



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RISCOS E DESASTRES
NATURAIS NA AMAZÔNIA**

AUGUSTO DO CARMO FADU

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DO SOLO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MARAPANIM- NORDESTE PARAENSE**

Belém - PA
2024

AUGUSTO DO CARMO FADU

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARAPANIM- NORDESTE PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Minimização De Riscos e Mitigação de Desastres Naturais Na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Vulnerabilidade De Populações Em Áreas De Risco.

Data de Aprovação: 04/12/2023.

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **RAFAEL DA SILVA PALACIOS**
Data: 14/03/2024 20:42:58-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios
Professor Orientador
PPGGRD/UFGA

Documento assinado digitalmente
 **MILENA MARILIA NOGUEIRA DE ANDRADE**
Data: 18/03/2024 10:55:20-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Milena M. N. de Andrade
(Membro Interno do PPGGRD)

Documento assinado digitalmente
 **DANIELLE CHRISTINE STENNER NASSARDEN**
Data: 14/03/2024 20:52:06-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Danielle C. S. Nassarden
(Membro Externo do PPGGRD)

Documento assinado digitalmente
 **SILVANA DO SOCORRO CARVALHO VELOSO**
Data: 21/03/2024 08:57:38-0300
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Silvana do Socorro V.
Sodré
(Membro Externo do PPGGRD)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F144a Fadu, Augusto do Carmo.
 Análise da vulnerabilidade natural à perda do solo da bacia
 hidrográfica do rio Marapanim- Nordeste Paraense / Augusto do
 Carmo Fadu. — 2024.
 68 f. : il. color.

 Orientador(a): Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
 Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão
 de Risco e Desastre na Amazônia, Belém, 2023.

 1. Bacia Hidrográfica. 2. Vulnerabilidade Natural. 3. Rio
 Marapanim. I. Título.

CDD 372.35709811

AUGUSTO DO CARMO FADU

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO DA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MARAPANIM- NORDESTE
PARAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Riscos e Desastres na Amazônia, do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Mestre em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia.

Área de Concentração: Minimização De Riscos e Mitigação de Desastres Naturais Na Amazônia.

Linha de Pesquisa: Vulnerabilidade De Populações Em Áreas De Risco.

Data de Aprovação: 04/12/2023.

Banca Examinadora:

 **RAFAEL DA SILVA PALACIOS**
Data: 14/03/2024 20:42:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios
Professor Orientador
PPGGRD/UFPA

Documento assinado digitalmente
 **MILENA MARILIA NOGUEIRA DE ANDRADE**
Data: 18/03/2024 10:55:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Milena M. N. de Andrade
(Membro Interno do PPGGRD)

Documento assinado digitalmente
 **DANIELLE CHRISTINE STENNER NASSARDEN**
Data: 14/03/2024 20:52:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª. Drª. Danielle C. S. Nassarden
(Membro Externo do PPGGRD)

Documento assinado digitalmente
 **SILVANA DO SOCORRO CARVALHO VELOSO**
Data: 21/03/2024 08:57:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

**Profª. Drª. Silvana do Socorro V.
Sodré**
(Membro Externo do PPGGRD)

Aos meus pais, familiares e todos aqueles
que me apoiam para tornar meus desejos e
sonhos possíveis

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, Nossa Senhora de Nazaré e São Jorge por me manterem forte e seguro para finalizar mais uma das etapas mais significativa da minha vida.

À Tânia Maria Marques do Carmo, minha mãe, por me ensinar a ser uma boa pessoa e cuidar de mim todos os dias da minha vida e ser um dos principais motivos para eu nunca desistir e continuar me mantendo firme, confiante e ser uma pessoa de fé.

À José Augusto Fadu Teixeira, meu pai, por me ajudar e me aconselhar em todos os momentos da minha vida, principalmente, nos mais difíceis.

Minha irmã, Maximina Marques Fadu Teixeira, por sempre cuidado e se importar comigo, mesmo que longe; ao Alexandre (sobrinho) por tudo vivido nos últimos meses e, futuramente, ele possa se inspirar a sempre buscar mais e mais conhecimento.

Ao Walderson Fernandes e a Norma Dias, meus outros pais, que sempre me auxiliaram com muito amor, atenção e me fortalecem em todos os processos da minha vida. Essa vitória para é de vocês.

As tias Cecília, Celina, Deolinda e Liduina por todo o apoio que serviu para permanecer e finalizar esse processo.

Ao João Daltro e a Rosilene Paiva, sogro e sogra, pelo carinho, motivação e tudo em todos esses anos.

Minha amada companheira, Sara Daltro, por me apoiar, motivar e me incentivar em todas as decisões que foram tomadas nesses anos de muitas mudanças. Sem dúvidas você foi uma das minhas maiores inspirações para iniciar e finalizar o mestrado.

E aos meus amigos que sempre torcem e vibram por mim em cada etapa da minha vida, seja ela do início da universidade ao final dessa pesquisa. O apoio de vocês sem dúvidas foi fundamental. Muito obrigado, meus amigos por tudo.

Ao meu orientador, Profº Dr. Rafael Palácios, pela confiança no meu potencial que me permitiu adquirir um conhecimento o qual nunca pensei que conseguiria.

E é claro, gostaria de agradecer a todos aqueles que não estão nessas palavras, mas que contribuíram diretamente para a minha formação de alguma forma.

“Sempre fui sonhador, é isso que me mantém vivo[...]

*É necessário sempre acreditar que o sonho é possível
Que o céu é o limite e você, truta, é imbatível”*

Racionais MC's

RESUMO

O nordeste paraense é uma das áreas de ocupação mais antigas da região da Amazônica, que sofre com um processo de ocupação desordenado e atividades antrópicas. O objeto dessa pesquisa, a Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (BHRM) tem 2442,07 km² e está inserida nessa região que, conseqüentemente, apresenta os mesmos problemas acerca das condições ambientais. Nesse contexto essa pesquisa teve como objetivo calcular a vulnerabilidade natural à perda de solo da BHRM e gerar seu mapa de vulnerabilidade à perda de solo. A metodologia se deu a partir das escalas de Crepani para vulnerabilidade dos critérios/fatores. Foram usados cinco mapas vulnerabilidade dos seguintes critérios/fatores: geologia, geomorfologia, precipitação, uso do solo e pedologia; para se calcular vulnerabilidade da BHRM, que apresentou um pequeno desequilíbrio uma vez que 16,59% da sua área foi considerada “Estável” e 29,27% “Moderadamente Estável”, totalizando 46,27%; enquanto as áreas com vulnerabilidade “Estável/Vulnerável”, “Moderadamente Vulnerável” e “Vulnerável” somam 53,25% da área da BHRM. O mapa gerado dessa pesquisa possibilita identificar as áreas e suas respectivas vulnerabilidades dentro da BHRM, sendo assim um ótimo instrumento para o planejamento e gestão da bacia. No entanto a ausência de dados com maiores qualidades é um obstáculo que interfere na qualidade dos produtos desse tipo de pesquisa que é realizado em uma das áreas mais antigas de ocupação da Amazônia.

Palavras-chave: vulnerabilidade; bacia hidrográfica do rio Marapanim; Nordeste Paraense.

ABSTRACT

The northeast of Pará is one of the oldest occupied areas in the Amazon region, which suffers from a disordered occupation process and human activities. The object of this research, the Marapanim River Hydrographic Basin (BHRM) has 2442.07 km² and is located in this region which, consequently, presents the same problems regarding environmental conditions. In this context, this research aimed to calculate the natural vulnerability to soil loss of the BHRM and generate its vulnerability map to soil loss. The methodology was based on the Crepani scales for vulnerability of criteria/factors. Five vulnerability maps of the following criteria/factors were used: geology, geomorphology, precipitation, land use and pedology; to calculate the vulnerability of BHRM, which presented a small imbalance since 16.59% of its area was considered “Stable” and 29.27% “Moderately Stable”, totaling 46.27%; while the areas with vulnerability “Stable/Vulnerable”, “Moderately Vulnerable” and “Vulnerable” total 53.25% of the BHRM area. The map generated from this research makes it possible to identify the areas and their respective vulnerabilities within the BHRM, thus being a great tool for planning and managing the basin. However, the lack of higher quality data is an obstacle that interferes with the quality of products from this type of research, which is carried out in one of the oldest areas of occupation in the Amazon.

Keywords: vulnerability; Marapanim river hydrographic basin; Northeast Para.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1- Representação de uma bacia hidrográfica e uma das suas sub-bacias.	17
Figura 2- Composição do Comitê de Bacia Hidrográfica.....	19
Figura 3- Mapa de Localização da área de estudo	25
Figura 4- Classificação do grau de vulnerabilidade à perda de solo.....	30
Figura 5- Plataforma de aquisição de dados para análise cobertura e uso do solo	34
Figura 6- Plugin ANA Data Acquisition no software QGIS 3.28	35
Figura 7- Mapa das estações pluviométricas utilizadas	36
Figura 8- Mapeamento geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA	38
Figura 9- Mapeamento da declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA....	40
Figura 10- Mapeamento dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA	43
Figura 11- Mapeamento do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA.....	44
Figura 12- Mapeamento da Precipitação da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA	46
Figura 13- Vulnerabilidade à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA	47

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Resumo dos dados utilizados na pesquisa	28
Tabela 2- Escala de vulnerabilidade relacionada às rochas	31
Tabela 3- Classes de Declividade e Respectiveos Valores da Escala de Vulnerabilidade .	32
Tabela 4- Valores de vulnerabilidade dos solos	33
Tabela 5- Associação do uso do solo com a vulnerabilidade ambiental.....	33
Tabela 6- Estações Pluviométricas.....	35
Tabela 7- Estações pluviométricas.....	36
Tabela 8- Valores e classe de vulnerabilidade	37
Tabela 9- Tipo de rocha, área de abrangência e índice de vulnerabilidade	39
Tabela 10- Declividades e Vulnerabilidades da BHRM.....	41
Tabela 11- Tabela de Vulnerabilidade pedológica da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA.....	42
Tabela 12- Vulnerabilidades e Classes de Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA.....	45
Tabela 13- Grau de vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA.....	49

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa.....	15
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento.....	17
2.2 A gestão dos recursos hídricos no Brasil.....	18
2.3 Conceito de Vulnerabilidade Ambiental.....	20
2.4 A Ecodinâmica como base para Vulnerabilidade Ambiental	21
2.5 Vulnerabilidade Natural à perda de Solo a partir da metodologia de Crepani 22	
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Área de Estudo	25
3.2 Determinação dos Fatores/Critérios selecionados da BHRM.....	27
3.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica	27
3.4 Organização das Bases Cartográficas.....	27
3.5 Diagrama Metodológico	29
3.6 A determinação da vulnerabilidade natural à perda dos mapas temáticos: Geologia (G), Geomorfologia (R), Solos (S), Vegetação (V) e Clima (C).....	30
3.7 Vulnerabilidade Geológica (G)	31
3.8 Vulnerabilidade Geomorfológica (R).....	31
3.9 Vulnerabilidade do Solo (S)	32
3.10 Vulnerabilidade Relacionada a Vegetação (Vg).....	33
3.11 Vulnerabilidade quanto ao Clima (C).....	34
3.12 Carta Síntese de Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da BHRM	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1 Vulnerabilidade para o tema de Geologia (G)	38
4.2 Vulnerabilidade para o tema de Geomorfologia (R)	39
4.4 Vulnerabilidade para o tema de Vegetação e Uso (Vg).....	44
4.5 Vulnerabilidade para o tema do Clima (C)	46
4.6 Carta de Vulnerabilidade Natural à Perda de solo Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim	47
5 CONCLUSÃO.....	51
REFERÊNCIAS.....	52

APÊNDICE A- INDICADORES DE VULNERABILIDADES DOS CRITÉRIOS.	60
APÊNDICE B - PRODUTO TÉCNICO	65

1. INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos naturais pelo homem provoca alterações no meio ambiente, principalmente quanto ao uso da água que é elemento vital para a manutenção da vida no planeta (Gomes, 2021; Bonfim, 2020).

Embora a Terra possua água em abundância, 97% de todo desse recurso é salgado, enquanto apenas 3% é água doce, sendo que 2,4% é de difícil acesso, sobrando cerca de 0,5% o qual pode ser acessível em rios, lagos e atmosfera (Baptista *et al.*, 2022).

O Brasil é privilegiado no quesito água doce, pois possui em seu território, ao sul, o aquífero Guarani o qual já foi considerado um dos maiores do mundo; e ao norte, com um conjunto de aquíferos: Solimões, Iça e Alter do Chão, que permitem ao país somatizar aproximadamente 12% da água doce do mundo, sendo que 73,6% dessa água concentra-se na bacia hidrográfica do Amazonas (Brzezinski *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2023).

A bacia hidrográfica do rio Amazonas é considerada a maior bacia hidrográfica (BH) do planeta com mais de 25 mil quilômetros de rios os quais abrangem 6 países da América do Sul: Brasil, Bolívia, Colômbia, Equador, Peru e Venezuela; sendo também possuidora de riquezas naturais (INPE, 2013; Margulis, 2003).

A BH é uma ótima unidade de planejamento territorial e ambiental por permitir fácil reconhecimento e caracterização de elementos, fatores os quais corroboram à gestão dos recursos hídricos (Claudino-Sales *et al.*, 2020). Além disso, possibilita o desenvolvimento de uma gestão integrada que considera as influências dos diversos componentes sejam físicos, sociais e econômicos localizados em sua área (Claudino-Sales *et al.*, 2020; Carvalho, 2020; Vilaça *et al.*, 2009).

Detentora de uma grande biodiversidade e inúmeros recursos naturais, a região amazônica, desde a sua ocupação sofre com processos atividades antrópicas. Fato que torna indispensável a necessidade de preservação, monitoramento e conservação do meio ambiente (Souza *et al.*, 2012).

As configurações de uma bacia hidrográfica, embora complexas, podem ser identificadas e analisadas com rapidez e flexibilidade quando usadas as ferramentas SIG's que produzem resultados muito próximos da realidade com um baixo custo (Elesbon *et al.*, 2011; Santiago *et al.*, 2015).

A alteração da paisagem e a perda de biodiversidade ocasionada pela ocupação do espaço tendem a fragilizar ainda mais essa região a qual sofre com processos negativos de

sustentabilidade onde seus recursos naturais são degradados ou substituídos pelas atividades de exploração mineral/vegetal e/ou agropecuária (Lentini *et al.*, 2005; Souza *et al.*, 2011).

O uso do SIG para realizar monitoramento da paisagem permite que análises sejam feitas com celeridade e eficiência visto que é um instrumento facilitador para o reconhecimento e mapeamento de áreas distantes com precisão, além disso, os dados adquiridos por essa ferramenta possibilitam uma melhor gestão e planejamento (Pereira *et al.*, 2012; Gutierrez, 2017).

As técnicas de sensoriamento remoto são eficazes para auxiliar no monitoramento de bacias porque permitem o reconhecimento de mudanças nos recursos naturais (Ferreira Júnior; Dantas, 2018). O avanço das tecnologias usadas nessas técnicas, a exemplo de satélites mais potentes, proporcionam melhor monitoramento e avaliação do uso da terra e dos recursos naturais (Ferreira Júnior; Dantas, 2018; Barbosa *et al.*, 2021).

Além disso, outras técnicas podem contribuir para melhores análises como a Processo Analítico Hierárquico ou, simplesmente, a Análise Hierárquica (AHP), que é um método que serve de suporte para estudos os quais têm como objetivo analisar a vulnerabilidade ambiental (Valadares, 2017; Ribeiro, 2015).

Esse método já foi utilizado por Calvacante *et al.* (2020) para analisar áreas prioritária para conservação florestal no município de São Felix do Xingu, no sudeste do Pará, e permitiu definir áreas de forma eficiente para conservação florestal.

Logo, a importância de associar técnicas para realizar o monitoramento constante da região amazônica como uma forma racional do uso do espaço para que a situação não se agrave (Sampaio *et al.* 2017).

O uso e ocupação da região amazônica ocorreu de forma acelerada e provocando impactos profundos no meio ambiente e sem preocupação com as possíveis consequências (Pereira *et al.*, 2001). Tem-se como exemplo o nordeste do estado do Pará, local o qual faz parte dessa trajetória de ocupação desordenada que até os dias atuais sofre com degradação ambiental.

O processo de ocupação do nordeste paraense tornou-o vulnerável devido ao desmatamento que substituiu a vegetação primária por áreas de cultivos e vegetação secundária; além disso, a presença do agronegócio e da mineração, nas últimas cinco décadas até 2015, provocou um desmatamento de até 56% dentro desse território (Santos *et al.*, 2020).

A Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (BHRM) está inserida nesse contexto de forte pressão à cobertura vegetal nativa. Nesse sentido, a seguinte pesquisa tem como objetivo avaliar calcular a vulnerabilidade ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim no nordeste

paraense.

1.1 Justificativa

O estado do Pará está totalmente inserido na região amazônica e fez parte do processo de ocupação dessa região que ocorreu de forma desordenada a partir da construção da Estrada de Ferro Belém-Bragança no nordeste paraense, ao final do século XIX, que provocou um enorme desequilíbrio ambiental devido a retirada da vegetação (Vale; Bordalo; Fonseca, 2016; Sampaio *et al.*, 2017; Watrin; Gerhad; Maciel, 2009).

Até hoje a paisagem do nordeste paraense apresenta níveis altíssimo de intervenção humana provocada principalmente pela expansão de atividades agropecuárias que substituem a vegetação nativa por vegetação secundária (Watrin *et al.*, 1996; Watrin *et al.*, 1998).

O massivo uso da terra na região do nordeste paraense provocou uma significativa fragmentação da paisagem, prova disso que a BHRM se encontra inserida no Centro de Endemismo Belém, o qual possui somente 23% da sua cobertura vegetal, (Santos 2018; Almeida *et al.*, 2010).

Estudos recentes como o realizado por Andrade *et al.* (2020) quantificou, que apenas no ano de 1988, a bacia já possuía mais de 50% de sua área coberta por vegetação secundária.

Um importante detalhe dessa região é que as intensas atividades antrópicas são responsáveis pela substituição da vegetação nativa pela secundária. Em um estudo realizado por Santos (2018) foi observado que, no ano de 2017, a BHRM possuía uma área de agropecuária de 52% (1.047,66km²) provocada sobre tudo pelos altos investimentos em criação de gado e produção agrícola.

Levando em consideração o histórico da região do nordeste paraense, as inúmeras pesquisas realizadas na região (as quais demonstram a intensa modificação do espaço), além das condições ambientais da BHRM.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Calcular a vulnerabilidade à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (BHRM) no nordeste paraense a partir de uma análise multicritério.

