetiva aplicação das medidas de ordenamento territorial, o foco da Política Nacional de Ordenamento Territorial - PNOT é a incorporação das políticas de meio ambiente, em conjunto com a expansão do agronegócio, com melhor distribuição das indústrias e diversificação das fontes de energia, ao passo que também se reduz a desigualdade social e se otimiza a diversidade cultural (BRASIL, 2006).

No que se refere aos instrumentos do planejamento ambiental o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2012, p.1) define que os principais são o “Zoneamento Ecológico-Econômico - ZEE, o Plano Diretor Municipal, o Plano de Bacia

Hidrográfica, o Plano Ambiental Municipal, a Agenda 21 Local, e o Plano de Gestão Integrada da Orla".

Dentre os instrumentos do planejamento ambiental, no zoneamento ecológico-econômico (ZEE) estudos de fragilidade ambiental e potencialidades são apresentados como primordiais para sua execução, que se trata de uma ferramenta de funcionamento holístico, otimizando o processo de planejamento.

O ZEE é instituído como um dos instrumentos da Lei 6.938 de 1981, que estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente, apresenta como particularidade a oportunidade de inserção da variável ambiental em inúmeros momentos do processo de tomada de decisão, podendo estar presente desde a concepção de estratégias de desenvolvimento setorial a decisões quanto ao uso e ocupação inerentes a uma atividade específica (SANTOS, 2009).

Este instrumento é de grande valia para o auxílio na elaboração de políticas territoriais nos três níveis governamentais (União, estado, município), orientando-os na adoção de políticas que conversem com as diretrizes do planejamento estratégico do país, e desta forma auxiliando na busca pela preservação do capital natural, bem como na diminuição dos riscos associados a investimentos, servindo de suporte para o ordenamento territorial (ROSS, 2006).

Barros (2015) define o ZEE como um instrumento legal de diagnóstico do uso do território que busca garantir o desenvolvimento sustentável. Este funciona por meio da divisão da terra em zonas, tendo em vista os recursos naturais, socioeconômicos e os marcos jurídicos, a partir dos quais determina-se as potencialidades econômicas, fragilidade ambiental e as tendências de ocupação, considerando também a qualidade de vida da população. Por meio do consolidado dessas informações, é possível compor cenários com diretrizes para a tomada de decisões e investimentos.

O ZEE fundamenta seu procedimentos técnico-científicos sob uma ótica interdisciplinar, de forma que se estabelece normativas para o uso e a ocupação da terra, bem como diretrizes gerais e específicas para o desenvolvimento, que considerem o nível de sustentação dos recursos naturais (ROSS, 2006).

O ZEE apresenta-se como um instrumento chave para a implementação do ordenamento territorial no país, contanto que haja uma integração do mesmo com instrumentos citados na PNOT, como os planos nacionais, regionais e locais de

ordenamento territorial, a avaliação de impactos ambientais, a definição de espaços protegidos e sistemas de informações (PERES e CHIQUITO, 2012).

No que se refere ao seu desenvolvimento, o zoneamento deve ocorrer em escalas nacionais, estaduais e municipais, buscando gerar informações em diferentes ordens e objetivos. Seu foco divide-se em estratégico para os estudos desenvolvidos a nível de abrangência territorial continental, nacional e regional, e tático operacional, cujas abrangências territoriais são estaduais, municipais e locais, e que servirão como indicativos operacionais de gestão e ordenamento territorial, como planos diretores municipais, planos de gestão ambiental e territorial locais (BRASIL, 2002).

Em escala municipal o zoneamento pode ser entendido como:

> Um instrumento balizador do processo de ordenamento e planejamento territorial ambiental do município, cujo propósito é subsidiar e apoiar as políticas públicas voltadas à regulação do uso e da ocupação do solo do município, tanto urbano quanto rural (MMA, 2018, p.16).

Segundo o MMA (2018) o zoneamento ambiental municipal – ZAM, tem como objetivo a organização de maneira integrada das propostas da sociedade e agentes públicos no que se refere aos planos, programas, projetos e atividades que façam uso dos recursos naturais de maneira direta ou indireta, almejando a manutenção e conservação instável dos recursos econômicos e serviços dos ecossistemas.

O ZAM deve considerar a importância ecológica e as limitações e fragilidades dos ecossistemas, por meio da instauração de restrições e alternativas para exploração do território, que tomam como base planos de ação de curto, médio e longo prazo, estabelecidos para cada unidade territorial seja ela urbana ou rural, bem como, ações com foco na mitigação dos impactos ambientais já existentes (MMA, 2018).

Para concepção e consolidação do ZMA como instrumento e planejamento e gestão o MMA (2018) determina ainda que o mesmo deve apresentar as seguintes características: ser reproduzível, econômico, preciso, inteligível, simples, instrumental, ético, realista, multidisciplinar, interdependente, ter a mesma linguagem e ser contínuo.

3.3. GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento trata-se de uma linha do conhecimento científico baseada na aplicação de técnicas matemáticas e computacionais com o propósito de tratar as informações geográficas, sendo aplicada em diversas áreas especialmente a cartografia.

O geoprocessamento apresenta uma visão interdisciplinar do ponto de vista tecnológico, ao consonar diversos segmentos científicos a fim de se estudar os o espaço e seu funcionamento (CÂMARA e DAVIS, 2001).

A principal ferramenta do geoprocessamento é o Sistema de Informação Geográfica – SIG, constituído por uma série de softwares operacionalizados por meio da integração de dados, equipamentos e mão de obra especializada, a fim de se automatizar a produção de produtos cartográficos e realizar análises integradas do espaço (FITZ, 2008).

A aplicação dos SIGs é diversa, seja para o planejamento ambiental, o monitoramento e a caracterização de espaços tanto urbanos quanto rurais, zoneamentos dos mais diversos, manejo de áreas protegidas, e uma série de análises espaciais através da elaboração de mapas temáticos dos mais diversos (FITZ, 2008).

Sob a ótica da aplicação do geoprocessamento na otimização do processo de tomada de decisões, o sensoriamento remoto mostra-se enquanto uma tecnologia capaz de auxiliar na obtenção de resultados, enriquecendo os SIGs.

Sensoriamento remoto pode ser definido como “um conjunto de técnicas destinado à obtenção de informação sobre objetos, sem que haja contato físico com eles” (NOVO e PONZONI, 2001, p.6).

Esta definição se baseia na ideia de que exista a ausência de matéria entre o objeto e o sensor, que as informações referentes ao objeto analisado possam ser transportadas pelo espaço vazio e que o elo de comunicação entre o objeto e o sensor seja a radiação eletromagnética (MENESES, 2012).

Outro conceito para sensoriamento remoto proposta por Meneses (2012) é de que:

> Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres (MENESES, 2012, p.3).

O sensoriamento remoto ocorre por meio da utilização de sensores, que podem ser compreendidos como equipamentos com a capacidade de capturar a energia emitida ou refletida por um objeto. Esta aquisição de dados funciona desde que exista uma fonte de energia radiantes como a luz solar, um alvo na superfície a ser analisado e um sistema de imageamento óptico e detector, que é o próprio sensor. A resposta de energia

coletada é registrada enquanto um dado digital para posterior armazenamento, análise e manipulação em um software. (FITZ, 2008).

A aplicação do sensoriamento remoto está diretamente ligada a radiação eletromagnética (REM), sendo os comprimentos de onda mais comumente utilizados no sensoriamento remoto aqueles no espectro que varia das regiões ultravioleta a micro-ondas. Diferentes tipos de objetos apresentam diferentes propriedades de reflectância eletromagnética, gerando características espectrais específicas e únicas. A identificação destas assinaturas espectrais específicas por parte dos satélites se dá por meio de seus scanners e de seus *Charged Couple Devices* (CCDs) – Dispositivos Acoplados Carregados, cuja função é coletar dados digitais e transmiti-los por sinal de rádio para a Terra (YOUNG e ONODA, 2017).

A resolução das imagens utilizadas para o sensoriamento remoto é essencial para a identificação de determinado objeto em uma imagem por meio do sensoriamento, que considera quatro fatores, a área de visada do sensor (Resolução espacial), o comprimento de onda das bandas (Resolução espectral), os valores numéricos da medida de radiância do alvo (Resolução radiométrica), e seu aspecto temporal (Resolução temporal). A determinação de quais especificidades dentro de cada um dos níveis de resolução da imagem será dado considerando a pesquisa a ser desenvolvida (MENESES, 2012).

A aplicação do sensoriamento remoto é crítica para a reunião de dados essenciais na identificação de problemas ambientais, no monitoramento de suas alterações ou gravidade com o decorrer do tempo, bem como avaliar a eficácia das medidas aplicadas a sua solução. Suas aplicações são diversas como para o monitoramento da biodiversidade e de mudanças climáticas, planejamento ambiental, análise da qualidade do ar, identificação de áreas de risco ou eventos de risco como maremotos e terremotos (YOUNG e ONODA, 2017).

Outras áreas de aplicação do sensoriamento remoto são a produção agrícola, quantificação dos danos causados pela emissão do CO_2, auxiliando o desenvolvimento das atividades do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC, auxílio no mapeamento de secas, possibilidade de execução de projeções e previsões meteorológicas, e do gerenciamento adaptativo ou identificação de desvios nas tendências de longo prazo, bem como para infraestrutura cibernética (ONODA e MACAULEY, 2017).

O geoprocessamento enquanto ferramenta auxilia no levantamento do status dos recursos naturais de uma região em uma escala temporal, que ao serem combinados com dados de compreensão da história social da área permitem a compreensão das mudanças causadas ao longo do tempo. Funcionando de forma efetiva como uma ferramenta de estudos do ambiente em todo o globo, otimizando o processo de tomada de decisões, tornando-o mais simples e fácil (PEREIRA, et al. 2014).

Considerando o Zoneamento ambiental, o geoprocessamento se mostra como uma ferramenta de otimização para uma análise integrada destes estudos, permitindo a compreensão holística das variáveis socioeconômicas e ambientais que compõem o ZEE, e auxiliando a definição das zonas de forma efetiva, e com o foco na minimização das fragilidades intrínsecas e melhor uso das potencialidades (IRMÃO e MACIEL, 2015).

O geoprocessamento aliado do sensoriamento remoto é uma ferramenta excepcional para o monitoramento das características do meio ambiente, visto a variedade de medições a serem realizadas, a frequência com que os dados podem ser obtidos e a extensão da área a ser analisada. Ademais devido aos avanços tecnológicos a disseminação destes dados é ampla, o que põe em evidência a necessidade de otimizar estas ferramentas com o propósito de auxiliar na solução dos problemas atuais (YOUNG e ONODA, 2017).

3.4. FRAGILIDADE AMBIENTAL

Alterações expressivas na dinâmica ambiental resultam em modificações no fluxo de energia e matéria entre os componentes da natureza, e por consequência no equilíbrio dinâmico. Explicitando a necessidade de compreensão da dinâmica presente e passada dos ecossistemas, buscando o entendimento de suas estruturas, funcionamento susceptibilidades as atividades antrópicas (ROSS, 2006).

O entendimento da dinâmica passada é primordial para a compreensão do equilíbrio dinâmico, visto que existe um legado do ambiente que se mantém e influencia diretamente a estrutura ambiental presente e futura, impactando diretamente a capacidade de suporte do ambiente frente as atividades antrópicas (ROSS, 2009).

A quebra do equilíbrio dinâmico em um sistema está vinculada a intervenções de ordem natural ou antrópica, resultando em sua instabilidade e em um funcionamento atípico da dinâmica do sistema até que se restabeleça o equilíbrio. Este processo de

reequilíbrio do sistema instável é dependente de três fatores, o material de sustentação dos sistemas, seus processos atuantes, e o clima (FIERZ, 2016).

Os estudos do equilíbrio dinâmico associados aos sistemas ecológicos, foram a base utilizada por Tricart (1977) para desenvolvimento das pesquisas sobre unidades ecodinâmicas. Segundo o autor o dinamismo associado aos elementos naturais dos ecossistemas apresenta o mesmo grau de relevância da dinâmica das comunidades no que se refere a conservação e utilização dos recursos ecológicos.

Na descrição das unidades ecodinâmicas existe uma integração com os ecossistemas, e fundamentação na teoria de sistemas. Esta tem por foco a análise das relações dos componentes dinâmicos, bem como o fluxo de energia e matéria no ambiente. Nesta perspectiva as unidades ecodinâmicas não apresentam uma visão estática dos ecossistemas, mas destacam a necessidade de uma visão mais ampla da inserção dos processos antrópicos no ambiente, exigindo assim um conhecimento mais aprofundado do funcionamento dos ecossistemas, para desta forma nortear a utilização dos recursos naturais com a minimização da degradação ambiental (TRICART, 1977).

O estudo das unidades ecodinâmicas surge na perspectiva de subsidiar a compreensão dos sistemas ecológicos, e auxiliar a organização dos espaços. Nesta perspectiva Tricart (1977) estabeleceu níveis de estabilidade para os meios, tendo como base para tal, os estudos do sistema morfogenéticos, dos processos atuais com caracterização da densidade e da distribuição, a análise das atividades antrópicas e os níveis de degradação associadas a estas, e nos estudos do grau de estabilidade morfodinâmica sob uma ótica integrada dos sistemas morfogenéticos, onde faz-se uma análise dos processos atuais e sua relação com a degradação. Com tais estudos como alicerce Tricart propor a classificação das unidades como estáveis, *integrades* (transição) e fortemente instáveis (ROSS, 2019).

Segundo Tricart (1977) algumas características determinam os níveis das unidades ecodinâmicas, de forma que as unidades ecodinâmicas estáveis possuem uma cobertura vegetal mais densa capaz de minimizar os efeitos da morfogênese, apresentando ainda um relevo com grau de dissecação moderada. Já as unidades ecodinâmicas integrades, estão em processo de transição, com características que as permitem transcorrer entre os meios instáveis e estáveis, sendo bastante sensíveis as influências capazes de gerar alterações locais. No caso das unidades ecodinâmicas instáveis os processos morfogenéticos são favorecidos em detrimento dos

pedogenéticos, onde existe irregularidades na incidência de chuvas e ventos, com relevo altamente dissecado e declivoso, solos rasos, e cobertura vegetal em geral rala ou inexistente.

Os critérios de unidades ecodinâmicas propostos por Tircart (1977) foram reavaliados por Ross (1990) que atribuiu uma nova interpretação das unidades ecodinâmicas estáveis e instáveis. Onde as estáveis sãos as unidades onde o estado de equilíbrio dinâmico permanece, e que não sofreram interferências antrópicas intensas, estando em seu estado natural. Enquanto as instáveis sofreram modificações de ordem antrópica intensas e diversas.

Com base em estudos como os desenvolvidos por Ross, iniciou-se a discussão das unidades ecodinâmicas sob a perspectiva de fragilidade ambiental, Ross (1990) propôs a ampliação dos conceitos de unidades ecodinâmicas, passando a analisá-los em graus hierárquicos de instabilidade partindo de um nível muito fraco ao muito forte, e tal análise foi feita para ambas as unidades. Desta forma as unidades ecodinâmicas estáveis passam a ser unidades ecodinâmicas de instabilidade potencial (Fragilidade Potencial) visto que mesmo em estado de equilíbrio natural existe nestas áreas uma potencialidade de instabilidade considerando as características intrínsecas ao meio, e as unidades ecodinâmicas instáveis passam a ser unidades ecodinâmicas emergentes (Fragilidade Emergente).

Nesta perspectiva a fragilidade ambiental é fundamentada nos estudos de equilíbrio dinâmico e dos sistemas ecológicos, pode ser entendida como uma característica determinística da resposta do ecossistema frente uma modificação no seu fluxo de energia ou matéria, podendo tal alteração ser de ordem antrópica ou natural. Nesse sentido, a intensidade das alterações no sistema é variável, assim como a possibilidade e a velocidade na recuperação natural do equilíbrio dinâmico (TRICART, 1977; ROSS, 2011).

O estudo de fragilidade surge do foco na significância da dinâmica natural e das interações características dos processos de resposta dos elementos componentes do sistema ecológico (FIERZ, 2008). A concepção do termo fragilidade ambiental se deu segundo a mesma autora nos:

> [...] conceitos relacionados aos preceitos da teoria geral dos sistemas, nos quais os elementos da natureza são considerados como de interação mútua, em que o sentido de “o todo é mais do que a soma das partes” está identificando o caráter sistêmico. Nesse sentido, a fragilidade ambiental seria

> explicitada pelas possíveis quebras na interação entre os elementos do sistema natural. (FIERZ, 2008, p.111).

A análise da fragilidade ambiental considera a estrutura e funcionamento dos ambientes naturais, levando em conta as transformações promovidas pelas atividades humanas, o que permite definir a capacidade de suporte dos sistemas para o desenvolvimento das atividades produtivas e culturais (SANTOS E ROSS, 2012):

O objetivo da fragilidade ambiental é a:

> classificação dos ambientes para que as intervenções antropogênicas sejam realizadas de acordo com as potencialidades e limitações dos recursos naturais, em razão dos riscos possíveis e da degradação ambiental (SANTOS, 2015, p.77).

No que concerne a classificação da fragilidade ambiental enquanto potencial e emergente, a fragilidade potencial faz referência a ambientes em estado de equilíbrio dinâmico, onde seu funcionamento encontra-se pouco afetado pelas ações de natureza antrópica, tendo sua instabilidade intrinsicamente ligada as suas características naturais. Ao passo que fragilidade emergente se associa a ambientes cujo estado de equilíbrio dinâmico está comprometido, visto que as atividades de natureza antropogênica transformaram de forma expressiva o ambiente natural (SANTOS, 2015).

Para Ross (2006) a análise dos componentes da natureza no processo de desenvolvimento do território é essencial, e deve ser feita com base em dois aspectos, as potencialidades dos recursos, visto as necessidades constantes da sociedade, e considerando a fragilidade ambiental à vista das interferências permitidas pela tecnologia.

Ainda segundo Ross (2006) a compreensão das potencialidades dos recursos naturais está atrelada ao levantamento dos componentes do estrato geográfico como solo, relevo, rochas, água, clima e flora. E que dão o suporte para a manutenção da vida animal, e desenvolvimento das atividades sociais e econômicas. Ao passo que a determinação da fragilidade necessita de uma avaliação mais integrada e setorizada dos conhecimentos, visto a forma holística de como a natureza funciona com seus componentes físicos e bióticos.

Os estudos de fragilidade são de grande valia para o planejamento ambiental. Por meio da identificação dos ambientes naturais e suas fragilidades potenciais e emergentes, é possível subsidiar o processo de tomada de decisões e estabelecer diretrizes e ações que poderão ser implementadas, embasando não só o zoneamento como a gestão territorial. (SPÖRL E ROSS, 2004)

A utilização de produtos como o mapa de fragilidade em órgãos públicos, possibilita melhorias no planejamento territorial, tendo em vista que o uso inadequado de áreas caracterizadas como frágeis pode resultar no comprometimento de todo sistema ambiental (VALLE, FRANCELINO, PINHEIRO, 2016).

Avaliando tal relevância de maneira prática, Crepani et al. (2001) propõem que ao se considerar determinada unidade da paisagem cuja capacidade de absorção de estímulos oriundos das atividades antrópicas é limitada e desconhecida, uma intervenção de maior potencialidade pode resultar em diversos problemas no sistema ambiental, ao passo que por meio da realização de um estudo prévio dos mecanismos atuantes nas unidades de paisagem natural, torna-se possível a melhoria do planejamento das atividades a serem desenvolvidas, mitigando os danos e otimizando a produtividade.

Considerando a relação dos estudos de fragilidade aliados ao planejamento ambiental, Barros (2015) afirma que estes são cruciais para alcançar o desenvolvimento sustentável, haja vista que a ocupação territorial desordenada apresenta o potencial para causar impactos altamente danosos ao meio ambiente. Dito isso, um planejamento ambiental bem embasado, e que considere as potencialidades e fragilidades intrínsecos na utilização dos recursos naturais, resulta em benefícios para a população, bem como para a mitigação de adversidades econômicas e ambientais.

No que concerne a relação supracitada, Valle, Francelino e Pinheiro (2016) afirmam que ao se realizar o planejamento para o ordenamento territorial as fragilidades ambientais e o grau de degradação devem ser levados em conta, sendo essencial o monitoramento de processos com potencial para afetar o fornecimento de serviços ecossistêmicos, a exemplo do aumento dos processos erosivos, com consequência no assoreamento de corpos hídricos, ou a perda expressiva da biodiversidade.

