



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS DO PONTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DO PONTAL**



JOSÉ DO CARMO DIAS NETO

**USO RECOMENDADO DA TERRA: uma análise a partir do diagnóstico
ambiental e da vulnerabilidade natural à perda de solos na sub-região
hidrográfica do Itacaiúnas (PA).**

ITUIUTABA

2022

JOSÉ DO CARMO DIAS NETO

USO RECOMENDADO DA TERRA: uma análise a partir do diagnóstico ambiental e da vulnerabilidade natural à perda de solos na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA).

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal, do Instituto de Ciências Humanas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Produção do espaço e dinâmicas ambientais.

Linha de Pesquisa: Geografia e Geotecnologias.

Orientadora: Profa. Dr^a. Jussara dos Santos Rosendo.

ITUIUTABA

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

D541 Dias Neto, José do Carmo, 1998-
2022 USO RECOMENDADO DA TERRA [recurso eletrônico] : uma
análise a partir do diagnóstico ambiental e da
vulnerabilidade natural à perda de solos na sub-região
hidrográfica do Itacaiúnas (PA) / José do Carmo Dias
Neto. - 2022.

Orientador: Jussara dos Santos Rosendo.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de
Uberlândia, Pós-graduação em Geografia.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.202>
Inclui bibliografia.

1. Geografia. I. Rosendo, Jussara dos Santos, 1980-
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-
graduação em Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Geografia - Pontal

Rua Vinte, 1600, Bloco D, Sala 300 - Bairro Tupã, Uberlândia-MG, CEP 38304-402
Telefone: (34) 3271-5305/5306 - www.ppgep.facip.ufu.br - ppgep@ufu.br



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Geografia do Pontal - PPGEp				
Defesa de:	Mestrado Acadêmico				
Data:	28 de Julho de 2022	Hora de início:	19:00 hs	Hora de encerramento:	21:45 hs
Matrícula do Discente:	22012GEO004				
Nome do Discente:	José do Carmo Dias Neto				
Título do Trabalho:	USO RECOMENDADO DA TERRA: uma análise a partir do diagnóstico ambiental e da vulnerabilidade natural à perda de solos na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)				
Área de concentração:	Produção do Espaço e Dinâmicas ambientais				
Linha de pesquisa:	Dinâmicas ambientais				
Projeto de Pesquisa de vinculação:	Ambiente, natureza e dinâmicas socioambientais				

Reuniu-se através de conferência pelo Teams, Campus Pontal, da Universidade Federal de Uberlândia, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal assim composta: Professoras Doutoras Leda Correia Pedro Miyazaki (ICHPO), Carla Rodrigues Santos (UNEMAT) e Jussara dos Santos Rosendo (ICHPO) orientadora do candidato.

Iniciando os trabalhos, a presidente da mesa, Jussara dos Santos Rosendo, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público e concedeu ao Discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do Discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(às) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Jussara dos Santos Rosendo, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/07/2022, às 10:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Leda Correia Pedro Miyazaki, Professor(a) do Magistério Superior**, em 29/07/2022, às 11:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Carla Rodrigues Santos, Usuário Externo**, em 29/07/2022, às 12:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **3797066** e o código CRC **69E8BAC0**.

JOSÉ DO CARMO DIAS NETO

USO RECOMENDADO DA TERRA: uma análise a partir do diagnóstico ambiental e da vulnerabilidade natural à perda de solos na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA).

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia do Pontal, do Instituto de Ciências Humanas do Pontal, Universidade Federal de Uberlândia, como exigência parcial para obtenção do Título de Mestre em Geografia, à Banca Examinadora formada por:

Prof^a. Dr^a. Jussara dos Santos Rosendo, UFU/MG (Orientadora)

Prof^a. Dr^a. Leda Correia Pedro Miyazaki, UFU/MG (Membro)

Prof^a. Dr^a. Carla Rodrigues Santos, UNEMAT/MT (Membro)

Ituiutaba, __ de _____ de _____ .

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Vanilson da Costa Dias e Aldeise da Costa Dias, responsáveis por todas as minhas conquistas pessoais, profissionais e acadêmicas. Sem eles, nada disso seria possível. Com eles, minha dívida será eterna.

Dedico à minha irmã, Yasmin da Costa Dias. Você ainda é muito nova para entender, mas, neste trabalho, seu nome estará registrado para sempre. A vida nunca será fácil, mas lembre-se de que sempre estarei com você.

Dedico à minha esposa, Bruna de Fátima Corrêa Lima. Só nós dois sabemos as dificuldades que apareceram, dia após dia. Sem você, eu não teria conseguido. Desejo que, no futuro, possamos estar sentados, sorrindo, nos lembrando dos apertos do passado, tomando uma xícara cheia de café. Eu amo você.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha professora orientadora, Jussara dos Santos Rosendo, que apesar de toda a dificuldade, sempre foi companheira e compreensiva, me direcionando nas melhores decisões e acreditando no meu potencial, mesmo em meio às minhas próprias dúvidas.

Agradeço à Universidade Federal de Uberlândia, que me permitiu desenvolver a presente pesquisa e por possibilitar que eu obtenha o título de mestre em Geografia.

Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Pontal, que me auxiliou em meio às diversas dificuldades encontradas durante a pandemia de COVID-19.

Agradeço a todos os meus professores de graduação da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, por todo o conhecimento que permitiu que eu chegasse até aqui.

Agradeço a todos os meus professores da pós-graduação da Universidade Federal de Uberlândia. A contribuição de todos foi significativa em meus estudos.

Por fim, agradeço pelo apoio fornecido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por meio do fornecimento de uma bolsa de pesquisa em nível de mestrado.

RESUMO

Os estudos que abrangem diversas variáveis ambientais tornam-se cada vez mais essenciais. Tem-se, através da análise integrada, modelos sustentáveis elaborados por metodologias que visam os limites ambientais. O objetivo da presente pesquisa é propor uma recomendação de uso da terra para a sub-região hidrográfica do Itacaiúnas, especificamente, abordando diferentes variáveis ambientais, por intermédio do diagnóstico ambiental físico, investigando as dinâmicas ambientais relacionadas à vulnerabilidade natural à perda de solo e analisando as interrelações das variáveis litologia, geomorfologia, pedologia, clima e vegetação. A área de estudo situa-se no Sul e no Sudeste do Pará, com área de 41.300 km², tratando-se da contribuição dos rios Itacaiúnas, Parauapebas, Vermelho, Cateté, Tapirapé e Sororó. Para o desenvolvimento da pesquisa, necessitou-se dividi-la em duas partes. Primeiramente, foi realizado um diagnóstico ambiental físico, através da análise das variáveis ambientais disponíveis para a elaboração da vulnerabilidade natural à perda de solos, baseando-se no proposto por Crepani et al. (2001). Em seguida, foi criado um modelo de uso da terra recomendado, fundamentando-se na metodologia proposta por Brito (2001), somando as variáveis de uso e ocupação da terra, áreas de preservação permanente e fragilidade natural dos solos. Os principais resultados encontrados tratam-se, primeiramente, do diagnóstico ambiental, podendo-se constar a litologia predominante na área, denominada como anfibolito; a geomorfologia define-se com táxons de compartimentação do relevo; em maior nível, os crátons neoproterozóicos, cinturões móveis neoproterozóicos e depósitos sedimentares quaternários; as regiões geomorfológicas de planaltos residuais da amazônia meridional, depressões da amazônia meridional e a depressão do rio araguaia; as unidades geomorfológicas da serra dos Carajás, planícies e terraços fluviais, depressão do Bacajá, depressão do médio Xingu e depressão do médio e baixo Araguaia; e, por fim, os modelados com predomínio da classe de dissecação de topos convexos. Referindo-se à vegetação/uso da terra, as classes com maior incidência são de pastagem e floresta ombrófila. Em relação ao clima, pode-se destacar a presença na região amazônica, inserida no chamado “inverno amazônico” (TAVARES et al., 2018). Tratando-se dos sistemas de classificações climáticas estabelecidos por Köppen e Geiger (1928) e Alvares et al. (2013), estes demonstram a ocorrência de três tipos climáticos, sendo eles de clima tropical úmido ou superúmido, clima tropical úmido ou subúmido e clima tropical, com inverno seco. A classe pedológica predominante identificada é denominada de Argissolo vermelho-amarelo distrófico. A vulnerabilidade natural à perda de solo permitiu constatar ausência da classe estável e a predominância da vulnerabilidade medianamente estável ou vulnerável. Em relação ao uso da terra recomendado, definiu-se seis classes com características próprias, sendo elas área de recuperação ambiental, área de uso restrito, área de alta restrição, área de média restrição, área de baixa restrição e área de uso permitido; maior parte da área de estudo encontra-se como área de baixa restrição. Em síntese, conclui-se que a metodologia empregada na presente pesquisa obteve sucesso na elaboração de um diagnóstico ambiental dos aspectos físicos e na criação do uso da terra recomendado.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Itacaiúnas. Uso Recomendado.