1.2.2 Objetivos Específicos

A) Adaptar a metodologia de estudo proposta por Crepani *et al.* (2001) e reaplicá-la, de forma a obter dados físicos de geologia, geomorfologia, solos, vegetação e clima e referentes à Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim;

B) Obter os índices de vulnerabilidades ambientais por meio das variáveis de geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo e precipitação;

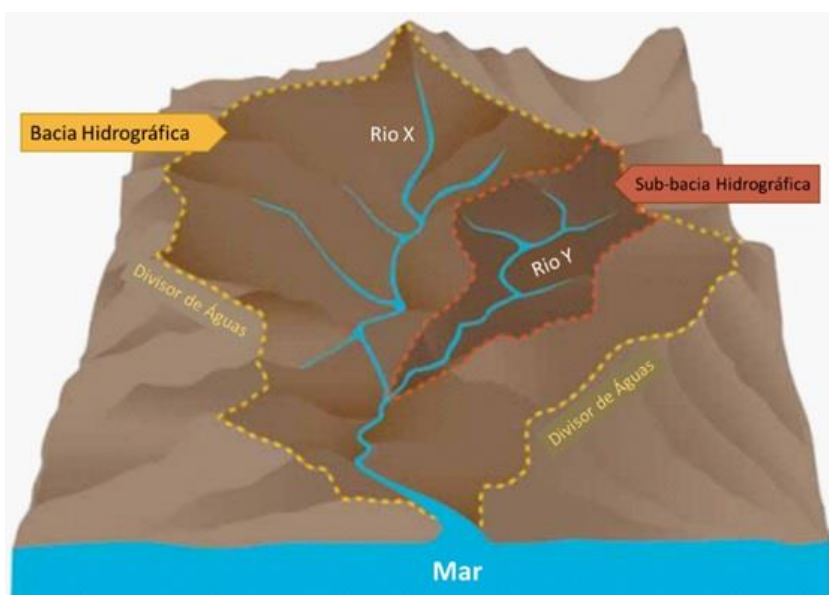
C) Gerar de uma carta síntese apresentando os índices de vulnerabilidade a erosão da BHRM.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento

De forma generaliza, quanto aos conceitos de “bacia hidrográfica”, há um consenso entre suas definições. Basicamente, Tucci (1997) define bacia hidrográfica como uma área onde a água da chuva é captada naturalmente, infiltra em alguns pontos e escoar para um único ponto de saída, sendo composta divisores de águas que formam um conjunto de redes de drenagens com cursos d’água menores (as sub-bacias) os quais confluem até um único ponto, seu exutório (Figura 1).

Figura 1- Representação de uma bacia hidrográfica e uma das suas sub-bacias.



Fonte: (Freitas *et al.*, 2015).

Coelho Netto (2007, p.97) considera as BH's como uma “área da superfície que drena a água, sedimentos e materiais dissolvidos para um ponto comum em um determinado ponto de um canal fluvial”, as quais variam de tamanho e organizam-se a partir de divisores de drenagens principais que podem ser hierarquizados e ordenados conforme as suas características, sendo possível delimitar sub-bacias que compõem uma BH maior.

Porto (2008) considerada a BH um ente sistêmico, onde balanços (de entrada e saída) da água proveniente da precipitação ocorrem e direcionam-se para o exutório, além de ser possível a delimitação de sub-bacias as quais compõem uma bacia hidrográfica.

São nas bacias hidrográficas que as atividades humanas como criação de centros

urbanos, indústrias, agricultura e até mesmo preservação do meio ambiente são desenvolvidas. No entanto, algumas delas provocam alterações significativas no ciclo hidrológico nas quais afetam as condições da bacia pondo em risco a integridade do recurso hídrico ali presente (Tundisi, 2006; Porto *et al.*, 2008).

Assim é possível entender que as bacias hidrográficas, além de serem fundamentais para o ciclo hidrológico por englobar captação de água da chuva, infiltração e escoamento superficial, são um locais de transformação da água chuva em vazão e que fatores como declividade, cobertura vegetal, clima, tipo de solo e, principalmente, a atividade antrópica pode influenciar podem influenciar no regime hidrológico da bacia; daí a importância para realização de estudos quanto ao planejamento e manejo de bacias.

Tundisi (2008) reforça a ideia quando considera a bacia hidrográfica uma unidade natural a qual nela é possível realização de monitoramento e controle da qualidade da água, estudos para avaliação dos possíveis impactos e degradação que as atividades antrópicas provocam nos recursos hídricos. Tem-se como exemplo a cooperação internacional desenvolvida na Bacia do Prata pelos países Argentina, Brasil, Chile, Paraguai e Uruguai; e na bacia Amazônica que é compartilhada por nove países.

Foi a partir do monitoramento da qualidade da água, Lima *et al.* (2018), na Bacia Hidrográfica do Açude Acarape do Meio, no Ceará, e verificaram uma degradação séria provocada pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE's) deficitárias, pela falta de saneamento básico e atividades agropecuárias danosas, principalmente a pecuária.

Rocha *et al.* (2018) utilizaram uma série histórica de cerca de 70 anos para analisar da variação espacial da produção hídrica das bacias hidrográficas dos rios Aguapeí e Peixe, região Oeste Paulista, o que levou a identificar muitas áreas com alto potencial de degradação. Esse tipo de pesquisa reforça, de monitoramento das águas, é subsídio fundamental para o desenvolvimento de políticas públicas e de conservação.

E nesse sentido, o planejamento ambiental para uma bacia hidrográfica é relevante, pois, a partir dele é possível identificar as potencialidades e as vulnerabilidades dela, além de ser uma ferramenta que permite reunir informações que contribuem para determinar ações adequadas às soluções de problemas presentes no limite de uma bacia (Simões, 2017).

2.2 A gestão dos recursos hídricos no Brasil

Foi a partir da gestão de recursos hídricos francesa que a brasileira se moldou,

combinando a gestão participativa/integrativa com a cobrança pelo o uso do recurso da bacia. O “Regime de disciplina de uso das águas e a luta contra a poluição”, da lei francesa 1245 de 6 de dezembro de 1964, reconhece a bacia como uma unidade de gerenciamento de recursos de forma que cada uma BH deva ter um comitê responsável pelo seu planejamento (Ribeiro *et al.*, 2006).

O artigo 21, inciso XIX, da Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, instituiu Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o qual originou a Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997 (também conhecidas como a Lei das Águas) que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), que criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (Brasil, 1998).

Semelhante com o ocorrida na França, a lei brasileira nº 9433/97 determina o Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) como um instrumento para apoiar às tomadas de decisões o qual é composto pelo governo, usuários da água e a sociedade civil organizada (Figura 2). Visto que esses representantes devem avaliar o Plano de Recurso Hídrico da Bacia (PRHB) de modo a acompanhá-lo (Gutierrez *et al.*, 2017; Ribeiro *et al.*, 2006).

Figura 2- Composição do Comitê de Bacia Hidrográfica



Fonte: ANA (2023).

O CBH busca uma gestão descentralizada dos recursos hídricos a partir de conselheiros os quais representam os diversos setores (usuário, sociedade civil e o governo) que se reúnem para discutir acerca do uso da água da bacia (Gutierrez , 2017; Pereira *et al.*, 2018; Porto *et al.*, 2008).

O Ceará foi o primeiro estado brasileiro a possuir um CH, no ano de 1998, a realizar a cobrança pela captação e possuir um órgão responsável pela gestão do recurso. Sendo essa taxa realizada em virtude dos longos períodos de seca (Ribeiro *et al.*, 2006; Ribeiro *et al.*,

2006).

A gestão estabelecida por meio da PNRH visa estimular percepções individuais que permitam colaborar para que haja uma redução da degradação ambiental que ameaça constantemente a sociedade. Dessa maneira, é imprescindível que as instituições, a sociedade civil, o poder público e usuários dialoguem para encontrar o planejamento adequado ao meio ambiente (Lopes *et al.*, 2016).

Outros estados, a fim de otimizar a gestão dos seus RH, elaboraram suas próprias leis. O Pará, em sua Lei nº 6.381, de 25 de dezembro de 2011, e estabelece a Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH). Sendo executada e coordenada pela Diretoria de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (DIREH) que é subordinada à Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS-PA) (Para, 2001).

2.3 Conceito de Vulnerabilidade Ambiental

A vulnerabilidade está presente nas mais diversas áreas das ciências e carrega consigo diferentes abordagens que variam de acordo com o pesquisador. Tem-se como exemplo o uso desse termo nas Ciências Sociais que focaliza na vulnerabilidade das pessoas ou grupos; enquanto na Geografia, se preocupa com a vulnerabilidade do lugar de modo espacial, mas não distanciando o social do ambiental. (Marandola Junior; Hogan, 2005).

A vulnerabilidade pode definida também como uma condição produto das ações humanas, segundo o Escritório das Nações Unidas para Redução do Risco de Desastre (UNISDR). Além disso, pode indicar também o grau o qual a sociedade está exposta ou protegida de determinadas ameaças naturais (ONU, 2014).

Crepani *et al.* (2001) conceitua vulnerabilidade a partir das unidades de paisagem e que ela é estabelecida através de uma escala de valores relativos empíricos de acordo com a relação morfogênese/pedogêne analisando-se individualmente cada um dos temas: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso da terra e clima.

Para Aquino *et al.* (2017), a vulnerabilidade pode ser aplicada tanto para entidade físicas como abstratas a exemplo de programas computacionais susceptíveis a vírus ou a seres vulneráveis a algo ou alguém. Atualmente, esse termo vem sendo abordado de três formas: social, ambiental e socioambiental.

Sendo a social buscando analisar e mensurar as exposições aos riscos de determinados grupos sociais. Enquanto ambiental aborda os riscos que o meio ambiente está exposto como a

degradação relacionada a processos erosivos a perda de solo e biodiversidade, assoreamento, contaminação da água, onde alguns desses fatores podendo ocorrer de forma natural ou por fatores externos (Costa *et al.*, 2007); já a socioambiental sobrepõe as características sociais e ambientais.

Figueiredo (2010) conceitua a vulnerabilidade ambiental como a susceptibilidade de um sistema à degradação ambiental levando em consideração: a exposição do sistema às pressões ambientais típicas de atividades humanas, a sensibilidade do sistema às pressões sofridas, e por fim, a capacidade de resposta quando adotadas ações de preservação e conservação.

2.4 A Ecodinâmica como base para Vulnerabilidade Ambiental

Tratando-se de questões ambientais é importantíssimo a determinação de “bases teóricas, conceituais e metodológicas as quais entendam os sistemas ambientais de maneira complexa e integrada, apreendendo o conhecimento através de novos olhares para a realidade” (Neves *et al.*, 2014, p. 272).

A Teoria Geral dos Sistemas pauta a estruturação de compreensão dos sistemas ambientais, onde eles são uma organização formada por unidades as quais se relacionam e o todo não é a simples soma das unidades, ele é bem mais complexo (Bertalanffy, 2010). Utilizando-se desse conceito, o russo Sotchava- no início da década de 1960- estabeleceu um conceito para os geossistemas assim como elaborou uma metodologia para o estudo de paisagens geográficas complexas (Nascimento; Sampaio, 2005).

Tal ideia foi, posteriormente, aperfeiçoada por pelo francês Bertrand, que em 1968, deu uma conotação mais precisa estabelecendo uma tipologia espaço-temporal com escalas socioeconômicas, além de considerar a evolução dos solos à cobertura vegetal e às condições do relevo (Freires *et al.*, 2022; Nascimento; Sampaio, 2005).

A partir desses dois estudiosos, Sotchava e Bertrand, formaram-se duas escolas de pensamento acerca dos geossistemas: uma russa e outra francesa. Um outro conceito o qual usa uma abordagem de análise integrada do meio ambiente é o do Ecodinâmica de Tricart (1977), ambos os conceitos-ecodinâmica e geossistemas são utilizados para a análise de vulnerabilidade da paisagem.

No livro Ecodinâmica, Tricart (1977) considera a vegetação como o principal agente biológico contra processos de erosão- pluvial e eólico- devido à estabilidade que ela oferece ao solo por reduzir a energia cinética das gotas de chuvas que caem ao solo; e a rugosidade, que reduz a força eólica sobre o solo.

Além disso, o autor ainda analisa- de forma integrada- a natureza, a sociedade e os efeitos das intervenções humanas no meio, especificadamente, sobre a cobertura vegetal e as possíveis alterações as quais podem vir a serem provocadas na dinâmica local:

A energia da radiação que alcança o solo e, por sua vez, as temperaturas do solo, com efeitos sobre a respectiva flora e fauna, a mineralização dos húmus, a nitrificação, etc., ou seja, a fertilidade deste solo; A queda de detritos vegetais na superfície do solo e, em consequência, a nutrição dos organismos redutores, a estrutura do solo e sua resistência à erosão pluvial, e, por seguinte, o regime o regime hídrico e a reciclagem dos elementos minerais pelas plantas; A interceptação das precipitações, ou seu tempo de concentração, e a energia de impacto das gotas, que determinam a possibilidade de erosão pluvial; A proteção do solo contra as ações eólicas, capazes de intensa degradação das terras.

Assim, Tricart (1977) definiu uma classificação às paisagens que foram denominadas unidades ecodinâmicas ou unidades morfodinâmicas. Esses conceitos complementam o conceito de ecossistemas, que sucinta as múltiplas relações entre os mais diversos componentes do meio junto aos fluxos de energias presentes no ambiental.

Os ecossistemas são modificados pelo homem, no entanto, ele também está submetido a essas modificações as quais as consequências impõem-no algumas adaptações à sua sobrevivência no meio (Tricart, 1977).

As unidades ecodinâmicas de Tricart (1977) podem ser resumidas em três grandes categorias:

- Meios Estáveis: onde as evoluções ocorrem de forma lenta, quase imperceptíveis. Com presença de áreas com cobertura vegetal densa, aproximando da condição clímax
- Meios Intergrades: é transição gradual do meio estável para o instável com interferência permanente de morfogênese e pedogênese.
- Meios Fortemente Instáveis: é um meio que pode ter diferentes origens, visto que pode sofrer interferência desde tectonismo até intervenções antrópicas, além disso, a ausência da cobertura vegetal, a qual pode acelerar processos erosivos e de degradação de solo.

A cobertura vegetal intervém inserindo uma influência indireta do clima, visto que a maior instabilidade ocorrerá onde houver uma maior instabilidade climática. Junto a ela, a ausência de vegetação e as bruscas intervenções antrópica podem colaborar para o desencadeamento de processos erosivos e degradação do solo (Tricart, 1977; Freires *et al.*, 2022 p.81).

2.5 Vulnerabilidade Natural à perda de Solo a partir da metodologia de Crepani

Fez-se uso da metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001) que parte do princípio da

Ecodinâmica de Tricart (1977) para a obtenção da vulnerabilidade à perda de solo com a intenção de contribuir para o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia.

Conforme a metodologia, interpretam-se as informações disponíveis a partir dos critérios selecionados (geológicos, geomorfológicos, pedológicos, cobertura vegetal/uso da terra e intensidade pluviométrica).

Inicialmente a metodologia proposta por Crepani *et al.* (2001) delimita e identifica as Unidades Territoriais Básicas (UB) a partir de Becker e Egler (1996, p. 12): “Uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais”

As UTB's dividem-se em duas categorias: unidades de paisagem natural e os polígonos de intervenção antrópica; sendo aquela uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas, enquanto essa é uma área física onde se dá a atuação humana que modifica as condições naturais e podem ser localizadas em mais de uma unidade de paisagem natural (Crepani *et al.*, 2001).

Com a intenção de determinar o nível de vulnerabilidade natural à perda de solo, as UTB's, de maneira singular, são avaliadas a partir das temáticas anteriores definidas, por um modelo o qual avalie as modificações contínuas no ambiente, em outras palavras, avaliará os estágios de evolução para cada UTB, conferindo-lhes valores de estabilidade buscando produzir uma escala de vulnerabilidade, comenta Fagundes (2013).

Embora considere a declividade como a principal variável para as regiões estudadas por ele, Crepani *et al.* (2001), propôs um modelo para determinar o grau de vulnerabilidade natural aplicando de forma individual para cada unidade territorial (solo, geologia, geomorfologia, vegetação e clima) onde é resultante da média aritmética dos valores individuais atribuídos a cada unidade conforme mostra a equação 1 (Eq.1).

Equação 1- Cálculo da Vulnerabilidade

$$V = \frac{G + Gm + S + Vg + C}{5}$$

Onde:

V= Vulnerabilidade;

G = vulnerabilidade para o tema Geologia;

Gm = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação;

C = vulnerabilidade para o tema Clima.

Utilizando a metodologia de Crepani *et al.* (2001), que considera a declividade como a principal variável Rodrigues *et al.* (2020) a aplicaram no município de Barcarena-PA para analisar a vulnerabilidade ambiental desse município onde identificaram a predominância de áreas moderadamente vulnerável ou vulnerável.

No entanto, buscando obter resultados mais próximos da realidade, Rodrigues *et al.* (2020), ao invés de se considerar a declividade como fator preponderante, utilizaram a variável uso e cobertura do solo. Ainda que áreas vulneráveis fossem predominantes, houve o incremento de áreas medianamente estáveis/vulneráveis. Logo, nota-se a importância de se considerar, o máximo possível, as condições locais.

Buscando contribuir para planejamento ambiental e medidas de conservação e preservação, Matule *et al.* (2020), utilizou a metodologia de Crepani *et al.* (2001) para avaliar a vulnerabilidade à perda do solo no distrito de Boane em 2018 atingindo um resultado favorável, uma vez que, a metodologia mostrou-se eficiente à medida que os resultados produzidos conferiram aquilo observado no terreno.