Uma gestão eficiente deve tomar como base para o planejamento as análises das potencialidades e fragilidades do território, podendo adotar medidas que busquem minimizar os riscos associados a ocupação indevida (SOUZA, SILVA e MOREAU, 2014).

O planejamento econômico e ambiental de determinada área, independente da escala de estudo, deve considerar que as intervenções antrópicas precisam ser planejadas com foco no ordenamento territorial, tendo como base a potencialidade dos recursos naturais e humanos e a fragilidade ambiental.

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

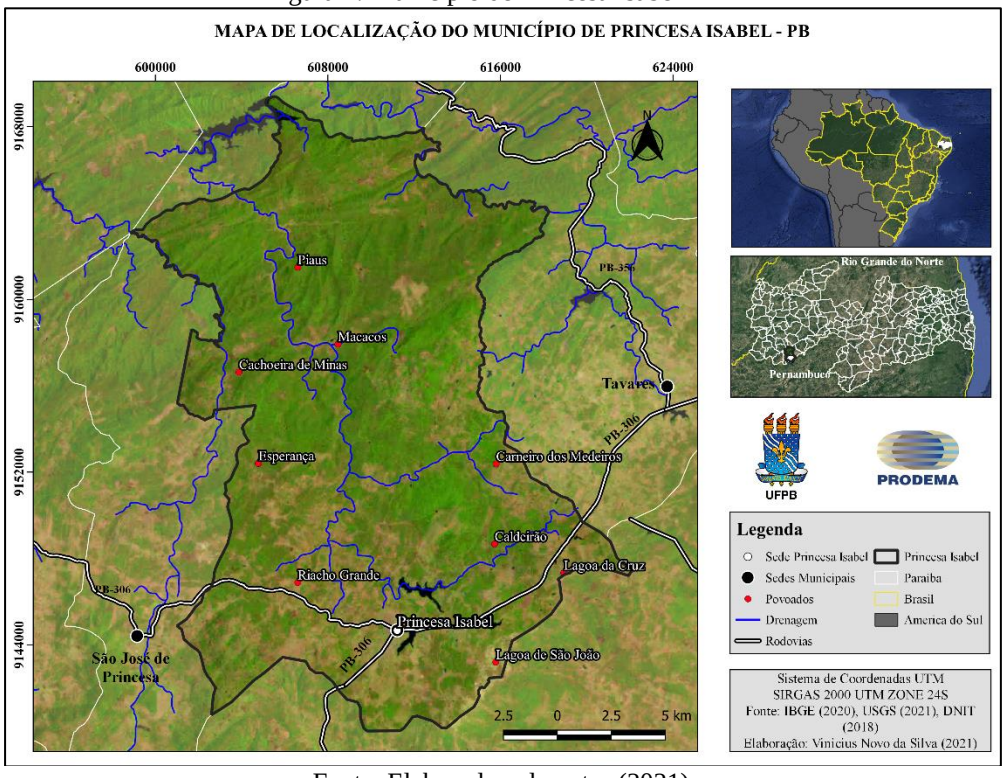
4.1. ÁREA DE ESTUDO

4.1.1. Localização

O município de Princesa Isabel (Figura 1) está localizado na região oeste do Estado da Paraíba. Está inserido na Região Geográfica Intermediária de Patos, e na Região Geográfica Imediata de Princesa Isabel, limitando-se a Oeste com os municípios de São José de Princesa e Manaíra, ao Norte com Nova Olinda e Pedra Branca, ao Leste com o município de Tavares, e ao Sul com os municípios pernambucanos de Quixaba, Flores e Triunfo (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2017; Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2005).

A área do município é de 367,975 Km², com altitude média de 683 metros e população estimada de 23.549 habitantes (IBGE, 2020).

Figura 1: Município de Princesa Isabel - PB



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

4.2. MATERIAIS E MÉTODOS

Quanto a classificação deste trabalho o mesmo pode ser enquadrado como uma pesquisa qualitativa ao passo que também apresenta características de uma pesquisa

quantitativa, onde a análise dos dados numéricos será utilizada para a compreensão aprofundada de um fenômeno (SILVEIRA e GERHARDT, 2009, p.31).

Sob a perspectiva de sua natureza, com base nos estudos de Silveira e Gerhardt (2009, p.35) esta pesquisa pode ser classificada como aplicada onde se "objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais."

A respeito da classificação da pesquisa segundo o objetivo a mesma pode ser entendida como uma pesquisa descritiva onde se busca a "descrição das características de determinada população ou fenômeno ou, então, o estabelecimento de relações entre variáveis" (GIL, 2002, p.42).

No que concerne aos procedimentos e etapas do desenvolvimento desta pesquisa, está se deu por meio de três etapas, sendo a primeira uma etapa de gabinete focada na revisão bibliográfica em livros, periódicos, sites, cartas topográficas, seguida de uma etapa de coleta de dados em campo para obtenção de registros fotográficos e análise da área de estudo, bem como de obtenção de dados matriciais e vetoriais para o processamento dos mapas, e por fim mais uma etapa de gabinete para tratamento dos dados coletados em campo e em gabinete e produção dos resultados da pesquisa.

Todos os mapas foram elaborados no software livre QGIS versão 3.16. Os mapas produzidos foram de pedologia, uso e cobertura da terra, declividade, índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) fragilidade ambiental potencial e emergente, áreas de preservação permanente (APP), áreas prioritárias de conservação e zoneamento ambiental.

4.2.1. Processamento digital das imagens

O processamento digital das imagens foi executado no intuito de realizar a aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN), obtido com o propósito de otimizar o processo de classificação das imagens para a consolidação dos mapas de uso e cobertura da terra.

As imagens utilizadas foram obtidas no site do Serviço Geológico Americano (USGS), em uma escala temporal de 36 anos, selecionando-se os anos de 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 (Quadro 3). A escolha do intervalo temporal tomou como base a variação pluviométrica da região, para tal fez-se a interpretação dos dados pluviométricos do município. O critério para adoção dos anos de seleção das imagens

foi a expressividade de chuvas e estiagem e o intervalo temporal, nesse sentido os anos de 1985 e 2020 foram selecionados por terem sido anos com incidência de chuvas acima da média, e os anos de 1998 e 2017 por serem anos de seca, já o ano de 2005 foi escolhido por apresentar chuvas próximas da média pluviométrica do município. O segundo critério adotado para seleção dos anos foi a variação temporal, para tal considerou-se qual o ano de chuvas expressivas mais recente (2020) e o mais antigo (1985), bem como o ano de seca expressiva mais recente (2017) e mais antigo (1998). O critério final para a escolha dos anos foi a disponibilidade e qualidade das imagens.

Por se tratar de um município inserido no bioma caatinga a influência da chuva ocorre de maneira muito rápida na quantidade de biomassa da vegetação, e por consequência em sua resposta espectral. Nesse sentido a análise dos cenários secos e chuvosos permitem uma compreensão mais criteriosa das características ambientais do município. Destaca-se que justamente pelas características do bioma buscou-se a utilização de imagens obtidas entre os meses de agosto e início de setembro, próximos ao fim do período chuvoso da região.

Quadro 3: Dados das imagens utilizadas

Satélite	Órbita	Ponto	Resolução espacial	*Datum*	Zona UTM	Data
Landsat 5	216	065	30m	WGS 84	24	14/08/1985
Landsat 5	216	065	30m	WGS 84	24	19/09/1998
Landsat 5	216	065	30m	WGS 84	24	06/09/2005
Landsat 8	216	065	30m	WGS 84	24	06/08/2017
Landsat 8	216	065	30m	WGS 84	24	14/08/2020

Fonte: USGS (2021)

Todas as imagens utilizadas passaram por um pré-processamento a fim de otimizar os resultados gerados. Desta forma as imagens foram submetidas a algumas operações, tendo em vista o satélite escolhido.

Para as imagens do *Landsat 5*, fez-se a princípio a calibração radiométrica de forma que o nível de cinza de cada pixel seja convertido em radiância espectral monocromática, tomando como referência a interpretação da fórmula (Equação 1) estabelecida por Markham e Baker (1987) por Giongo e Vettorazzi (2014).

$$L_{\lambda i}=a_i+\frac{b_i-a_i}{255}+NC \qquad \text{Eq. (1)}$$

$L_{\lambda i}$: Radiância espectral da banda;

a_i: Radiância espectral mínima;

b_i: Radiância espectral máxima;

NC: Nível de cinza;

i: Bandas do Landsat 5 (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7).

Feita a calibração radiométrica, aplicou-se a fórmula (Equação 2) proposta por Allen et al. (2002) para a obtenção da reflectância monocromática de cada banda, definida por meio da razão entre o fluxo da radiação refletida e o fluxo da radiação incidente (Giongo e Vettorazzi, 2014).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} * cos\Theta * dr} \qquad \text{Eq. (2)}$$

ρλi: Reflectância monocromática das bandas;

Lλi: Radiância espectral de cada banda;

Kλi: Irradiância solar espectral, banda i no topo da atmosfera (Valores obtidos no quadro 4);

cosϴ: Ângulo zenital solar (Equação 3);

$$cos\Theta = 90° - \beta \qquad \text{Eq. (3)}$$

β = Ângulo de elevação solar

dr - Inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol (em unidade astronômica – UA (Equação 4);

$$dr = 1 + 0{,}033 \cos(DS \frac{2\pi}{365}) \qquad \text{Eq. (2)}$$

DS: Corresponde aos dias sequenciais do ano, apresentados no quadro 5.

Quadro 4: Comprimento de onda (λ), coeficientes de calibração (a e b) e irradiância espectral no topo da atmosfera (Toa) para o Landsat 5

Banda	λ (µm)	a	b	Toa (Wm^{-2} μm^{-1}
1	0,452 – 0,518	-1,52	169	1983
2	0,528 – 0,609	-2,84	333	1976
3	0,626 – 0,693	-1,17	264	1536
4	0,776 – 0,904	-1,51	221	1031
5	1,567 – 1,784	-0,37	302	220
6	10,45 – 12,42	1,2378	15,3032	N/A
7	2,097 – 2,349	-0,15	16,5	83,44

Fonte: Adaptado de Chander et al. (2009)

Quadro 5: Número de dias sequenciais no ano

Dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335
2	2	33	61	92	122	153	183	214	245	275	306	336
3	3	34	62	93	123	154	184	215	246	276	307	337
4	4	35	63	94	124	155	185	216	247	277	308	338
5	5	36	64	95	125	156	186	217	248	278	309	339
6	6	37	65	96	126	157	187	218	249	279	310	340
7	7	38	66	97	127	158	188	219	250	280	311	341
8	8	39	67	98	128	159	189	220	251	281	312	342
9	9	40	68	99	129	160	190	221	252	282	313	343

10	10	41	69	100	130	161	191	222	253	283	314	344
11	11	42	70	101	131	162	192	223	254	284	315	345
12	12	43	71	102	132	163	193	224	255	285	316	346
13	13	44	72	103	133	164	194	225	256	286	317	347
14	14	45	73	104	134	165	195	226	257	287	318	348
15	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349
16	16	47	75	106	136	167	197	228	259	289	320	350
17	17	48	76	107	137	168	198	229	260	290	321	351
18	18	49	77	108	138	169	199	230	261	291	322	352
19	19	50	78	109	139	170	200	231	262	292	323	353
20	20	51	79	110	140	171	201	232	263	293	324	354
21	21	52	80	111	141	172	202	233	264	294	325	355
22	22	53	81	112	142	173	203	234	265	295	326	356
23	23	54	82	113	143	174	204	235	266	296	327	357
24	24	55	83	114	144	175	205	236	267	297	328	358
25	25	56	84	115	145	176	206	237	268	298	329	359
26	26	57	85	116	146	177	207	238	269	299	330	360
27	27	58	86	117	147	178	208	239	270	300	331	361
28	28	59	87	118	148	179	209	240	271	301	332	362
29	29	60	88	119	149	180	210	241	272	302	333	363
30	30	-	89	120	150	181	211	242	273	303	334	364
31	31	-	90	-	151	-	212	243	-	304	-	365

Fonte: Allen et al. (2002)

Para as imagens obtidas no satélite Landsat 8, o cálculo da reflectância foi feito por meio da aplicação da seguinte fórmula (Equação 5) apresentada no site do USGS:

$$\rho\lambda' = (M\rho * Q\,cal + A\rho) \qquad \text{Eq. (5)}$$

$\rho\lambda'$: Refletância planetária, sem correção para o ângulo solar;

$M\rho$: Fator multiplicativo (disponível nos metadados);

$A\rho$: Fator aditivo (disponível nos metadados);

Qcal: Valores de pixel calibrados do produto padrão (DN).

Para a obtenção do valor de reflectância planetária com a correção do ângulo solar, aplicou-se a seguinte fórmula (Equação 6), também obtida no USGS.

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{Sen\,(\theta_{se})} \qquad \text{Eq. 6}$$

$\rho\lambda$: Refletância planetária com correção para o ângulo solar;

θ_{se}: Ângulo de elevação solar local

As imagens processadas foram aplicadas para a geração do IVDN, obtido por meio da seguinte fórmula (Equação 7) apresentando razão entre a diferença de

refletividade associada as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R), por sua soma.

$$IVDN = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)} \qquad Eq.7$$

Destaca-se que entre os satélites do Landsat 5 e 8 existe uma variação na correspondência das bandas caracterizadas como infravermelho próximo e vermelho. No caso do Landsat 5 a banda 4 corresponde ao infravermelho próximo e a banda 3 ao vermelho, ao passo que no Landsat hoje estas são as bandas 5 e 4 respectivamente.

4.2.2. Fragilidade Ambiental

A respeito dos estudos de fragilidade foram consideradas adaptações dos modelos metodológicos propostos por Ross (1990).

Os métodos para o estudo de fragilidade baseiam-se em uma hierarquização dos componentes avaliados, que são classificados de forma qualitativo-numérica partindo de uma fragilidade muito baixa (1), baixa (2), média (3), alta (4), e muito alta (5) conforme o quadro 6 (SANTOS e ROSS, 2012).

Quadro 6: Hierarquização da fragilidade ambiental potencial e emergente

Fragilidade Potencial e Emergente	
Grau de fragilidade	Grau numérico
Muito baixa	1
Baixa	2
Média	3
Alta	4
Muito alta	5

Fonte: Adaptado de ROSS (1990)

No que concerne aos mapas de fragilidade ambiental fez-se a composição de mapas de fragilidade potencial, elaborados por meio da confecção de mapas de fragilidade das variáveis pedologia, pluviosidade e declividade. Ao passo que os mapas de fragilidade emergente, que consideram, uma junção dos mapas de fragilidade potencial mais a análise da interferência antrópica por meio dos mapas representando o processo de uso e ocupação da terra (MASSA e ROSS, 2012).

Durante a análise da fragilidade emergente considera-se um cenário em que as ações antrópicas resultaram na desestabilização do equilíbrio dinâmico. Na qual as alterações no uso e cobertura correlacionados com a remoção da vegetação nativa para o desenvolvimento de atividades associadas a cultivos agrícolas ou pastagens, por exemplo, resultam na exposição dos solos a intempéries (SPORL, 2007)

4.2.2.1. Pluviosidade

A elaboração do mapa para a variável pluviométrica se deu por meio da análise de dados pluviométricos médios oriundos da AESA (2020), ANA (2021) e APAC (2020). Os dados obtidos foram ordenados no quadro 7, que apresenta a média pluviométrica de Princesa Isabel e dos municípios vizinhos entre 1994 e 2020, intervalo que apresentou maior constância na presença de dados para os postos.

Quadro 7: Média pluviométrica de Princesa Isabel e municípios vizinhos (1994 – 2020)

Município	Precipitação média
Flores	617,8
Triunfo	1064,8
Afogados da Ingazeira	663,1
Tavares	729,7
Princesa Isabel	789,2
São José de Princesa	709,25
Manaíra	732,4
Curral Velho	702,24
Nova Olinda	818,26

Fonte: Adaptado de AESA (2020), ANA (2020) e APAC (2020).

Para a espacialização dos dados pluviométricos, aplicou-se o método de interpolação IDW – (*Inverse Distance Weighted* - Ponderação do Inverso da Distância), que funciona por meio da análise dos pontos distribuídos espacialmente, e determina seus valores por meio de combinação linear dos pontos amostrados, com tal aplicação o valor de cada ponto é expresso pelo inverso de uma função de distância (MARCUZZO et al. 2011).

O enquadramento do grau de fragilidade desta variável obedeceu aos critérios apresentados no quadro 8.

Quadro 8: Grau de fragilidade da variável pluviosidade.

Grau de Fragilidade	Características Pluviométricas
1. Muito fraco	Situação com distribuição regular de chuvas ao longo do ano, com volumes anuais não superiores a 1000 mm/ano.
2. Fraco	Situação com distribuição regular de chuvas ao longo do ano, com volumes anuais não superiores a 2000 mm/ano.
3. Médio	Situação com distribuição anual de chuvas desigual, com períodos secos entre 2 e 3 meses no inverno, com maior intensidade entre dezembro e março e volumes anuais de 1300 a 1600 mm/ano;
4. Forte	Situação com distribuição anual de chuvas desigual, com períodos secos entre 3 e 6 meses, e alta concentração das chuvas no verão entre novembro e abril quando ocorrem 70% a 80% das chuvas do total de chuvas, com

	volumes anuais de 1600 a 1800 mm/ano.
5. Muito Forte	Situação com distribuição anual de chuvas desigual, ou não, ao longo do ano, com grandes volumes anuais ultrapassando 2500 mm/ano, ou ainda comportamentos pluviométricos irregulares ao longo do ano, com episódios de alta intensidade e volumes anuais geralmente abaixo dos 900 mm/ano (semiárido).

Fonte: Adaptado de Ross (1990).

4.2.2.2. Pedologia

A variável pedologia é avaliada na perspectiva da fragilidade ambiental considerando a relação entre os tipos de solos e sua resistência a processos erosivos, sua textura, estrutura, porosidade e permeabilidade. A identificação da fragilidade de cada tipo de solo também é condicionada pelo seu grau de desenvolvimento, que por sua vez associa-se ao nível de estabilidade da paisagem. Nesta concepção, solos bem desenvolvidos, que passaram por processos de intemperização intensos, mais velhos e onde os processos pedogenéticos ocorreram de forma mais intensa são característicos de áreas com menor grau de fragilidade. Em contrapartida os solos com menor grau de desenvolvimento, mais jovens e onde existe uma intensificação dos processos morfogenéticos em detrimento da formação solo são associados a áreas com maior grau de fragilidade. Já em áreas com equilíbrio dos processos de formação do solo e modificação do relevo, onde a fragilidade é média, são encontrados solos mais rasos que os observados nas áreas de fragilidade baixa, pouco intemperizados e onde a infiltração de água é mais difícil (LEME, 2007).

Para análise da variável pedologia foram obtidos dados vetoriais referentes aos limites do município de Princesa Isabel (IBGE, 2020) e classificação dos tipos de solo do município obtidos no site do CPRM (2016).

O tratamento dos dados foi realizado no software livre QGIS, no qual por meio da ferramenta vetor > geoprocessamento > recortar, foi feito o recorde das camadas vetoriais referentes aos elementos correspondentes aos solos presentes no município.

O enquadramento desta variável conforme o seu grau de fragilidade ambiental considerou a classificação preconizada no quadro 9.

Quadro 9: Grau de fragilidade da variável pedológica.

Grau de Fragilidade	Tipos de Solo
1. Muito fraco	-
2. Fraco	-
3. Médio	Luvissolos crômicos órticos
4. Forte	Cambissolos, Argissolo Vermelho Amarelo Eutrófico
5. Muito Forte	Neossolos Litólicos eutróficos

Fonte: Adaptado de Ross (1990)

4.2.2.3. Declividade

O mapa de declividade foi elaborado a partir de imagens SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*, obtidas no site da USGS (2014), com resolução espacial de 30 m.

Os dados foram trabalhados no software livre QGIS, onde por meio da ferramenta *raster* com seu complemento declividade foram atribuídos os valores brutos de declividade para o município. Tais dados foram tratados por meio da ferramenta calculadora *raster* na qual foi feita uma reclassificação da imagem por meio de fórmulas para o enquadramento da imagem conforme as categorias presentes no quadro 10, que também apresenta os critérios para enquadramento das classes de declividade segundo seu grau de fragilidade.