ABSTRACT

Studies covering several environmental variables have become increasingly essential. Through integrated analysis, sustainable models are developed using methodologies that aim at environmental limits. The objective of this research is to propose a land use recommendation for the Itacaiúnas hydrographic sub-region, specifically, addressing different environmental variables, through physical environmental diagnosis, investigating environmental dynamics related to natural vulnerability to soil loss and analyzing the interrelationships of lithology, geomorphology, pedology, climate and vegetation variables. The study area is located in the South and Southeast of Pará, with an area of 41,300 km², being the contribution of the Itacaiúnas, Parauapebas, Vermelho, Cateté, Tapirapé and Sororó rivers. For the development of the research, it was necessary to divide it into two parts. Firstly, a physical environmental diagnosis was carried out, through the analysis of the environmental variables available for the elaboration of the natural vulnerability to soil loss, based on what was proposed by Crepani et al. (2001). Then, a recommended land use model was created, based on the methodology proposed by Brito (2001), adding the variables of land use and occupation, areas of permanent preservation and natural fragility of soils. The main results found are, firstly, the environmental diagnosis, which may include the predominant lithology in the area, called amphibolite; geomorphology is defined with relief subdivision taxons; at a higher level, the Neoproterozoic cratons, Neoproterozoic mobile belts and Quaternary sedimentary deposits; the geomorphological regions of residual plateaus of the southern Amazon, depressions of the southern Amazon and the depression of the Araguaia River; the geomorphological units of the Carajás Hills, fluvial plains and terraces, the Bacajá depression, the middle Xingu depression and the middle and lower Araguaia depression; and, finally, those modeled with a predominance of the convex top dissection class. Referring to vegetation/land use, the classes with the highest incidence are pasture and rainforest. Regarding the climate, the presence in the Amazon region can be highlighted, inserted in the so-called “Amazonian winter” (TAVARES et al., 2018). In terms of climate classification systems established by Köppen and Geiger (1928) and Alvares et al. (2013), these demonstrate the occurrence of three climatic types: humid or super-humid tropical climate, humid or sub-humid tropical climate and tropical climate, with dry winter. The predominant pedological class identified is called dystrophic red-yellow Ultisol. The natural vulnerability to soil loss made it possible to verify the absence of the stable class and the predominance of vulnerability is moderately stable or vulnerable. Regarding the recommended land use, six classes were defined with their own characteristics, which are environmental recovery area, restricted use area, high restriction area, medium restriction area, low restriction area and permitted use area; most of the study area is found as an area of low restriction. In summary, it is concluded that the methodology used in the present research was successful in the elaboration of an environmental diagnosis of the physical aspects and in the creation of the recommended land use.

Keywords: Vulnerability. Itacaiúnas. Recommended Use.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Localização da Sub-Região Hidrográfica do Itacaiúnas (PA).....	19
Figura 2 - Procedimento para acesso às temáticas de geologia e pedologia	46
Figura 3 - (A) Procedimento de acesso ao tema geologia; (B) Procedimento de acesso ao tema pedologia.....	46
Figura 4 - Procedimento para <i>downloads</i> dos dados ambientais.....	47
Figura 5 - Modelo demonstrativo da coleta por Interferometria SAR	52
Figura 6 - Representação de um Interflúvio	54
Figura 7 - Imagens LandSat utilizadas no mapeamento do uso e cobertura do bioma amazônico.....	58
Figura 8 - Produto elaborado pelo MapBiomas para o Bioma Amazônico	59
Figura 9 - Produto ESRI da região Norte do Brasil	60
Figura 10 - Estações pluviométricas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	64
Figura 11 – Estações pluviométricas com carência de dados na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA).....	66
Figura 12 - Estações pluviométricas com dados na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	67
Figura 13 - Estações pluviométricas utilizadas na pesquisa.....	68
Figura 14 - (A) Intensidade Pluviométrica (B) Vulnerabilidade ao fator Clima.....	72
Figura 15 - Representação das APP's em um recorte da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	74
Figura 16 - Representação das APP's na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	75
Figura 17 - Litologia da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	79
Figura 18 - Graus de vulnerabilidade a denudação das rochas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA).....	83
Figura 19 - Classes de vulnerabilidade à denudação das rochas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA).....	84
Figura 20 - Classificação climática de Köppen da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	86
Figura 21 - Graus de vulnerabilidade à Intensidade Pluviométrica da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA).....	89
Figura 22 - Classes de vulnerabilidade a Intensidade Pluviométrica da sub-região	

hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	91
Figura 23 - Espacialização das classes pedológicas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	93
Figura 24 - Classes e graus de vulnerabilidade à pedologia da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	96
Figura 25 - Classes geomorfológicas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	99
Figura 26 - Graus de vulnerabilidade à geomorfologia da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	102
Figura 27 - Classes de vulnerabilidade à geomorfologia da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	102
Figura 28 - Classes de vegetação da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	106
Figura 29 - Graus de vulnerabilidade à vegetação da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	108
Figura 30 - Classes de vulnerabilidade à vegetação da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	109
Figura 31 - Graus de vulnerabilidade natural à perda de solos da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	112
Figura 32 - Classes de vulnerabilidade natural à perda de solos da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	113
Figura 33 - Uso da Terra Recomendado da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)	117
Figura 34 - Solo Exposto localizado na Área de Recuperação Ambiental (ARA)	118
Figura 35 - Ocupação localizada na Área de Recuperação Ambiental (ARA)	118
Figura 36 - Campo Rupestre Aberto localizado na Área de Uso Restrito (AUR)	119
Figura 37 - Vegetação de Canga localizada na Área de Uso Restrito (AUR).....	120
Figura 38 - Aldeia Xikrin do kateté localizada na Área de Alta Restrição (AAR)	121
Figura 39 - Área de Preservação Permanente localizada na Área de Alta Restrição (AAR)	121
Figura 40 - Complexo S11D localizado na Área de Média Restrição (AMR).....	123
Figura 41 - Voluntariado ICMBio, localizado na Área de Média Restrição (AMR).....	123
Figura 42 - Área de uso indefinido localizada na Área de Média Restrição (ABR).....	124
Figura 43 - Área de uso indefinido localizada na Área de Média Restrição (ABR).....	125
Figura 44 - Área de Uso Permitido (AUP).....	126
Figura 45 - Área de Uso Permitido (AUP).....	126
Figura 46 - Distribuição dos pontos de Coleta do Uso da Terra Recomendado da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA).....	127

FLUXOGRAMAS

Fluxograma 01 - Representação do tratamento metodológico comumente adotado em diagnóstico ambiental.....	32
---	----