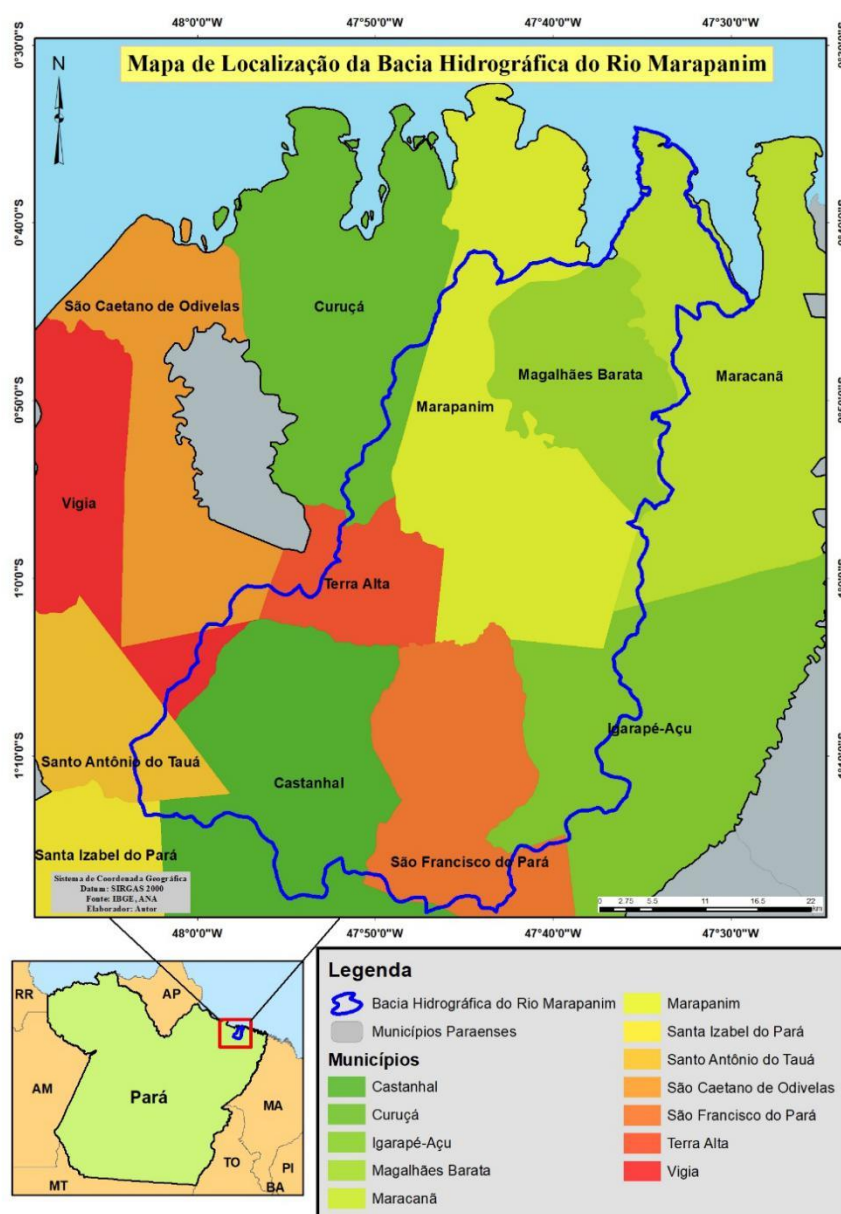
Silva *et al.* (2021) usando a o princípio da ecodinâmica de Tricart (1977) com a integração geoespacial por proposta por Crepani *et al.* (2001), analisaram a dinâmica entre os sistemas geoambientais do baixo Interflúvio Madeira-Purus-Amazonas/Rondônia para vulnerabilidade à erosão, alcançando resultados satisfatórios quanto a avaliação do funcionamento dinâmico entre os sistemas geoambientais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (BHRM) (Figura 3), possuindo cerca de 2442,07 km², abrange 12 municípios da microrregião do Salgado - Castanhal, Curuçá, Igarapé-Açu, Magalhães Barata, Maracanã, Marapanim, Santo Antônio do Tauá, Santa Izabel do Pará, São Caetano de Odivelas, São Francisco do Pará, Terra Alta e Vigia-. Ela faz parte da região hidrográfica a qual integra o Atlântico Nordeste Ocidental (ANA, 2020; Numa, 2022).

Figura 3- Mapa de Localização da área de estudo



Fonte: Autor.

A região nordeste, que está localizada a BHRM, é heterogênea tanto no caráter biofísico

quanto ao processo de ocupação territorial. Uma nova dinâmica de uso da terra se instalou na região devido a dendê cultura, que é uma atividade relacionada a interesse do setor de combustível e alimentos, fato que traz algumas consequências socioambientais (Santos *et al.*, 2019; Coelho *et al.*, 2018).

A BHRM possui cinco Unidades de Conservação (UC), as quais garantem às populações tradicionais o uso sustentável dos recursos naturais e a realização de atividades econômicas sustentáveis. Além disso, as UC têm função de proteção ecológica dos ecossistemas nacionais e das águas jurisdicionais, preservando o patrimônio biológico ali existente (O ECO, 2023).

As UC presentes na BHMR são: Reserva Extrativista Marinha Mestre Lucindo (RESEX); Reserva Extrativista Marinha de Maracanã (RESEX); Reserva Extrativista Marinha Cuinarana (RESEX); Reserva de Desenvolvimento Sustentável Campo das Mangabas (RDS); Refúgio da Vida Silvestre Padre Sérgio Tonetto (REVIS).

A região nordeste caracteriza-se como uma das fronteiras de colonização agrícola mais antiga da Amazônia desde o processo de migração de nordestinos no início da década de 1950 (Santos *et al.*, 2019). As práticas agrícolas fizeram a floresta primária dar lugar a vegetação secundária, conhecida comumente como capoeira¹, que demonstra uma antropização da paisagem local (Vieira *et al.*, 2003; Cordeiro *et al.*, 2017).

Considerada uma área de grande relevância ecológica, a BHRM tem em com 86% da sua área identificada como de prioridade "Extremamente alta" e "Muito alta" para a conservação da biodiversidade (MMA, 2014), mudanças como assoreamentos de igarapés, desflorestamento e descartes efluentes ainda são recorrentes daí enfatiza-se a necessidade de implementação urgente de ações de conservação (Santos *et al.*, 2019).

Quanto a dinâmica social do nordeste paraense, os povoados iniciais-primeiramente-desenvolveram-se ao longo dos rios dando origem às cidades conectadas pela dinâmica fluvial. E, posteriormente, ao longo da ferrovia Belém-Bragança, surgiram os núcleos urbanos (Coelho *et al.*, 2018).

Considerando as questões histórica, social e ambientais, identifica-se a necessidade da realização de análises acerca do uso e cobertura da terra para favorecer o planejamento e monitoramento da região. Então, foi nesse intuito, que a BHRM foi a primeira bacia do estado do Pará a ter a aprovação para a criação do Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH).

¹ áreas que se desenvolvem a partir do crescimento de espécies que regeneram naturalmente em agroecossistemas ou após o seu abandono (Salomão *et al.* 2012)

3.2 Determinação dos Fatores/Critérios selecionados da BHRM

Nessa pesquisa optou-se pela seleção de 5 fatores a partir de pesquisa bibliográfica em trabalhos os quais determinaram, a partir da análise hierárquica de processo (AHP), o grau de importância de cada fatores/critério de maneira lógica e consistente; além da determinação de uma escala de vulnerabilidade a partir de Crepani *et al.* (2001).

Brandão e Tomazoni (2023), a partir do uso do AHP selecionaram critérios Geologia (G), Geomorfologia (R), Solos (S), Vegetação (V) e Precipitação (C) para elaborar uma carta de vulnerabilidade ambiental de uma bacia hidrográfica.

Lira *et al.* (2022) procurando classificar a fragilidade da ambiental da bacia hidrográfica Arroio Marreco, no Paraná, além de fazer uso do método AHP, também utilizou critérios como o uso e ocupação do solo, declividade e tipos de solo para alcançar resultados satisfatórios quanto a classificação dessa bacia

3.3 Delimitação da Bacia Hidrográfica

Para delimitar a bacia hidrográfica do rio Marapanim usou-se o levantamento das Ottobacias das Unidades Hidrográficas elaboradas e disponíveis pela Agência Nacional de Águas (ANA), onde foi extraída a BHRM.

3.4 Organização das Bases Cartográficas

Para elaboração dos mapas foram utilizados arquivos *shapefile* (shp) de órgãos oficiais e instituições científicas, no software QGIS 3.28. As bases utilizadas para realização do trabalho estarão no Datum SIRGAS 2000 no sistema de Referências em Universal Transversa de Mercator (UTM) entre os fusos 22S e 23S, porém, utilizou-se somente o fuso 23 pois a maior parte da bacia encontra-se nele. A tabela 1 mostra de forma resumida os dados usados na pesquisa e suas respectivas fontes.

Infelizmente para realizar o mapeamento dos solos não foi possível encontrar uma base de dados com um escalar maior que a apresentada na Tabela 1

Tabela 1- Resumo dos dados utilizados na pesquisa

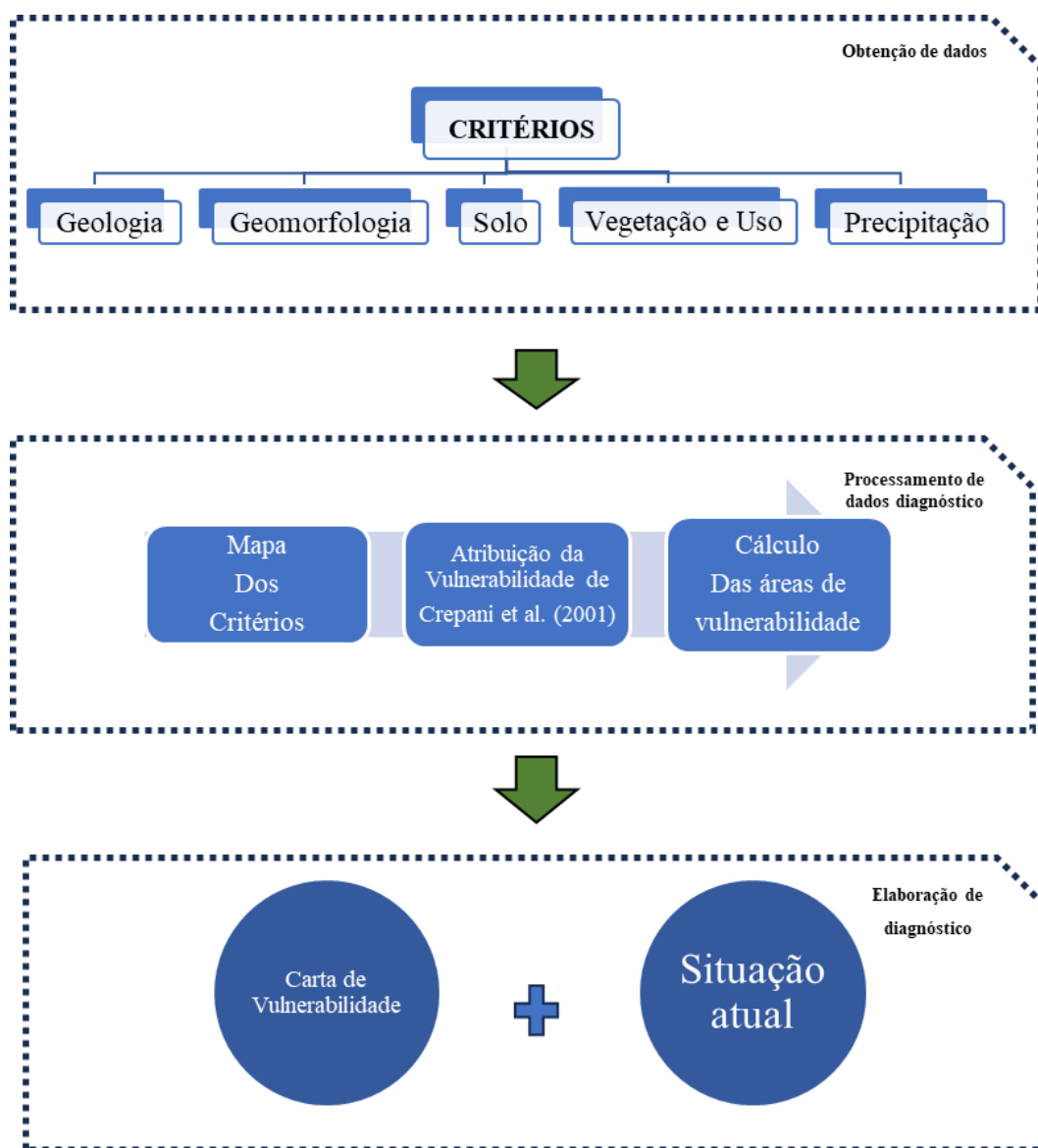
INFORMAÇÃO	DADO	FONTE	ESCALA
Limite da Bacia	Ottobacias das Unidades Hidrográficas	ANA (2017)	-
Mapa de Cobertura do Solo	Imagem do satélite Landsat	MapBiomass (2021)	30x30
Mapa Geológico	Geologia do Brasil	CPRM/ANA	1:1.000.000
Mapa Geomorfológico	Modelo Digital do Terreno–Topodata	Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)	30 x 30
Mapa de Solo	Pedologia do Brasil	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	1:1.000.000
Mapa de Precipitação	Estações Pluviométricas e Fluviométricas	ANA/INMET/ CPRM/EMBRAPA (2022)	-

Fonte: Autor.

3.5 Diagrama Metodológico

A metodologia será desenvolvida em 4 momentos conforme apresentados no Esquema 1, dividindo-se em: obtenção de dados, processamento de dados, etapa de elaboração de diagnóstico e, por fim, elaboração de proposta de ações.

Esquema 1- Fluxo do roteiro metodológico



Fonte: Autor.

Na etapa de obtenção de dados, definiu-se os critérios que seriam utilizados os quais são de bases cartográficas oficiais georrefenciadas assim como o limite da BH; esses critérios foram: geologia, geomorfologia, precipitação, solo e vegetação e uso.

Posteriormente, para o processamento criou-se mapas como cada um dos critérios sendo a eles atribuídos a escala de vulnerabilidade de Crepani *et al.* (2001) assim como os cálculos

para quantificá-los, para então chegar-se à Carta de Vulnerabilidade à erosão do Solo.

E é partir da Carta que será desenvolvida a etapa de diagnóstico considerando o momento atual da bacia. Além disso, este trabalho levará em consideração bibliografias as quais já realizaram trabalhos cujos os temas estejam relacionados a vulnerabilidade, uso da terra, dinâmica da paisagem e outros temas afins.

3.6 A determinação da vulnerabilidade natural à perda dos mapas temáticos: Geologia (G), Geomorfologia (R), Solos (S), Vegetação (V) e Clima (C).

A fim de determinar os valores na escala de vulnerabilidades foram destacadas, em cada critério, parâmetros os quais mostram indicadores capazes de influenciar de maneira decisiva no desenvolvimento da paisagem como: grau de coesão das rochas, densidade da cobertura vegetal, índices morfométricos do terreno e a intensidade pluviométrica.

A paleta de cores utilizada no mapa de vulnerabilidade obedeceu ao modelo de vulnerabilidade criado por Crepani *et al.* (2001), que estabeleceu 21 classes para vulnerabilidade a perda de solo (Figura 4).

Figura 4- Classificação do grau de vulnerabilidade à perda de solo

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA			GRAU DE VULNERAB.	GRAU DE SATURAÇÃO			
					VERM.	VERDE	AZUL	CORES
U1	↑	3,0		VULNERÁVEL	255	0	0	
U2		2,9			255	51	0	
U3		2,8			255	102	0	
U4		2,7			255	153	0	
U5	V	2,6		MODERADAM. VULNERÁVEL	255	204	0	
U6	U	2,5	E		255	255	0	
U7	L	2,4	S		204	255	0	
U8	N	2,3	T		153	255	0	
U9	E	2,2	A	MEDIANAM. ESTÁVEL/ VULNERÁVEL	102	255	0	
U10	R	2,1	B		51	255	0	
U11	A	2,0	I		0	255	0	
U12	B	1,9	L		0	255	51	
U13	I	1,8	I	MODERADAM. ESTÁVEL	0	255	102	
U14	L	1,7	D		0	255	153	
U15	I	1,6	A		0	255	204	
U16	D	1,5	D		0	255	255	
U17	A	1,4	E	ESTÁVEL	0	204	255	
U18	D	1,3			0	153	255	
U19	E	1,2			0	102	255	
U20		1,1			0	51	255	
U21		1,0	↓		0	0	255	

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

3.7 Vulnerabilidade Geológica (G)

A vulnerabilidade geológica leva em consideração informações relativas o processo de evolução da geologia do ambiente. Onde essas informações da unidade territorial referem-se ao grau de coesão das rochas que a compõe (Crepani *et al.*, 2001) (Tabela 2).

O mapa geológico da BHRM foi elaborado a partir de dados disponíveis no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) elaborados a uma escala de 1:384.000

Tabela 2- Escala de vulnerabilidade relacionada às rochas

ROCHAS	ESC.VUL	ROCHAS	ESC.VUL	ROCHAS	ESC.VUL
Quartzitos Ou Metaquartzitos	1,0	Milonito, Quartzo muscovita, Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Pirozenito, Anfibolito, Kimperlito, Dunito	1,8	Conglomerado, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Horblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xisto granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fenólito, Nefelina, Sienito, Traquito/	1,4	Filito, Matessiltito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcário, Dolomitos, Margas, Evaporitos Sedimentos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármore	2,3	Inconsolidados: Aluviões, Colúvios, etc.	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

3.8 Vulnerabilidade Geomorfológica (R)

A vulnerabilidade geomorfológica está interligada aos índices morfométricos de terreno sendo eles: a dissecação do relevo pela drenagem, a amplitude altimétrica e a declividade. Este último tem relação direta com a transformação de energia potencial em energia cinética, que contribui para o “*runoff*²”, alterando a velocidade das massas d’água as quais tem capacidade de erosão e até mesmo de esculpir o terreno, daí a importância da relação da geomorfologia com declividade (Crepani *et al.*, 2001).

A análise da vulnerabilidade para esse critério levou em consideração a metodologia de

² escoamento superficial

Crepani *et al.* (2001) feita a partir da média dos atributos morfométricos de densidade de drenagem, amplitude altimétrica e declividade

A elaboração do mapa de declividade se deu a partir do processamento do MDE disponibilizado por meio do projeto Topodata com uma resolução de 30 metros. A carta de declividade foi processada e corrigida no software QGIS 3.28 onde os valores e o resultado foram classificados com forme a metodologia de Crepani *et al.* (2001), de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3- Classes de Declividade e Respetivos Valores da Escala de Vulnerabilidade

CLASSE MORFOMÉTRICA	DECLIVIDADE (%)	VALORES DE VULNERABILIDADE
MUITO BAIXA	< 2	1,0
BAIXA	2- 6	1,5
MÉDIA	6- 20	2,0
ALTA	20- 50	2,5
MUITO ALTA	> 50	3,0

Fonte: Crepani *et al.* (2001).

A relação de vulnerabilidade relacionada a classe morfométrica e declividade proposta por de Crepani *et al.* (2001), na tabela 3, determina em ordem crescente os valores de vulnerabilidade variando de 1,0 a 3,0, sendo o primeiro aplicável para declividades baixas (<2%) e o segundo para declividades muito altas (>50%).

3.9 Vulnerabilidade do Solo (S)

À elaboração do mapa de vulnerabilidade do solo utilizou-se os arquivos de pedologia disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) na escala de 1:1.000.000 e a relação da vulnerabilidade à classificação dos solos proposta por Crepani *et al.* (2001), que estabelece -em ordem crescente- os valores de vulnerabilidade os quais variam de 1,0 a 3,0 (sendo 1,0 para os mais estáveis e o último para os mais instáveis) (Tabela 4).

A aquisição do tipo de solo foi realizada pelo recorte do arquivo no formato *shp* no software QGIS, versão 3.28 nos limites da bacia hidrográfica, os quais foram caracterizados de acordo com o tipo de solo identificado dentro da bacia.