Quadro 10: Grau de fragilidade da variável declividade

Grau de Fragilidade	Declividade	Descrição do Relevo
1. Muito fraco	Até 3%	Plano, suave ondulado
2. Fraco	De 3% a 8%	Moderadamente ondulado
3. Médio	De 8% a 15%	Ondulado
4. Forte	De 15% a 30%	Forte ondulado
5. Muito Forte	De 30% a 45%	Montanhoso
5. Muito Forte	Maior que 45 %	Escarpado

Fonte: Adaptado de Ross (1990)

Tendo em vista que a fragilidade se apresenta como uma forma de representação da transformação da energia potencial em cinética, áreas com maior declividade apresenta uma maior capacidade da acelerar o processo de transformação da energia potencial associada as chuvas que estão escoando na superfície em energia cinética, desta forma o escoamento superficial é intensificado, e por consequência os processos erosivos, especialmente a erosão laminar é acentuada (SPORL, 2007).

4.2.2.4. Uso e cobertura da terra

A elaboração dos mapas de uso e cobertura da terra foi feita com base na utilização das imagens de 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020, e dos seus respectivos produtos de IVDN, aplicados como referência para o processo de classificação.

O processamento se deu por meio da ferramenta miscelânia para a composição de uma imagem com cor real. Para a classificação fez-se a utilização do complemento *SEMI-AUTOMATIC PLUGIN CLASSIFICATION* no QGIS, pelo qual foram selecionadas as amostras representantes de cada classe de cobertura identificada após

visualização dos dados do IVDN, e que foram aplicadas para obtenção do mapa de uso e cobertura por meio do cálculo da distância mínima.

As classes adotadas para a classificação do uso e cobertura da terra foram adaptadas e descritas conforme os trabalhos de Silva (2017), Souza, Suertegaray e Lima (2011), Lima e Almeida (2017) e Pereira et. al. (2020), sendo estas:

- Água: Corpos hídricos artificias e naturais identificados no município;
- Área urbana/Solo exposto: áreas degradas, com ausência de cobertura vegetal, afloramentos rochosos, rios intermitentes, ou áreas contendo edificações, asfaltadas.
- Vegetação esparsa: vegetação restante após processo de degradação e dispersa, presente em áreas com maior incidência de atividades antrópicas e com manchas significativas de solo exposto, geralmente espécimes arbustivos e ralos. Representando também áreas utilizadas para pastagens, ou agricultura;
- Vegetação rala: vegetação predominantemente arbustiva, com poucos exemplares arbóreos. Representando também áreas utilizadas para pastagens, ou agricultura;
- Vegetação semidensa: representação de áreas de transição entre a vegetação rala e densa, com a presença de exemplares do extrato arbustivo e herbáceo, com alguns exemplares arbóreos
- Vegetação densa: vegetação pouco degradada, em sua maioria observada em áreas de maior altitude ou margens de rios. Associa-se a esta classe a vegetação de porte arbóreo e arbustivo fechado.

Destaca-se que para a imagem de 2020 em especial fez-se a aferição da acurácia da classificação, desenvolvida por meio da obtenção da matriz de erro, e do cálculo do índice *kappa* e da exatidão global, tendo como referência para a obtenção destes produtos o trabalho de Mendes et. al. (2015).

Segundo Congalton e Green (2009) a matriz de erro é uma forma efetiva para representação e identificação da acurácia de mapas temáticos, visto que a mesma apresenta de forma clara o nível de acurácia individual de cada classe analisada, com um detalhamento dos erros de inclusão, também chamados de erros de comissão, que estão associados a inclusão de um elemento a determinada classe à qual o mesmo não pertence, bem como dos erros de exclusão, ou erros de omissão, que se refere a exclusão de um elemento da área qual deveria pertencer.

Ademais, é possível obter por meio desta matriz o grau de acurácia do produto e do usuário, onde a acurácia do produto representa a divisão do valor representativo da classe analisada na diagonal principal pelo total de elementos atribuídos aquela classe, ao passo que a acurácia do usuário é obtida pela divisão do valor da classe analisada na diagonal principal pelo total de pontos de referência utilizados para a classe. Sendo ambos os produtos extremamente úteis para uma análise mais criteriosa do grau de acurácia de cada classe identificada no mapa (CONGALTON, GREEN, 2009).

Para a obtenção da matriz de erro (Quadro 11) fez-se o uso do complemento *AcATaMa - Accuracy Assessment of Thematic Maps* do Qgis, no qual fez-se a geração de amostras tomando como referência a proporção da área cada classe analisada pelo método estatístico de amostragem aleatória estratificada, cuja verificação se deu por meio de fotointerpretação aliada ao conhecimento da área de estudo após as visitas *in loco*, e as representações do IVDN.

Quadro 11: Modelo da matriz de erro

Matriz de erro							
Classes	1	2	3	4	5	6	Total de pontos de referência
1	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}	n_{16}	n_{1+}
2	n_{21}	n_{22}	n_{23}	n_{24}	n_{25}	n_{26}	n_{2+}
3	n_{31}	n_{32}	n_{33}	n_{34}	n_{35}	n_{36}	n_{3+}
4	n_{41}	n_{42}	n_{43}	n_{44}	n_{45}	n_{46}	n_{4+}
5	n_{51}	n_{52}	n_{53}	n_{54}	n_{55}	n_{56}	n_{5+}
6	n_{61}	n_{62}	n_{63}	n_{64}	n_{65}	n_{66}	n_{6+}
Total de pontos classificados	n_{+1}	n_{+2}	n_{+3}	n_{+4}	n_{+5}	n_{+6}	n

Fonte: Adaptado de Mendes et. al. (2015).

A obtenção da exatidão global foi calculada pelo próprio Qgis após os procedimentos realizados no *AcATaMa*, já para a obtenção do índice kappa, aplicou-se a equação 8 abaixo, descrita por Santos, Peluziu e Saito (2010) e Congalton e Green (2009):

$$\text{Índice kappa} = \frac{D - Q}{T - Q} \qquad \text{Eq. 8}$$

Onde:

D: refere-se a soma dos elementos da diagonal principal;

T: número total de amostras analisadas;

Q= variável determinada pela equação 9

$$Q = \sum_{i=1}^{k} n_{i+}\, n_{+i} \qquad \text{Eq. 9}$$

Onde:

n_{i+} = O valor total da linha para uma classe analisada;

n_{+i} = O valor total da coluna para uma classe analisada;

Para avaliação da qualidade da classificação em função do valor obtido para o índice Kappa, fez-se a avaliação segundo o enquadramento (Quadro 12) definido por Congalton e Green (2009):

Quadro 12: Enquadramento do nível de exatidão da classificação do índice kappa

Índice kappa	**Qualidade**
K < 4	Ruim
4 ≤ K ≤ 8	Razoável
K> 8	Excelente

Fonte: Adaptado de Congalton e Green (2009)

Quanto ao enquadramento das classes de uso e cobertura da terra quanto ao grau de fragilidade, este pode ser observado no quadro 13. Sendo pertinente destacar que para a classe de água se atribuiu o grau 0 de fragilidade.

Quadro 13: Grau de fragilidade da variável uso e ocupação da terra

Grau de Fragilidade	Tipos de Cobertura
1. Muito fraco	Vegetação Densa
2. Fraco	Vegetação semidensa
3. Médio	Vegetação rala
4. Forte	Vegetação esparsa
5. Muito Forte	Área Urbana + Solo exposto

Fonte: Adaptado de Ross (1990)

4.2.2.5. Fragilidade Ambiental

Para a elaboração dos mapas de fragilidade ambiental potenciais e emergentes fez-se o tratamento dos mapas gerados previamente. No caso do mapa de tipos de solo foi feita a inserção em sua tabela de atributos de uma coluna de nome fragilidade e por conseguinte sua classificação prévia quanto ao grau de fragilidade. Para este produto especificamente faz-se necessária à sua transformação de um arquivo vetorial para *raster*, cujo método para tal ação no QGIS é a utilização da caixa de ferramentas > conversão de vetor > converter vetor para *raster* (rasterizar).

Na definição do grau de fragilidade associado a cada uma das características analisadas fez-se o uso da ferramenta *r. reclass*, atribuindo desta forma o valor de fragilidade para cada um dos pixels cujas características pré-determinadas correspondam ao seu respectivo grau de fragilidade.

Destaca-se que para a etapa de cálculo da fragilidade potencial e emergente tomou-se como referência adaptações da metodologia proposta por Ross (1990) e sua aplicação feita por Asciutti (2019) que considerou para o cálculo da fragilidade o método do processo analítico hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* – AHP) para a atribuição de pesos as variáveis analisadas, utilizados no cálculo da média ponderada para a então definição da fragilidade potencial e emergente.

A combinação entre o AHP e a média aritmética ponderada permitem a determinação da importância ou peso da variável analisada acordo com uma relação de relevância entre os componentes, possibilitando uma melhor adequação das características que são definidas para a fragilidade ambiental (ASCIUTTI, 2019).

O método AHP proposto por Saaty (1994) está baseado em um processo de análise e comparação de forma numérica entre um par de elementos considerando sua influência em determinado produto, no caso desta pesquisa as variáveis utilizadas para a definição da fragilidade ambiental. A representação desta proposta acontece em uma matriz quadrada (n x n) que apresenta a interação dos critérios presentes nas linhas e colunas.

O processo de análise e comparação dos elementos na matriz funciona com uma compreensão da relação de dominância do critério na coluna a esquerda da matriz com o critério na linha superior, e esta comparação se dá pela aplicação de valores pré-definidos em uma escala de 1 a 9 como mostra a tabela 1.

Tabela 1: Escala de comparação do AHP

Escala numérica de importância	**Definição**	**Descrição**
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	A experiência e o julgamento favorecem moderadamente uma atividade em favor da outra
5	Importância grande	A experiência e o julgamento favorecem fortemente uma atividade em favor da outra
7	Importância muito grande ou demonstrada	Uma atividade é fortemente favorecida em relação a outra, onde a dominância de importância é demonstrada na prática
9	Importância absoluta	As evidências favorecem uma atividade em relação a outra com o mais alto grau de certeza
2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando se busca uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1994)

Considerando que as variáveis trabalhadas possuem naturezas distintas observou-se a necessidade de padronização dos dados para a posterior realização dos cálculos, para tal, fez-se uso da calculadora raster do QGIS no intuito de enquadrar os valores das variáveis no intervalo de 0 a 1, por meio da inserção da equação (Equação 9) de normalização linear (EASTMAN, 1997).

$$F(x) = \frac{(\text{Variável} - \text{Min})}{(\text{Max} - \text{Min})} \qquad \text{Eq. 9}$$

A fórmula considera a interação das variáveis analisadas (declividade, pluviosidade, pedologia e uso e cobertura da terra) com seus valores mínimos e máximos.

Com a normalização dos valores o procedimento para a obtenção da matriz de hierarquização se deu pela utilização do complemento *Easy AHP* presente na versão 2.8.1 do QGIS, que realiza dentro do software todos os cálculos necessários para a determinação dos pesos que serão atribuídos a cada variável.

Como foram desenvolvidos mapas de fragilidade potencial e de fragilidade emergente elaborou-se duas matrizes de hierarquização. Uma com declividade, pedologia e pluviosidade para a fragilidade potencial onde foi considerada uma situação de equidade entre as interações das variáveis como apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Matriz de comparação da AHP para Fragilidade Potencial

Componente	Declividade	Pedologia	Chuvas
Declividade	1	2	2
Pedologia	0,5	1	2
Pluviosidade	0,5	0,5	1

$\lambda = 3{,}054$ CI = 0,027 CR = 0,047

Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

Os valores apresentados para λ, CI e CR representem respectivamente a média aritmética dos valores, o índice de consistência e a razão de consistência, que segundo a proposta de Saaty (1994) deve ser inferior a 0,1 para validação da análise.

Por meio da geração da matriz no *Easy AHP* definiu-se os pesos das variáveis, de forma que a declividade apresentou peso 0,49 (49%), pedologia 0,312 (31,2%) e pluviosidade 0,198 (19,8%).

A segunda matriz elaborada foi para as variáveis utilizadas na composição dos mapas de fragilidade ambiental emergente, considerando a interação da declividade, pedologia, pluviosidade e uso e cobertura da terra, apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Matriz de comparação da AHP para Fragilidade Potencial

Componente	Uso e cobertura da terra	Declividade	Pedologia	Chuvas
Uso e cobertura da terra	1	3	5	7
Declividade	0,333	1	3	2
Pedologia	0,2	0,333	1	3
Pluviosidade	0,143	0,5	0,333	1

λ = 4,212 CI = 0,071 CR = 0,079

Fonte: Elaborada pelo autor (2021)

Assim como na matriz para a potencial, a matriz para fragilidade emergente apresentou CR abaixo do 0,1, atestando a consistência da análise. O peso das variáveis para esta análise foi de 0,573 (57,3%) para o uso e cobertura da terra, 0,22 (22%) para a declividade, 0,132 (13,2%) para pedologia, e 0,075 (7,5%) para pluviosidade.

Com a definição dos pesos para cada uma das variáveis sob a ótica da fragilidade potencial e emergente, fez-se o cálculo da média aritmética ponderada no QGIS por meio da *raster calculator*, na qual foram inseridas as equações 10 e 11 considerando adaptações da metodologia de Ross (1990).

$$\frac{((Pl*0,198) + (Pe*0,312) + (De*0,49))}{0,198 + 0,312 + 0,49} = \text{Fragilidade Potencial} \qquad \text{Eq. 10}$$

$$\frac{((Pl*0,075) + (Pe*0,132) + (De*0,22) + (Ut*0,573))}{0,075 + 0,132 + 0,22 + 0,573} = \text{Fragilidade Emergente} \qquad \text{Eq. 11}$$

Onde:

Pl = Pluviosidade;

Pe = Pedologia;

De = Declividade;

Ut = Uso e cobertura da terra.

Considerando a ponderação dos valores para cada uma das variáveis, a fragilidade ambiental foi avaliada em uma escala de 0 a 1 como pré-definido, de forma que a interpretação da fragilidade ambiental se deu considerando os valores apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Hierarquização da fragilidade ambiental potencial e emergente com dados ponderados

Fragilidade Potencial e Emergente		
Grau de fragilidade	Grau numérico	Intervalo
Muito baixa	1	0 – 0,2
Baixa	2	0,2 – 0,4
Média	3	0,4 – 0,6
Alta	4	0,6 – 0,8
Muito alta	5	0,8 – 1

Fonte: Adaptado de ROSS (1990)

4.2.3. Áreas de preservação permanente e Áreas prioritárias de conservação

Para o desenvolvimento dos mapas de áreas prioritárias para conservação foi considerada a delimitação destas áreas pelo Ministério do Meio ambiente (2018). Neste sentido a elaboração do produto se deu por meio a utilização de um arquivo vetorial obtido no site do MMA.

A determinação das APPs considerou as definições da Lei 12.651 de 2012, que estabelece o Código Florestal, e que define como áreas de preservação permanente:

> [...]I - as faixas marginais de quaisquer cursos d'água naturais perenes e intermitentes, excluídos os efêmeros, a partir da borda do leito regular, em largura mínima de: (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012).
> a) 30 (trinta) metros, para cursos d'água com largura inferior a 10 (dez) metros;
> b) 50 (cinquenta) metros, para cursos d'água com largura de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros;
> c) 100 (cem) metros, para os cursos d'água com largura de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros;
> d) 200 (duzentos) metros, para os cursos d'água com largura de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros;
> e) 500 (quinhentos) metros, para os cursos d'água com largura superior a 600 (seiscentos) metros;
> II - as áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais, em faixa com largura mínima de:
> a) 100 (cem) metros, nas áreas rurais, exceto para o corpo d'água com até 20 (vinte) hectares de superfície, cuja faixa marginal será de 50 (cinquenta) metros;
> b) 30 (trinta) metros, nas áreas urbanas;
> III - as áreas no entorno dos reservatórios artificiais de água, barragens ou barragens de cursos d'água naturais, na faixa definida na licença ambiental do empreendimento; (Incluído pela Lei nº 12.727, de 2012);
> IV - as áreas no entorno das nascentes e poços perenes, qualquer que seja sua localização topográfica, em um raio mínimo de 50 (cinquenta) metros; (Redação dada pela Lei nº 12.727, de 2012). (Ver ADIN NO 4.903);
> V - taludes ou partes de taludes com declividade superior a 45º, equivalentes a 100% (cem por cento) da linha de maior declive;
> VIII - as bordas das placas ou folheados, até a linha de quebra do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;
> IX - no topo de morros, morros, montanhas e montanhas, com altura mínima de 100 (cm) e declividade média maior que 25º, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) do mínimo altura da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal

> determinado pelo planalto adjacente ou espelho de água ou, nos relevos ondulantes, pelo nível do ponto de sela mais próximo da elevação;
> X - áreas em altitudes superiores a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação; [...] (BRASIL, 2012, p.05).

Os procedimentos aplicados para a definição das APPs no QGIS foram a manipulação dos modelos digitais de terreno para observação das áreas de declividade superior a 45° e topos de morro, que tomou como base adaptações dos métodos adotados por Oliveira e Fernandes Filho (2013). Destaca-se, contudo, que na área de estudo não foram constatadas áreas que atendessem aos critérios para delimitação deste tipo de APP.

Já para as margens de rios, lagos e lagoas fez-se interpretação das imagens de satélite e de uso e cobertura da terra, aliadas as fotografias obtidas em campo, e a utilização de ferramentas de medição no próprio QGIS para se estimar a largura das margens de cada trecho dos canais, e com tais valores aplicar a ferramenta *Buffer* na geração das APPs.

4.2.4. Zoneamento Ambiental

O desenvolvimento do mapa de zoneamento se deu por meio da sobreposição de dos mapas de APP, áreas prioritárias de conservação, declividade e fragilidade emergente no ano de 2020. A definição das zonas propostas para o município tomou como referência adaptações dos estudos de zoneamento conduzidos por Bacani e Luchiari (2014), Maranhão (2014) e Thomas (2012). Nesta perspectiva o foram consideradas as zonas apresentadas no quadro 14.

Quadro 14: Classificação dos níveis de necessidade de proteção/preservação e zoneamento

DESCRIÇÃO	ZONA
Áreas urbanas consolidadas, áreas de expansão urbana, vilarejos, área industrial.	Zona Urbana
Áreas de solo exposto ou vegetação esparsa, com nível médio, alto ou muito alto de fragilidade, Declividade abaixo dos 15%	Zona de Recuperação e Uso sustentável
Áreas com grau de fragilidade baixo ou muito baixo, com pouca ação antrópica, vegetação semidensa, ou densa, declividade > 15%	Zona de Controle Ambiental
Áreas prioritárias de conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira (BRASIL, 2018)	Zona de Interesse de Proteção Ambiental
Áreas de Preservação Permanente - APP	Zona de Preservação Permanente

Fonte: Adaptado de Ross (2011), Bacani e Luchiari (2014) e Maranhão (2014)

Com a consideração das zonas, fez-se a sua delimitação por meio classificação visual e manipulação de camadas vetoriais, de forma que seus limites foram definidos de acordo com a sobreposição dos mapas previamente citados e o auxílio das curvas de nível da região, bem como os limites estabelecidos por zonas já pré-definidas, como a Zona de Preservação e Uso Sustentável, cuja os limites considerados para tal foram arquivos vetoriais das áreas prioritárias para conservação determinadas pelo Ministério do Meio Ambiente (2018).

Ademais, outros critérios utilizados para a definição das zonas foi a distribuição dos critérios avaliados, desta forma pequenas parcelas isoladas de uma determinada classe e que não apresentaram evidências de alta significância do ponto de vista ambiental, como o caso de APPs, por exemplo, foram agregadas a classes de maior proporção.

As Zonas de Preservação Permanente – ZPP, são compostas por áreas definidas no Código Florestal como áreas de preservação permanente, como margens de rios, lagos ou lagoas, topos de morro, áreas com altitude superior a 1800 m, entre outras. Estas áreas como definido na lei podem apresentar ou não cobertura vegetal, e são estabelecidas no intuito de proteção dos componentes ambientais, bem como garantir o bem-estar da sociedade (BRASIL, 2012).

As Zonas Urbanas – ZU, são áreas urbanas já consolidadas, como é o caso da sede municipal, como também foram consideradas áreas de expansão urbana, como algumas parcelas a oeste da sede municipal, e a comunidade de Lagoa de São João a sudeste da sede do município. Ademais, também foram consideradas parcelas associadas ao desenvolvimento de atividades industriais, mais precisamente atividades do setor avícola.

A Zona de Interesse de Proteção Ambiental foi associada especialmente as parcelas de áreas definidas como prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade brasileira reconhecidas na Portaria n°223, de 21 de junho de 2016, e atualizadas Portaria nº 463, de 18 de dezembro de 2018, e que apresentam importância biológica alta, tendo em vista não só a riqueza de espécies, como a presença de exemplares endêmicos.