QUADROS

Quadro 1 - Categorias morfodinâmicas da ecodinâmica	42
Quadro 2 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.....	43
Quadro 3 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas.....	43
Quadro 4 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.....	48
Quadro 5 - Presença de rochas predominantes e seus graus de vulnerabilidade	49
Quadro 6 - Relação entre as classes de solo e os valores de vulnerabilidade	50
Quadro 7 - Vulnerabilidade às classes pedológicas	51
Quadro 8 - Detalhes sobre os produtos SRTM utilizados.....	53
Quadro 9 - Detalhes sobre os produtos Landsat utilizados	58
Quadro 10 - Detalhes sobre as bandas de alta resolução do satélite Sentinel – 2.....	61
Quadro 11 - Valores de vulnerabilidade para a vegetação do MapBiomias	61
Quadro 12 - Valores de vulnerabilidade para a vegetação do ESRI.....	61
Quadro 13 - Valores de vulnerabilidade para a vegetação.....	62
Quadro 14 - Descrição das estações pluviométricas localizadas na área de estudo.....	64
Quadro 15 - Descrição das estações pluviométricas sem dados na área de estudo.....	65
Quadro 16 - Descrição das estações pluviométricas com dados na área de estudo	65
Quadro 17 - Descrição dos postos pluviométricos com dados no entorno da área de estudo.....	66
Quadro 18 - Descrição das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa	68
Quadro 19 - Fases do Procedimento Demarcatório	75
Quadro 20 - Classes de uso da terra recomendado.....	114

TABELAS

Tabela 1 - Municípios e suas respectivas áreas na SRHI	18
Tabela 2 - Valores de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo	54
Tabela 3 - Valores de vulnerabilidade para amplitude altimétrica.....	55
Tabela 4 - Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas.....	56
Tabela 5 - Exemplo de tabela final para elaboração da Intensidade Pluviométrica.....	70
Tabela 6 - Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo.....	71
Tabela 7 - Presença litológica predominante na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas	77

Tabela 8 - Relação entre litologias, graus e classes de vulnerabilidade	82
Tabela 9 - Valores de Intensidade Pluviométrica e Graus de Vulnerabilidade da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas	88
Tabela 10 - Informações gerais sobre as classes de vulnerabilidade ao clima	90
Tabela 11 - Informações gerais sobre as classes pedológicas na SRHI	94
Tabela 12 - Informações gerais sobre as classes de vulnerabilidade à pedologia	97
Tabela 13 - Informações gerais sobre as classes de Geomorfologia na SRHI	100
Tabela 14 - Informações gerais sobre as classes de vulnerabilidade a Geomorfologia.....	104
Tabela 15 - Informações gerais sobre as classes de vegetação na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas	105
Tabela 16 - Informações gerais sobre as classes de vulnerabilidade a Vegetação	107
Tabela 17 - Informações gerais sobre a vulnerabilidade natural à perda de solos	110
Tabela 18 - Áreas ocupadas pelas classes do uso da terra recomendado	115

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Solos Aluviais
A	Areia Quartzosa
AAR	Área de Alta Restrição
ABR	Área de Baixa Restrição
Af	Clima tropical úmido ou superúmido
Am	Clima tropical úmido ou subúmido
AMR	Área de Média Restrição
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
Apf	Áreas de Planície fluvial
APP	Áreas de Preservação Permanente
AR	Afloramento Rochoso
ARA	Área de Recuperação Ambiental
Arc	Rampa de colúvio
AUP	Área de Uso Permitido
AUR	Área de Uso Restrito
Aw	Clima tropical, com inverno seco
B	Brunizém
BA	Brunizém Avermelhado
BDiA	Banco de Informações Ambientais
C	Cambiosolos
CC	<i>Cloud Cover</i>
CL	Solos Concrecionários
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho do Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
Da	Homogênea aguçada
Dc	Homogênea convexa
DEc	Estrutural convexa
Dei	Encosta íngreme de erosão
Dt	Homogênea tabular
ETM+	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
EROS Data	Centro de Processamento de Dados do Centro de Observação e Ciência

Center	de Recursos Terrestres
ESA	Agência Espacial Europeia
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
FEEMA	Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro
FFc	Plintossolo Pétrico Concrecionário
HGH	Glei Húmico
HGP	Glei Pouco Húmico
HI	Solos Hidromórficos
HO	Solos Orgânicos
I.P	Intensidade Pluviométrica
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Biodiversidade
IDW	<i>Inverse Distance Weighting</i>
IGc-USP	Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo
Km²	Quilômetro Quadrado
LA	Latossolos Amarelo
LAd	Latossolo Amarelo Distrófico
LB	Latossolo Bruno
LBH	Latossolo Bruno-Húmico
LE	Latossolo Vermelho-Escuro
LH	Latossolo Húmico
LH	Laterita Hidromórfica
LR	Latossolo Roxo
LV	Latossolo Vermelho-Amarelo
LVAd	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico
LVd	Latossolo Vermelho Distrófico
MapBiomias	Mapeamento anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MDE	Modelo Digital de Elevação
mm	milímetros
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NC	Bruno Não-Cálcico
NIMA	<i>National Imagery and Mapping Agency</i>

NVd	Nitossolo Vermelho Distrófico
NVe	Nitossolo Vermelho Eutrófico
OLI-TIRS	<i>Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor</i>
PA	Pará
PA	Podzólico Amarelo
PE	Podzólico Vermelho-Escuro
PERH-PA	Política Estadual de Recursos Hídricos do Pará
Pgi	Pediplano degradado inumado
Pgu	Pediplano degradado desnudado
PL	Planossolo
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
Pri	Pediplano retocado inumado
PT	Plintossolo
PV	Podzólico Vermelho-Amarelo
PVAd	Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico
PVe	Argissolo Vermelho Eutrófico
R	Solos Litólicos
RE	Regossolo
RHA	região hidrográfica Amazônica
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RHTA	Região hidrográfica do Tocantins/Araguaia
RLd	Neossolo Litólico Distrófico
RLe	Neossolo Litólico Eutrófico
RQo	Neossolo Quartzarênico Órtico
RZ	Lateríticos Rendzinas
SAR	Radar de Abertura Sintética
shp.	<i>shapefile</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SRHI	Sub-Região Hidrográfica do Itacaiúnas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>

TM	<i>Thematic Mapper</i>
TR	Terra Roxa Estruturada
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTB	unidades territoriais básicas
UTR	Uso da Terra Recomendado
V	Vertissolo
WGS84	<i>World Geodetic System 84</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.2. PLANEJAMENTO E GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	22
2.3. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL.....	28
2.3.1. VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLO.....	32
2.3.2. USO DA TERRA RECOMENDADO.....	35
2.4. O GEOPROCESSAMENTO COMO SUBSÍDIO À ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS	37
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	42
3.1. VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLOS	42
3.1.1. VULNERABILIDADE PARA O FATOR GEOLOGIA (LITOLOGIA) (G) E PEDOLOGIA (S).....	45
3.1.2. VULNERABILIDADE PARA O FATOR GEOMORFOLOGIA (R).....	51
3.1.3. VULNERABILIDADE PARA O FATOR COBERTURA VEGETAL (VG)....	57
3.1.4. VULNERABILIDADE PARA O FATOR CLIMA (C)	62
3.2. USO DA TERRA RECOMENDADO (UTR)	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
4.1. DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DA SRHI.....	77
4.1.1. GEOLOGIA (LITOLOGIA)	77
4.1.2 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AO FATOR GEOLOGIA (LITOLOGIA) (G).....	81
4.1.3. CLIMA	85
4.1.4. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AO FATOR CLIMA (C)	87
4.1.5. PEDOLOGIA.....	92
4.1.6 ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AO FATOR PEDOLOGIA.....	95
4.1.7 GEOMORFOLOGIA.....	97
4.1.8. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AO FATOR GEOMORFOLOGIA	101
4.1.9. COBERTURA VEGETAL	104
4.1.10. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE AO FATOR COBERTURA VEGETAL.....	107
4.1.11. ANÁLISE DA VULNERABILIDADE NATURAL À PERDA DE SOLOS....	110
4.2. USO DA TERRA RECOMENDADO	114
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
REFERÊNCIAS	132

INTRODUÇÃO

A água é detentora de um valor incalculável; é por meio dela que todos os seres vivos estão conectados. O ser humano, assim como qualquer outro ser vivo, retira da água a sua sobrevivência e a possibilidade de se desenvolver, atribuindo-lhe valor social, natural e econômico. Dessa maneira, as diversas civilizações, antigas e atuais, utilizaram e continuam utilizando os recursos hídricos, alterando-os de acordo com sua necessidade.