Tabela 4- Valores de vulnerabilidade dos solos

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA, 1999)	VULNERABILIDADE
Latossolos Amarelos Latossolos Vermelhos-Amarelos Latossolos Vermelho Latossolos Brunos Latossolos (...) Húmicos Latossolos Bruno (...) Húmicos	1,0
Argissolos Argissolos Luvisolos Alissolos Nitossolos Argissolos Nitossolos Luvisolos/Chernossolos Planossolos/Espodossolos	2,0
Cambissolos	2,5
Neossolos Litólicos/ Neossolos Flúvicos Neossolos Rogolíticos/ Neossolos Quarzarênicos Vertissolo/ Organossolo Gleissolos/ Gleissolos Plintossolos/ Plintossolos/ Afloramento Rochosos	3,0

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

3.10 Vulnerabilidade Relacionada a Vegetação (Vg)

O tema vegetação é expressado a partir do mapa de uso e cobertura do solo pelo mapeamento da vegetação feito pelo projeto MapBiomias, especificadamente a coleção 7.0 do ano de 2021, da série anual de cobertura do solo do Brasil.

As classes identificadas por esse mapeamento receberam valores de referência adaptados conforme a metodologia de Crepani *et al.* (2001). Esses valores serão: escala de vulnerabilidade se aproximam da estabilidade (1,0); densidades intermediárias (2,0) e baixas densidades de cobertura vegetal (3,0) como mostra a tabela 5.

Tabela 5- Associação do uso do solo com a vulnerabilidade ambiental

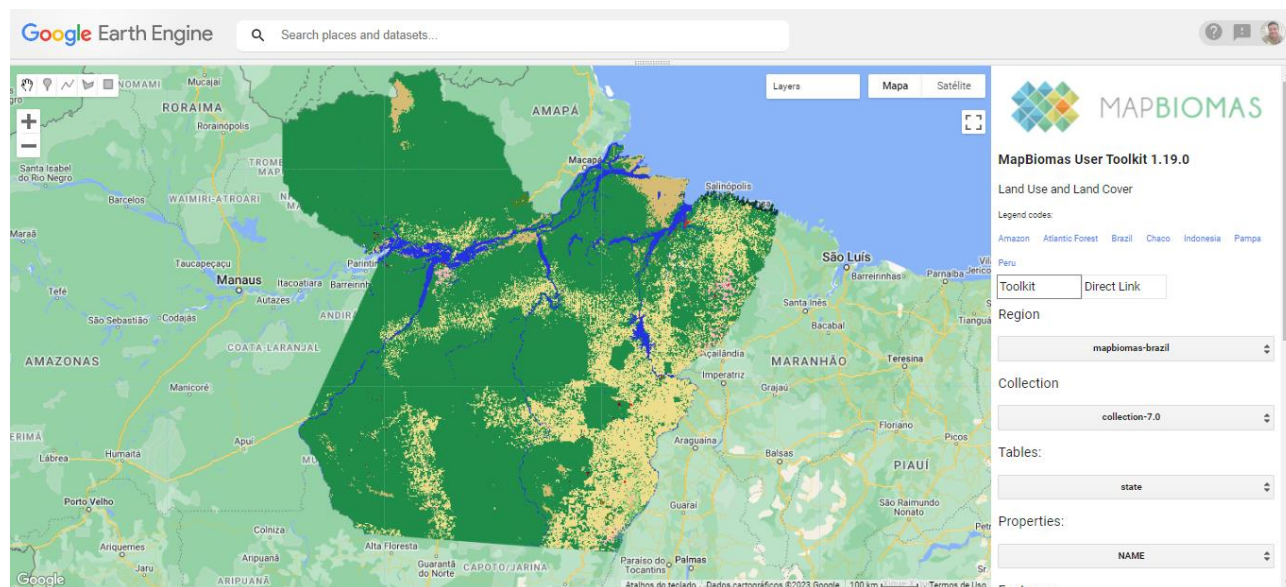
Classe	Vulnerabilidade (Crepani, 2001)
Formação Florestal	1
Formação Savânica	2.1
Formação Campestre	2.5
Mangue	1.7
Agropecuária	3
Praia, Duna e Areal	2,4
Área Urbanizada	3
Rio, Lago e Oceano	1

Fonte: Adaptação Crepani *et al.* (2001) e Mapbiomas (2019).

Os dados do Mapbiomas foram adquiridos a partir da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) que é uma plataforma online que auxiliar na obtenção e processamento de dados

ambientais em nuvem. Estes foram baixados no formato *Raster* e posteriormente transformados em *Shapefile* no *software* QGIS 3.28 para a elaboração do mapa.

Figura 5- Plataforma de aquisição de dados para análise cobertura e uso do solo

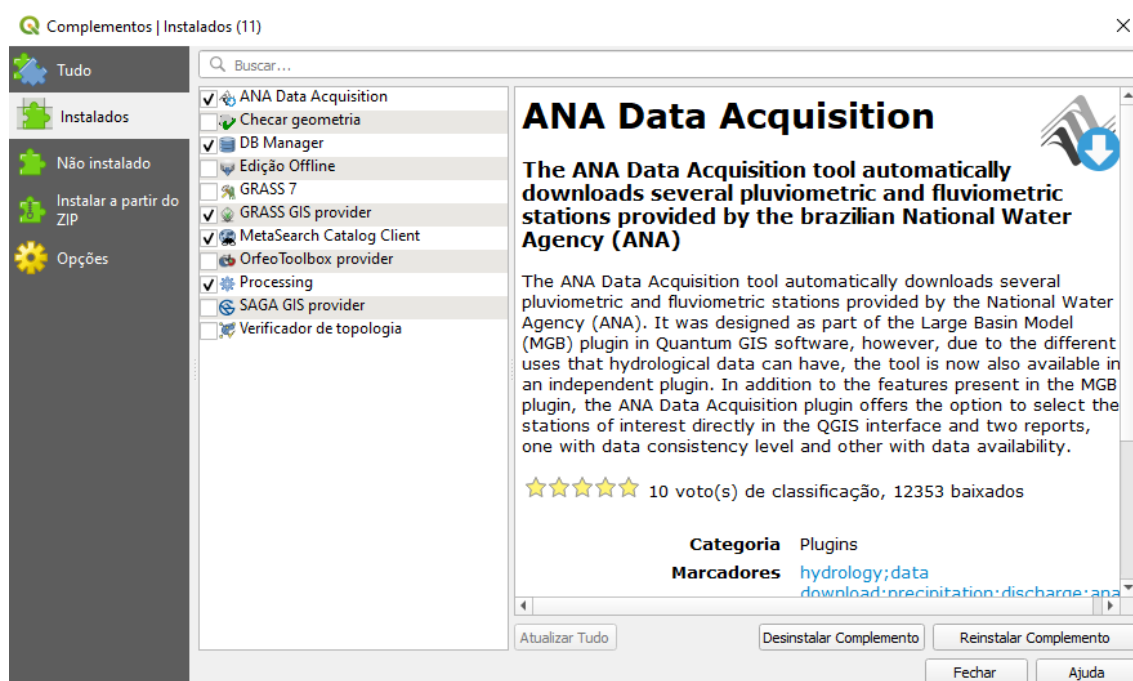


Fonte: Autor.

3.11 Vulnerabilidade quanto ao Clima (C)

Para a elaboração do mapa de pluviometria, utilizou-se o *plugin* *ANA Data Acquisition* no *software* QGIS 3.28 (Figura 6) a fim de encontrar estações pluviométricas inseridas dentro do limite da BHRM.

Figura 6- Plugin ANA Data Acquisition no software QGIS 3.28



Fonte: Autor.

No primeiro momento foram encontradas apenas 6 estações pluviométrica, porém, dentre elas, apenas 3 possuíam dados referentes a pluviometria do ano de 2022, enquanto as outras 3 apresentavam falhas. De acordo com o Manual de Aplicação *ANA Data Acquisition* as falhas são representadas por “-1” como mostra a Tabela 6 (Petry *et al.*, 2021).

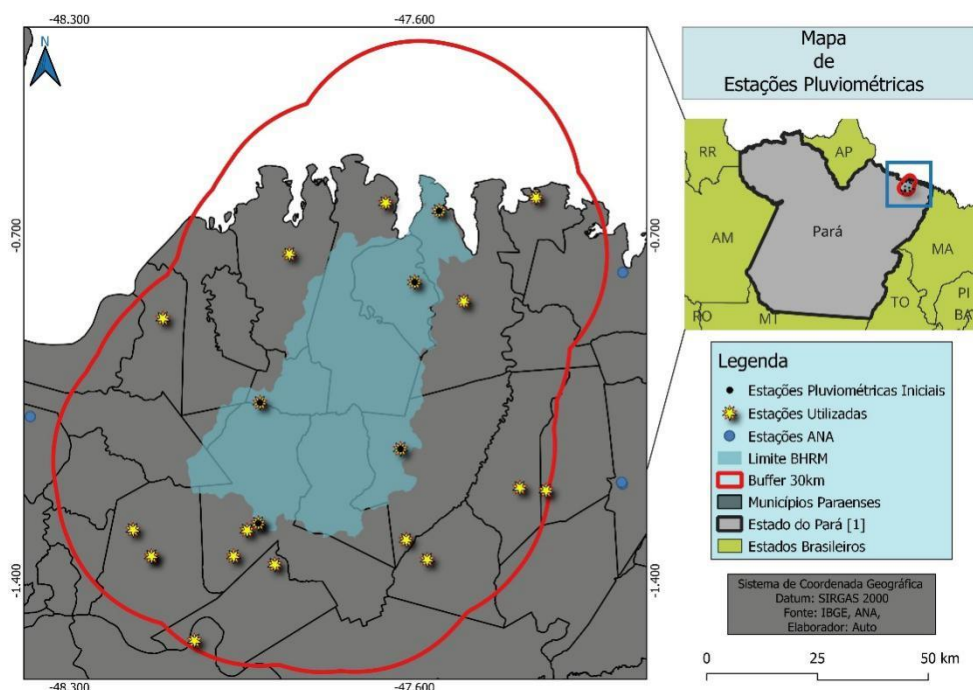
Tabela 6- Estações Pluviométricas iniciais

COD. Estação	Lat	Lon	Operador	Nome	Precipitação Anual
47000	-0.65	-47.55	INMET	Salinópolis	-1
47007	-0.7944	-47.5997	CPRM	Magalhães-Barata	4513.9
147010	-1.1325	-47.6283	CPRM	Igarapé-Açú	2869.4
147012	-1.2833	-47.9167	EMBRAPA/IPAGRO	Castanhal	-1
147014	-1.2833	-47.9167	EMBRAPA/IPAGRO	Escola Agrotécnica	-1
147017	-1.0386	-47.9133	CPRM	Terra Alta	2642.4

Fonte: Autor.

Então, optou-se por aplicar um *buffer* de 30 quilômetros no limite da bacia a fim de que a aquisição de dados fosse mais satisfatória. Com isso, o número de estações inseridas no buffer de 30 quilômetro e que foram usadas passou a ser 22 como mostra o mapa das estações pluviométricas (Figura 7).

Figura 7- Mapa das estações pluviométricas utilizadas



Fonte: Autor.

A Tabela 7 apresenta todas as estações pluviométricas utilizadas assim como suas respectivas localizações, precipitação anual, média mensal para o ano de 2022 e o operador.

Tabela 7- Estações pluviométricas

COD. ESTAÇÃO	LAT	LON	OPERADOR	NOME	PRECIPITAÇÃO ANUAL	MÉDIA ANUAL MENSAL
47000	-0.65	-47.55	INMET	Salinópolis	-1	-1
47001	-0.8333	-47.5	IDESP	Maracanã	-1	-1
47002	-0.6231	-47.3536	CPRM	Salinópolis	3502.3	291.86
47003	-0.7375	-47.8536	CPRM	Curuçá	3177.9	264.83
47005	-0.6336	-47.6583	CPRM	Marudá	3183.6	265.30
47007	-0.7944	-47.5997	CPRM	Magalhães BARATA	4513.9	376.16
48006	-0.8681	-48.1103	CPRM	Vigia	3338	278.17
147001	-1.3667	-47.8833	ANA	Macapazinho	-1	-1
147003	-1.2167	-47.3333	ANA	Peixe boi	-1	-1
147004	-1.35	-47.9667	ANA	Boa vista	-1	-1
147005	-1.3167	-47.6167	INMET	Igarapé-açu	-1	-1
147007	-1.2975	-47.9394	CPRM	Castanhal	3205.5	267.13
147010	-1.1325	-47.6283	CPRM	Igarapé-açu	2869.4	239.12
147012	-1.2833	-47.9167	EMBRAPA/IPAGRO	Castanhal	-1	-1
147014	-1.2833	-47.9167	EMBRAPA/IPAGRO	ESCOLA agrotécnica	-1	-1
147017	-1.0386	-47.9133	CPRM	Terra alta	2642.4	220.20
147018	-1.3569	-47.5742	CPRM	Santa Maria do Pará	2962.4	246.87
147019	-1.2111	-47.3864	CPRM	Nova Timboteua	2904.6	242.05
148000	-1.35	-48.1333	ANA	Porto de minas	-1	-1
148003	-1.2964	-48.1708	CPRM	Santa Isabel do Pará	2997.2	249.77
148007	-1.35	-48.1333	ANA	Caraparu (porto de minas)	-1	-1
148017	-1.5211	-48.0461	CPRM	Bujaru	3553.4	296.12

Fonte: Autor.

Para esse método, utilizou a média mensal do ano de 2022, com o método de interpolação *Inverse Distance Weighting* (IDW) que realiza uma estimativa de valor para um local não calculado usando os valores amostrados à sua volta, que possuirão um maior peso que aqueles que estão mais distantes, ou seja, cada ponto influencia no novo pontos, diminuindo conforme aumenta a distância, logo, a influência de cada ponto se torna proporcional ao inversa da distância (Gomes *et al.*, 2018).

3.12 Carta Síntese de Vulnerabilidade Natural à Perda de Solo da BHRM

Por meio de álgebra *Raster*, a Carta Síntese de Vulnerabilidade Ambiental foi elaborada utilizando o software QGIS 3.28. Ao final da aplicação dessa metodologia, gerou-se um mapa de vulnerabilidade o qual foi obtido por meio de algoritmo de álgebra de mapas, conforme a Equação 6 que possui os pesos calculados pelo método AHP no software QGIS 3.28.

A partir desse momento essa pesquisa pode se referir a “vulnerabilidade natural à perda de solo” como ‘vulnerabilidade natural’ ou “vulnerabilidade” para evitar confusões posteriores.

Equação 2- Método de Elaboração da Carta Síntese

$$V = \frac{G + Gm + S + Vg + C}{5}$$

V = Vulnerabilidade

G = vulnerabilidade para o tema Geologia;

Gm = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia;

S = vulnerabilidade para o tema Solos;

Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação;

C = vulnerabilidade para o tema Clima

O resultado do cruzamento dos mapas temáticos será distribuído em cinco classes e graus de vulnerabilidade ambiental conforme Tabela 8 adaptada de Crepani *et al.* (2001).

Tabela 8- Valores e classe de vulnerabilidade

Grau de Vulnerabilidade	Classe	Valor
Estável	Muito baixa	1,0 a 1,3
Moderadamente Estável	Baixa	1,4 a 1,7
Moderadamente Estável/vulnerável	Moderada	1,8 a 2,2
Moderadamente Vulnerável	Alta	2,3 a 2,6
Vulnerável	Muito Alta	2,7 a 3,0

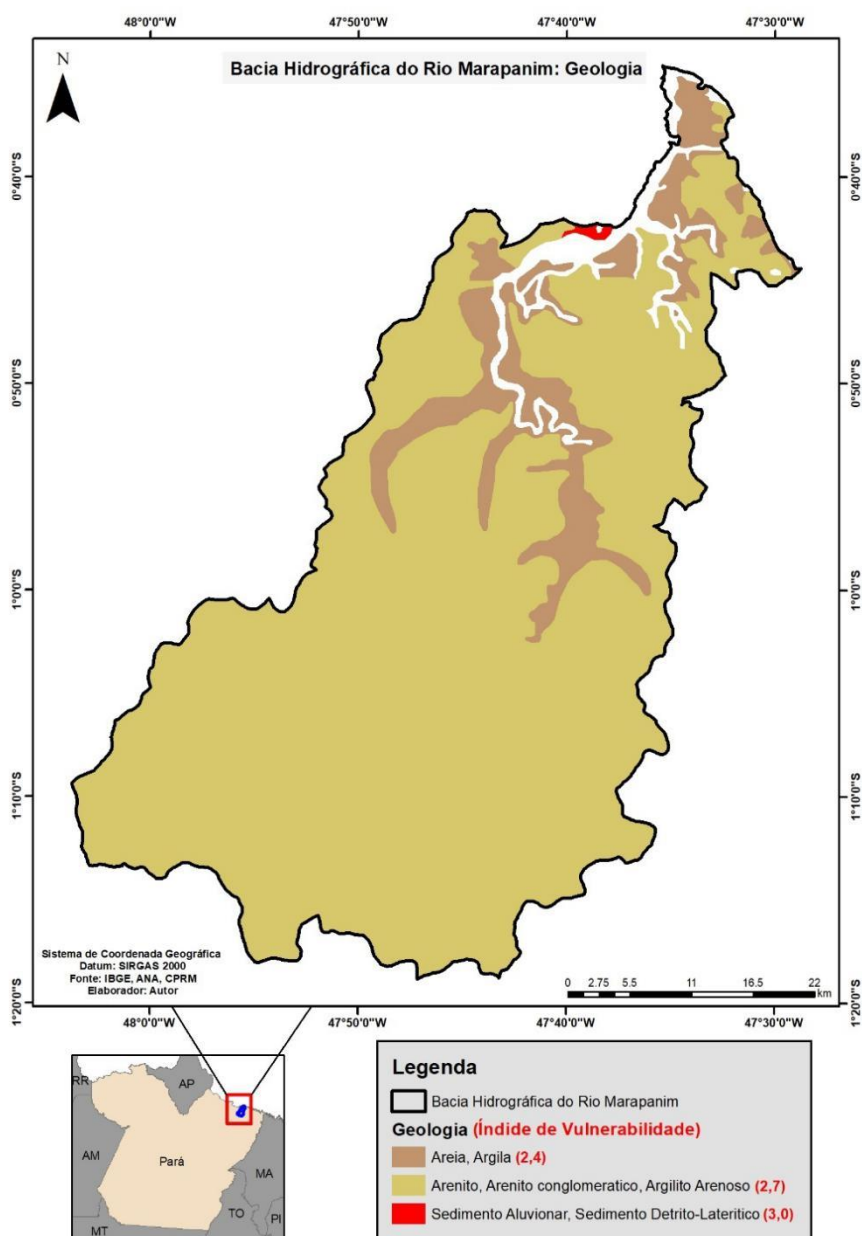
Fonte: Crepani *et al.* (2001).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Vulnerabilidade para o tema de Geologia (G)

O mapeamento da geologia demonstrou que BHRM é composta basicamente por Arenito, Arenito conglomerático, Argilito Arenoso que ocupa 2105.28 km² (86,21% da área da bacia) junto com a Areia/Argila ocupando 250,15 km² (10,24%), enquanto apenas 3,59 km² (0,15%) é composto por Sedimento Aluvionar, Sedimento Detrito-Laterítico. A Figura 8 mostra as classes geológicas e seus respectivos índices de vulnerabilidade conforme Crepani *et al.* (2001).

Figura 8- Mapeamento geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA



Fonte: Autor.