A Zona de Controle Ambiental é composta por áreas com declividade elevada, acima dos 15% ou 20%, onde as ações antrópicas ainda não ocorreram de forma intensa,

com presença de vegetação semidensa ou densa, e grau de fragilidade ambiental variando entre o muito baixo ao médio (THOMAS, 2012).

As Zonas de Recuperação e Uso Sustentável são áreas com presença mais expressiva de solo exposto, vegetação esparsa ou rala, onde a declividade está abaixo dos 15%, e possuem uma fragilidade ambiental podendo variar do grau médio ao muito alto. Apresentam evidências de atividades antrópicas mais intensas, especialmente associadas ao uso da terra, mais próximas as sedes municipais, e com evidências de degradação (THOMAS, 2012).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Erro! Fonte de referência não encontrada.

Erro! Fonte de referência não encontrada.

Conforme dados do censo demográfico desenvolvido pelo IBGE (2010) a densidade demográfica do município é de 57,84 hab/Km². O quadro 15 mostra a distribuição da população considerando as residências na zona urbana e rural, e o sexo entre 1991 e 2010.

Quadro 15: Caracterização da população de Princesa Isabel - PB

Categorias	População do município em 1991, 2000 e 2010					
	População em 1991	%	População em 2000	%	População em 2010	%
Homens	7974	47,88%	8791	48,22%	10448	49,09%
Mulheres	8679	52,12%	9440	51,78%	10835	50,91%
População urbana	8353	50,16%	11401	62,54%	14528	68,26%
População rural	8300	49,84%	6830	37,46%	6755	31,74%
Total	16653	100%	18231	100%	21283	100%

Fonte: IBGE (1991, 2000, 2010).

Segundo os dados coletados pelo PNUD (2013) a população do município crescia em uma taxa média anual de 1,01 % entre 1991 e 2000, ao passo que este valor aumentou para 1,56% entre 2000 e 2010.

É notória uma redução expressiva no percentual de habitantes do meio rural, inversamente proporcional aos moradores de áreas urbana que se elevou ao longo dos anos. Tal fenômeno pode ser associado ao aumento do êxodo rural, em decorrência da busca por melhores condições de vida, acesso facilitado a educação, lazer e demais necessidades básicas, o abandono de terras agrícolas para o desenvolvimento de outras atividades nos centros urbanos, o aumento na facilidade de deslocamento entre centros urbanos e áreas rurais, entre outros fatores.

No tocante ao Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDMH do município, calculado considerando os dados de renda, longevidade e educação, houve um crescimento expressivo do IDMH de Princesa Isabel entre 1991, cujo IDMH foi de 0,352 e 2010, onde este elevou-se para 0,606, resultando na alteração do IDMH do município de baixo para médio (PNUD, 2013).

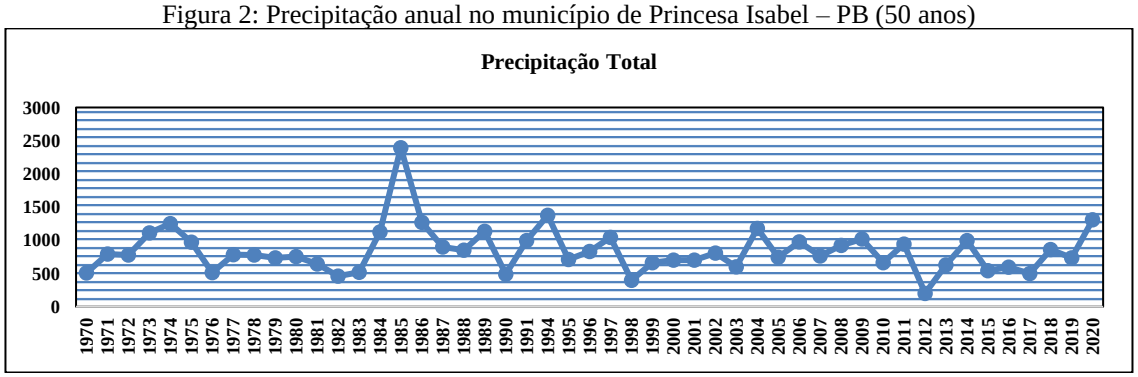
O aumento no IDMH do município associa-se principalmente ao crescimento da variável longevidade que em 1991 apresentava pontuação de 0,574, já em 2010 seu valor foi de 0,720. Um ponto de destaque na variação dos valores que compõem o IDMH é a o crescimento expressivo da educação entre 1991 (0,177) e 2010 (0,514), o que pode estar associado ao aumento dos investimentos no setor da educação ao longo destes anos, além do incentivo a permanência dos alunos nas escolas (PNUD, 2013). E que por consequência está diretamente ligado ao aumento da renda entre 1991 (0,431) e 2010 (0,600), visto que com o aumento do nível acadêmico da população existe a possibilidade de ocupação de postos de trabalho antes inacessíveis (PNUD, 2013).

Erro! Fonte de referência não encontrada.

Quanto as suas características fisiográficas o município está inserido no Polígono das Secas, no qual as temperaturas são mais elevadas durante o dia e atenuam-se no período da noite, variando anualmente entre 23 e 30 °C. O regime pluviométrico é baixo e irregular, com precipitação média anual de 789,2 mm/ano (Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2005).

Quanto a distribuição das chuvas no município ao longo dos últimos anos, esta pode ser observada no gráfico abaixo (Figura 2), elaborado por meio de dados obtidos da Agência Executiva de Gestão das Águas no estado da Paraíba (AESA – PB) e dados oriundos do Portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA).

Figura 2: Precipitação anual no município de Princesa Isabel – PB (50 anos)



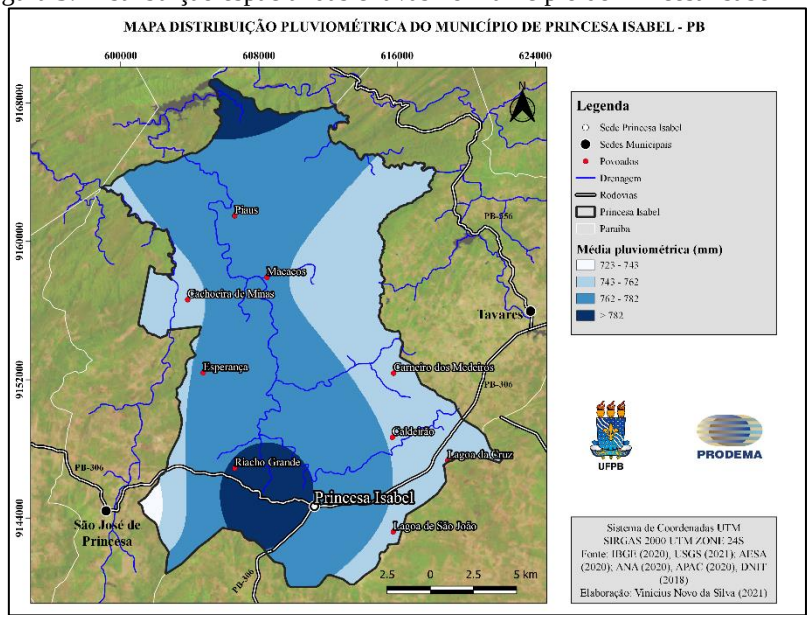
Fonte: Adaptado de ANA (2018) e AESA (2020)

Como observado no gráfico o índice pluviométrico do município ao longo dos anos esteve abaixo dos 800 mm, com eventos pontuais em que a precipitação superou os 1000 mm. Destaca-se que não foram obtidos dados para os anos de 1992 e 1993.

Alguns dos períodos de chuvas mais intensas aconteceram entre 1973 e 1975, 1984 e 1989, 2004, 2009 e 2020. Em contrapartida 1970, 1976, 1983, 1984, 1990, 1998, 1999 e 2012 foram alguns dos anos com estiagem mais severa.

No que se refere a distribuição pluviométrica no município, a figura 3 apresenta um mapa com interpolação dos dados obtidos nas estações pluviométricas do município de Princesa Isabel, e municípios vizinhos.

Figura 3: Distribuição espacial das chuvas no município de Princesa Isabel - PB



Fonte: Elaborado pelo auto (2021)

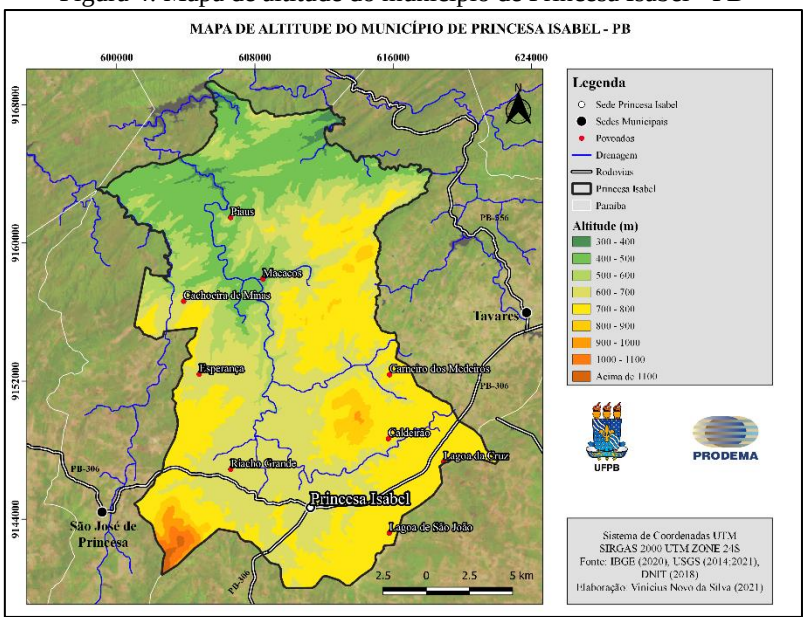
Apesar da variação pluviométrica no município, observa-se que as chuvas se encontram no intervalo médio de 723 e 782 mm, fato observado nos demais municípios vizinhos.

As chuvas por sua ação direta na dinâmica do sistema ambiental são primordiais para compreensão e análise da fragilidade, visto que é um componente capaz de ativar os processos morfodinâmicos, considerando sua ação nos processos erosivos, bem como no condicionamento dos processos de intemperismo e na formação do solo (LEME, 2007).

Erro! Fonte de referência não encontrada.

No que se refere ao relevo o município está alocado na “Planície Sertaneja”, formada por um plano arrasado e composta por um conjunto de serras alongadas e alinhadas ao longo da estrutura geológica regional, cujo domínio topográfico estende-se dos municípios de Manaíra a Teixeira. A sede municipal apresenta altitude de 680 m (CPRM, 2005), e a representação da variação altimétrica da região pode ser observada na figura 4.

Figura 4: Mapa de altitude do município de Princesa Isabel - PB

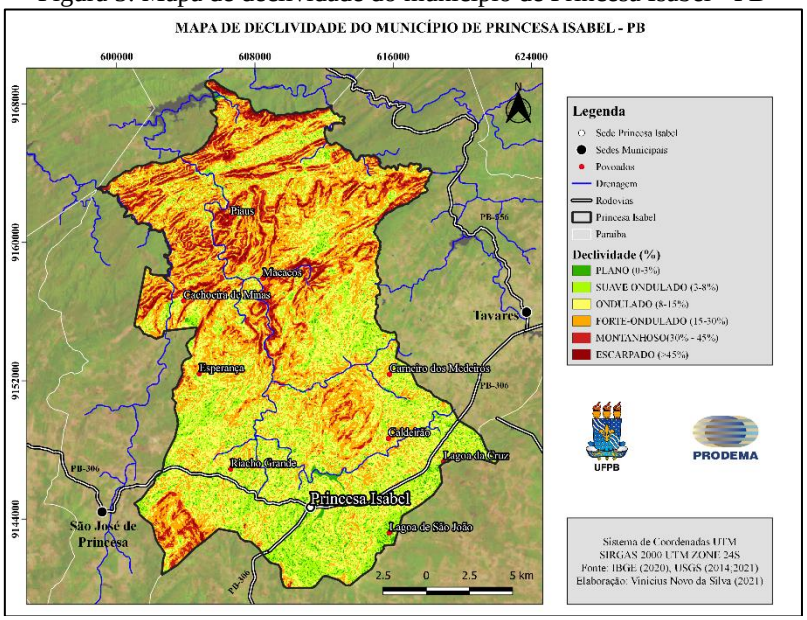


Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Como constatado na figura acima, a variação de cotas altimétricas apresenta valores mínimos e 300 m e atinge cotas superiores aos 1100 m. A porção norte do município apresenta áreas com menores cotas altimétricas, variando dos 300 aos 500 m, enquanto na porção mais central do município a altitude dos 600 aos 700 metros, nível onde se identifica a sua sede, e nas extremidades mais a sudoeste, sudeste e leste constata-se a cotas mais elevadas, acima dos 800 m.

No que diz respeito as características do relevo do município, existe uma significância nas classes de relevo plano, suave ondulado e ondulado, especialmente na porção mais sul (Figura 5).

Figura 5: Mapa de declividade do município de Princesa Isabel - PB



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Às áreas com declividade de maior porcentagem se encontram mais ao norte e noroeste do município, e em uma porção a sudoeste, com representações de relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado, cuja declividade acentuada é evidenciada por formas como morros e montanhas, como exemplificado na figura 6, que representa um conjunto de morros em uma área visitada no município.

Figura 6: Área com morros, evidenciando declividade acentuada no município de Princesa Isabel - PB

Fonte: Autor (2021)

Às áreas com menor declividade são constatadas mais ao sul do município, onde se observa sua sede, corroborando com a observação de menores cotas altimétricas previamente apresentada. As características do relevo desta parcela do município justificam a o desenvolvimento da área urbana, visto que, suas características

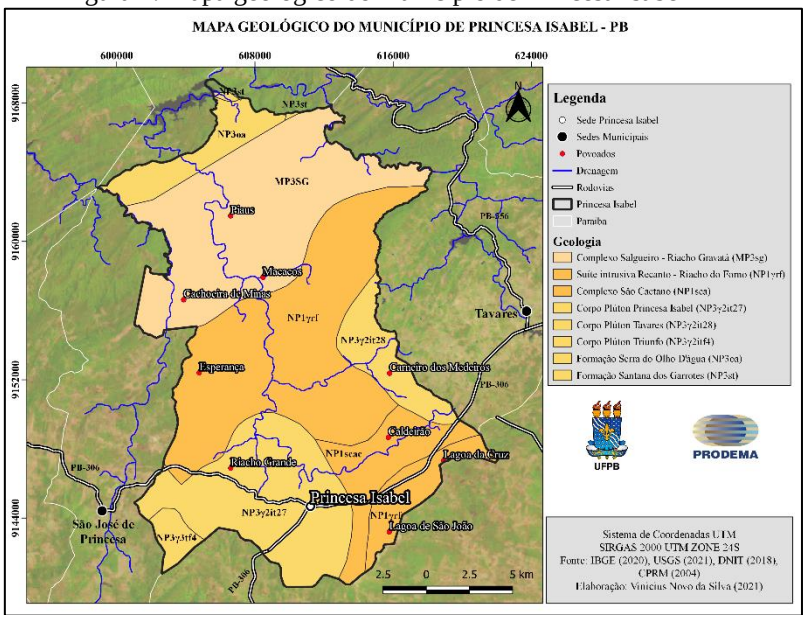
permitiram um melhor desenvolvimento das atividades antrópicas. Ademais, como observado pela representação do relevo plano, os corpos hídricos mais significativos do município também são observados nesta porção.

A compreensão da declividade é essencial para os estudos de fragilidade, visto que suas informações são aplicadas em métodos para a identificação de área que apresentam potencial erosivo, tornando-se primordial para a avaliação do planejamento de uso e cobertura da terra (SPORL, 2007).

De um ponto de vista geológico, o município de Princesa Isabel está inserido no Domínio Transversal, que se refere a uma estrutura situada entre os lineamentos de Patos e Pernambuco, ocupando a porção sul do território paraibano. Este reúne terrenos tectono-estratigráficos com idades meso e neoproterozóica, no qual também ocorrem blocos de idade arqueana e paleoproterozóica (SANTOS, FERREIRA, SILVA Jr; 2002).

A classificação das unidades litoestratigráficas identificadas no município de Princesa Isabel pode ser observada na figura 7.

Figura 7: Mapa geológico do município de Princesa Isabel - PB



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

A definição dos litotípos associados as das unidades litoestratigráficas do município pode ser contatada no quadro 16.

Quadro 16 Litotipos das unidades litoestratigráficas do município de Princesa Isabel - PB

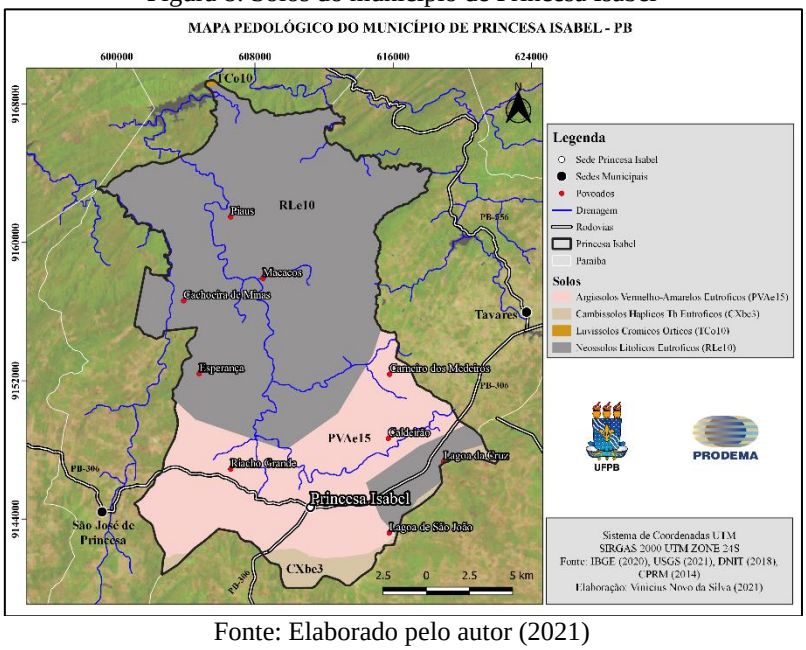
Nome	Litotipos
Complexo Salgueiro - Riacho Gravatá (MP3sg)	Filito, Metachert, Metagrauvaca, Metarritmito,

	Metatufo, Metavulcânica intermediária a máfica, Metavulcanoclástica, Rocha metavulcânica félsica, Xisto, Xisto carbonático
Complexo São Caetano (NP1sca)	Biotita gnaisse, Biotita-muscovita-quartzo xisto, Mármore, Metabasalto, Metachert, Metadacito, Metagabro, Metagrauvaca, Metapsamito, Metarriodacito, Metarritmito, Metavulcanoclástica, Migmatito, Ortognaisse granítico, Ortognaisse migmatítico
Suíte intrusiva Recanto - Riacho do Forno (NP1γrf)	Augen gnaisse, Metagranito, Metamonzogranito, Metassienito, Metassienogranito, Migmatito
Corpo Plúton Princesa Isabel (NP3γ2it27)	Diorito, Granito, Granodiorito, Monzonito
Corpo Plúton Tavares (NP3γ2it28)	Diorito, Granito, Granodiorito, Monzonito
Corpo Plúton Triunfo (NP3γ2it4)	Alcali-feldspato granito, Quartzo álcali-feldspato sienito
Formação Santana dos Garrotes (NP3st)	Formação ferro bandada, Metaconglomerado, Metagrauvaca, Metapiroclástica, Metarenito lítico, Metarritmito, Rocha metavulcânica félsica, Rocha metavulcânica máfica
Formação Serra do Olho D'água (NP3oa)	Mármore, Metaconglomerado polimático, Metagrauvaca, Metarenito

Adaptado de CPRM (2004)

Os solos do município são resultado de um processo de desagregação e decomposição das rochas cristalinas do embasamento, com maioria classificada como Neossolo litólico, Argissolo vermelho amarelo e Cambissolo Eutrófico (Figura 8) (CPRM, 2005; EMBRAPA, 2006).

Figura 8: Solos do município de Princesa Isabel



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Os Neossolos tratam-se de solos constituídos por material mineral ou orgânico com menos de 20 cm de espessura e pouco espesso, não apresentando alterações significantes em relação ao seu material originário, considerando a baixa intensidade

dos processos pedogenéticos, que pode estar associada a características do próprio material de origem como resistência ao intemperismo ou sua composição químico-mineralógica, como também a influência de demais fatores como clima e relevo, que podem limitar ou impedir a evolução dos solos. Apresentam material mineral de grande resistência, limitando o crescimento do sistema radicular e a circulação de água (SANTOS, et al., 2013).