A indispensabilidade da água frente ao desenvolvimento dos seres humanos torna o Brasil um dos principais palcos de discussão sobre questões hídricas, pois o país conta com a maior disponibilidade de água doce e potável para uso humano, industrial e agrícola do planeta. A região norte do Brasil, contida dentro da Amazônia Legal, destaca-se tanto em contextos nacionais quanto internacionais, visto que, segundo Bassoi e Guazelli (2004), 68% dos recursos hídricos do país estão em seus limites.

Porém, apesar da importância econômica, social e, principalmente, ambiental da Amazônia Legal, seus recursos hídricos não se isentam dos efeitos antrópicos, os quais estendem-se desde os primórdios das estratégias de ocupação.

As civilizações humanas tendem a alterar o meio ambiente da forma mais proveitosa para si, acarretando em consequências pontuais e futuras. Os resultados ocasionados pelas alterações realizadas pela sociedade são complexos, pois afetam não somente o meio de forma estática, mas o desenvolver do espaço, tanto em aspectos físicos quanto em sociais, sendo esta realidade encontrada em diversas bacias hidrográficas por todo o país.

Os impactos da degradação ambiental na Amazônia Legal são espacializados em toda a sua extensão, afetando não somente suas áreas definidas, mas distribuindo efeitos por todo o território nacional. As bacias hidrográficas amazônicas encontram-se cada vez mais ameaçadas. Além disso, o avanço da exploração de recursos naturais, somado à apropriação da terra, cria uma realidade preocupante para o meio ambiente.

A degradação do meio ambiente, através da poluição atmosférica, do desmatamento, da exploração de recursos minerais, da contaminação de solos e de recursos hídricos, entre outros, dispõe-se uma visibilidade cada vez maior. Atualmente, sabe-se da preocupação de preservar e de criar modelos que visem o desenvolvimento sustentável, sendo “socialmente incluyente, ambientalmente sustentável e economicamente sustentado no tempo” (SACHS, 2010, p. 10), visando, dessa maneira, a melhor interação do meio econômico-social com a natureza.

Segundo Tozi (2007), a intensificação da exploração dos recursos naturais acarreta em diversas consequências, criando-se a necessidade da formulação de questionamentos, os quais

empenham-se em sanar métodos e ações que amenizem os efeitos da exploração da natureza, a fim de que o homem não comprometa o ecossistema e, conseqüentemente, o seu próprio futuro.

Dessa forma, segundo a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981, tem-se a responsabilidade de preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, propícia à vida, bem como o desenvolvimento socioeconômico, através de mecanismos que possibilitem o melhor planejamento ambiental. Assim sendo, apresenta-se o diagnóstico ambiental como uma ferramenta que auxilia o planejamento, a gestão ambiental, os relatórios técnicos e estudos ambientais, servindo como apoio para a obtenção de dados e para a geração de informações, possibilitando a análise e a avaliação dos impactos ambientais, tornando-se fundamental para a compreensão do espaço.

Os impactos ambientais criados através da degradação ambiental resultante das ações antrópicas estão influenciando, cada vez mais, as dinâmicas de bacias hidrográficas. A relação entre os diversos e complexos sistemas encontrados no meio ambiente forma a dinâmica ambiental como a conhecemos, de modo qualquer alteração interfere diretamente no espaço.

Visando a necessidade da conservação e da preservação das bacias hidrográficas, as quais influenciam o caminhar da relação sociedade-natureza, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei federal n.º 9.433, de 08 de Janeiro de 1997, ressalta a importância de assegurar, para a atual e para as futuras gerações, a disponibilidade de água com padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

Dessa forma, em vista das interferências apresentadas pelas ações humanas no espaço, somadas à necessidade de preservação das dinâmicas ambientais das bacias hidrográficas, considera-se a realização de um diagnóstico ambiental dos aspectos físicos, por meio da utilização de uma base dados e informações ambientais integradas, empenhando-se no desenvolvimento da identificação de áreas propícias à ocupação humana, distribuídas de acordo com as limitações impostas para a utilização dos elementos naturais.

Com base nisso, tem-se, a priori, a obrigação de uma combinação dos aspectos ambientais, utilizando-se do diagnóstico ambiental físico e da vulnerabilidade natural à perda de solos, ambos servindo como ferramentas de integração dos elementos físicos que compõem a paisagem, permitindo a identificação e a análise dos impactos ambientais presentes, auxiliando em futuros planejamentos, pesquisas e projetos.

Desse modo, as bacias hidrográficas conferem um excelente campo para estudo e aplicação do diagnóstico ambiental, uma vez que seu estado de equilíbrio pode ser facilmente modificado, resultando em conseqüências que podem ser irreversíveis, dependendo do grau do

impacto e da susceptibilidade da área (FRANCO et. al., 2011).

O planejamento, gestão e preservação de bacias hidrográficas se estende além de análises superficiais do meio ambiente; dedica-se à necessidade de planejar e gerir, como uma ferramenta para proteção ambiental, tendo em vista as grandes alterações realizadas pelo ser humano.

A Amazônia, além de ser o maior bioma tropical do mundo, é um dos mais ricos; conta com a presença de uma incontável variedade de espécies, assim como uma vasta rede de drenagens, as quais fluem e deságuam no oceano. Apesar da grande importância faunística e florística do bioma, este encontra-se cada vez mais fragilizado, haja vista as grandes alterações realizadas no espaço.

Com a intensificação da degradação, torna-se essencial a preocupação com a preservação dos recursos naturais. As bacias hidrográficas são, em sua essência, a base do planejamento ambiental, uma vez que a responsabilidade sobre as mesmas afeta não somente a sociedade ou economia, mas toda uma complexa rede que se interliga através do espaço.

Em razão das ações e, conseqüentemente, dos impactos ocasionados pelas alterações antrópicas, determinou-se como premissa da política nacional do meio ambiente a realização de um diagnóstico ambiental, que trata-se de uma ferramenta para criação de uma base informacional ambiental de determinada área, buscando identificação e avaliação dos impactos ambientais.

O Brasil, por meio do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), instituído por meio da Resolução n.º 32, de 15 de Outubro de 2003, divide o território nacional em 12 regiões hidrográficas, buscando orientação para o desenvolvimento de um planejamento e gerenciamento de recursos hídricos. O estado do Pará contém duas das regiões hidrográficas nacionais, sendo elas a Região Hidrográfica Amazônica (RHA) e a Região Hidrográfica do Tocantins/Araguaia (RHTA).

A Política Estadual de Recursos Hídricos do Pará (PERH-PA) define as regiões hidrográficas estaduais, que são subdivisões das regiões hidrográficas nacionais. Dessa maneira, tem-se um total de sete regiões hidrográficas estaduais. Com isso, a área de estudo é uma subdivisão da região hidrográfica estadual do Tocantins/Araguaia, localizada na Amazônia Oriental, denominada de sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (SRHI) (Figura 1).