Essa geologia pertence ao grupo geológico Barreiras o qual se distribui pelo litoral brasileiro (da região amazônica, passando por toda região costeira norte e nordeste, até o estado do Rio de Janeiro) (Embrapa, 2011). O litoral norte do Brasil, geralmente se observa a predominância de fácies argilosa com laminação plano-paralela, argilo-arenosa com estruturas *wave* e linsen, arenosa com estratificação sigmoidal e arenosa com estratificação cruzada acanalada (Embrapa, 2011).

A Tabela 9 apresenta o tipo de rocha, a área de abrangência e o índice de vulnerabilidade para cada uma das características identificadas a partir do mapeamento realizado.

Tabela 9- Tipo de rocha, área de abrangência e índice de vulnerabilidade

VULNERABILIDADE GEOLOGIA			
Classe	Área (km²)	Porcentagem	Vulnerabilidade (Crepani <i>et al.</i>, 2001)
Areia, Argila	250,15	10,24%	2,4
Arenito, Arenito conglomerático, Argilito Arenoso	2105,28	86,21%	2,7
Sedimento Aluvionar, Sedimento Detrito-Laterítico	3,59	0,15%	3
Água	83,05	3,40%	-
TOTAL	2442,07	100%	

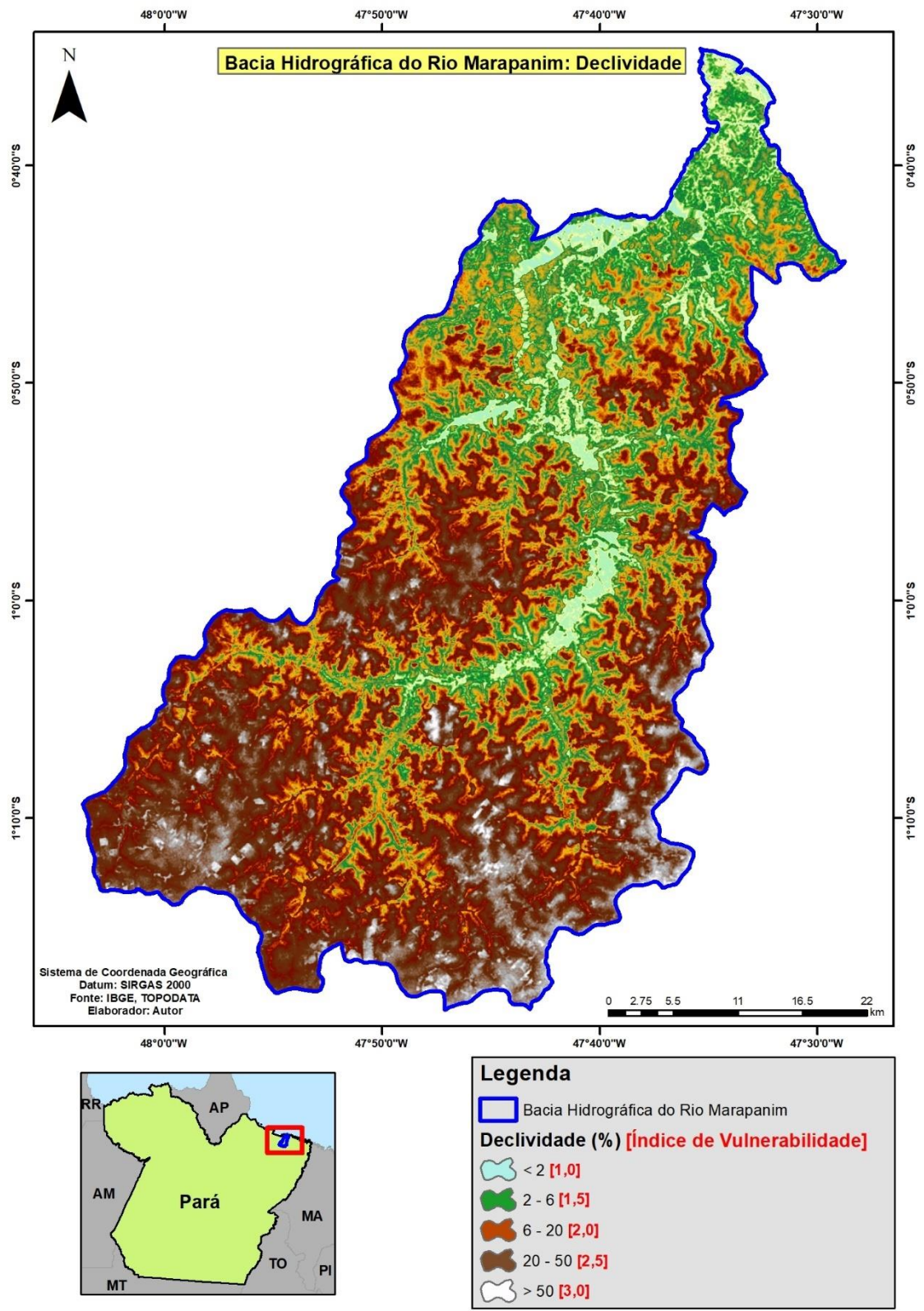
Fonte: Autor.

A presença de pequenos valores como de Sedimento Aluvionar, Sedimento Detrito-Laterítico que representa 0,15% pode estar relacionada um erro devido à diferença de escala do levantamento da base cartográfica.

4.2 Vulnerabilidade para o tema de Geomorfologia (R)

Conforme propôs Crepani *et al.* (2001), a análise da geomorfologia da BHRM foi dividida em 5 classe como mostra a Figura 9.

Figura 9- Mapeamento da declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA



Fonte: Autor.

Os cálculos das declividades, apresentados na tabela 10, mostra que as mais baixas – com inclinação menor que 2%- abrangem 338,07 km² (13,84%) da área da BHRM,

caracterizando-se como uma área de vulnerabilidade estável (1,0); enquanto a inclinação 6-20%, sendo a mais abrangente, contempla 633,3 km² (25,92%) da área da BHRM sendo caracterizada como uma área de média vulnerabilidade (2,0).

Tabela 10- Declividades e Vulnerabilidades da BHRM.

VULNERABILIDADE GEOMORFOLOGIA				
Classe Morfométrica	Declividade (%)	Área (km²)	Porcentagem	Vulnerabilidade (Crepani <i>et al.</i>, 2001)
Muito Baixa	< 2	338.07	13.84%	1
Baixa	2- 6	543.7	22.25%	1.5
Média	6- 20	633.3	25.92%	2
Alta	20- 50	587.30	24.04%	2.5
Muito Alta	> 50	340.70	13.95%	3
TOTAL		2443.07	100.00%	

Fonte: Autor.

4.3 Vulnerabilidade para o tema de Solo (S)

Os tipos de solos identificados na BHRM foram: Latossolos Amarelos Distroficos, ocupando 87,83% (2145,61 km²) da área da bacia, caracterizado como um solo de vulnerabilidade estável, que a ele é atribuído o valor 1,0 dentro da classificação de Crepani *et al.* (2001); Gleissolos que abrange 6,73% (164,65 km²) e Neossolo Flúvico e Quartzarênico abrangem 3,57% (87,26 km²) da área da BHRM, que dentro da escala de Crepani *et al.* (2001) atribui-se, tanto para esse e este, o valor 3,0, assim identificando-os como um solos instáveis (Tabela 11).

Tabela 11- Tabela de Vulnerabilidade pedológica da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA

VULNERABILIDADE PEDOLÓGICA			
Classe	Área (km ²)	Porcentagem	Vulnerabilidade (Crepani <i>et al.</i> , 2001)
Latossolos Amarelos Distroficos	2145.61	87.83%	1
Gleissolos Salicos Sodicicos	164.45	6.73%	3
Neossolo Flúvico e Quartzarênico	87.26	3.57%	3
Massa d'água	45.63	1.87%	1
TOTAL	2442.94	100%	-

Fonte: Autor.

O Latossolo Amarelo Distrófico é predominante na bacia ocupando quase a totalidade dela. Ele advém de material mineral com horizonte B latossólico logo abaixo de qualquer tipo de horizonte A, pode ser encontrado dentro de 200 cm da superfície do solo ou dentro de 300 cm, se o horizonte A apresentar mais de 150 cm de espessura (Embrapa, 2018).

Além disso, são bem homogêneos e possuem uma coloração amarelada, sua drenagem é considera boa, embora na maioria das vezes possuam baixa fertilidade. Essa classe de solo pode ser encontrada em grandes extensões Baixo e Médio Amazonas e Zonas Úmidas Costeiras (IBGE, 2015).

Por outro lado, os Gleissolos se caracterizam por estarem permanentemente alagados ou saturados de água, além de serem constituídos por material mineral com horizonte glei se iniciando, aproximadamente, nos primeiros 150 cm, logo abaixo do horizonte A ou E (Embrapa, 2018).

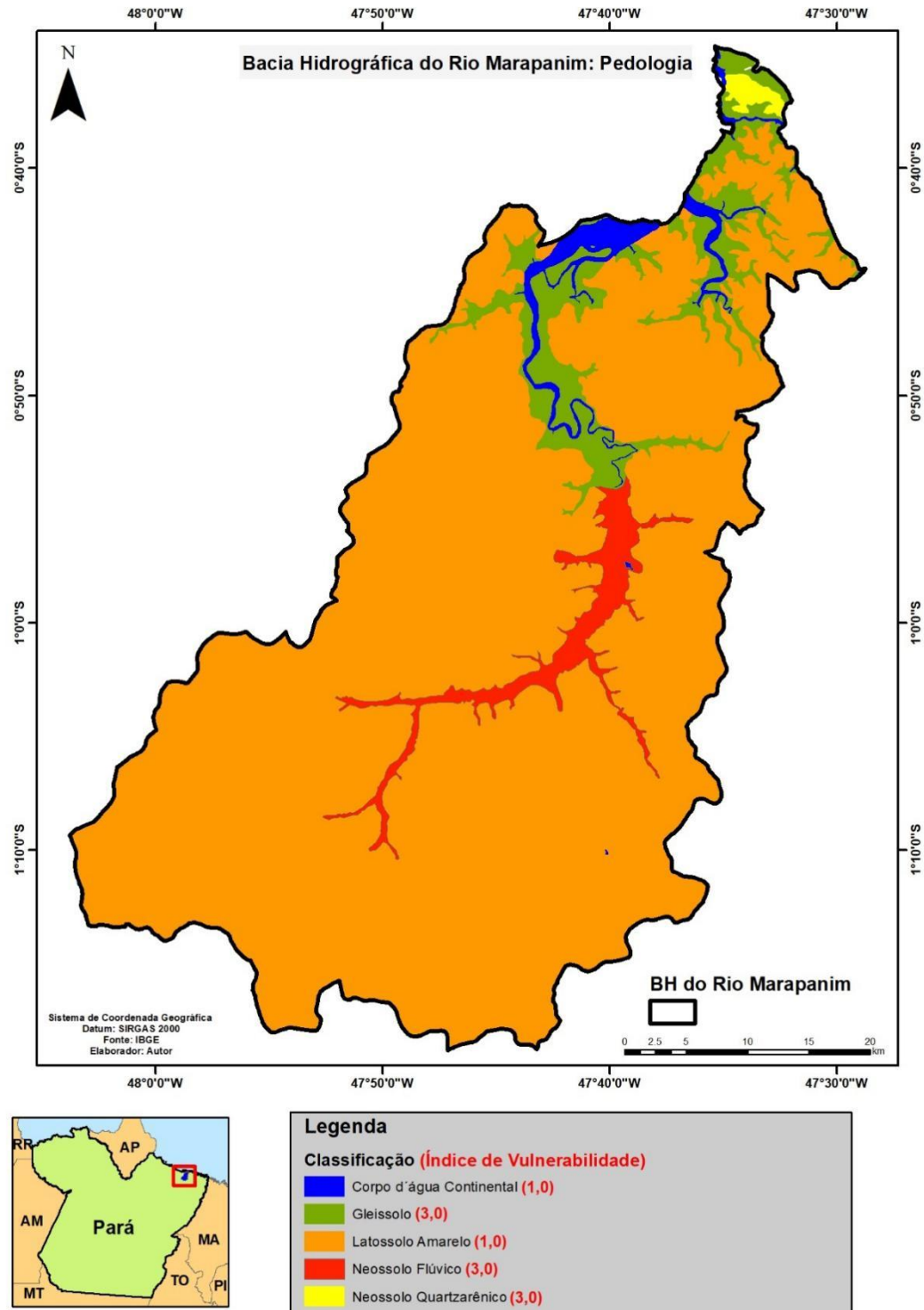
Os Gleissolos estão presentes, praticamente, em todas as regiões do Brasil. Outras características são: a má drenagem e baixa fertilidade; ocupa áreas alagadas ou sujeitas a alagamentos como planícies de inundação de rios e córregos; e apresentam uma cor acinzentada- ou azuladas ou esverdeadas (IBGE, 2015).

Enquanto os Neossolos são constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso (menos de 30 cm de espessura), sem apresentar qualquer tipo de horizonte B. Ocorrem em quase todas as regiões do país. Os Quartzarênicos são mais expressivos na região nordeste do

país, enquanto os flúvicos ocorrem de forma dispersa em ambientes específicos como em planícies a margem de rios e córregos (IBGE, 2015).

A figura 10 mostra a distribuição de cada uma das classes dentro da BHRM.

Figura 10- Mapeamento dos solos da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA

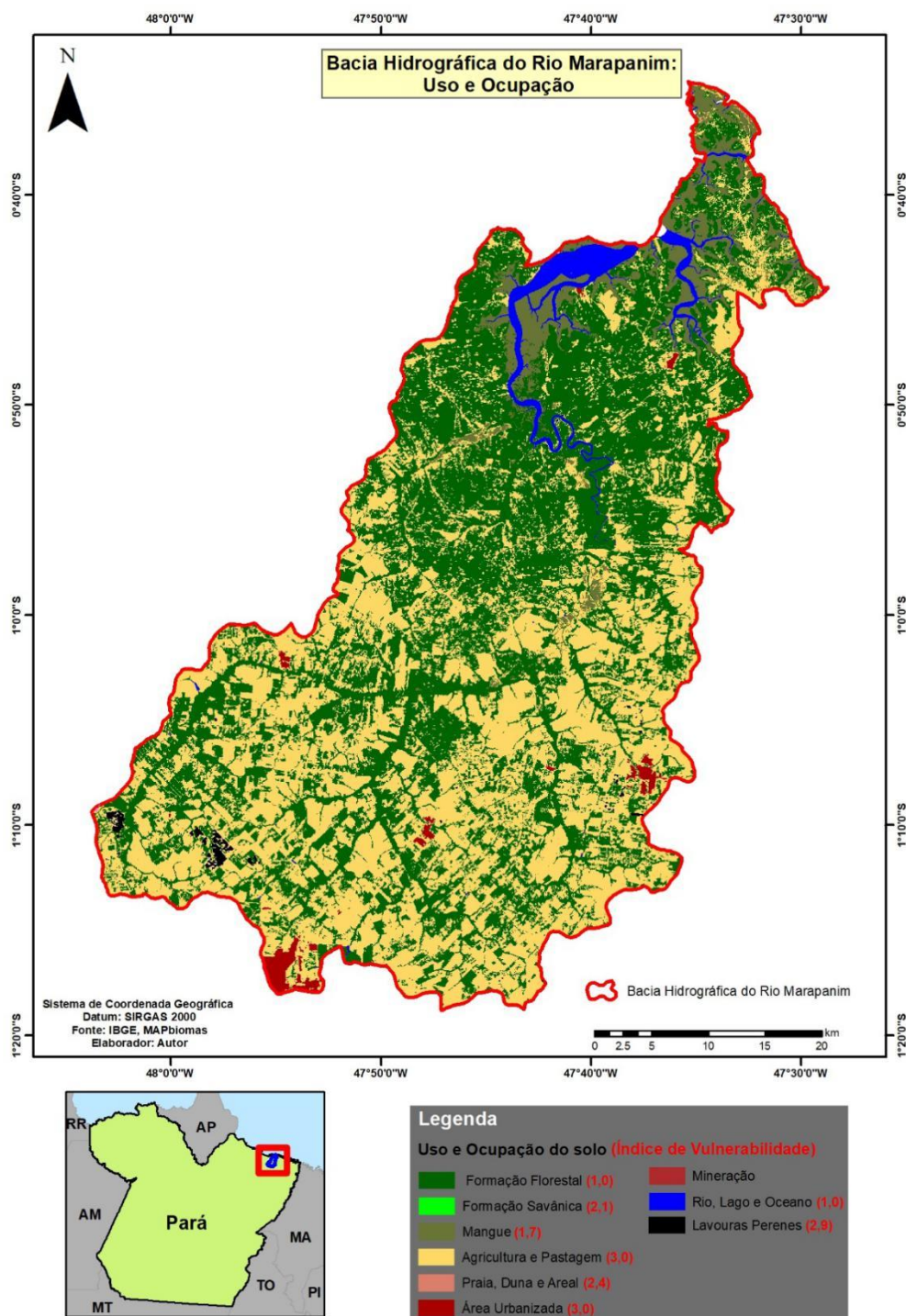


Fonte: Autor.

4.4 Vulnerabilidade para o tema de Vegetação e Uso (Vg)

Foi através dos dados do MapBiomas, coleção 7.0, do ano de 2021, que o mapeamento da vegetação foi realizado e por ele foi possível identificar 8 classes distintas como mostra a Figura 11.

Figura 11- Mapeamento do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA



Fonte: Autor.

As classes foram organizadas e cada uma delas passou a receber um valor de vulnerabilidade conforme proposto por Crepani *et al.* (2001) como mostra a tabela 12.

Tabela 12- Vulnerabilidades e Classes de Uso e Ocupação da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA

VULNERABILIDADE DO USO DO SOLO			
Classificação Mapbiomas	Área (km²)	Porcentagem	Vulnerabilidade (Crepani <i>et al.</i>, 2001)
Formação Florestal	1146.84	46.96%	1
Formação Savânica	0.13	0.01%	2.1
Formação Campestre	23.65	0.97%	2.5
Mangue	109.06	4.47%	1.7
Agropecuária e Pastagem	1082.44	44.33%	3
Lavouras Perenes	7.87	0.32%	2,9
Praia, Duna e Areal	1.05	0.04%	2.4
Área Urbanizada	20.2	0.83%	3
Rio, Lago e Oceano	50.8	2.08%	1
TOTAL	2442.07	100.00%	

Fonte: Autor.

O uso e ocupação demonstrou que a classe predominante é a Formação Florestal ocupando 1146,84 km² (46,96%) da área da BHRM que segundo Mapbiomas (2020), na Amazônia, pode ser caracterizado por: Floresta Ombrófila Densa, Floresta Estacional Sempre-Verde, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual, Savana Arborizada. Dessa maneira atribuindo o menor valor de vulnerabilidade- 1,0- que indica uma estabilidade.

A área correspondente a mineração dentro da BHRM é menor que 0,01%, por isso não entrou nos cálculos tão pouco fora atribuído a ela um índice de vulnerabilidade.