Argissolos vermelho amarelo são solos formados por material mineral, com horizonte B textural logo abaixo do A ou E, podendo apresentar argila de atividade (capacidade de troca de cátions em relação a fração de argila) baixa (valor inferior a 27 cmolc/kg de argila) ou argila de atividade alta (valor igual ou superior 27 cmolc/kg de argila) associada a saturação por bases baixa e/ou caráter alítico em grande parte do horizonte B, quando o solo está dessaturado e apresenta teor de alumínio extraível ≥ 4 cmolc/kg de solo, associado a atividade de argila ≥ 20 cmolc/kg. Este ainda pode apresentar um horizonte plíntico que se caracteriza pela presença de plintita e espessura superior a 15 cm, com textura francoarenosa ou mais fina, ou um horizonte glei, que se trata de um horizonte mineral subsuperficial com espessura de 15 cm ou mais, caracterizado pela redução de ferro (SANTOS, et al, 2013).

A respeito dos Argissolos vermelho-amarelos eutróficos são solos com certo nível de evolução, apresentando alto nível de fertilidade ao passo que também contém alta susceptibilidade a erosão (SILVA, 2017).

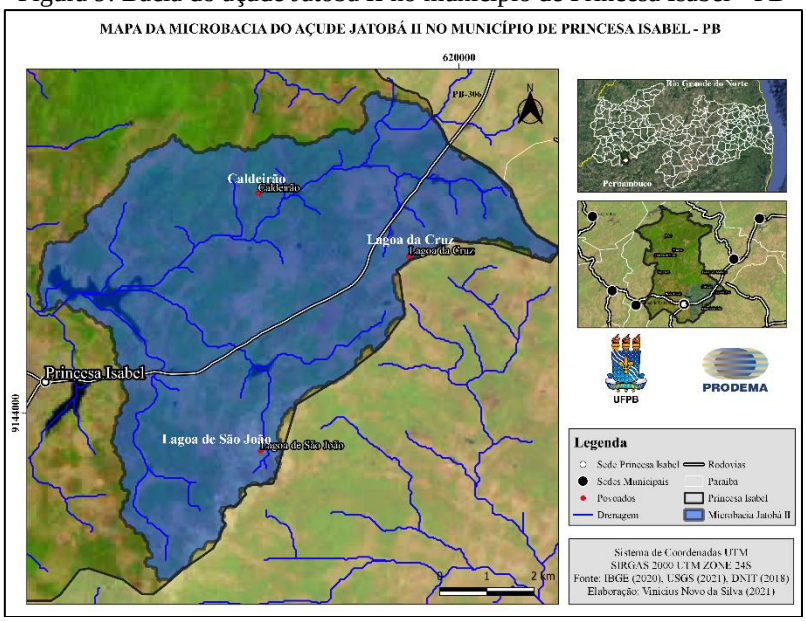
Cambissolo Eutrófico são solos de constituição mineral com horizonte B, abaixo de qualquer horizonte superficial, com exceção do hístico com mais de 40 cm de espessura, ou de um horizonte A chernozêmico. Apresentam plintita, que se trata de uma formação constituída de uma mistura de argila, pobre em carbono orgânico e rica em ferro e alumínio, contendo grãos de quartzo e outros minerais, e petroplintita, caracterizada como um material oriunda plintita, que sofre efeitos de ciclos repetitivos de umedecimento seguidos de ressecamento acentuado, e que sofre uma consolidação vigorosa, apresentando nódulos ou concreções ferruginosas. Quanto aos horizontes apresenta o glei e horizonte vértico. A argila destes apresenta atividade alta, e saturação por bases alta nos primeiros 100 cm do horizonte B (SANTOS, et al, 2013).

Erro! Fonte de referência não encontrada.

Se tratando dos Recursos Hídricos o município está inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Paraíba e na sub-bacia do Rio Piancó. Os principais tributários são os riachos Bálsamo, Arara, Bruscas, Gravatá, do Vinho, do Caldeirão e Tapuio. A rede de drenagem é caracterizada como intermitente de padrão dentrítico, sendo o riacho Gravatá considerado o principal curso d'água do município, que juntamente aos demais atuam como afluentes da sub-bacia do Rio Piancó (CPRM, 2005).

Dentre os açudes presentes no município, os principais são o Padre Ibiapina, Maia, Macapá e Jatobá II que é o único reservatório do município, com capacidade máxima de 5.660.979 m³ (ALBUQUERQUE et al., 2015), cuja bacia pode ser observada na figura 9.

Figura 9: Bacia do açude Jatobá II no município de Princesa Isabel - PB



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

No que se refere às águas subterrâneas o município está alocado em uma bacia sedimentar de embasamento cristalino, cujo domínio do aquífero é fraturado cristalino, e segundo o Atlas do Nordeste elaborado pela Agência Nacional de Águas-ANA (2006) são:

> Aquíferos restritos as zonas fraturadas, representados por rochas metassedimentares e metaígneas, de idade arqueana e proterozóica, associadas a delgado manto de intemperismo (3 a 5 m), e localizados na região do semi-árido. Problemas de salinização das águas (ANA, 2006).

Quanto ao uso dos recursos hídricos no município, o relatório da Ana (2006) afirma que o sistema de abastecimento do município é isolado, no qual se atende apenas a sede municipal, e ainda estima que a pressão sob tais no município enquadrasse na faixa dos 10 a 20 %, onde se torna se torna imprescindível as atividades de gerenciamento dos recursos com um certo nível de investimento.

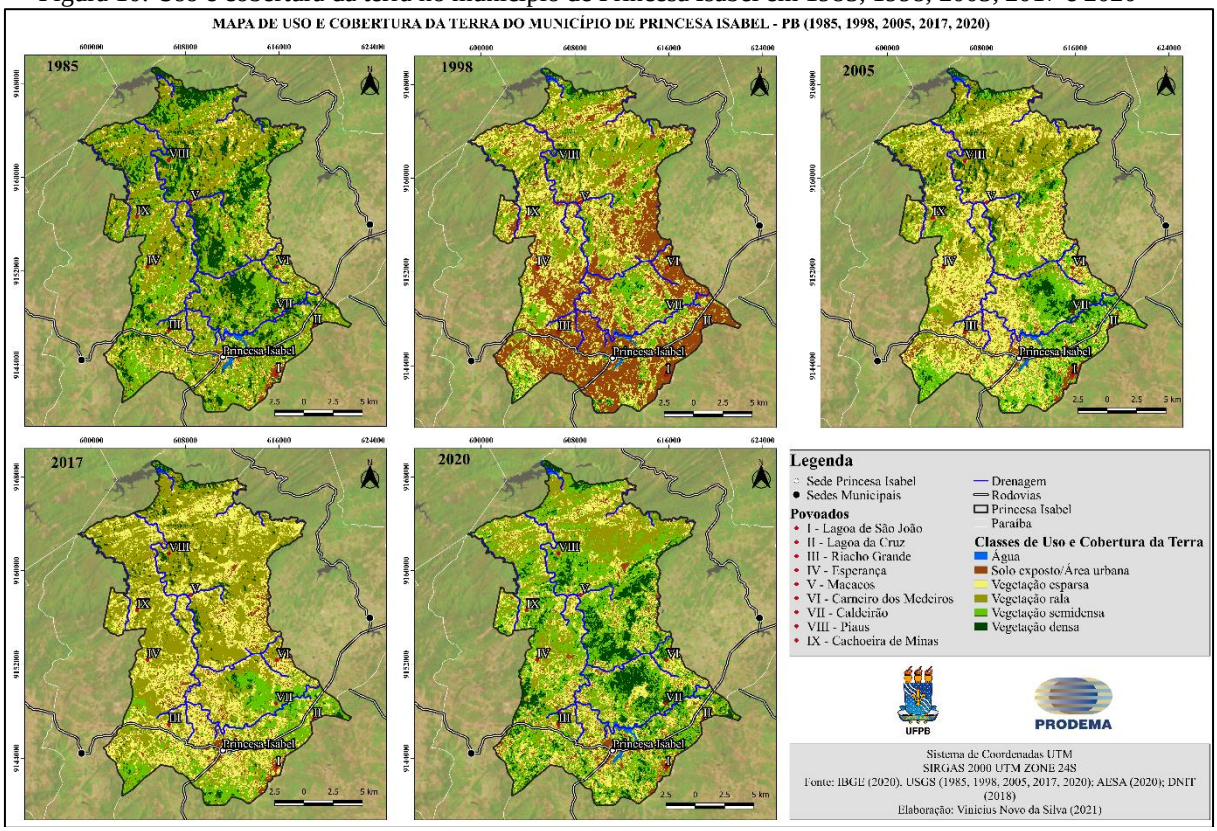
5.2. USO E COBERTURA DA TERRA

5.2.1. Uso e Cobertura da terra em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020

Os mapas de uso e cobertura da terra foram gerados considerando os métodos descritos, obtendo-se desta forma cinco mapas temáticos representando os anos de 1985 e 2020 como anos chuvosos, 1998 e 2017 como anos secos, e o ano de 2005 como um ano com índice pluviométrico próximo da média pluviométrica do município de Princesa Isabel.

Os mapas foram organizados na figura 10, com apresentação de todos os produtos, e na tabela 5 foram ordenados os dados referentes a área em Km² de cada classe de uso e cobertura da terra identificada, bem como sua representação percentual.

Figura 10: Uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Tabela 5: Área das classes de uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020

Classes de uso e cobertura da terra	1985 Área		1998 Área		2005 Área		2017 Área		2020 Área	
	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%	Km²	%
Água	1,92	0,52	1,40	0,38	2,03	0,55	0,46	0,12	2,16	0,59
Solo Exposto / Urbano	15,94	4,33	131,70	35,78	32,52	8,83	21,35	5,80	20,01	5,44
Vegetação esparsa	53,33	14,48	106,64	28,97	135,88	36,91	127,51	34,63	88,79	24,12
Vegetação rala	153,27	41,61	77,68	21,10	100,67	27,35	167,31	45,45	94,51	25,67
Vegetação semidensa	80,27	21,79	39,98	10,86	69,67	18,92	38,20	10,38	115,80	31,45
Vegetação Densa	63,61	17,27	10,74	2,92	27,38	7,44	13,32	3,62	46,88	12,73
Total	368,35	100	368,13	100	368,15	100	368,15	100	368,15	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Em análise ao mapa de 1985, observa-se que na porção sudeste e leste do município pode-se constatar uma maior prevalência de solo exposto e/ou área urbana, especialmente nas adjacências da sede do município e dos povoados de Lagoa de São João e Carneiro dos Medeiros.

A classe de vegetação rala, apresenta uma distribuição proporcional em todo o município, e bastante expressividade, assim como a vegetação semidensa e densa, o que pode ser justificado pela incidência das chuvas neste ano.

No mapa referente ao ano de 1998 constatou-se uma variação significativa na cobertura do município e distribuição das classes, especialmente das classes vegetativas, que sofreram uma redução expressiva, fato corroborado pelos dados numéricos apresentados na tabela supradita.

Verificou-se no mapa de 1998 um crescimento das áreas de solo exposto/área urbana, especialmente nas parcelas mais ao sul e a leste do município, bem como da vegetação esparsa. Em contrapartida a vegetação densa, semidensa e rala diminuíram consideravelmente.

Essa relação de variação entre as classes de cobertura pode estar associada as influências do regime pluviométrico, tendo em vista que o ano de 1997 apresentou índice pluviométrico acima da média do município (1045,9 mm), o que pode ter incentivado o desenvolvimento expressivo de atividades agrícolas, contudo em decorrência da estiagem em 1998 houve uma perda da colheita, resultando no aumento das áreas de solo exposto, fato este que pode ser constatado ao se comparar os dados entre áreas plantadas e colhidas de 1997 e 1998, que segundo dados do IBGE (2021),

1997 e 1998 apresentaram respectivamente 89,41 Km² e 85,88 Km² de áreas plantadas, e 89,41 Km² e 1,15 Km² de áreas colhidas, uma perda significativa de produção.

No ano de 2005 observa-se a prevalência das classes de vegetação esparsa e vegetação rala, com a concentração da primeira na porção mais próxima da sede municipal, e da vegetação rala mais ao norte, em cotas altimétricas mais elevadas. Nota-se também a redução das áreas de solo exposto, o que reforça a influência das chuvas na cobertura do município. Ademais, nota-se um acréscimo nas áreas de vegetação semidensa e densa, possivelmente como efeito das chuvas dos anos anteriores.

No mapa de 2017 constata-se o predomínio da vegetação rala em detrimento das demais classes vegetativas, de forma que especialmente as classes de vegetação semidensa e densa podem ter sua redução associada tanto a atividades antrópicas como também a influência das chuvas no ano de 2017 e nos anos de 2016, 2015 e 2012, caracterizados por um índice pluviométrico abaixo da média municipal.

O mapa de 2020 apresenta uma situação ainda mais positiva do ponto de vista das classes vegetativas, considerando a prevalência da vegetação semidensa, o crescimento da vegetação densa e uma quase equidade entre as classes de vegetação rala e esparsa.

Destaca-se que para o ano de 2020, considerando a realização das visitas in loco fez-se o cálculo da acurácia da classificação por meio da matriz de erro (Quadro 18), construída após análise de 412 amostras geradas proporcionalmente a distribuição da área das classes no município

Quadro 17: Matriz de erro para análise da acurácia da classificação de 2020

Matriz de Erro - 2020							
Classes	Água	Solo Exposto Área urbana	Vegetação esparsa	Vegetação rala	Vegetação semidensa	Vegetação densa	Pontos de Referência
Água	5	0	0	0	0	0	5
Solo Exposto Área urbana	0	18	4	0	0	0	22
Vegetação esparsa	0	6	78	14	0	0	98
Vegetação rala	0	0	6	95	4	0	105
Vegetação semidensa	0	0	0	13	111	5	129
Vegetação densa	0	0	0	0	3	50	53
Pontos classificados	5	24	88	122	118	55	412

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Com base nos dados da matriz de erro obteve-se a porcentagem de exatidão global para classificação, calculada pelo Qgis na geração dos dados, obtendo-se um valor de

86,65%, e por meio dos dados apresentados no quadro, bem como pela aplicação das operações matemáticas descritas na seção de procedimentos metodológicos foi calculado o índice kappa, cujo valor foi de 82,52%. Tais valores ao serem enquadrados nos parâmetros discutidos por Congalton e Green (2009) podem ser avaliados como excelentes.

Para uma análise mais criteriosa dos dados da matriz de erro, gerou-se os dados de acurácia do produtor e do usuário, permitindo desta forma a compreensão do grau de acurácia associado a cada classe do mapa (Quadro 19).

Quadro 18: Acurácia do produtor e do usuário para a classificação de 2020

Classes	Acurácia do produto (%)	Acurácia do usuário (%)
Água	100	100
Solo Exposto / Área urbana	75,00	81,82
Vegetação esparsa	88,64	79,59
Vegetação rala	77,87	90,48
Vegetação semidensa	94,07	86,05
Vegetação densa	90,91	94,34

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Como apresentado nos quadros, para a classe de solo exposto e área urbana foram enquadradas 18 amostras, todavia o número de pontos classificados nesta classe foi de 24, uma omissão de 6 amostras que foram definidas como vegetação esparsa, resultando em uma acurácia do produto de 75%. Todavia sob a ótica do usuário observa-se que se mantém a quantidade de amostras classificadas como área urbana e solo exposto (18), entretanto é evidenciado que era esperado a categorização de 22 amostras desta classe, das quais 4 foram identificadas como vegetação esparsa, o que resultou em uma acurácia de usuário de 81,82%.

No caso da classe de vegetação esparsa a acurácia do produtor obtida foi de 88,64 %, considerando a definição de 78 amostras como representantes desta classe, contudo classificou-se 88 amostras, uma omissão de 10 amostras das quais 4 haviam sido classificadas como área urbana e solo exposto, e 6 como vegetação rala. Já a acurácia do usuário foi de 79,59 %, visto que se esperava a classificação de 98 amostras, no entanto 14 foram identificadas como vegetação rala e 6 como área urbana e solo exposto.

Para a vegetação rala cujo valor na diagonal principal foi de 95, notou-se uma omissão de 27 amostras, visto que foram classificados 122 pontos, estando estas distribuídas entre as classes de vegetação esparsa (14), vegetação semidensa (13), o que resultou em uma acurácia do produtor de 77,87%. Enquanto a acurácia do usuário foi de

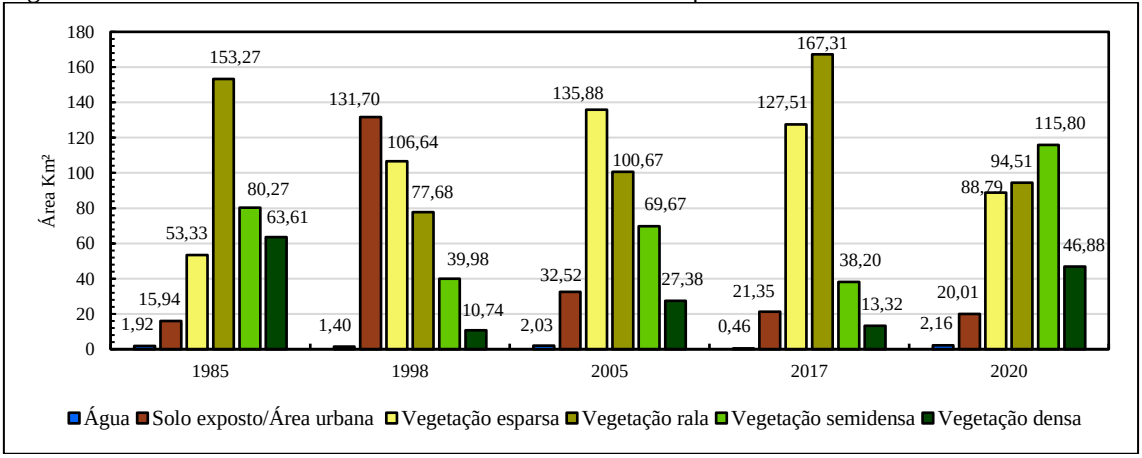
90,48%, visto que se atribuiu 105 amostras de referência, mas o procedimento identificou de que destas 6 eram na verdade vegetação esparsa e 4 vegetação semidensa.

Na classe de vegetação semidensa foram classificadas 118 amostras, contudo apenas 111 foram definidas como integrantes desta classe, devido a omissão de 7 amostras indicadas nas classes de vegetação rala (4) e vegetação densa (3), atribuindo a esta classe o valor de 94,07% de acurácia de produtor. A cerca da acurácia do usuário desta classe (86,05%), das 129 amostras de referência que se esperava confirmação de inserção na classe, 13 amostras foram caracterizadas como vegetação rala e 5 como vegetação densa.

No caso da vegetação densa a acurácia do produto foi de 90,91%, tendo em vista a tendo em vista a classificação de 55 amostras no total para esta classe, das quais 5 estavam inseridas erroneamente na classe de vegetação semidensa. No tocante a acurácia do produtor, esperava-se a classificação de 53 amostras, mas constatou-se que 3 destas estavam na verdade eram vegetação semidensa, resultando em um acurácia do usuário de 94,34%. Para a classe de água tanto a acurácia do usuário como do produtor foi de 100%,

Para uma melhor compreensão dos fatores que podem estar associados a variação das áreas das classes de uso e cobertura da terra nos 5 anos analisados, faz-se necessária uma visualização deste fenômeno de forma unificada, neste sentido a figura 11 apresenta a distribuição das áreas destas em Km² em forma de gráfico.

Figura 11: área das classes de uso e cobertura da terra no município de Princesa Isabel nos anos estudados



Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

No gráfico é possível perceber que nos em 1998 e 2005 a classe de vegetação esparsa apresentava uma maior representação entre as coberturas vegetativas, fato que

pode estar associado ao desenvolvimento intenso da agricultura na região durante estes anos, contudo ela sofreu uma redução gradual nos anos seguintes, dando espaço para o desenvolvimento da vegetação rala, bem como da vegetação semidensa e densa.

O aumento nas classes de vegetação como discutido por Silva (2017) pode estar associado a redução da classe de solo exposto em decorrência do êxodo rural motivado fenômenos como a seca, a busca por oportunidades para otimização da qualidade de vida, acesso à educação, inserção no mercado de trabalho fora do nicho da agricultura e pecuária. Fato este, corroborado pelos dados do censo do IBGE, como apresentado anteriormente (Ver quadro 15), visto que em 1990 a população rural representava 49,84% dos moradores do município, contudo em 2010 estes eram 31,74%.