A SRHI está situada na região denominada de Sul e Sudeste do Pará; localiza-se entre as coordenadas planas X: 455504 e Y: 9199607; X: 763008 e Y: 9428329, Meridiano Central = -51, Fuso UTM = 22. Formada por 11 unidades municipais (Tabela 1), possui os dois

principais municípios da região, sendo eles Marabá e Parauapebas. A área de estudo possui, aproximadamente, 41.300 km² de extensão, sendo formada pela área de contribuição de seus principais rios: Itacaiúnas, Parauapebas, Vermelho, Cateté, Tapirapé e Sororó.

Tabela 1 - Municípios e suas respectivas áreas na SRHI

Municípios	Área (km²)
Água Azul do Norte	7.047,48
Canaã dos Carajás	3.146,93
Curionópolis	2.369,04
Eldorado dos Carajás	2.956,67
Marabá	13.584,96
Ourilândia do Norte	592,81
Parauapebas	6.879,52
Piçarra	1.107,96
São Geraldo do Araguaia	1.717,37
Sapucaia	587,83
Xinguara	1.260,10

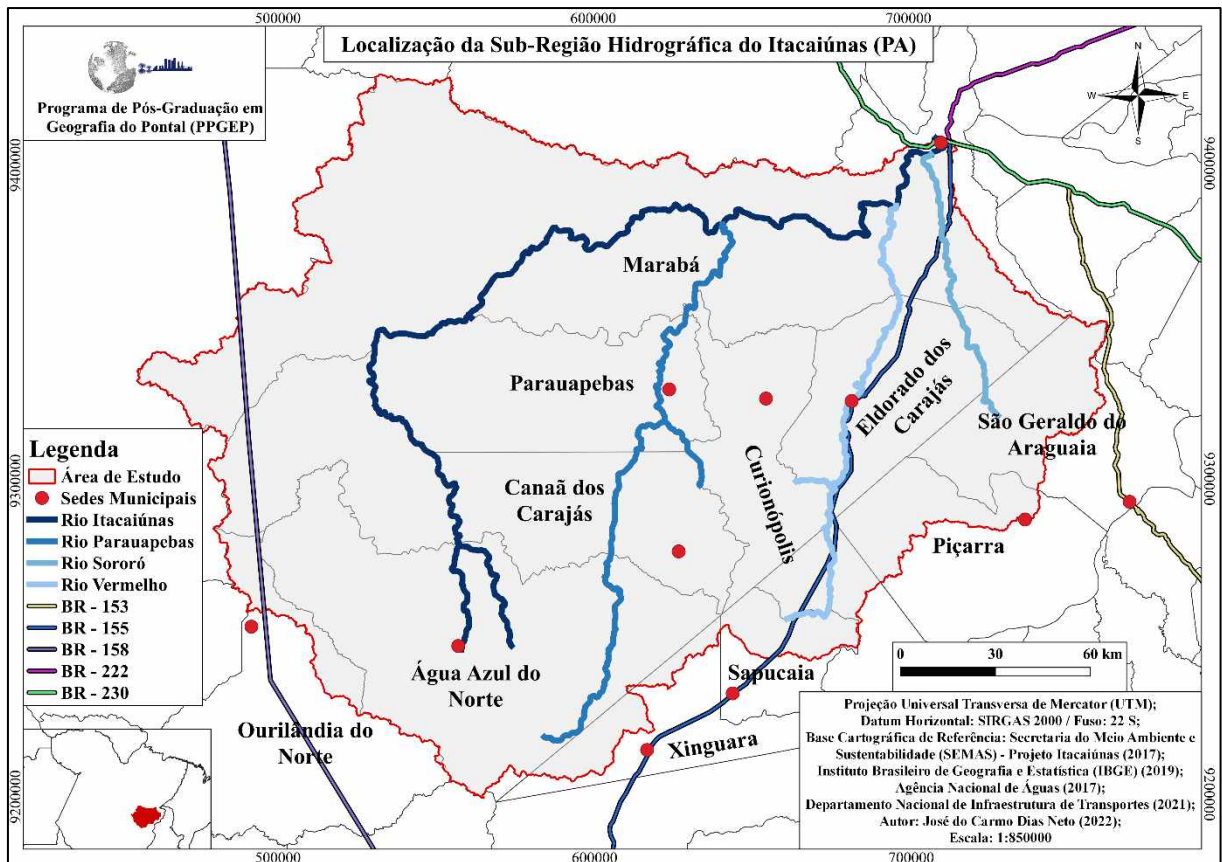
Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Para Souza-Filho et al. (2016), a SRHI está inserida em área de transição entre os biomas Cerrado e Amazônia, apresentando mudanças no uso da terra, principalmente em razão da substituição de áreas florestais por atividades agropecuárias e de mineração, provocando desequilíbrio do regime hidrológico, que é um fator preponderante para aumento da temperatura, aumento das vazões anuais e degradação do solo.

Com base em informações obtidas por meio do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2009), a SRHI apresentava uma cobertura vegetal, em primeiro momento, de floresta tropical e savana. Após longo período de ocupação e de modificação da área, encontra-se, atualmente, com a sua maior parte classificada como pastagem. As áreas vegetação encontradas são, principalmente, de Unidades de Conservação (UC) e de terras indígenas.

A dinâmica socioambiental da área de estudos é influenciada, principalmente, pela agricultura, pecuária e mineração, tornando-se uma frente de expansão das mesmas; porém, com grande contraste entre seus municípios, devido, especialmente, à concentração de recursos minerais, afetando diretamente a importância de cada um na região.

Figura 1 - Localização da Sub-Região Hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022)

Diante do exposto, a presente pesquisa busca, por intermédio do diagnóstico ambiental, abordar uma visão que abrange aspectos físicos relacionados à vulnerabilidade natural à perda de solos, elaborando um produto sintetizador de uso da terra recomendado para a SRHI. Desse modo, a justificativa de sua realização está na necessidade de suprir a carência de dados ambientais da área de estudos e contribuir com as políticas públicas voltadas às questões ambientais em âmbito municipal e estadual, subsidiando a tomada de decisão e o planejamento ambiental da área.

Atualmente, a SRHI vem suportando atividades de mineração responsáveis por alterações significativas no espaço geográfico, tanto no meio biótico quanto abiótico; a presença de ocupações desordenadas de uso do solo, resultando em uma ocupação sem critérios ambientais, desenvolvendo impactos em diversas localidades devido a usos inapropriados de determinadas áreas; pressões sobre áreas indígenas e unidades de conservação, pois, apesar de protegidas por legislação, as referidas áreas encontram-se constantemente ameaçadas, devido ao contato direto com as ocupações do seu entorno; entre outros, que afetam a dinâmica da bacia hidrográfica e suas áreas de preservação.

Mediante aos avanços das leis e dos estudos de proteção ambiental, pretende-se responder às seguintes indagações: O diagnóstico ambiental das variáveis de litologia, geomorfologia, pedologia, clima e vegetação são capazes de fornecer subsídios para auxiliar o planejamento ambiental? A utilização da vulnerabilidade natural à perda de solo possibilita o desenvolvimento de um produto satisfatório para a elaboração do uso da terra recomendado? Quais são os impactos mais significativos na bacia hidrográfica?