Por outro lado, com diferença de pouco mais de 2% de área, a classe agropecuária (que engloba pastagem, agricultura e silvicultura) abrange a área 1090.34 km² (44.65%) da BHRM. Tal valor de pode ser justificado pela substituição da vegetação natural por agropecuária, que pode estar relacionada ao desenvolvimento da cultura da palma de óleo na região, visto que 90% da produção nacional acontece na Mesorregião do nordeste paraense (Barbosa *et al.*, 2021).

A agropecuária pode ser uma atividade potencialmente poluidora em virtude da aplicação de substâncias (agrotóxicos) no solo, de forma indiscriminada, as quais possivelmente alcançam os recursos hídricos próximos através do escoamento superficial, ela também influencia diretamente nos processos hidrológicos pela retirada/substituição da vegetação que pode ocasionar assoreamento dos corpos d'água (Veronez, 2011; Santos, 2016).

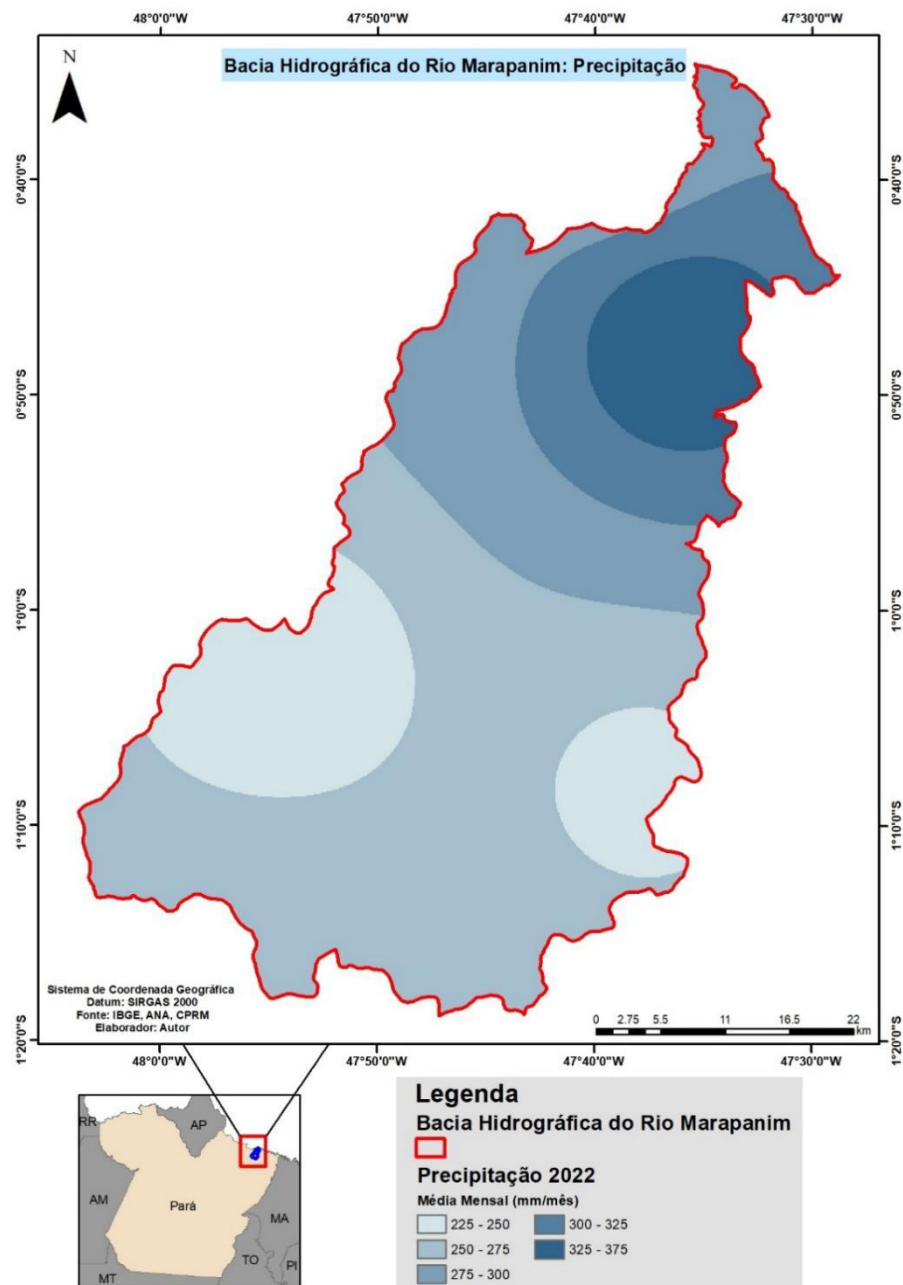
Levando em consideração Crepani *et al.* (2001) áreas relacionadas a agropecuária

(pastagens, as culturas perenes e as culturas anuais) usa-se respectivamente os valores de 2,8, 2,9 e 3,0 à escala de vulnerabilidade ambiental.

4.5 Vulnerabilidade para o tema do Clima (C)

A partir da metodologia aplicada, a classificação da vulnerabilidade climática para o ano de 2022, levando em consideração os dados obtidos no *plugin* da ANA no *software* QGIS 3.28, a precipitação na BHRM varia como mostra a figura 12.

Figura 12- Mapeamento da Precipitação da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA

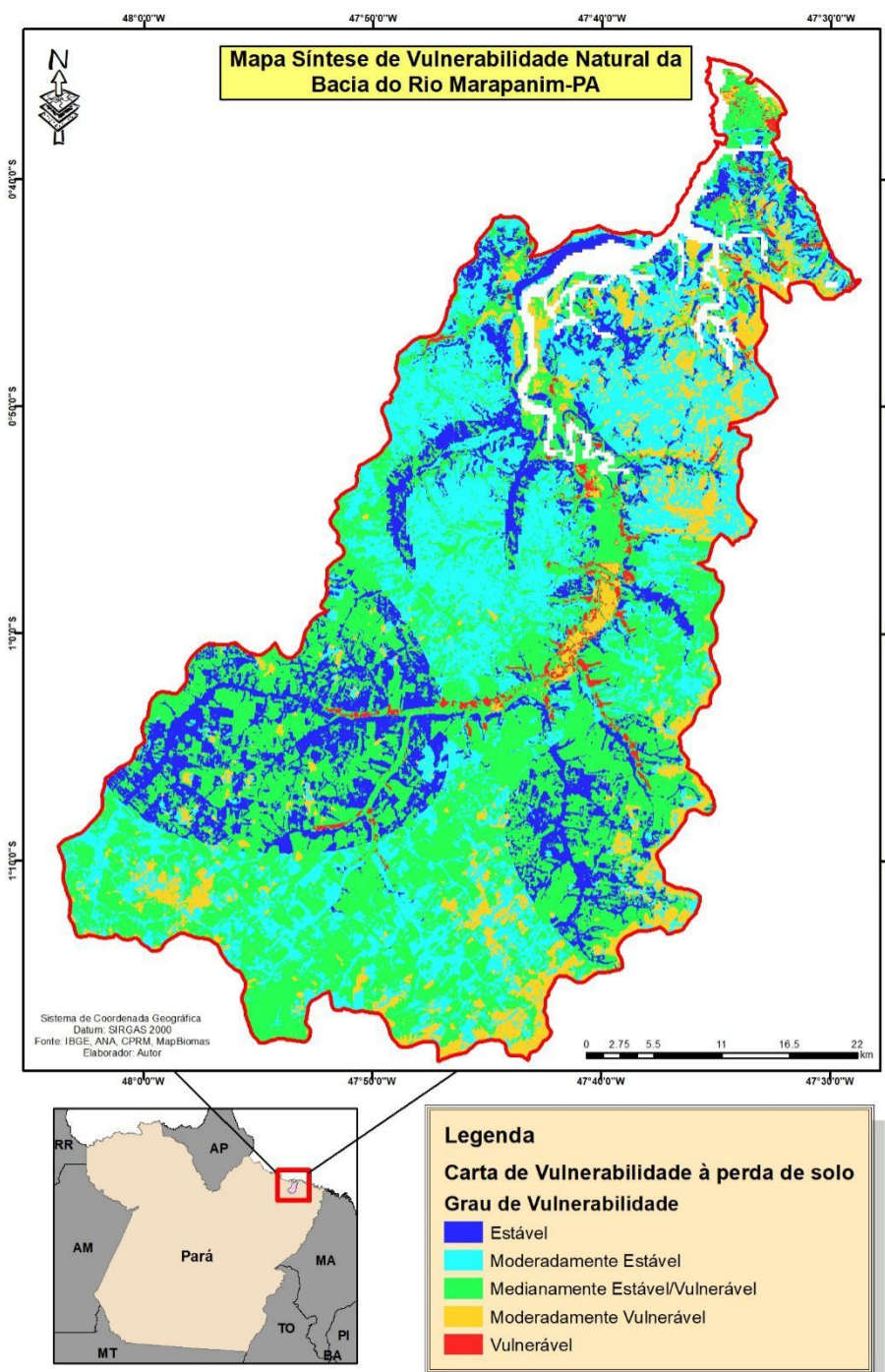


Fonte: Autor.

4.6 Carta de Vulnerabilidade Natural à Perda de solo Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim

Em posse das respectivas vulnerabilidades de cada critérios calculou-se a vulnerabilidade à perda de solo da BHRM a partir da aplicação da Equação 6 no QGIS 3.28 e, posteriormente, gerar o mapa síntese de vulnerabilidade. (Figura 13).

Figura 13- Vulnerabilidade à perda de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA



Fonte: Autor.

A aplicação da metodologia de Crepani *et al.* (2001) na BHRM mostrou uma diversificação nos graus de vulnerabilidade. Isso ocorre devido as características dos critérios cruzados quanto a definição da vulnerabilidade à perda de solo. A partir da análise dos critérios, singularmente, observou-se uma diferença entre as características fisiográficas.

Os temas da vegetação (apresentado pelo mapa de uso e cobertura) e clima foram os que apresentaram maiores diversificações na escala de vulnerabilidade; diferentemente do que é apresentando no tema de pedologia que mostra que 87.83% da área é considerada “estável”, indicando que os solos da bacia são pouco suscetíveis à erosão.

Já a geomorfologia- apresentada pela amplitude do relevo e declividade- ocorre de forma bem distribuída, porque nenhuma das classes ocorre em menos de 10% da área da BHRM, embora os valores oscilem de 1,0 (estável) a 3,0 (vulnerável), diferente do estudado por Chaves *et al.* (2015) na Bacia do rio Taperoá, onde os riscos que prevaleceram foram os baixo (27,7%) e muito baixo (59,3%), que representam áreas planas e suave onduladas.

A geologia apresentou uma varia de moderadamente vulnerável a vulnerável, que corresponde aos valores que variam de 2,4 (moderadamente vulnerável) a 3,0 (vulnerável).

As áreas que obtiveram menor índice de vulnerabilidade (Estável), após a álgebra de mapas, correspondem às áreas da Formação Florestal- que apresentam nível 1,0 de estabilidade- ocupando 389.60 km² da bacia (16.59%%) e sendo identificadas com o grau de vulnerabilidade estável e classificadas como uma vulnerabilidade baixa.

A “vulnerabilidade baixa” está relacionada com a menor interferência antrópica, visto que esses locais apresentam mais áreas cobertas por cobertura vegetal que tendem a ser menos suscetíveis a mudanças naturais, uma vez que, o solo se encontra protegido e menos propenso à erosão (Tucci *et al.*, 1997; Prata *et al.*, 2021)

Por outro lado, a BHRM possui 998.503 km² (42,51%) de área considerada com o grau de vulnerabilidade “Moderadamente Estável/Vulnerável”, esse valor aproxima-se muito da área preenchida pela classe “Agropecuária e Pastagem” a qual, segundo a classificação de vulnerabilidade, atribuiu-se o valor máximo de instabilidade (3,0). A prática de atividades agrícolas/pasto, sem o devido cuidado, pode promover alteração no ciclo hidrológico e intensificar dos processos erosivos através do escoamento superficial (Lee *et al.*, 2018; Cavalcantes *et al.*, 2019).

Igawa *et al.* (2018) para determinar a vulnerabilidade à perda de solo da BHRM elaborou um estudo que analisou, de forma integrada usando a metodologia de Crepani *et al.* (2001) com os mesmos critérios utilizados nessa pesquisa (geologia, geomorfologia, uso e ocupação, solos e clima); obteve como resultado para dois graus de vulnerabilidade

predominantes: “Moderadamente estável” 1.488,20 km² (64,81%) e “Medianamente estável/vulnerável com 1.488,20 km² (64,81%);

Embora a metodologia utilizada por Igawa *et al.* (2018) assemelha-se a deste trabalho, por usar mesmo critérios e classificação de vulnerabilidade, a partir da classificação feita nessa pesquisa foi possível um total de outros graus de vulnerabilidades dentre eles: “Moderadamente Vulnerável” que abrange 228,43 km² (9,73%) e “Vulnerável” com 35,11 km² (1,5%).

Ao realizar um estudo de vulnerabilidade na região do salgado (zona costeira da BHRM), Prata *et al.* (2021) também identificou áreas vulneráveis. Embora os valores de abrangência das áreas classificadas como “vulnerável” dessa pesquisa sejam diferentes das encontradas por Prata *et al.* (2021) suas localizações possuem um padrão, sendo possível observá-las principalmente às margens dos cursos d’água.

Ao estudar a dinâmica dos centros urbanos do litoral paraense, Santos *et al.* (2023), observou aspectos preocupantes uma vez que o crescimento desordenado das cidades acaba levando a população mais pobre a ocupar locais inapropriados, como os manguezais, o que leva uma descaracterização da área que gera riscos tanto as pessoas quanto ambientais.

Ao analisar impactos dentro de um BH, Soares Júnior (2019), percebeu que critérios que recebem valores tendendo à estabilidade (valor igual a 1,0) influenciam os demais, em virtude disso, optou-se em elaborar o mapa de vulnerabilidade sem a presença da massa d’água, que equivale a 93,23 km² (0,04% da área da bacia).

A retirada da massa d’água permitiu identificar pequenas áreas “Moderadamente Estáveis”, uma vez que, ao realizar o teste com a massa d’água tais áreas foram classificadas, equivocadamente, após a aplicação da metodologia como “Estáveis”

A tabela 13 resume os graus de vulnerabilidade da bacia e sua distribuição dentro da BHRM;

Tabela 13- Grau de vulnerabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA

Grau de Vulnerabilidade	Classe	Valor	Área (km²)	Porcentagem
Estável	Muito baixa	1.0-1.3	389.60	16.59%
Moderadamente Estável	Baixa	1.4-1.7	697.18	29.68%
Moderadamente Estável/vulnerável	Moderada	1.8-2.2	998.50	42.51%
Moderadamente Vulnerável	Alta	2.3-2.6	228.43	9.73%
Vulnerável	Muito Alta	2.7-3.0	35.11	1.50%
TOTAL			2348.84	100.00%

Fonte: Autor.

De modo geral, a BHRM apresenta um pequeno equilíbrio uma vez que a 16,59% da sua área foi considerada “Estável” e 29,68% “Moderadamente Estável”, somando 46,27%; enquanto as áreas com vulnerabilidade “Estável/Vulnerável”, “Moderadamente Vulnerável” e

“Vulnerável” somam 53,25% da área da bacia.

5 CONCLUSÃO

Após as devidas correções e análises o estudo apontou a necessidade urgente de uma gestão adequada à Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim-PA (BHRM), visto que essa apresenta um pequeno desequilíbrio quanto suas áreas as quais se encontram com graus de vulnerabilidade entre “estável” (46,27%) e “vulnerável” (53,25%).

O mapa de vulnerabilidade possibilitou identificar que as áreas com presença densa de vegetação são aquelas as quais possuem um maior equilíbrio, diferentemente do que ocorre em locais que a vegetação tenha sido retirada para implementação de algum uso; daí a importância de práticas de proteção e conservação das florestas, a fim de manter a qualidade ambiental da bacia.

O uso das geotecnologias foi essencial para a realização das análises feitas nesse trabalho. A álgebra de mapa possibilitou integrar várias informações e caracterizar a BHRM quanto seu meio físico permitindo a geração de um mapa o qual se aproxima da realidade da região.

Embora os dados utilizados neste trabalho possuam qualidades e escalas diferentes, a aplicação da metodologia de Crepani *et al.* (2001) possibilitou a obtenção de resultados satisfatórios.

Com a aplicação desse método, foi possível alcançar todos os objetivos (Geral e Específicos) como a obtenção de índices de vulnerabilidade para cada um dos critérios (geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação do solo e precipitação); identificar e localizar áreas as quais possuem maiores índices e, por fim, gerar um mapa síntese de vulnerabilidade para a Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim.

Porém, a ausência de dados com escalas maiores (melhor qualidade) para realizar trabalhos desse tipo -em uma das áreas mais antigas de ocupação da Amazônia- é um obstáculo que precisa ser superado para desenvolvimento de trabalhos futuros com maiores precisões.

Apesar da metodologia aplicada atingir os objetivos propostos e gerar um produto relevante para gestão/planejamento de bacia hidrográfica, isso não exclui a necessidade da realização de pesquisas de campo as quais façam levantamentos que fortaleçam esse tipo pesquisas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. S; VIEIRA, I. C. G. Centro de Endemismo Belém; status da vegetação remanescente e desafios para a conservação da biodiversidade e restauração ecológica. **Revista de Estudos Universitários**, Sorocaba, SP, v. 36, n. 3, p. 95-111, dez. 2010. Disponível em: <http://periodicos.uniso.br/index.php/reu/issue/view/76/showToc>. Acesso em 20 ago 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Comitês de Bacia Hidrográfica**. Brasília: ANA, 2019 Disponível em: <http://www.gov.br/ana>. Acesso em: 24 ago. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **As regiões hidrográficas**. Brasília, DF: ANA, 2020. Disponível em: <https://url.gratis/Tor9us>. Acesso em: 27 fev. 2023.
- ANDRADE, A. S. *et al.* Dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, Pará, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 4, p. 395-405, 2020.
- ANDRADE, Ádanna de Souza *et al.* Fragmentação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Marapanim, nordeste do Pará. **Ciência Florestal**, v. 30, p. 406-420, 2020.
- ANJINHO, P. *et al.* 2020. Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: a Brazilian basin case study. **Land Use Policy**, v. 100, p. 104946.
- BAPTISTA, Octávio Glauco Soares; NASCIMENTO, Lucio Fabio Cassiano. Água potável: escassez e gestão do consumo em condomínios residenciais metropolitanos. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 1, p. 8384-8397, 2022.
- BARBOSA, Mateus Trindade *et al.* Geoinformação como ferramenta na variação temporal na lavoura de dendê na mesorregião do nordeste paraense. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. e19210716521-e19210716521, 2021.
- BARBOSA, Rubens Barrichello Gomes *et al.* Geotecnologias aplicadas ao estudo da cobertura vegetal em bacia hidrográfica: uso do software “R”. **Revista Geama**, v. 7, n. 1, p. 34-43, 2021.
- BECKER, B. K.; EGLER, C. A. G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico econômico pelos estados da Amazônia Legal**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais e da Amazônia Legal, 1996. 43 p.
- BENTES, Natalia Mascarenhas Simões; ALVES, Sandro Júnior do Carmo; CUNHA, Rafaela Furtado da. A Governança participativa da água no comitê da bacia hidrográfica do Rio Marapanim na Amazônia. **Jus Scriptum's International Journal of Law**, v. 6, n. 2, p. 109-132, 2021.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações**. Petrópolis: Vozes, 2010.