O abandono das terras antes utilizadas para os cultivos ou pastagem permite que um processo de regeneração da vegetação mesmo que lenta ocorra nestas porções antes degradadas, como pode ser observado na figura 12.

Figura 12: Área com vegetação em processo de regeneração

Fonte: Autor (2021)

No tocante as classes de vegetação semidensa e densa, são observadas estas classes em especial nas áreas de maior elevação e declividade, onde a altitude geralmente varia dos 700 aos 1100 metros, e o relevo é geralmente forte ondulado ou montanhoso, como observado na figura 13.

Figura 13: Área elevada com vegetação semidensa e densa

Fonte: Autor (2021)

Esta condição de preservação da vegetação de maior porte pode estar associada a dificuldade de acesso, como também no desenvolvimento de práticas agrícolas ou de pecuária, fato este também discutido por Pereira et al. (2020) e Nascimento, Lima e Lima (2014) que observaram em seus trabalhos uma relação direta entre o relevo e os padrões vegetacionais, onde áreas de maior elevação apresentam um padrão de preservação mais expressivo. Em contrapartida áreas com relevo mais plano ou suave ondulado e de menor altitude, no caso do município nas cotas altimétricas que variam dos 600 a 700 m, o acesso para intervenções antrópicas é facilitado (Figuras 14 e 15) e por consequência existe crescimento na degradação ambiental, como observado nas áreas que apresentam maior expressividade de solo exposto e área urbana e vegetação esparsa.

Figura 14 : Área com indícios de utilização para pastagem

Fonte: Autor (2021)

Figura 15: Área com indícios de queimada possivelmente para o desenvolvimento de culturas

Fonte: Autor (2021)

Todavia, é imprescindível destacar que apesar de não se apresentarem como tão oportunas ao desenvolvimento de atividades antrópicas, parcelas de alta declividade ainda sim, são utilizadas para estes propósitos, como evidenciado na figura 16.

Figura 16: Supressão vegetal em área de declividade acentuada

Fonte: Autor (2021)

Como demonstrado na figura acima, observa-se evidências de ações de supressão da vegetação por meio de queima, possivelmente para ao desenvolvimento de culturas, o que é preocupante visto a sua declividade elevada, com relevo variando principalmente do forte ondulado ao montanhoso, como também pelo solo (Neossolos litólicos eutróficos) pouco desenvolvido e mais propício a processos morfogenéticos.

Ademais a realização de queimadas como técnicas para limpeza do solo, observadas em outras localidades do município e constatadas também por Silva (2017) traz consigo inúmeras adversidades, como descrito por Neary et al (1999), ao destacar que os efeitos das queimadas nos ecossistemas podem causar a redução ou eliminação da biomassa acima do solo, como também impactos físicos, químicos e microbianos abaixo do solo, que podem ser benéficos ou deletérios para o ecossistema subterrâneo de acordo com a gravidade dos incêndios.

Queimas mais intensas podem resultar em mudanças nas taxas de sucessão, alterações na diversidade de espécies e nas proporções de carbono e nitrogênio, afetando ainda o funcionamento hidrológico do solo, degradando suas propriedades físicas e perdas posteriores de nutrientes pela erosão, lixiviação ou desnitrificação (NEARY, et. al., 1999).

Um ponto de destaque quanto a distribuição espacial da vegetação semidensa e densa que ocorre principalmente nas áreas de elevação, é que também foi constatado a representação desta classe próximo a corpos hídricos, especialmente durante o período

chuvoso, onde se observa esse tipo de vegetação nas proximidades de rios, como evidenciado pelas figuras 17 e 18.

Figura 17: Leito de rio seco, porém com presença de vegetação de médio e grande porte em suas margens

Fonte: Autor (2021)

Figura 18: Leito de rio seco, porém com presença de vegetação de médio e grande porte em suas margens

Fonte: Autor (2021)

Tal relação entre o porte vegetativo e quantidade de biomassa e sua relação com os corpos hídricos e a precipitação é um ponto que necessita atenção, visto que a caatinga se apresenta como um bioma de alto poder de resiliência, cuja resposta a presença de umidade acontece rapidamente, mesmo durante chuvas de baixa intensidade (NASCIMENTO, LIMA, LIMA, 2014).

Sob esta perspectiva se traz a discussão sobre os níveis de vegetação presentes nos anos analisados, especialmente nos anos secos (1998 e 2017) e chuvosos (1985 e 2020), visto que nos anos secos a expressividade de classes como a de solo exposto e área urbana e vegetação esparsa pode estar associada tanto as ações antrópicas, como também com o estresse hídrico na vegetação, como foi observado por Silva, Melo e Galvíncio (2011), que constataram durante o período de estiagem mais severo a prevalência de classes de solo exposto, e pouca expressividade de vegetação com maior porte arbóreo, havendo a predominância da vegetação esparsa e rala.

Em contrapartida nos anos chuvosos observou-se não só uma alta expressividade na classe de vegetação rala, como também nas classes de vegetação densa e semidensa, que podem estar associadas tanto ao processo de regeneração natural, como discutido nos parágrafos anteriores, como também a resposta espectral da vegetação as chuvas intensas nestes anos, o que pode retratar, especialmente no caso da vegetação rala, que nesta classe existe uma representação significativa de áreas de agricultura, visto que estas apresentam aspectos de uma vegetação mais desenvolvida e úmida.

Segundo Pereira (2017) a sazonalidade especialmente na caatinga onde a vegetação é mais sensível a variações meteorológicas, pode acarretar alterações expressivas nos aspectos vegetativos, mesmo em períodos curtos, o que pode afetar índices físicos como o IVDN, como também o processo de classificação do uso e cobertura da terra, gerando confusão em algumas classes.

5.3. FRAGILIDADE AMBIENTAL

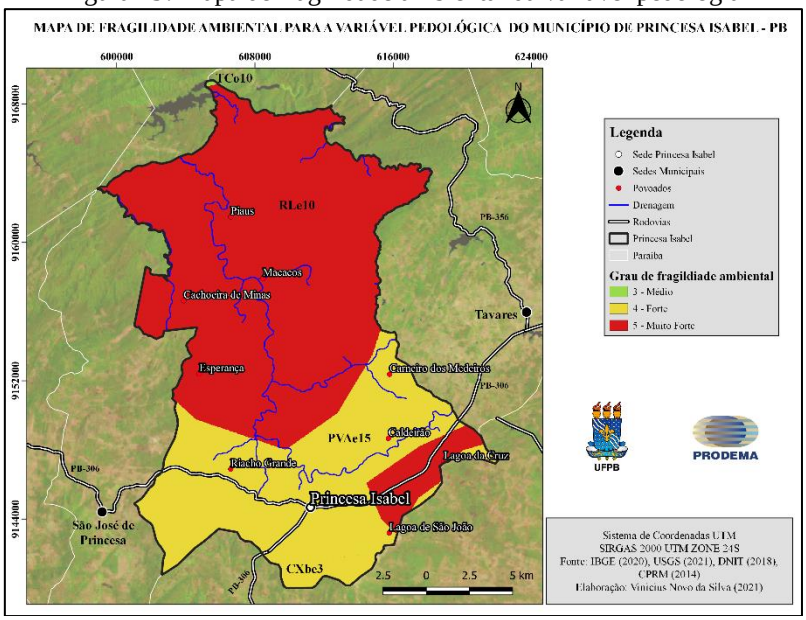
5.3.1. Fragilidade Potencial

A fragilidade potencial como descrita anteriormente é obtida por meio da análise da interação entre os componentes da natureza sob a ótica de sua fragilidade, neste sentido está foi obtida pela união da fragilidade pluviométrica, a fragilidade da declividade e a fragilidade dos solos.

No tocante a variável de pluviometria, tendo em vista que a média pluviométrica do município é de 789,2 mm/ano, com irregularidade do comportamento pluviométrico ao longo do ano, onde existem períodos específicos com alta intensidade pluviométrica seguidos de meses de estiagem severa, características da região semiárida, o grau de fragilidade ambiental atribuído a esta variável foi de 5, um grau de fragilidade forte.

No tocante a fragilidade dos solos do município (figura 19), é evidente a presença de 3 graus de fragilidade, o médio, o forte e o muito forte.

Figura 19: Mapa de fragilidade ambiental da variável pedologia



Fonte: Autor (2021)

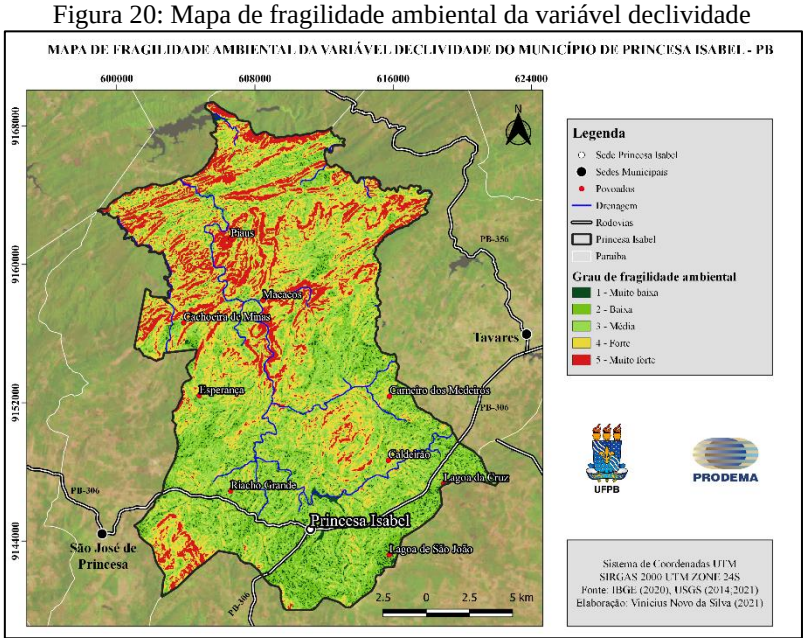
Como evidenciado no mapa o grau de fragilidade muito forte apresenta maior expressividade na área de estudo, representando 65,24% da área, associados aos Neossolos Litólicos Eutróficos, a definição deste grau de fragilidade associa-se ao fato de que este tipo de solo é pouco desenvolvido, onde os processos pedogenéticos não ocorreram de forma intensa, ao contrário dos processos morfogenéticos que se deram de forma expressiva em virtude de sua composição por materiais mais resistentes ao processo de intemperismo.

A porção correspondente ao grau de fragilidade forte apresentada no mapa referente a 34,71% da área associa-se aos Cambissolos haplicos e Argissolos vermelho-amarelos eutróficos. Solos que apesar de apresentarem um nível de evolução maior que os Neossolos, bem como fertilidade, apresentam características que ainda os tornam altamente susceptíveis a erosão.

A representação do grau de fragilidade médio correspondente aos Luvissolos crômicos órticos, refere-se a 0,05 % da área, sendo pouco expressivo para a análise da fragilidade.

Para a fragilidade ambiental da declividade considerou-se o intervalo percentual apresentado e seu enquadramento nas classes de fragilidade, gerando o mapa presente na figura 20.

Figura 20: Mapa de fragilidade ambiental da variável declividade



Fonte: Autor (2021)

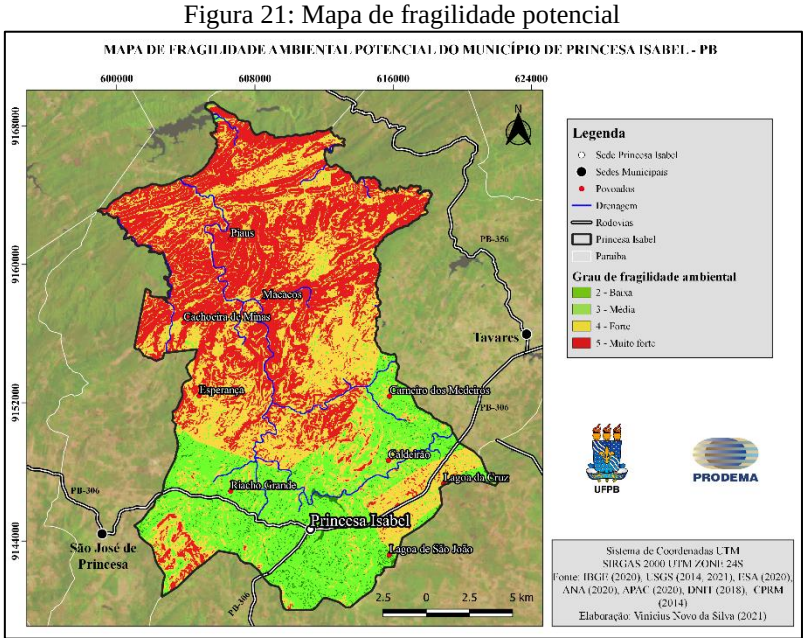
O mapa evidencia que o grau de fragilidade média, associado ao relevo ondulado se mostra como o mais expressivo na área (32,58%), seguido pela fragilidade de grau forte (29,67%) associada ao relevo forte ondulado e a fragilidade fraca (20,90%) que representa o relevo moderadamente ondulado.

A fragilidade muito fraca (3,52%) se associa ao relevo mais plano e suave ondulado e a fragilidade muito forte (13,34), representa o relevo montanhoso e escarpado.

Áreas com declividade mais acentuada potencializam o efeito do escoamento superficial das chuvas, o que resulta em intensificação do processo de erosão laminar. Ademais, a declividade e o grau de infiltração da água no solo são características inversamente proporcionais, logo o acréscimo da declividade resulta em diminuição da infiltração, em decorrência do aumento da velocidade da água sob o solo.

Por meio da determinação do grau de fragilidade das três várias supraditas, foi possível o desenvolvimento do mapa de fragilidade potencial (Figura 21), a fim de se analisar a fragilidade dos componentes da natureza em uma perspectiva de um cenário com poucas alterações antrópicas sobre as variáveis.

Figura 21: Mapa de fragilidade potencial



Fonte: Autor (2021)

Como apresentado no mapa a fragilidade de grau 5, forte mostra-se como a mais expressiva, representando 36,23% da área do município, seguido da fragilidade forte que ocupa cerca de 35,46% da área municipal, a fragilidade média representa 26,24% e em menor proporção a fragilidade baixa com 2,07%.

Em decorrência da atribuição de um elevado grau de fragilidade a variável pluviométrica conforme a metodologia, existe automaticamente uma elevação dos valores médios obtidos após o processamento dos dados. Destacando a necessidade de avaliação dos métodos propostos a fim de se otimizar a classificação dos níveis de fragilidade para a variável pluviométrica considerando as especificidades de cada região.

A relevante porcentagem do grau de fragilidade forte e do muito forte pode ser associado ao alto nível de fragilidade associado aos solos da região em áreas de declividade mais acentuada, visto que como discutido os argissolos vermelho-amarelo e os Neossolos litólicos eutróficos são solos com maior susceptibilidade a erosão, efeito este que é potencializado em áreas de maior inclinação, onde a velocidade do escoamento superficial é mais expressiva e apresenta uma capacidade para carregar uma quantidade maior de sedimentos.

A mesma interação de variáveis também é constatada na análise do grau de fragilidade médio que em menor expressividade ocupou principalmente as áreas de

relevo plano e suave ondulado, que apresentam um menor potencial erosivo se avaliado sob a ótica da declividade, todavia o grau médio para esta parcela ocorre principalmente devido ao fato dos solos da área apresentarem um alto nível de fragilidade.

A relação de interação entre o grau de fragilidade mais forte e muito forte em áreas de declividade mais acentuada também foi constatado por Leme (2007) que em sua pesquisa observou uma relação direta entre esta variável e os solos, destacando que as áreas com solos pouco desenvolvidos e que se encontram em porções de maior declive estão mais sujeitos aos processos erosivos, que superam desta forma os processos pedogenéticos.

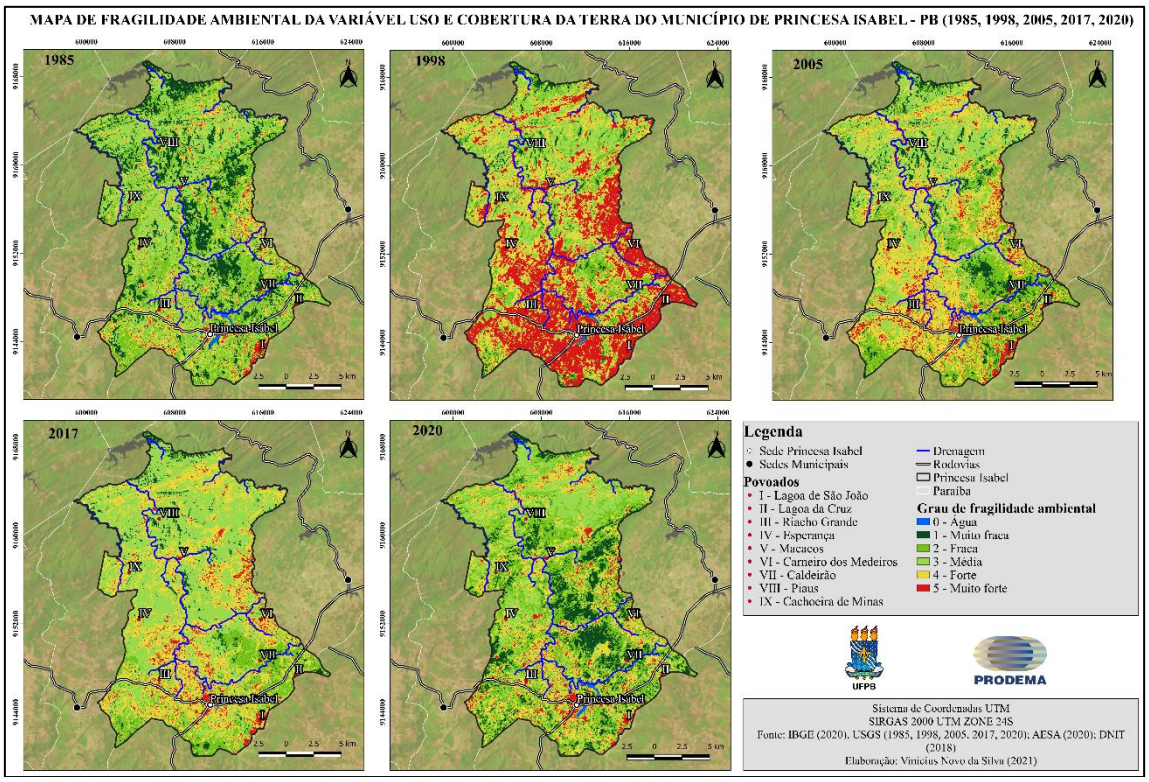
O grau de fragilidade baixo se mostrou de forma significativa nas áreas de relevo plano, sendo perceptíveis principalmente na representação dos corpos hídricos do município.

A determinação da fragilidade potencial é essencial para uma análise criteriosa da interação entre os componentes da natureza, considerando um cenário em que o grau de interferência dos fatores antrópicos seja menor, permitindo desta forma otimizar a compreensão das influências da cobertura da terra sobre a ótica da fragilidade emergente, interpretando-a com uma visão natural e ao mesmo tempo antrópica.

5.3.2. Fragilidade Emergente

Para a definição da fragilidade emergente, visto que esta representa a interação dos elementos que compõe a fragilidade potencial sob a ótica dos componentes da natureza e com pouca interferência antrópica mais a variável de uso e cobertura da terra que representa a interação do homem, foram elaborados 10 mapas. Destes 5 representam a fragilidade ambiental da variável de uso e cobertura nos anos de 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 (Figura 22), e os outros 5 mapas representam a fragilidade emergente nos anos citados.