O principal objetivo da pesquisa consiste em propor uma recomendação de uso da terra para a Sub-Região Hidrográfica do Itacaiúnas. Especificamente, busca-se: realizar o diagnóstico ambiental dos aspectos físicos da Sub-Região Hidrográfica do Itacaiúnas, utilizando diferentes variáveis ambientais, a fim de produzir informações que auxiliem o planejamento ambiental; investigar as dinâmicas ambientais associadas à vulnerabilidade natural à perda de solos; e analisar as interrelações das variáveis litologia, geomorfologia, pedologia, clima e vegetação na área de estudo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O ser humano possui a necessidade de preservar o meio ambiente, e por ser dependente do mesmo, a preocupação com o cuidado ambiental não se limita a uma evolução de pensamento ecológico ou a cuidados com o futuro, mas volta-se a uma autopreservação da própria raça humana. Dessa forma, em concordância com Holder (1991), considera-se o meio ambiente como as rochas, a água e o ar que envolvem a terra, simultaneamente, com o sistema nos quais eles pertencem e os mantêm, também denominado de geossistema.

Tratando-se, inicialmente, da compreensão dos sistemas, é importante ressaltar não serem nada mais que unidades que se relacionam, considerando-se as propriedades comuns que possuem. Cada unidade possui um estado controlado, condicionado ou dependente do estado das outras unidades. O conjunto das mesmas encontra-se organizado em virtude de suas inter-relações, as quais permitem que se assumam a função de um todo, sendo maior do que a soma de suas partes (ALMEIDA; TERTULIANO, 2017).

Com base nisso, os elementos que formam um sistema possuem suas inter-relações, denominadas, também, como fluxos, em que o equilíbrio de um sistema dependerá do ajustamento de suas unidades ou variáveis internas, em relação com as condições externas. Segundo Almeida e Tertuliano (2017), os sistemas encontram-se incorporados em conjuntos maiores, mantendo suas conexões de matéria e energia, constituindo o seu ambiente.

Em uma bacia hidrográfica, por exemplo, as condições climáticas, litológicas, biogeográficas e outras vão condicionar a estruturação de determinada rede de drenagem e de determinadas formas do relevo. Alcançando um estado de estabilidade, a geometria da rede fluvial e a da morfologia encontram-se em perfeito estado de equilíbrio e só sofrerão modificações se porventura houver alterações nas variáveis condicionantes (ALMEIDA; TERTULIANO, 2017, p. 116).

Partindo-se de um viés sistêmico, tem-se a necessidade de desenvolver análises integradas do ambiente. Baseando-se na concepção de Tricart (1972), os geossistemas definem-se como fenômenos naturais, porém influenciados por fatores econômicos e sociais, necessitando do desenvolvimento de estudos, caso influenciem as dinâmicas espaciais. Bertrand (2004) define os geossistemas como uma porção do espaço criada por meio das interações dinâmicas de elementos físicos, biológicos e antrópicos. Na mesma posição teórica, Christofoletti (1999) apresenta os geossistemas como o resultado entre as relações geomorfológicas, climáticas e hidrológicas, relacionando-as através da vegetação, do solo e da fauna, não desconsiderando as ações antrópicas e caracterizando a relação de todas as variáveis ambientais como um complexo dinâmico.

Com isso, a Geografia, como ciência, possibilita uma grande contribuição para o planejamento e gestão ambiental do território, principalmente na prevenção e mitigação dos impactos ambientais, subsidiando medidas de planejamento, ordenamento e zoneamento ambiental (VESTENA, 2017).

Com base nisso, a necessidade de definir a utilização dos conceitos “meio” e “ambiente”, pois, apesar de não ter origem na ciência geográfica, a mesma emprega-os recorrentemente. Na geografia, ambos os conceitos definidos como “meio ambiente” são compreendidos como a relação entre o ser e o seu entorno; além disso, entende-se que ambiente, trata-se de algo além do meio externo ao homem, ou seja, defini-se como natureza (SUERTEGARAY, 2001).

Nesse sentido, o meio ambiente nada mais é que a união das unidades geossistêmicas, criadas a partir dos processos naturais e antrópicos que determinam as dinâmicas ambientais, resultando em uma complexa realidade. A análise integrada dos elementos formadores do meio ambiente por meio da inter-relação das unidades geossistêmicas permite um estudo aprofundado dos aspectos físicos, da vulnerabilidade natural à perda de solos, sendo responsável por abordar os processos naturais, o uso e ocupação da terra, por estudar as variedades de ocupações antrópicas, suas alterações e impactos ambientais; por fim, criando uma síntese entre vulnerabilidade natural à perda de solos, uso e ocupação da terra e as legislações ambientais de preservação, produto denominado de uso e ocupação da terra recomendado.

Portanto, estudos que envolvem recursos hídricos mostram-se cada vez mais necessários, haja vista a importância da análise integrada dos elementos inseridos nos limites hidrográficos, visando um planejamento e gestão ambiental, tornando as bacias hidrográficas cruciais para pesquisas que envolvam a preservação ambiental, uma vez que os efeitos dos usos inadequados dos elementos naturais contidos nas mesmas resultam em um efeito cascata, afetando todo o geossistema, gerando impactos que afetarão direta ou indiretamente o desenvolvimento da sociedade.

2.2. Planejamento e Gestão de Bacias Hidrográficas

Na década de 1980, as questões que tratavam de planejamento obtiveram mais visibilidade governamental, pois a comunidade internacional, essencialmente os bancos internacionais, exigiam estudos ambientais para o financiamento de projetos. Em vista da

preocupação ambiental crescente em âmbito internacional, o Governo Federal, no esforço de desenvolver o planejamento ambiental integrado, instaurou uma das principais medidas que regem o meio ambiente, sendo ela a Política Nacional de Meio Ambiente, instituída pela Lei n.º 6.638/81.

O PRESIDENTE DA REPÚBLICA, Faço saber que o Congresso Nacional decreta e eu sanciono a seguinte Lei:

Art 1º - Esta lei, com fundamento nos incisos VI e VII do art. 23 e no art. 235 da Constituição, estabelece a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, constitui o Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) e institui o Cadastro de Defesa Ambiental.

DA POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

Art. 2º. A Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (BRASIL, 1981, n.p.).

Por meio disso, iniciou-se a incorporação do planejamento em instituições governamentais de uma forma mais organizada e geral, pois as leis promulgadas anteriormente trabalhavam o meio ambiente de uma forma setorial e direcionada.

Tratando-se das questões que envolvem o ato de planejar, concorda-se com Santos (2004), que define o planejamento como um meio sistemático de determinar o atual estado, onde deseja-se chegar e o melhor caminho para atingir os objetivos, sendo necessário ter a previsão das consequências de cada alternativa – processo que envolve a coleta, organização e análise sistematizada das informações.

É importante compreender que o planejamento é essencial para o andamento das ações, não podendo ser definido como somente uma etapa, mas necessitando de constantes revisões e alterações. Planejamento é uma atividade para ser implementada, e não apenas uma produção de documentos. “O processo não se esgota na implementação, tendo continuidade ao longo do tempo, através de mais uma fase, a de monitoramento e avaliação, nas quais os planos são submetidos a revisões periódicas, bem como as ações e os cronogramas de implantação” (SANTOS, 2004, p. 25).

Em vista da necessidade de planejar as ações no espaço e no meio ambiente, tem-se a etapa inicial denominada de planejamento ambiental, responsável pelo desenvolvimento de ações que vão de encontro com a realidade; “[...] um processo intelectual no qual são projetados os instrumentos de controle baseados em uma base técnico-científica, instrumental e participativa, o que deve facilitar a implementação de um conjunto de ações e processos de gestão [...]” (RODRIGUEZ; SILVA; CAVALCANTI, 2013, p. 133). Nota-se que a partir da integração entre os elementos que compõem um planejamento, somada às diversas variáveis

que formam o meio ambiente, define-se o planejamento ambiental.

O planejamento ambiental tem como estratégia estabelecer ações dentro de contextos e não isoladamente. O resultado é o melhor aproveitamento do espaço físico e dos recursos naturais, economia de energia, alocação e priorização de recursos para as necessidades mais prementes e previsão de situações (SANTOS, 2004, p. 38).