BONFIM, N. P. S. **Caracterização ambiental do alto curso da bacia hidrográfica do rio catolé – bahia: bases para o planejamento e gestão territorial.** 2020. 153f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO-UESB) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB). Vitória da Conquista 2020. Disponível em: http://www2.uesb.br/ppg/ppgeo/wpcontent/uploads/2020/11/Dissertacao_Nielson-Versao-final_compressed.pdf. Acesso em: 27 mar. 2023.

BRANDÃO, R. A. **Análise da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio das Flores-Oeste de Santa Catarina.** 2020. 72f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Santa Catarina, 2020.

BRANDÃO, R. A.; TOMAZONI, J. C. Estudo da vulnerabilidade ambiental da bacia do rio das Flores no Oeste de Santa Catarina. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 20, Florianópolis- SC. **Anais[...]**. Florianópolis-SC: [s.n], 2023.

BRASIL. Presidência da República Federativa. **Constituição da república federativa do Brasil.** 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 10 set. 2023.

BRZEZINSKI, Maria Lúcia Navarro Lins; GIRÓN, Melanys Yessenia Rodríguez. Aquífero Guaraní e políticas públicas na tríplice fronteira. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 19, n. 44, 2022. DOI: <https://doi.org/10.18623/rvd.v19i44.2155>.

CARVALHO, Andreza Tacyana Felix. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020.

CAVALCANTE, J.C. *et al.* Análise multicriterial na definição de áreas prioritárias à conservação florestal em São Félix do Xingu-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 1, p. 167-181, 2020.

CAVALCANTE, R. B. L.; PONTES, P. R. M.; SOUZA- FILHO, P. W. M.; SOUZA, E. B., Opposite effects of climate and land use changes on the anual water balance in the Amazon Arco of deforestation. **Water Resources Research**, v.55, p.3092-3106, 2019.

CHAVES, I. B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. de; CHAVES, L. H. G. Modelagem e mapeamento da degradação da caatinga. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 1, p. 183 – 195, jan. – mar., 2015.

CLAUDINO-SALES, Vanda; LIMA, Ernane Cortez; DINIZ, Simone Ferreira. Análise geoambiental da bacia hidrográfica do rio Acaraú, Ceará, Nordeste do Brasil: Geoenvironmental analysis of the hydrographic bassin of Acaraú River, Ceará, Northeast of Brazil. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 38, p. 90-109, 2020.

COELHO, Andréa dos Santos *et al.* Impactos das mudanças de uso da terra nas áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no nordeste do estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Naturais, v. 13, n. 1, p. 107-120, jan./abr. 2018.

COELHO NETTO, Ana Luiza. Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, Antonio José Teixeira; CUNHA, Sandra Baptsta da (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1994. p. 93-148.

CORDEIRO, Iracema Maria Castro Coimbra *et al.* (org.). **Nordeste paraense: panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: EDUFRA, 2017. 323 p.

COSTA, T. C. *et al.* Vulnerabilidade ambiental em sub-bacias hidrográficas do Estado do Rio de Janeiro por meio de integração temática da perda do solo (USLE), variáveis morfométricas e o uso/cobertura da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais[...]** Florianópolis: INPE, 2007. p. 2493-2500.

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

ELESBON, A. A. A.; GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.da; CASTRO, I. de. Uso de dados SRTM e plataforma SIG na caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Braço Norte do Rio São Mateus-Brasil. **Rem: Revista Escola de Minas**, v.64, n.3, p. 281-288, 2011.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Grupo Barreiras: características, gênese e evidências de neotectonismo**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 31p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Rio de Janeiro: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2018

FAGUNDES, M. G. **Estudo comparativo da variação de escala na fragilidade ambiental e vulnerabilidade natural do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiaí**. 2013. 124f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

FERREIRA JUNIOR, J. J.; DANTAS, M. J. F. Análise do albedo a superfície e de índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Pacoti/CE. **Revista Tecnológica**, v. 39, n.2, p. 1-18, 2018.

FREIRES, Eduardo Viana *et al.* A análise geossistêmica e a ecodinâmica nos estudos de vulnerabilidade. Conservação. In: PONTES, M.L.; WENCESLAU, E.C. (ed.). **Saberes e prática em conservação** - do material imaterial. São José do Rio Preto, SP: Reconecta Soluções, 2022. cap. 5, p. 80-89.

FREITAS, L. E.; NUNES, F. S. B.; CRUZ, J. C H. O.; VILELA, C.; MENDES, S.; SILVA, A. C.; BORGES, G. **Atlas ambiental da bacia hidrográfica do rio Macaé**. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda, 2015. p. 10-98.

FONSECA, E. H. *et al.* Método de análise hierárquica de processos (AHP) aplicado a fragilidade ambiental da sub-bacia hidrográfica rolante, Brasil. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 17, n. 1, 2023. DOI:<https://doi.org/10.18316/rca.v17i1.8084>.

GOMES, M. *et al.* Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da Serra Gaúcha. **Scientia cum Industria**, v. 6, n. 3, p. 38-43, 2018.

GUTIERREZ, D. M. G. **Contribuições para criação do primeiro comitê de bacia hidrográfica do Estado do Pará**. 2017 46 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Instituição de Ensino, Universidade do Estado do Pará, Belém, 2017.

IGAWA, Tassio; MACIEL, Maria. Vulnerabilidade natural à perda de solo na Bacia Hidrográfica do rio Marapanim, Nordeste Paraense. **Enciclopédia Biosfera**, v. 15, n. 27, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Manual técnico em geociências–manual técnico em pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>. Acesso em: 7 out 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS-INPE. **A Amazônia em números**, 2013. Disponível em: <https://imazon.org.br/imprensa/a-amazonia-em-numeros/>. Acesso em: 23 fev. 2023.

LEE, E., LIVINO, A., HAN, S. C., ZHANG, K., BRISCOE, J., KELMAN, J., MOORCROFT, P. Land cover change explains the increasing discharge of the Paraná River. **Regional Environmental Change**, 18, 1871-1881, 2018.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. **Fatos florestais da Amazônia**. Belém: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2005.

LIRA, Karen Carrilho da Silva; FRANCISCO, Humberto Rodrigues; FEIDEN, Aldi. Classificação de fragilidade ambiental em bacia hidrográfica usando lógica Fuzzy e método AHP. **Sociedade & Natureza**, v. 34, p. e62872, 2022.

MAPBIOMAS. **Descrição da legenda coleção 7.0 MapBiomias**. 2020. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/09/Legenda_Colecao-8-Descricao-Detalhada-PDF-PT-3-1.pdf. Acesso em: 07 out. 2023.

MAPBIOMAS. O Projeto. [s. l.], 2019. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 4 nov. 2023

MARANDOLA JÚNIOR, Eduardo; HOGAN, Daniel Joseph. Vulnerabilidade e riscos: entre geografia e demografia. **Rev. Bras. Estud. Popul**, p. 29-53, 2005.

MARGULIS, Sergio. **Causas do desmatamento da Amazônia brasileira**. Brasília,DF: Banco Mundial, 2003.

MATULE, Euclides Délio; MACARRINGUE, Lucrêncio Silvestre. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo no distrito de Boane em Moçambique. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 211-221, 2022.

MIARA, Marcos Antonio; OKA-FIORI, Chisato. Análise por múltiplos critérios para a definição de níveis de fragilidade potencial-um estudo de caso: bacia hidrográfica do rio Cará-Cará, Ponta Grossa/PR. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 13, p. 85-98, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)**: 3ª fase (2012-2015) pelo uso sustentável e conservação da Floresta. Brasília, DF: MMA, 2013. 174 p. Disponível em http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80120/PPCDAm/_FINAL_PPCDAM.PDF. Acesso em: 10 de jul.2023.

NASCIMENTO, Flávio Rodrigues; SAMPAIO, José Levi Furtado. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, v. 6, n. 1, p. 21, 2004.

NEVES, Carlos Eduardo das *et al.* A importância dos geossistemas na pesquisa geográfica: uma análise a partir da correlação com o ecossistema. **Sociedade & Natureza**, v. 26, p. 271-285, 2014.

NÚCLEO DE MEIO AMBIENTE-NUMA. **Caderno de mapas da Bacia do Rio Marapanim**: caracterização da bacia e das subbacias – localização e acesso aspectos socioambientais – aspectos socioeconômicos. Belém: NUMA/UFPA, 2022.

O ECO. **Dicionário ambiental**: o que são unidades de conservação. 19 abr. 2013. Disponível em: <https://oeco.org.br/category/dicionario-ambiental/>. Acesso em: 07 jul. 2023.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS-ONU. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD. **Sustentar o progresso humano**: reduzir as vulnerabilidades e reforçar a resiliência. Relatório de Desenvolvimento Humano. eISBN 978-92-1-056669-8. 1 UN Plaza, New York, NY 10017, USA, 2014.

PARÁ. Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS. **Lei Estadual nº 6381** de 25 de julho de 2001. Disponível em: Acesso em: 10 set. 2019.

PEREIRA, B. W. *et al.* Fragmentação da vegetação arbórea na bacia hidrográfica do Rio Apeú, Nordeste do Estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 55, n. 4, p. 297-305, 2012.

PEREIRA, Jorge Luis Gavina *et al.* Métricas da paisagem na caracterização da evolução da ocupação da Amazônia. **Geografia**, p. 59-90, 2001.

PEREIRA, M. P. R. *et al.* Participação popular nos comitês de bacia hidrográfica. do discurso a prática na sub bacia do Ribeirão Jequitibá-MG. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA E GESTÃO TERRITORIAL, 1. & SEMANA ACADÊMICA DE GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE LONDRINA, 34., 2018, [Londrina]. **Anais[...]**. v. 1, p. 492- 502.

PETRY, I. *et al.* **Manual de Aplicação plugin ANA Data Acquisition V 1.0. Manual Técnico**. [S.l.]: HGE, IPH, UFRGS, 2021.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PRATA, Tatiana Chagas; LIMA, Aline Maria Meiguins de. Vulnerabilidade ambiental da costa oeste da Região Salgado Paraense (Estado do Pará, Norte do Brasil). **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 8, n. 20, p. 1315-1332, 2021.

RIBEIRO, Bárbara Maria Giacom; MENDES, Carlos André Bulhões. Índice de qualidade ambiental urbano: uma proposta metodológica aplicada a áreas urbanas de ocupação irregular. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, 2015, João Pessoa. **Anais[...]**. João Pessoa: INPE, 2015. p. 25-29.

ROCHA, Paulo Cesar; SANTOS, Aline Aparecida dos. Análise hidrológica em bacias hidrográficas. **Mercator**, Fortaleza, v. 17, e1702, 2018.

RODRIGUES, Hellem Cristina Teixeira *et al.* Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Barcarena-PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1598-1612, 2020.

SALOMÃO, R. P. *et al.* Sistema capoeira classe: uma proposta de sistema de classificação de estágios sucessionais de florestas secundárias para o estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi-Ciências Naturais**, v. 7, n. 3, p. 297-317, 2012.

SAMPAIO, S. M. N. *et al.* **Dinâmica da cobertura vegetal e do uso da terra na mesorregião Nordeste paraense**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2017. Cap. iv. p. 131-159.

SANTIAGO, C. M. C. *et al.* A. Arranjo espacial da bacia hidrográfica do Rio São Nicolau-Piauí a partir da análise morfométrica e dos aspectos ambientais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 2, p. 402-421, 2015.

SANTOS, Daniel Araújo Ramos dos. **A rede de drenagem e seu significado geomorfológico: anomalias de drenagens e tectônica recente na bacia do rio Formoso, Tocantins**. 2016. 157f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Nacional, 2016.

SANTOS, L. B. **Modelagem de uso da terra na bacia hidrográfica do rio Marapanim no Nordeste do Estado do Pará**. 2018. 117 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais) - Núcleo de Meio Ambiente, Universidade Federal do Pará. Belém, Pará, 2018. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial. São José dos Campos: INPE, 2001. Disponível em: <http://sap.ccst.inpe.br/artigos/CrepaneEtAl.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2023.

SANTOS, Lucyana Barros *et al.* Usos da terra e conservação da biodiversidade na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 03, p. 929-943, 2019.

SANTOS, M. A. M. *et al.* Modelagem espacial da fragilidade ambiental com auxílio de ferramentas multicritérios e SIG: caso Parque Estadual da Lagoa do Açu. In: ENCONTRO NACIONAL DE MODELAGEM COMPUTACIONAL, 22. & ENCONTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS, 10., 2019, Juiz de Fora – MG. **Anais[...]**. Juiz de Fora: [s.n.], 2019. p. 1-10.

SANTOS, Lucyana Barros *et al.* Análise da dinâmica do uso da terra na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1935-1952, 2020.

SOARES JÚNIOR, Celso Jose Roberto. **Análise hierárquica processual do índices de vulnerabilidade natural à erosão e fragilidade ambiental na bacia do igarapé São Francisco**: possibilidades para o planejamento de bacias hidrográficas. 2019. 121 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2019.

SOARES JÚNIOR, C. J. R. Utilização da técnica AHP nos índices de vulnerabilidade natural a erosão na bacia hidrográfica do Igarapé São Francisco como suporte para o ordenamento territorial. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, p. 694-704, 2020.

SANTOS, M. C. *et al.* Ocupações de manguezais: risco, vulnerabilidade e território usado na zona costeira paraense. **GeSec: Revista de Gestão e Secretariado**, v. 14, n. 8, p. 12554-12572, 2023.

SILVA, M. F.; MANIESI, V.; SOUZA, R. M. S. Vulnerabilidade a erosão e aplicações socioambientais no Baixo Interflúvio Madeira-Purus, AM/RO. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 598-612, 2021.

SIMÕES, Thalles Santos. **Análise da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do ribeirão Esperança-PR**: estudo comparativo entre duas metodologias. 2017. 78 f. Dissertação (mestrado em Geografia)--Universidade Estadual de Maringá, 2017, Maringá, PR.

SOUSA, J. V.; JERÔNIMO, T. B.; MELO, F. J. C.; AQUINO, J. T. Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso. **Exacta**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2017. Disponível em: <http://periodicos.uninove.br/index.php?journal=exacta&page=article&op=view&path%5B%5D=6691>.

SOUZA, S. R. *et al.* Caracterização do conflito de uso e ocupação do solo nas áreas de preservação permanente do rio Apeú, Nordeste do Pará. **Floresta**, v. 42, n. 4, p. 701-710, 2012.

SOUZA, C. A. *et al.* Biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica. In: PINHEIRO, M. A. A.; TALAMONI, A.C.B. (org.). **Educação ambiental sobre manguezais**. São Vicente: UNESP, 2018, p. 16-56.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

TUCCI, C.E.M. (org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade: ABRH, 1997. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4).

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; CLARKE, Robin Thomas. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. **Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS. v. 2, n. 1, p. 135-152, jun. 1997.

TUNDISI, José Galizia. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v. 22, p. 7-16, 2008.

VALE, J. R. B.; BORDALO, Carlos Alexandre Leão; FONSECA, Luiz Carlos Neves da. Análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Apeú, nordeste paraense, entre os anos de 1999 e 2014. **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará**, v. 2, n. 02, 2016.

VALADARES, Alana de Almeida. **Análise da dinâmica do uso e cobertura do solo sobre a vulnerabilidade ambiental em área do Distrito Federal**. 2017. xix, 197 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)- Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2017.

VERONEZ, B. P. **Análise da influência da precipitação pluviométrica e do uso do solo sobre a qualidade da água em microbacias hidrográficas no nordeste paraense Amazônia Oriental**. 2011. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Vitória, 2011.

VIEIRA, I.C.G.; ALMEIDA, A.S.D.; DAVIDSON, E.A.; STONE, T.A.; CARVALHO, C.J.R.D.; GUERRERO, J.B. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.87, p.470–481, 2003.

VILAÇA, M.F.; GOMES, I.; MACHADO, M. L.; VIEIRA, E. M.; SIMÃO, M. L. R. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão: o estudo de caso do ribeirão conquista no município de Itaguara/MG. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, Viçosa. **Anais[...]**. Viçosa/MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009.

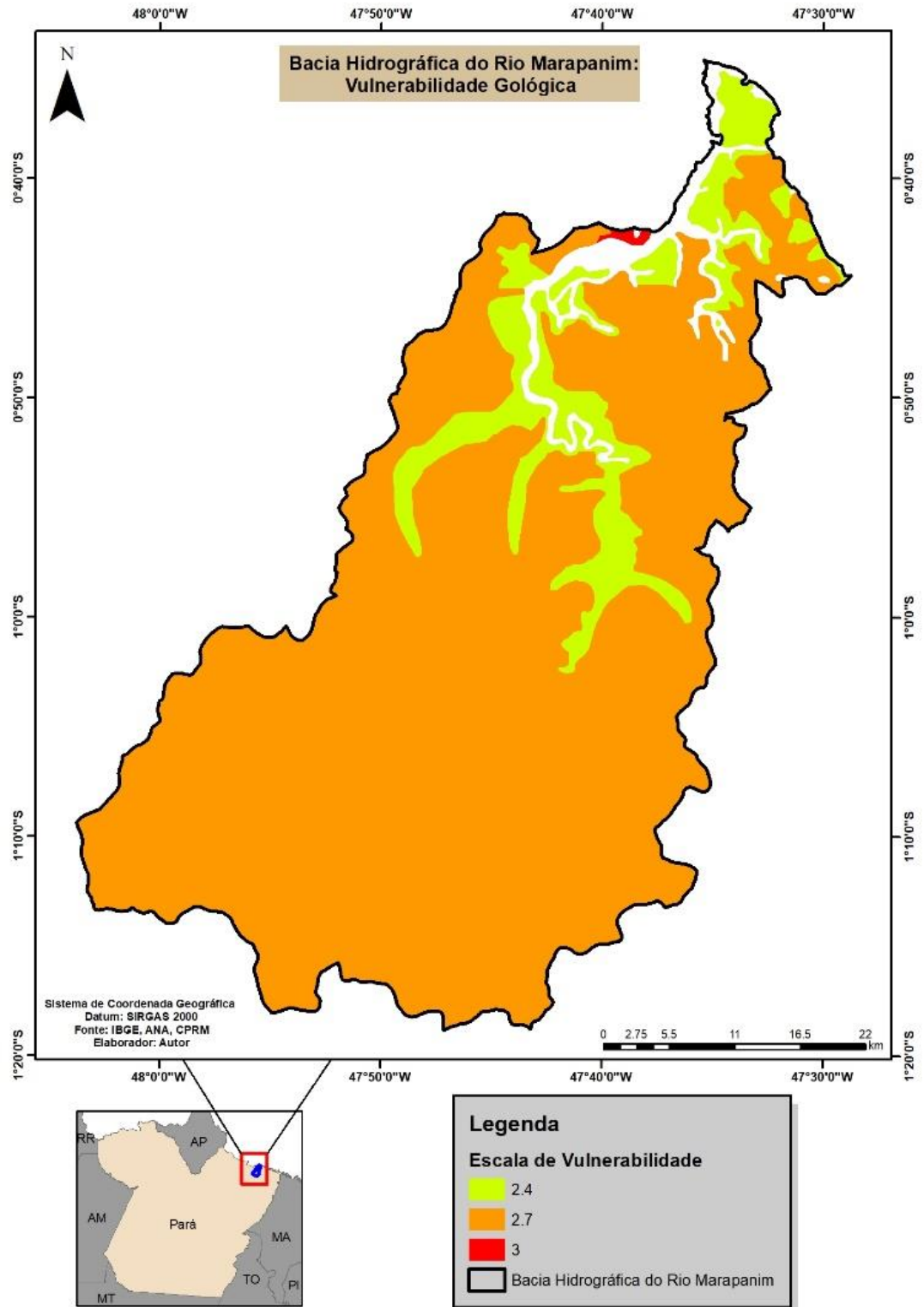
WATRIN, O. dos S.; SANTOS, J. R.dos; VALÉRIO FILHO, Mário. **Análise da dinâmica na paisagem do Nordeste paraense através de técnicas de geoprocessamento**. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 1996. **Anais[...]**. São José dos Campos: INPE, 1996. p. 1-7.