Figura 22: Fragilidade ambiental do uso e cobertura da terra em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020



Fonte: Autor (2021)

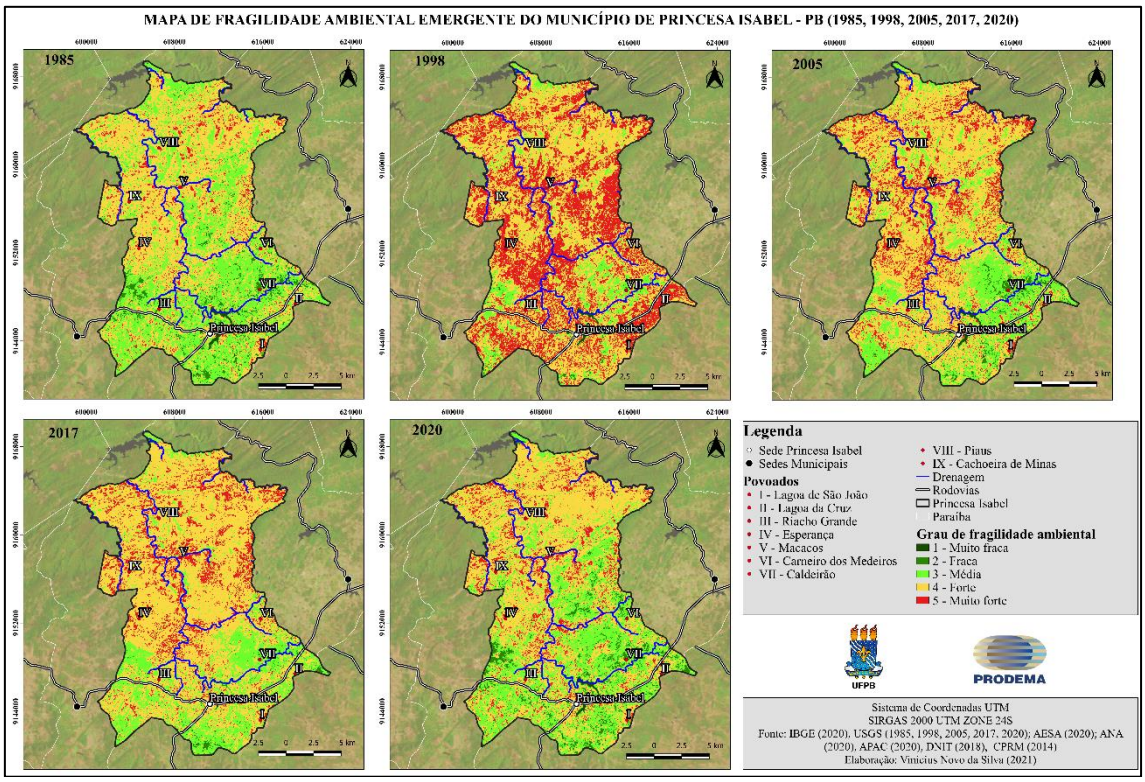
Nesta perspectiva como evidenciado nos mapas, ao se avaliar o grau de fragilidade ambiental associada a cobertura, é notória a expressividade no grau de fragilidade médio e forte, visto que estes estão associados respectivamente as classes mais significativas de cobertura, vegetação rala e vegetação esparsa.

Faz-se um destaque para o mapa de 1998 que visivelmente representa o mapa de maior porcentagem de fragilidade alta, a que se associa o solo exposto e áreas urbanas, que por suas características apresentam fatores potencializadores dos processos erosivos.

Em todos os mapas é notório ainda o papel da vegetação e sua relação com o grau de fragilidade, tendo em vista que as áreas que apresentam menor nível de fragilidade são representativas de uma vegetação semidensa ou densa, considerando o seu potencial para proteção do solo contra os efeitos intensos das intempéries.

Nessa perspectiva, os mapas de fragilidade emergente gerados para os anos de 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020 podem ser observados na figura 23.

Figura 23: Fragilidade Emergente do município de Princesa Isabel em 1985, 1998, 2005, 2017 e 2020



Fonte: Autor (2021)

Como observado nos cinco mapas, diferente do mapa de fragilidade potencial, na fragilidade emergente constata-se mais um grau de fragilidade, o muito fraco, mesmo que não tão expressivo, associando-se principalmente as áreas dos corpos hídricos, que já apresentam relevo plano, e que quando combinado com o grau 0 de fragilidade atribuído a água resultou nesta classe.

As áreas com grau de fragilidade muito alta apesar de se fazerem presentes em todos os mapas sofreram uma redução significativa, tendo como parâmetro a fragilidade potencial, em contrapartida, os demais níveis de fragilidade cresceram exponencialmente.

Com a cobertura da terra aliada aos componentes da fragilidade potencial, é possível perceber uma melhor espacialização na distribuição do grau de fragilidade ao longo do município, evidenciando o que foi observado por Sporl (2007) quanto ao papel da vegetação.

Observa-se justamente que áreas que apresentavam uma fragilidade potencial alta ou muito alta, com a presença da vegetação, especialmente a semidensa ou densa, apresentam agora uma fragilidade emergente em grau alto ou médio, isto associa-se justamente ao papel da vegetação na proteção dos solos contra as ações das intempéries. Mesmo em áreas de declividade expressiva e cujo solos sejam mais susceptíveis a

desagregação, a vegetação funciona como uma camada protetora, minimizando a ocorrência do efeito *splash* associado ao contato da chuva no solo desnudo, como também reduz a velocidade do escoamento superficial, potencializando a infiltração da água e recarga do lençol freático.

Como constatado por Rodrigues e Souza (2013) que também analisaram a fragilidade emergente em uma série histórica, as áreas com maior fragilidade estão associadas as de declividade mais expressiva, contudo a fragilidade muito forte sofre uma redução ao longo dos anos em virtude do aumento da cobertura vegetal.

Um ponto de destaque sob a ótica de integração dos elementos de declividade e uso e cobertura, é a variação no grau de fragilidade em áreas com declividade acentuada, e logo com maior fragilidade, que tiveram uma redução expressiva em seu grau de fragilidade após a consideração da cobertura vegetal nos mapas de fragilidade emergente. Esta relação torna evidente a necessidade de preservação da camada vegetativa especialmente em áreas com tais características de declividade, que quando somadas aos solos também frágeis as tornam altamente frágeis.

Ao se avaliar a variação na proporção da fragilidade emergente ao longo dos anos estudados, levanta-se a discussão de dinamismo do meio ambiente, especialmente quando consideradas as alterações no uso e cobertura da terra. Nesse sentido, como evidenciado, é notória a influência da cobertura da terra, afetada pelas ações antrópicas, bem como dos componentes naturais, visto que, nos anos mais secos, onde se identificou áreas mais extensas de vegetação esparsa e solo exposto, a fragilidade alta ou muito alta são mais expressivas que nos anos chuvosos, considerando ainda as influências diretas da declividade e do tipo de solo.

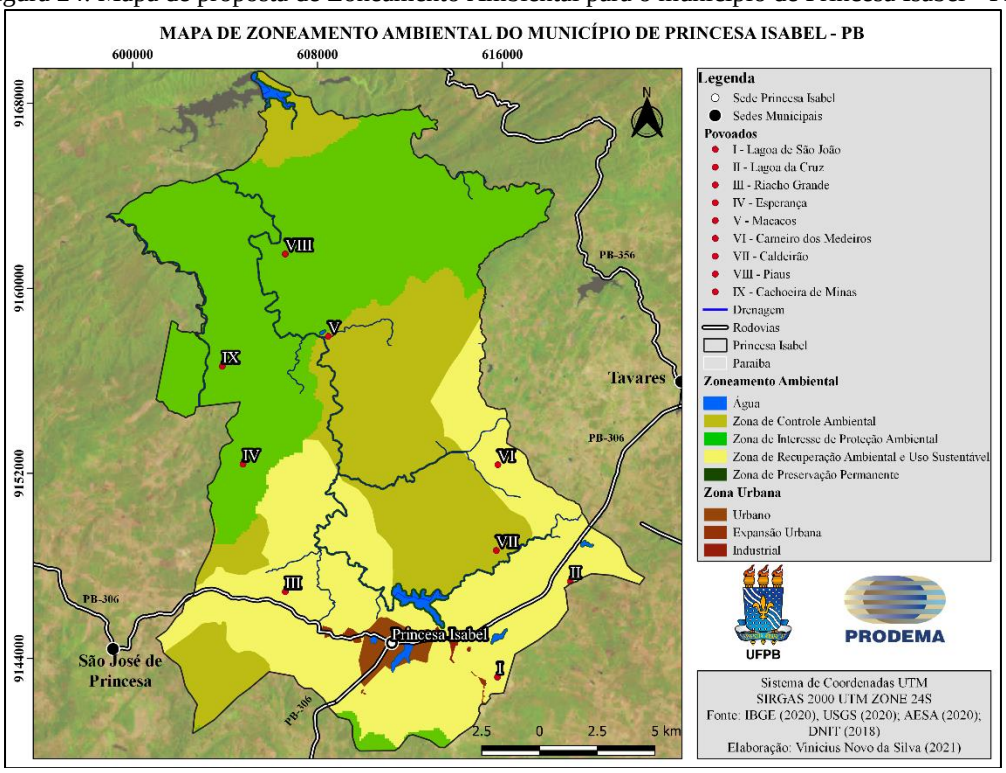
Entretanto, como já discutido, áreas que apresentam solo exposto estão mais susceptíveis as ações da chuva enquanto um dos agentes do intemperismo, o que sinaliza a necessidade de uma avaliação mais criteriosa de áreas naturalmente mais frágeis, e que requerem a adoção de medidas que visem a minimização da exposição destas a efeitos adversos, que possam resultar em altos níveis de degradação.

Por meio disto, a identificação das áreas naturalmente mais frágeis especialmente em decorrência dos elementos de declividade e tipos de solos, bem como, o status de sua cobertura vegetal é primordial para a adoção de medidas que contribuam para o desenvolvimento e aplicação do zoneamento ambiental.

5.4. ZONEAMENTO AMBIENTAL

Considerando a análise da sobreposição dos mapas citados nos procedimentos metodológicos, e demais critérios descritos, foi gerado o produto cartográfico como proposta para o zoneamento ambiental do município de Princesa Isabel – PB (Figura 24). Os dados referentes as áreas em Km² e porcentagem para cada zona foram sistematizados na tabela 6.

Figura 24: Mapa de proposta de Zoneamento Ambiental para o município de Princesa Isabel - PB



Fonte: Autor (2021)

Tabela 6: Áreas das unidades de zoneamento propostas para o município de Princesa Isabel - PB

Unidades de Zoneamento Ambiental	Área	
	Km²	%
Água	1,97	0,53
Zona de Controle Ambiental - ZCA	94,06	25,51
Zona de Interesse de Proteção Ambiental - ZIPA	137,36	37,25
Zona de Recuperação Ambiental e Uso Sustentável- ZRAUS	118,24	32,07
Zona de Preservação Permanente - ZPP	10,73	2,91
Zona Urbana - ZU	6,40	1,73
Total	368,75	100

Fonte: Elaborado pelo autor (2021)

Como evidenciado na figura, o mapa foi dividido em cinco zonas mais os recursos hídricos. Estas zonas, de acordo com suas características apresentam sugestões

para quais medidas e ações podem ser desenvolvidas em seu perímetro considerando suas fragilidades ambientais e limitações legais.

No que concerne as zonas de preservação permanente que representam cerca de 2,91% da área do município, destacando-se as parcelas próximas a sede do município, constatou-se a necessidade de intervenções em algumas de suas faixas, visto a que estas não apresentam um status significativo de conservação, onde se observou a ausência da cobertura vegetal, ou a cobertura com vegetação mais esparsa, fatores que podem potencializar o escoamento de sedimentos para o interior dos corpos hídricos, gerando como consequências seu assoreamento ao longo do tempo, como também a alteração de suas características físicoquímicas resultando em impactos para todo o ecossistema.

As demais faixas de APPs observadas nesta zona e que apresentem status de conservação devem ser preservadas nos termos da lei, e quando observados indícios de degradação devem ser submetidas a um processo de recuperação no intuito de minimização de eventuais impactos ambientais negativos aos corpos hídricos da região, que apresentam um valor ainda maior por se tratar de uma área que sofre com períodos de estiagem intensos.

Em referência a zona urbana cuja proporção em área do município é de 1,73%, constata-se evidências de expansão da sede municipal tanto nos mapas de uso e cobertura da terra previamente discutidos, como também das definições das zonas que compõem essa unidade do zoneamento, e que possivelmente serão completamente incorporados à zona urbana da sede municipal ao longo dos anos. Sendo pertinente destacar, todavia a necessidade de desenvolvimento de produtos e instrumentos de gestão territorial, que possam garantir a melhor utilização da área do município considerando a redução dos impactos negativos ao meio ambiente e a garantia do bem-estar da população.

É válido ressaltar que apesar de atender aos critérios para elaboração do plano diretor, que é a população acima de 20.000 habitantes, o município de Princesa Isabel ainda não possui implementado tal instrumento, nesse sentido o desenvolvimento deste deve ser prioridade para que o ordenamento territorial se dê de forma eficiente.

A zona de interesse de proteção ambiental é a maior do município, cobrindo 37,25% de sua área, e englobando especialmente uma parcela significativa de áreas com declividade elevada, e onde também se observa uma expressividade nos graus forte e muito forte de fragilidade ambiental, destacando a necessidade de adoção de medidas

que visem sua preservação, a fim de se evitar uma eventual elevação no seu nível de fragilidade ambiental forte, e por consequência a potencialização de impactos ambientais e socioeconômicos.

Para a zona de interesse de proteção ambiental recomenda-se ainda o aprofundamento dos estudos nestas áreas que compõem parcelas expressivas de áreas definidas como prioritárias para conservação e com o potencial para se tornarem unidades de conservação. Nesta perspectiva, o incentivo a pesquisas que norteiem aa decisões a cerca desta temática são essenciais, tanto na esfera municipal quanto estadual e nacional, considerando os estudos já desenvolvidos.

Acerca da zona de controle ambiental que cobre 25,51% da área, e que engloba outras porções da área com declividade elevada, acima dos 15%, são áreas onde se constatou que as atividades antrópicas ainda não ocorreram de forma tão intensa quando analisados os mapas de uso e cobertura da terra, e onde a fragilidade ambiental varia dá muito baixa a média. Estas áreas apresentam uma maior concentração de vegetação semidensa e densa, que por si só se mostram como elementos que quando combinados com a declividade destacam a necessidade de adoção de medidas que visem sua preservação.

Nas ZCAs, recomenda-se o não desenvolvimento intenso de atividades antrópicas, visto que as próprias características do relevo as limitam, sugerindo-se a sua utilização para a preservação dos recursos naturais, o desenvolvimento de atividades como trilhas, pesquisas científicas, contemplação da natureza, ou no caso de desenvolvimento de atividades agrícolas, por exemplo, que se deem de forma menos intensa, adotando medidas sustentáveis e em menor proporção, em sua maioria para a subsistência.

Com relação as zonas de recuperação ambiental e uso sustentável, que cobrem 32,07% da área, constatou-se nestas a presença mais expressiva de solo exposto e de classes vegetativas esparsa ou rala. Nestas áreas a declividade está abaixo dos 15% o que pode justificar o desenvolvimento mais intenso de atividades antrópicas, contudo seu grau de fragilidade varia do médio em maior proporção, e apresenta áreas com concentração de fragilidade forte e muito forte.

A junção de suas características evidencia a sua utilização para o desenvolvimento de atividades antrópicas de forma mais intensa, contudo para estas zonas sugere-se que tais ações sejam desenvolvidas considerando medidas de cultivo

propostas pela EMBRAPA, por exemplo, que visam a continuação da produção agrícola com a redução dos danos ao meio ambiente como a rotação de culturas, minimização no uso de agrotóxicos, a realização do plantio em conjunto com a vegetação nativa, realização do plantio em nível, entre outras medidas que visem o desenvolvimento destas atividades com o foco na minimização dos impactos ambientais.

Ademais, áreas da ZRAUS que apresentem características que permitam a regeneração natural, ou que estejam altamente degradadas devem receber a devida atenção, e nelas poderão ser implementadas medidas com o foco na otimização da recuperação natural, considerando que para a adoção de tais medidas devem ser realizados estudos que viabilizem seu desenvolvimento de forma efetiva, para que se identifiquem as necessidades de ações para manejo do solo, quais espécies serão consideradas para determinadas áreas, visto suas características e os benefícios que se busca alcançar, como deve se dar o processo de recuperação e monitoramento, entre outros critérios a serem avaliados para que tal processo se dê com o máximo de resultados positivos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O município de Princesa Isabel – PB apresenta de forma geral um grau elevado de fragilidade ambiental emergente, com significância do grau forte de fragilidade, fato que pode estar associado ao elevado grau de fragilidade associado a variável pluviométrica, e sua combinação com a variável solo que também apresentou elevado grau de fragilidade.

Existem limitações expressivas associadas ao uso da terra no município em decorrência tanto ao seu grau de fragilidade ambiental emergente, como também a características como sua declividade, visto que porções significativas do município apresentam declividade em porcentagens acima dos 15%.

A análise têmporo-espacial do uso e cobertura da terra possibilitou uma melhor compreensão da influência pluviométrica sob a cobertura, especialmente da vegetação, bem como uma melhor compreensão da mudança nas classes do município ao longo dos anos, sendo notório o aumento de classes como a vegetação rala, ao passo que áreas de solo exposto reduziram significativamente. Constatando-se também a manutenção de

áreas de vegetação semidensa e densa em porções mais elevadas, diferente de áreas mais planas que apresentaram maior concentração de vegetação esparsa e solo exposto.

Os dados de fragilidade ambiental potencial e emergente evidenciaram áreas que necessitam de uma atuação mais incisiva do poder público e da sociedade civil para garantir a implementação de medidas que visem a sua gestão de forma otimizada, e de que os eventuais impactos ambientais sejam amenizados.

Apesar de satisfatório, destaca-se a oportunidade de avaliação da metodologia de fragilidade ambiental para uma eventual ponderação dos pesos atribuídos a variável pluviométrica em regiões semiáridas, possibilitando uma melhor compreensão destes cenários frente ao regime pluviométrico característico desta região, e por consequência uma elevação no nível de criticidade da análise.

Uma outra oportunidade de aprofundamento dos estudos de fragilidade é uma caracterização mais detalhada dos dados de uso e cobertura do solo, com análise das espécies associadas a cobertura, e ponderação de sua influência na proteção do solo para a definição do grau de fragilidade para tal classe.

A utilização do SIG para a geração e análise dos resultados se mostrou como uma alternativa eficaz e rápida, permitindo uma compreensão mais integrada e otimizada da área de estudo e de suas características. Todavia, destaca-se que a inexistência de dados com maior riqueza de detalhes limitou um pouco o desenvolvimento de algumas atividades, bem como a compreensão mais critériosa das características locais.

Por meio da sobreposição dos produtos de fragilidade, uso e cobertura da terra, declividade e áreas de preservação permanente foi possível elaborar uma proposta de zoneamento ambiental para o município, contendo sugestões de medidas a serem adotadas e caracterização de cada uma das zonas definidas. Um produto com o potencial para auxiliar o poder público e a academia na compreensão da dinâmica do município e no desenvolvimento e aplicação de instrumentos que visem um ordenamento territorial eficaz.

Por conseguinte, como oportunidade de melhoria para trabalhos futuros sugere-se a avaliação a possibilidade de integração de outros elementos para a definição da fragilidade ambiental e do zoneamento ambiental, como a vulnerabilidade socioambiental, a potencialidade perda do solo, o grau de degradação ambiental, entre outros componentes.

REFERÊNCIAS

AESA. **Precipitação Máxima dos Municípios/Postos no Período de 01/01/2019 até 31/12/2019**. Disponível em <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/?formdate=2020-05-12&produto=municipio&periodo=personalizado> Acesso em 05 jan. 2020

ALBANO, Mayara Pissutti. **A importância do planejamento urbano ambiental** – a habitação social e a expansão urbana em Presidente Prudente – SP. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional), Programa de Pós-Graduação Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional, Universidade do Oeste Paulista, Presidente Prudente – SP, 2013.

ALBUQUERQUE, E. M. et. al. Técnicas de geoprocessamento no suporte à análise da seca na microbacia do açude Jatobá II. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n° 4, 2015. Disponível em:< https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3756> Acesso em: 15 maio. 2019.

ALLEN, R. G.; et al. SEBAL (surface energy balance algorithms for land): Advanced training and user's manual, version 1.0. Idaho: Implementation, 2002. 97p.

ALVARES; C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift**. Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728. 2013.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas Nordeste: abastecimento urbano de água: alternativas de oferta de água para as sedes municipais da Região Nordeste do Brasil e do norte de Minas Gerais. / Agência Nacional de Águas. Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos; Consórcio Engecorps/Projetec/Geoambiente/Riverside Techonology. Brasília: ANA, SPR, 2006. 82 p.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Rede hidrológica nacional**. Disponível em < https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa> Acesso em 25 set. 2021

APAC. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Monitoramento Pluviométrico. Disponível em < https://www.apac.pe.gov.br/ >. Acesso em: 25 set. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR ISO 14.001:** Sistema de Gestão Ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 3 ed., 2015.

ASCIUTTI. Gustavo Augusto Mendonça. MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DO QUILOMBO – SÃO CARLOS/SP. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

BACANI, V. M.; LUCHIARI, A. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental da bacia do alto rio Coxim-MS. GEOUSP – Espaço e Tempo (Online), São Paulo, v. 18, n. 1, p. 184-197, 2014.