Segundo Santos (2004), o planejamento ambiental é a adequação de ações às potencialidades e às capacidades de suporte, procurando desenvolver a região harmonicamente, assim como a manutenção da qualidade do ambiente físico, biológico e social. Encontra-se, no planejamento ambiental, a possibilidade de empregar uma abordagem sistêmica das relações da natureza e sociedade, compreendendo, como pressuposto inicial, que os sistemas ambientais estão inter-relacionados (CHARLES, 2020).

(...) a finalidade do planejamento é atingir metas específicas, a fim de propiciar a melhoria de uma determinada situação e o desenvolvimento das sociedades. Para tanto, o planejamento visa orientar os instrumentos metodológicos, administrativos, legislativos e de gestão para o desenvolvimento de atividades num determinado espaço e tempo (CHARLES, 2020, p. 33).

Considerando as premissas do planejamento ambiental, ressalta-se sua etapa posterior, a qual trata-se da gestão ambiental, ambas distintas, porém, complementares. Segundo Souza (2010), planejar sempre remete ao futuro, pois o planejamento é a tentativa de prever a evolução de um fenômeno; a gestão, por sua vez, trata-se de administrar uma situação dentro dos limites estabelecidos pelos recursos disponíveis.

A gestão ambiental constitui-se de uma variedade de ações articuladas, determinadas e orientadas por objetivos pré-estabelecidos, buscando direcionar as intervenções ambientais para alternativas ambientalmente sustentáveis, de modo que estas não comprometam o meio ambiente, tornando-se, portanto, indispensável para o desenvolvimento social.

[...] a gestão ambiental envolve um universo de atuação que abrange ações para garantir as condições de qualidade ambiental indispensável para a vida em todas as suas formas como também de indução de produções de bens e serviços sustentáveis para atender as legítimas demandas da sociedade (AGRA FILHO, 2014, p. 7).

A gestão ambiental pode ser definida, de acordo com Curi (2011, p. 97), “[...] como o braço da administração que reduz o impacto das atividades econômicas sobre a natureza”. Dessa forma, é crucial instruir-se que a gestão não se resume a controle; trata-se de uma etapa fluida, estabelecendo-se de acordo com a realidade encontrada, uma vez que as problemáticas ambientais variam de acordo com as atividades da sociedade. Por meio disso, a efetiva aplicabilidade da gestão ambiental encontra-se no equilíbrio dos diversos processos de

intervenções humanas, empenhando-se na ideia de um desenvolvimento sustentável, atuando de forma integrada em todas as esferas da sociedade.

Segundo Agra Filho (2014), é importante que a gestão ambiental não se restrinja a uma única esfera pública, privada ou organizacional, mas sim em uma mesclagem de agentes e atores sociais, apropriando-se de uma responsabilidade coletiva.

Nessa perspectiva ações da gestão ambiental devem se voltar para a incorporação da questão ambiental na formulação e execução das diversas políticas setoriais e regionais, assim como nos seus desdobramentos normativos e, conseqüentemente, indutores das atividades específicas (AGRA FILHO, 2014, p. 9).

Com isso, para o cumprimento das funções primordiais da gestão ambiental, tem-se a necessidade de um equacionamento das demandas sociais sem deteriorar os sistemas ambientais. Em concordância com Agra Filho (2014), a partir do aumento das demandas sociais em relação à disponibilidade de recursos naturais para uso social e econômico, impõe-se mediações que garantam a compatibilização dessas demandas conflitantes de acordo com a realidade ambiental.

Realizado a conceitualização e demonstrada a importância do planejamento e gestão ambiental, apresentam-se os limites hidrográficos como unidades territoriais de referência para o planejamento e gestão, com base na aplicação da PNRH. Destaca-se, primeiramente, a importância do tema por meio dos fundamentos da PNRH (BRASIL, 1997):

Art. 1º. A Política Nacional de Recursos Hídricos baseia-se nos seguintes fundamentos:

I - a água é um bem de domínio público;

II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;

III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;

IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;

V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;

VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997, n.p.).

Em vista disso, o governo federal busca a indicação de um modelo de gestão a ser padronizado nacionalmente, citando a importância da disponibilidade de água e solo com qualidade e quantidade. Ressalta-se também o Art. 3º da PNRH, responsável por constituir as diretrizes gerais para a implementação da referida política, mais especificamente no que trata o inciso IV, responsável por articular o planejamento dos recursos hídricos com os demais

planejamentos, dispondo sobre “a articulação do planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, estadual e nacional” (BRASIL, 1997, n.p.). Por meio disso, o estado brasileiro estabelece as bacias hidrográficas como importantes unidades de planejamento e gestão ambiental em todas as esferas.

É crucial compreender que os conceitos norteadores relacionados à definição de bacias hidrográficas variam de acordo com o autor e com a abordagem teórica; porém, todos dirigem-se ao mesmo ponto em comum, em que define-se uma área da superfície terrestre que drena água e sedimentos dissolvidos, direcionando-os a uma saída comum.

Rodriguez, Silva e Leal (2011) ressaltam a trajetória da conceitualização das bacias hidrográficas vem se alterando com o passar do tempo; inicialmente, buscando o manejo de águas; posteriormente, com uma concepção de conjunção dos fatores ambientais; e, recentemente, com uma visão de planejamento ambiental integrado.

Dessa forma, tratando-se da contextualização da bacia hidrográfica como um ambiente integrado, Christofolleti (1999) afirma que as bacias hidrográficas são um sistema aberto e que essas bacias são formadas por fluxos de matéria e energia que se interligam. O conceito de Tucci (2013) apresenta as bacias como uma área de captação natural da água de precipitação, visto seus elementos formadores correlacionados, possuindo, como principal fator, o direcionamento do escoamento de água para um único ponto de saída. Já a visão sistemática de Usó (2020) trata a bacia hidrográfica como uma composição de conjuntos de superfícies de vertentes somados a uma rede de drenagem, que, por sua vez, é formada por diversos cursos de água que resultam em um leito único no seu exutório.

A utilização das bacias hidrográficas como unidade de planejamento necessita de uma visão sistêmica e integrada de seus elementos. Segundo Botelho e Silva (2004), as bacias hidrográficas são células básicas de análise ambiental em que a visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita. Em seus estudos, Santos (2004) resalta os efeitos das alterações antrópicas em virtude da integração socioeconômica e de mudanças naturais, uma vez que qualquer modificação interfere diretamente na dinâmica da bacia. Com base no entendimento de Santos (2008), consideramos que a bacia hidrográfica é o ecossistema ideal para a identificação dos impactos ambientais e para a aplicação do diagnóstico ambiental.

Dessa forma, os fatores que compõem o meio ambiente interagem entre si, originando processos inter-relacionados, definindo paisagens geográficas que apresentam potencial de utilização de acordo com as características de seus componentes, como, por exemplo, substrato geológico, formas e processos geomorfológicos, mecanismos hidrometeorológicos,

hidrogeológicos e, principalmente, alterações ocasionadas pela sociedade (CHRISTOFOLETTI, 1980).

É importante perceber que, devido à inserção das diversas atividades antrópicas nas dinâmicas ambientais, cria-se um vasto arcabouço de impactos. O uso inconsequente de águas superficiais e subterrâneas, a retirada de vegetação, escavações, plantações, entre outras situações, acarretam em consequências sistemáticas ao meio ambiente.

Considerando os incontáveis efeitos negativos, os estudos sobre o planejamento e gestão de bacias hidrográficas estão, cada vez mais, assumindo uma maior importância, haja vista a necessidade de se realizar diagnósticos situacionais, em função do aumento na degradação ambiental, tanto nas questões de disponibilidade hídrica e qualidade de água quanto no uso indevido dos recursos e suas consequências para o meio (TAMANINI, 2008).