WATRIN, O. dos S.; VENTURIERI, Adriano; SAMPAIO, Sandra Maria Neiva. Análise multitemporal do uso da terra e suas interrelações com a cobertura vegetal em comunidades rurais do nordeste paraense. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998, Santos, SP. **Anais[...]**. São José dos Campos: INPE, 1998.

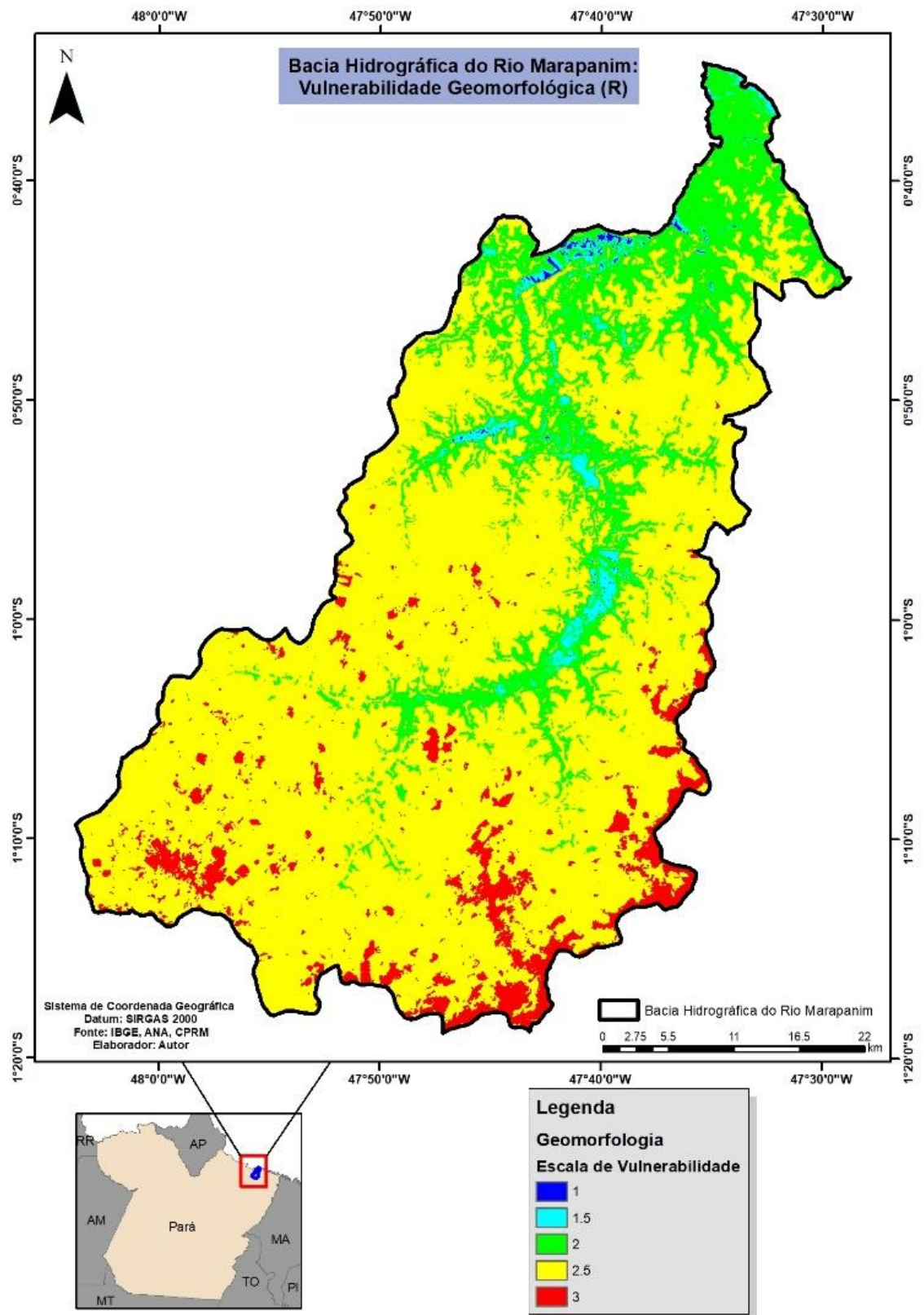
WATRIN, O. dos S.; GERHARD, P.; MACIEL, M. de N. M. Dinâmica do uso da terra e configuração da paisagem em antigas áreas de colonização nordeste do estado do Pará. **Geografia**, v. 34, n. 3, p. 445–472, 2009.

APÊNDICE A- INDICADORES DE VULNERABILIDADES DOS CRITÉRIOS

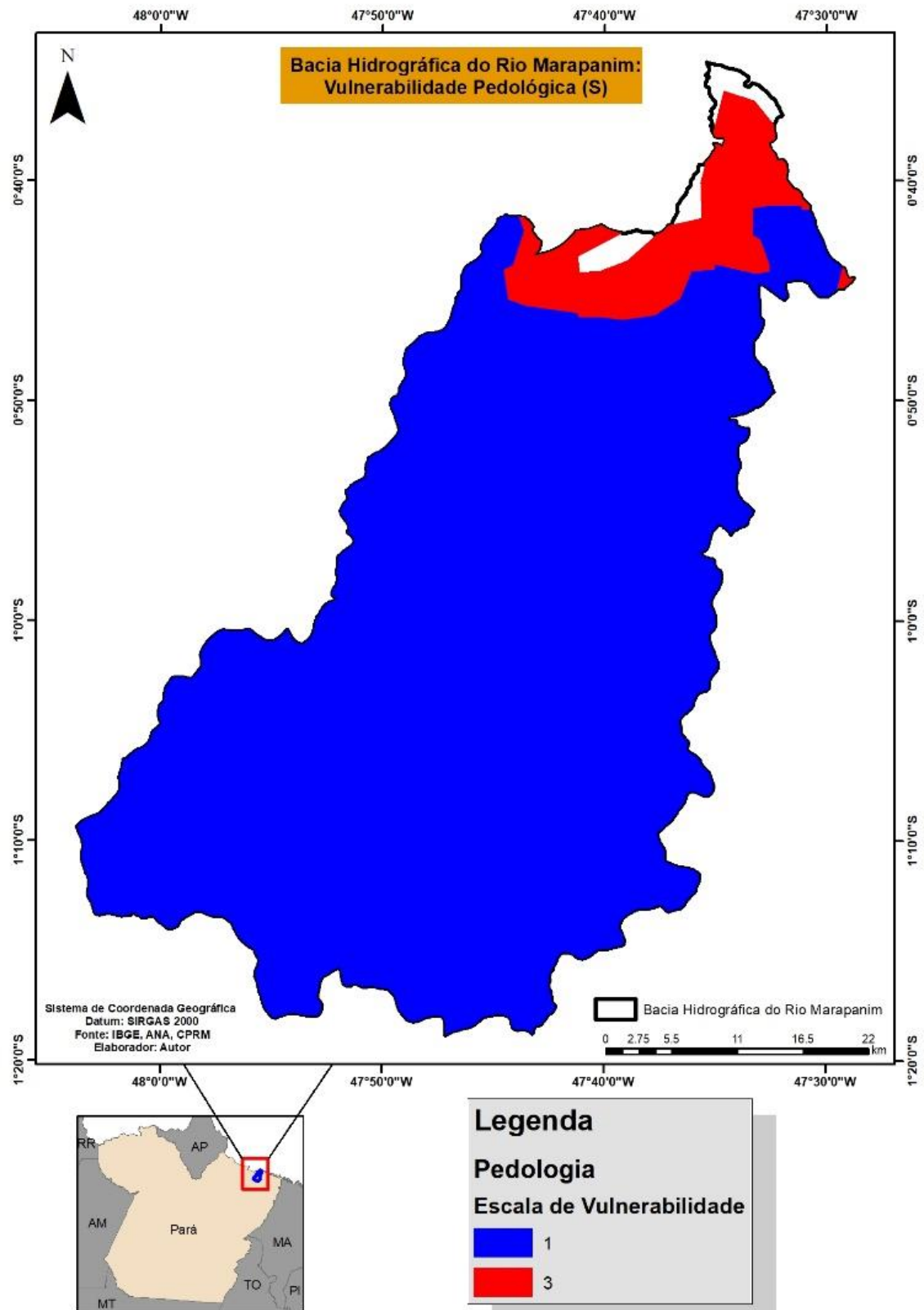
Figura 1A- Mapas indicadores de vulnerabilidade Geológica (G) [a], Geomorfológica (R) [b], Pedológica (S) [c], Vegetação (V) [d] e Clima (e).



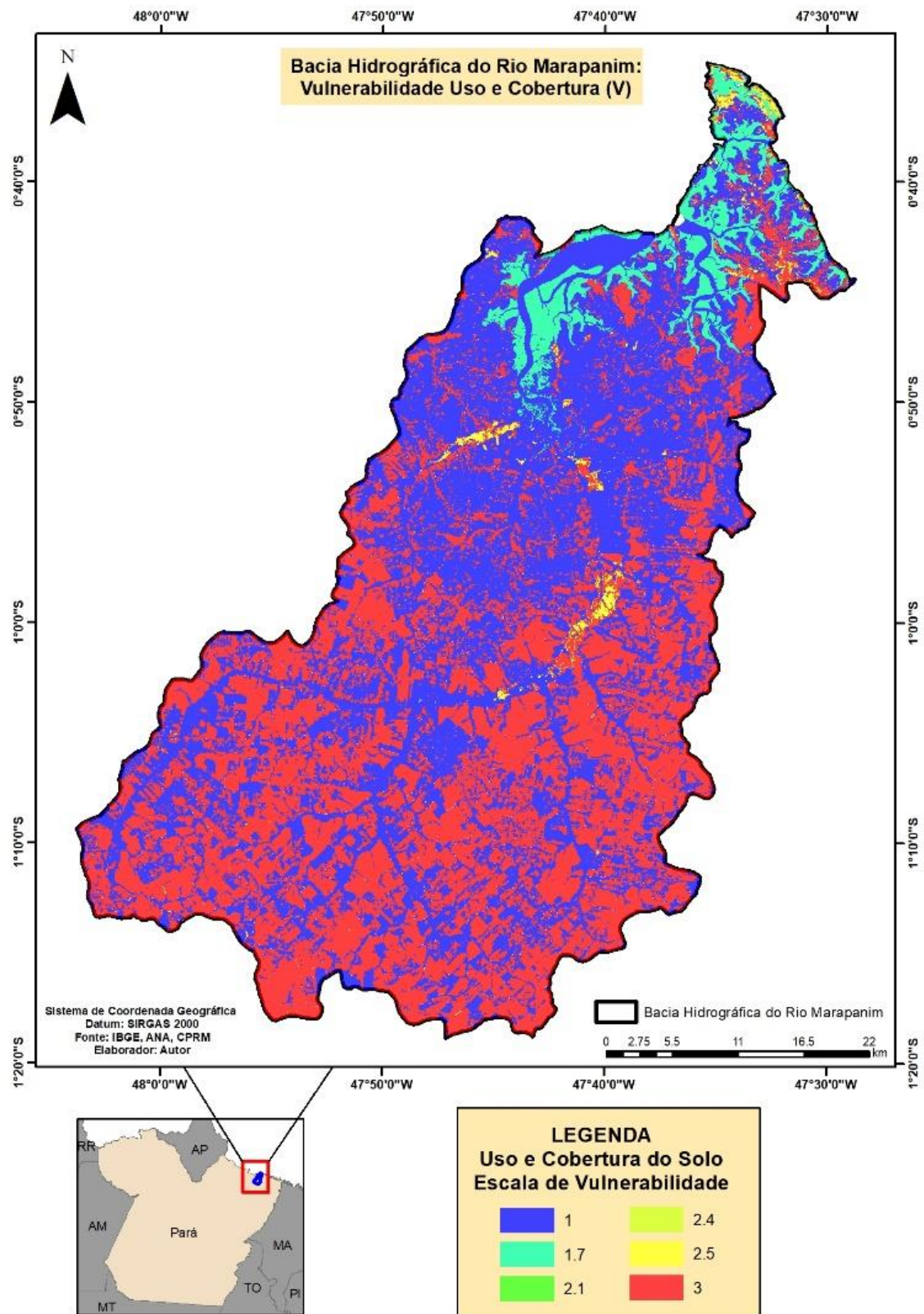
(a)



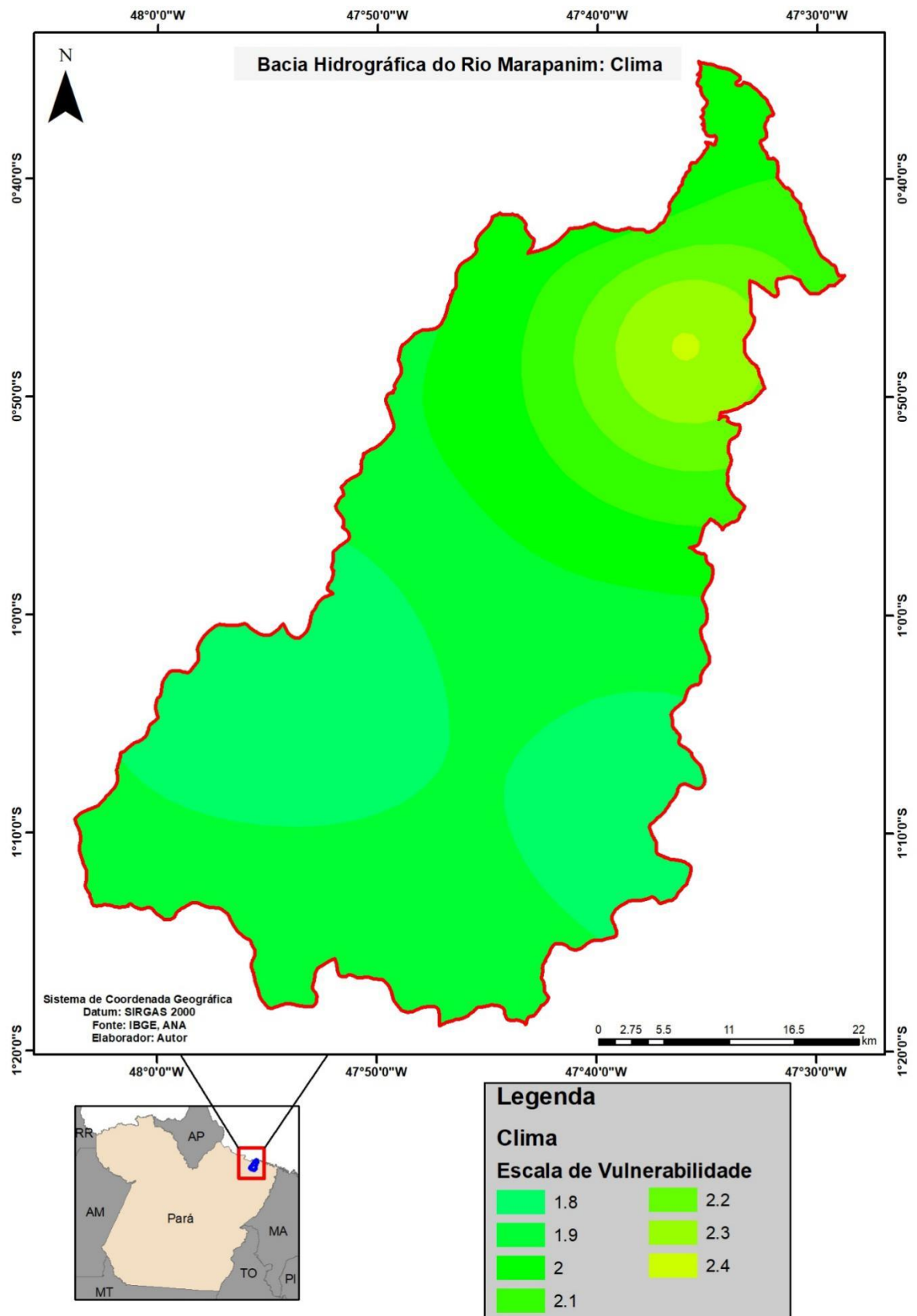
(b)



(c)



(d)





UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO
DE RISCOS E DESASTRES NATURAIS NA AMAZÔNIA

APÊNDICE B - PRODUTO TÉCNICO

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À
NATURAL À PERDA DO SOLO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO MARAPANIM-
NORDESTE PARAENSE**

PRODUTO TÉCNICO DA PESQUISA

**DISCENTE: AUGUSTO DO CARMO FADU
ORIENTADOR: DR. RAFAEL DA SILVA PALÁCIOS**

BELÉM – PA
2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO
DE RISCOS E DESASTRES NATURAIS NA AMAZÔNIA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

F144a Fadu, Augusto do Carmo.
 Análise da vulnerabilidade natural à perda do solo da bacia
 hidrográfica do rio Marapanim- Nordeste Paraense / Augusto do
 Carmo Fadu. — 2024.
 68 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Rafael da Silva Palácios Dissertação
(Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Gestão de
Risco e Desastre na Amazônia, Belém, 2023.

1. Bacia Hidrográfica. 2. Vulnerabilidade Natural. 3. Rio
Marapanim. I. Título.

CDD 372.35709811

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO
DE RISCOS E DESASTRES NATURAIS NA AMAZÔNIA

APRESENTAÇÃO

A Carta de Vulnerabilidade Natural à Perda de solo Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim mostrou uma diversificação nos graus de vulnerabilidade presentes dentro da área de estudo.