BARROS, M. V. A. **Zoneamento ecológico econômico como ferramenta de planejamento ambiental: referências a PNMA-Política Nacional de Meio Ambiente e seus instrumentos**. Revista de Produção Acadêmica-Científica, Manaus, v.2, n°1. 2015.

BRASIL. **Decreto n. 97.632 de 10 de abril de 1989**. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2°, inciso VIII, da Li n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 12 de abril de 1989. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D97632.htm>. Acesso em 20 jun. 2020.

BRASIL. Decreto nº 4.297, de 10 de julho de 2002, **que regulamenta o art. 9º, inciso II, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil - ZEE, e dá outras providências.** Brasília: 2002. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/2002/d4297.htm> Acesso em: 15 de fev. 2020.

BRASIL. **Lei 6. 938 de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso em 20 jun. 2020.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências**. 2012. Diário Oficial da União, Brasília-DF, 2012. Disponível em < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm> Acesso em 20 ago. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Portaria Nº 463, de 18 de dezembro de 2018. **Áreas Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade Brasileira ou Áreas Prioritárias para a Biodiversidade**, Brasília – DF, 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Zoneamento ambiental municipal: o meio ambiente contribuindo para o planejamento urbano [recurso eletrônico] / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Ambiental Territorial**. – Brasília, DF: MMA, 2018. ISBN: 978-85-7738-414-3. Disponível em: < http://www.mma.gov.br/publicacoes/> Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE: Universidade Federal de Pernambuco. **Biodiversidade da caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação** – Brasília- DF, 2003. 382p.

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Instrumentos de Planejamento**. Disponível em <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/planejamento-ambiental-e-territorial-urbano/itemlist/category/62-planejamento-ambiental-urbano.html > Acesso em 26 out. 2020

BRASIL. SUDENE. Resolução N° 107 de 2017**. Estabelece critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido Brasileiro e procedimentos para revisão de sua abrangência,** Recife, PE. 2017. Disponível em <http://sudene.gov.br/images/2017/arquivos/Resolucao-107-2017.pdf> Acesso em 20 ago. 2020.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Projeto "Elaboração de subsídios técnicos e documento-base para a definição da Política Nacional de Ordenação do Território - PNOT"**. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. 2006. Disponível em:< https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/publicacoes/PNOT---VERSO-PRELIMINAR-PARA-SEMINRIOS.pdf >. Acesso em 01 nov. 2021.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio. M. V. (Org.). INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO. São José do Campos: INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, p. 345, 2001.

Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. Remote Sensing of Environment, v.113, p.893-903, 2009.

CHOUDHARY, M. P., CHAUHAN, G. S.; KUSHWAH, Y. K. Environmental Degradation: Causes, Impacts and Mitigation. In: National Seminar on Recent Advancements in Protection of Environment and Its Management Issues (NSRAPEM-2015), Maharishi Arvind College of Engineering and Technology, Kota, Rajasthan, India. 2015

COIMBRA, J. De. Ávila. A. Considerações sobre a Interdisciplinaridade. In: A. Philippi Jr., C. E. M. Tucci, D. J. Hogan, R. Navegantes (org**.). Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**. São Paulo: Signus Editora, 2000. p. 52 – 70.

CORTE, A. P. D. et al. **Environmental fragility of Iguaçu river watershed, Paraná, Brazil. Bosque (Valdivia),** Valdivia, v. 36, n. 2, p. 287-297, 2015. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071792002015000200014&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 10 jul. 2020.

COSTA, M. N. de M.; BECKER, C. T.; BRITO, J. I. B. de. Análise Das Séries Temporais De Precipitação Do Semiárido Paraibano Em Um Período De 100 Anos - 1911 A 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 6, n. 4, p. 680-696, dez. 2013. Disponível em:

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233058/26979>. Acesso em: 05 jan. 2020

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. 2. ed. Taylor & Francs Group, 2009, 183p.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Princesa Isabel, estado da Paraíba**/ Org. João de C. M.; Breno A. B.; Luiz C. de S. J.; Franklin de M., Vanildo A. M., Jorge L. F. de M. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 10 p. anexo. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/PRIN149.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2020.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Triunfo, estado de Pernambuco.** Org. João de C. M.; Breno A. B.; Luiz C. de S. J.; Franklin de M., Vanildo A. M., Jorge L. F. de M. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005. 10 p. anexo. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/rehi/atlas/paraiba/relatorios/PRIN149.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.

CREPANI, E.; et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE; 2001.

EASTMAN, J.R. **Idrisi for Windows: user´s guide**. Worcester: Clark University. 1997.

EMBRAPA Solos UEP Recife (2006). Solos do Nordeste. Disponível em: < http://solos.uep.cnps.embrapa.br/>. Acesso em: 25 jun. 2020

FERREIRA, Aline Batista; FILHO, Waterloo Pereira. ANÁLISE DO USO E COBERTURA DA TERRA DE TRÊS SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS - RIO GRANDE DO SUL/BRASIL. **RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física,** Recife-PE, vol.2, n.03, set-dez, 2009, 20-36.

FIERZ, M. M. A teoria do equilíbrio dinâmico em geomorfologia. **Geousp – Espaço e Tempo** (Online), v. 19, n. 3, p. 605-629, 2016. Disponível em: < http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/107614.> Acesso em 15 jun. 2020.

FIERZ, Marisa de Souto Matos. **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. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FITZ, Paulo Roberto. Geoprocessamento sem complicação. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FLORIANI, D. A. Marcos Conceituais para o Desenvolvimento da Interdisciplinaridade. In: A. Philippi Jr., C. E. M. Tucci, D. J. Hogan, R. Navegantes (org**.). Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**. São Paulo: Signus Editora, 2000. p. 95 – 107.

FRANCO, G.B. **Fragilidade ambiental e qualidade da água na bacia do Rio Almada-Bahia**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2010. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/823 > Acesso em: 18 jul. 2020.

GIL, A. C. *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002

GIONGO, Pedro R.; VETTORAZZI, Carlos A. Albedo da superfície por meio de imagens TM-Landsat 5 e modelo numérico do terreno. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 18, n. 8, p. 833-838, ago. 2014.

Haughton, G. Environmental planning. In: The International Encyclopedia of Geography. Orgs. D. Richardson, N. Castree, M. F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu, e R. A. Marston. John Wiley & Sons, Chichester, Inglaterra, pp. 1-7. 2017

HONDA, Sibila Corral de Arêa Leão; et. al. Planejamento ambiental e ocupação do solo urbano em Presidente Prudente (SP). **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana (Brazilian Journal of Urban Management)**, vol.7, n.01, jan - abr, p. 62-73, 2015.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Manual técnico de uso da terra. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 170p. Disponível em < https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=281615> Acesso em 18 jan. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Princesa Isabel**. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/princesa-isabel> Acesso em: 20 set. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Regiões Geográficas da Paraíba**, 2017. Disponível em: < https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_div_int.shtm> Acesso em: 10 fev. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Variável - População residente estimada (Pessoas)**. 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6579#resultado> Acesso em: 20 set. 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 1991. Rio de Janeiro: IBGE, 1991.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2000. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção Agrícola Municipal. In: IBGE. Sidra: sistema IBGE de recuperação automática. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457> Acesso em 20 out. 2021

IRMÃO, Lorena Costa; MACIEL, Raimundo Cláudio Gomes. Desenvolvimento regional e geoprocessamento: contribuições para Zoneamento Econômico e Ambiental de Rio Branco–AC/ZEAS. **Redes**, v. 20, n. 3, p. 383-399, 2015.

LEME S.M. **Relevo, processos geoecológicos e sócio/ reprodutores e a fragilidade ambiental da bacia do Ribeirão Piracicamirim / SP** [tese]. São Paulo: Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo; 2007.

LIMA, F. S; ALMEIDA, N. V. Dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal na Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri, Paraíba-PB, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 10, n. 03, p. 699-721, 2017.

MARANHÃO, Karinna Uglino de Araújo. **Zoneamento Ambiental do município de Monteiro - PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa - PB, 2014, p. 96.

MARCUZZO, Francisco F. N; ANDRADE, Lucas R. de; MELO, Denise C. R. Métodos de Interpolação Matemática no Mapeamento de Chuvas do Estado do Mato Grosso. Revista Brasileira de Geografia Física, Recife, v.4, n.4, p.793-804, Recife.

MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. Journal of Remote Sensing, v.8, p.517-523, 1987.

MASSA, E.; ROSS, J. L. 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,** v. 24, p. 57-79, 13 dez. 2012.

MENDES, Danilo Ferreira et al. Acurácia temática do classificador por Máxima Verossimilhança em imagem de alta resolução espacial do satélite GEOEYE-1. Nucleus, v. 12, n. 1, p. 107-118, 2015.

MENESES, Paulo Roberto. PRINCÍPIOS DE SENSORIAMENTO REMOTO. In: MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de (org.). INTRODUÇÃO AO PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO. Brasília: UNB, p. 276, 2012.

NASCIMENTO, S. S.; LIMA, E. R. V.; LIMA, P. P. S. USO DO NDVI NA ANÁLISE TEMPORAL DA DEGRADAÇÃO DA CAATINGA NA SUB-BACIA DO ALTO PARAÍBA. **OKARA: Geografia em debate**, João Pessoa – PB, v.8, n.1, p. 72-93, 2014.

NEARY, G.D.; et. al. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. Forest Ecology and Management, 122:51-71, 1999.

NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes; PONZONI, Flávio Jorge. INTRODUÇÃO AO SENSORIAMENTO REMOTO. São José dos Campos, p. 68, 2001. Disponível em < http://www.dpi.inpe.br/Miguel/AlunosPG/Jarvis/SR_DPI7.pdf > Acesso em 08 fev. 2021.

OLIVEIRA, Damaris Bento Ortêncio. A Inter-relação entre Pobreza e Meio Ambiente para o Estado de Mato Grosso. **Revista de Estudos Sociais**, v. 15, n. 29, p. 142-158, 2013.

OLIVEIRA, G. de C.; FERNANDES FILHO, Elpídio Inácio. Metodologia para delimitação de APPs em topos de morros segundo o novo Código Florestal brasileiro utilizando sistemas de informação geográfica. **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, v. 16, p. 4443-4450, 2013.

OLIVEIRA, Tiago Henrique de; GALVÍNCIO, Josiclêda Domiciano. USO E COBERTURA DO SOLO EM ÁREAS SEMIÁRIDAS DO NORDESTE DO BRASIL. **Revista de Geografia (UFPE)**, Recife-PE, v. 28, n. 01, p.120-136, 2011.

ONODA, Masami; MACAULEY, Molly. Innovation in Earth Observations as a National Strategic Investment: The Experience of the U.S. In: In: YOUNG, Oran R.; ONODA, Masami. (org.). Satellite Earth Observations and Their Impact on Society and Policy. Springer Singapore, p. 221, 2017.

PATRÍCIO, M. C. M.; FRANCISCO, P. R. M. **Análise da Degradação Ambiental do Município de Cabaceiras-PB**. Revista Brasileira de Geografia Física v. 6, n. 2, p. 287-300, 2013.

PEREIRA, A. K. C.; SANTOS, L. O. L. **Mapeamento dos tipos uso e ocupação do solo da região do centro da cidade, Santa Inês –MA**. In: VII CONNEPI, 7. 2012. Palmas –TO. Resumos... Palmas –TO. 2012. Disponível em: <http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/connepi/vii/paper/viewFile/1118/2114 > Acesso em: 10 fev. 2020.

PEREIRA, J. A. V. et. al. Uso e cobertura do solo e comparação entre os índices de vegetação SAVI e NDWI na Área de Proteção Ambiental das Onças, Paraíba, Brasil. Revista de Geografia, Recife, v. 37, n° 2, p. 278 – 298, 2020. Disponível em < https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/245694 > Acesso em 20 out. 2020.

PEREIRA, João Antônio dos Santos. **IMPACTO DA CHUVA NO COMPORTAMENTO DOS ÍNDICES FÍSICOS PARA CLASSIFICAÇÃO DO USO DA TERRA NO SUBMÉDIO DO SÃO FRANCISCO**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal do Pernambuco, Recife - PE, 2017.

PEREIRA, Natasha Sophie et al. A Importância do Geoprocessamento para a História e o Saber Ambiental. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 3, n. 2, p. 132-144, 2014.

PERES, R. B.; CHIQUITO, E. A. Ordenamento territorial, meio ambiente e desenvolvimento regional: novas questões, possíveis articulações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, v. 14, n. 2, 2012.

PIRES, V.R.O., GARCIA, M.A., MARTINES, M.R. e TOPPA, R.H. Mapeamento do uso e ocupação da terra como subsídio para o planejamento ambiental. Ambiência Guarapuava (PR) v.12, ed. especial, p. 899 – 908, 2016.

PNUD - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil. PNUD, 2013. Disponível em: < http://atlasbrasil.org.br/2013/ >. Acesso em: 05 abr. 2020.

RAY, S.; RAY, I. A. Impact of Population Growth on Environmental Degradation: Case of India. Journal of Economics and Sustainable Development. Vol.2, No.8, 2011.

RODRIGUES, S. C.; DE SOUZA, N. C. MAPEAMENTO DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NO TRECHO DE VAZÃO REDUZIDA DO RIO ARAGUARI (MG) UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, *[S. l.]*, v. 17, n. 3, p. 129-142, 2013. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2013.75443. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/75443>. Acesso em: 15 jul. 2021.

RODRIGUES, Lora dos Anjos, et al. Pobreza, crescimento econômico e degradação ambiental no meio urbano brasileiro. **Revibec: revista iberoamericana de economía ecológica**, v. 26, p. 11-24, 2016.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. Geomorfologia Ambiente e Planejamento. São Paulo: Contexto, 1990.

ROSS, J. L. S**. Ecogeografia do Brasil:** Subsídios para Planejamento Ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S. Geografia e as transformações da natureza: relação sociedade-natureza. *In:* LEMOS, A. I. G.; GALVANI, E. (Org.). **Geografia, tradições e perspectivas: interdisciplinaridade, meio ambiente e representações.** São Paulo: Clacso/Editora Expressão Popular, 2009.

ROSS, J. L. S. **ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADO**S. Revista do Departamento de Geografia, v. 8, p. 63-74, 7 nov. 2011. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47327> Acesso em: 10 fev. 2020.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. **Geomorfologia Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 9 ed., 2019.

SAATY, L. T. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19–43, 1994.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SANTANA, V. L.; ARSKY, I. C.; SOARES, C. C. S. D**emocratização do acesso à água e desenvolvimento local: a experiência do Programa Cisternas no semiárido brasileiro.** In: I Circuito de Debates Acadêmicos, 2011, Brasília. Anais...Brasília: IPEA, 2011. Disponível em <http://www.ipea.gov.br/code2011/chamada2011/pdf/area7/area7-artigo34.pdf> Acesso em 25 ago. 2020.

SANTOS, H. G.; et. al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: 3. ed. Brasília – DF: EMBRAPA, 2013.

SANTOS, I. J. A.; et al. **Levantamento dos impactos ambientais e medidas mitigadoras para a recuperação de áreas degradadas do rio estiva**. Cadernos de Graduação Ciências Exatas e Tecnologias. Editora Universitária de Tiradentes. v. 4. n. 1. p. 171-182, 2017. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/index.php/fitsexatas/article/view/4398> Acesso em: 24 set. 2020.

SANTOS, J. de O. Relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Revista Mercator**. Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 75-90, mai./ago. 2015.

SANTOS, J. O.; ROSS, J. L. S. Fragilidade Ambiental Urbana. **Revista da ANPEGE**, [S.l.], v. 8, n. 10, p. 127-144, jul. 2012. ISSN 1679-768X. Disponível em: <http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/anpege/article/view/6511/3503>. Acesso em: 19 abr. 2020

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 184p.

SANTOS, A. R. S.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. Spring 5.1.2 Passo a passo: Aplicações práticas. Alegre, ES: CAUFES, 2010. 153p.

SANTOS, E. J; FERREIRA, C. A; SILVA JR, J. M. F. Geologia e recursos minerais do Estado da Paraíba. Serviço Geológico do Brasil/CPRM, Brasília, p. 1-110, 2002.

SCHIAVO, B. N. V.; et. al. **Caracterização da fragilidade ambiental de uma bacia hidrográfica urbana no município de Santa Maria – RS.** Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria, v. 20, n. 1, jan.-abr. 2016, p. 464−474. Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM. ISSN: 22361170. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/19981> Acesso em: 24 set. 2019.

Serviço Geológico do Brasil - CPRM – GeoSGB. Unidades litoestratigráficas 1.1000000, 2004. Disponível em < http://www.cprm.gov.br/> Acesso em 10 jun. 2021.

SILVA, D. D. E. **DEGRADAÇÃO AMBIENTAL E USO DAS TERRAS DO MUNICÍPIO DE PRINCESA ISABEL – PB.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2017.

SILVA, G. J. F.; et al. Degradação Ambiental na Microrregião do Carirí paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.6, n. 4, p. 823-837, 2013.

SILVA, P. L. F.; SILVA, A. J. Avaliação do uso e ocupação do solo no município de Pilõezinhos-PB, de 1984-2016 utilizando o geoprocessamento. **Revista de Geociências do Nordeste – REGNE**, v. 3, n. 1, p. 48-63, 2017. Disponível em <https://periodicos.ufrn.br/revistadoregne/issue/view/670> Acesso em: 24 ago. 2019.

SILVA, T. S.; FREIRE, E. M. X; CANDIDO, G. A. ENVIRONMENTAL DEGRADATION IN SEMIARID BRASILIAN: AN APLICATION OF SUSTAINABILITY INDICATORS IN MUNICIPALITIES WITH CONSERVATION UNITS. **HOLOS.** vol. 1, n. 32, 2016.

SILVA, E.; MELO, J.; GALVÍNCIO, J.D.; Identificação das Áreas Susceptíveis a Processos de Desertificação no Médio Trecho da Bacia do Ipojuca - PE através do Mapeamento do Estresse Hídrico da Vegetação e da Estimativa do Índice de Aridez. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 3, p. 629-649, 2011.

SILVEIRA, D. T.; GERHARDT, T. E.; **Métodos de Pesquisa**. 1º.ed. Rio Grande do Sul: UFRGS, 2009. Disponível em: < http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf> Acesso em: 10 de fev. 2019.

SOUZA, C. M.P.; SILVA, K. F. M. C.; MOREAU, A. M. S. S. Avaliação do Potencial de Uso Urbano da Cidade de Ilhéus – BA (Evaluation of the Potential of Urban Use of the City Ilhéus - BA). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 7, n. 1, p. 165-179, abr. 2014. ISSN 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233002>. Acesso em: 24 abr. 2020.

SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R. V. Evolução da desertificação no Cariri paraibano a partir da análise das modificações na vegetação. Rio Claro: Revista Geografia, v. 36, n. 1, p. 193-207, 2011.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **Revista GEOUSP – Espaço e Tempo**, São Paulo, nº 15, p. 39-49, 2004.

SPORL, Christiane. Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais. 2007. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de

Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/T.8.2007.tde-10102007-145640.

TABARELI, M.; SANTOS. Uma Breve Descrição Sobre a História Natural dos Brejos Nordestinos. In: BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. PORTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M (org.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba: história natural, ecologia e conservação.** Brasília- DF, p. 111-122. (Série Biodiversidade, 9), 2004.

TAMANINI. M.A.S. **Diagnóstico físico-ambiental para a determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo curso do Rio Passaúna em Araucária** [Dissertação] Curitiba: Universidade Federal do Paraná/UFPR; 2008.118p.

THOMAS, Bruna Letícia. Proposta de zoneamento ambiental para o município de Arroio do Meio–RS. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 24, 2012.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: IBGE; 1977. Série recursos naturais e meio ambiente.

TYAGI, S.; GARG, N; PAUDEl, R. 2014. Environmental Degradation: Causes and Consequences. Europian Researcher 81 (8-2): p. 1491 – 1498, 2014.

VALLE, I. C; FRANCELINO, M. R.; PINHEIRO, H. S. K. **Mapeamento da Fragilidade Ambiental na Bacia do Rio Aldeia Velha, RJ. Floresta Ambiente.** Seropédica, v. 23, n. 2, p. 295-308, junho 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2179808720160002002 95&lng=en&nrm=iso> Acesso em: 24 set. 2019.

YOUNG, Oran R.; ONODA, Masami. Satellite Earth Observations in Environmental Problem-Solving. In: YOUNG, Oran R.; ONODA, Masami. (org.). Satellite Earth Observations and Their Impact on Society and Policy. Springer Singapore, p. 221, 2017.