Em concordância com Soares (2015), torna-se cada vez mais necessária a inclusão das bacias hidrográficas como ambientes de estudos, empenhando-se no desenvolvimento de planejamentos ambientais, tendo em vista a importância das mesmas, somada à integração de seus elementos. Os estudos referentes às bacias hidrográficas possuem a capacidade de criar um inventário ambiental, possibilitando a análise das condições nas quais as bacias estão inseridas e da relação de suas variáveis, assim como a identificação dos graus de espacialização de fragilidade e a proposição de possíveis planejamentos de médio a longo prazo (SANTOS, 2008).

De acordo com Tundsi e Matsumura-Tundsi (2011), devido aos múltiplos usos da água, que acarretam em impactos ambientais, os quais perpassam em diferentes escalas, justifica-se a necessidade de optar pela delimitação nos estudos de planejamento e gestão ambiental dentro dos limites hidrográficos. Em vista disso, compreende-se que as bacias hidrográficas são altamente vulneráveis às ações antrópicas, tornando-se imprescindíveis nos estudos que subsidiam o planejamento e gestão ambiental (GORAYEB et al., 2011).

Garcia (2017) apresenta a importância da presença de um manejo; nas palavras do autor,

Muitos problemas podem decorrer da ausência de manejo com os recursos hídricos e gerenciamento das ações de todos os usuários deste recurso. Nesse sentido, a gestão das águas vem da necessidade de gerenciar o uso múltiplo das águas, de atenuar conflitos e de garantir a sustentabilidade do meio hídrico (GARCIA, 2007, p. 26).

No caso da água, é necessário compreender que a mesma é um elemento finito, essencial para a vida biológica no planeta, assim como para o desenvolvimento da sociedade, que atribui valor econômico, social e natural a esse recurso. Porém, apesar da abundância da água, as diversas formas de uso e a poluição hídrica têm afetado a qualidade da água doce para consumo,

tornando os processos de captação e tratamento cada vez mais onerosos (RIBEIRO, 2014).

O aumento da degradação dos recursos hídricos estabelece a responsabilidade de instituir um desenvolvimento sustentável perante a sociedade. “Destaca-se a natureza finita deste recurso e o valor competitivo da água enquanto bem econômico. A sociedade moderna ampliou a diversidade de usos das águas, surgindo demandas conflitantes” (BORGES, 2006, p. 13).

Nessa perspectiva, os estudos em bacias hidrográficas mostram-se cada vez mais relevantes, haja vista a necessidade de planejar e gerir os recursos naturais presentes. Assim, Gorayeb (2008) considera as bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão. A variedade de fatores físicos, biológicos e sociais presente em uma bacia hidrográfica torna-a uma peça fundamental no planejamento e gestão, haja vista a interação de seus elementos naturais, somados as modificações humanas. Segundo Cunha e Guerra (2000), em consequência da ocupação antrópica das bacias hidrográficas, tal como a exploração dos recursos naturais, desenrola-se uma teia maior de problemas ou de danos ambientais.

Por fim, a presente pesquisa toma como base a premissa sistêmica, utilizando como limite de estudo a delimitação natural de uma bacia hidrográfica, considerando sua grande significância no desenvolvimento de estudos relacionados ao planejamento, gestão e dinâmica ambiental como uma importante ferramenta de integração, tendo em vista a necessidade de planejar e gerir o espaço, buscando sempre harmonizar as ações antrópicas e seus efeitos no meio ambiente, empenhando-se em uma análise integrada das variáveis que compõem o meio.

2.3. Diagnóstico Ambiental

Com base nas leituras realizadas, pode-se chegar à conclusão de que o diagnóstico ambiental é uma ferramenta de suporte ao planejamento ambiental que permite a análise dos recursos naturais e de suas interações, visando a caracterização situacional de determinada área geográfica. Dias e Dias (2014, p. 19) entendem o diagnóstico ambiental “[...] como o conhecimento de todos os componentes ambientais de uma determinada área”.

A Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (FEEMA, 1992), define o diagnóstico ambiental como o conhecimento de todos os componentes ambientais de determinada área. Em concordância com Oliveira (2003), o diagnóstico ambiental define-se como uma base para o conhecimento ambiental situacional de determinada

área, buscando definir linhas de atuação ou de tomada de decisões para prevenção, controle e correção dos problemas ambientais.

Tamanini (2008) menciona que um diagnóstico ambiental nada mais é que a interpretação da situação ambiental da área de estudo, partindo da interação e da dinâmica de seus componentes, tanto relacionado aos elementos físicos e biológicos quanto aos fatores socioculturais. Segundo Santos (2004), os inventários e os diagnósticos são uma representação do caminho para a compreensão das potencialidades e das fragilidades, da evolução da ocupação e das pressões do homem sobre os sistemas naturais. “Formam-se retratos da área que, comparados, somados e interpolados, ressaltam as principais características e fornecem indícios da dinâmica da região” (SANTOS, 2004, p. 34). Tratando-se do diagnóstico e, conseqüentemente, de uma gestão de bacia hidrográfica, Candido (2008) considera que

Nas questões que envolvem a gestão dos recursos naturais considera-se que o diagnóstico ambiental seja o primeiro passo para conhecer a realidade dos impactos antrópicos. Esse diagnóstico é a base para gerar o prognóstico ambiental e promover a integração das análises ambientais, políticas e econômicas, que compõem um plano de gerenciamento de uma bacia hidrográfica (CANDIDO, 2008, p. 1).

Com base em Martins (2014), a elaboração do diagnóstico ambiental envolve interpretação situacional do meio ambiente, por intermédio da relação de seus componentes, sejam relacionados aos elementos físicos e biológicos, sejam aos fatores socioculturais. Nas palavras do autor,

O diagnóstico ambiental pode ser definido como o conhecimento de todos os componentes ambientais de uma determinada área em diferentes escalas (país, estado, bacia hidrográfica, município) para a caracterização da sua qualidade ambiental. [...] O estado do meio ambiente costuma ser avaliado por temas relacionados aos aspectos físicos (clima, geologia, geomorfologia, pedologia, hidrologia) e biológicos (fauna e flora) (MARTINS, 2014, p. 32).

Para Santos (2008), por intermédio do diagnóstico ambiental existe a possibilidade do desenvolvimento sustentável, prevenindo e corrigindo possíveis impactos ambientais, tanto do ponto de vista socioeconômico quanto do ecológico. A aplicação de um diagnóstico no planejamento ambiental permite a elaboração de uma base de eventuais políticas públicas que objetivem a melhoria da qualidade de vida e a preservação ambiental por meio da identificação e avaliação dos impactos ambientais no meio físico, biológico e socioeconômico.

Baseando-se na concepção de Charles (2020), a real necessidade de desenvolver um diagnóstico vem sempre direcionada à solução dos diversos problemas e à busca de melhorias, levando em consideração os riscos, exigências legais e aspectos socioeconômicos. Com base

em Gomes (2005), tem-se, por meio do diagnóstico ambiental, o entendimento da real situação ambiental da bacia, abordando temas como solo, vegetação, clima, geologia, litologia, entre outros.

Já no entendimento de Charles (2020), o diagnóstico ambiental constitui-se como um instrumento de caracterização da qualidade ambiental, de modo a fornecer conhecimento para embasar a identificação e avaliação dos impactos nos meios físico, biológico e socioeconômico, tornando-se necessário a realização de diagnósticos e de prognósticos integrados para ordenamento e uso racional dos recursos naturais, garantindo a manutenção dos serviços ambientais, como também da biodiversidade (CHARLES, 2020).

[...] É, portanto, construído a partir da avaliação dos componentes e fatores ambientais que o compõem. O resultado do diagnóstico servirá de referência para análise de alterações antrópicas potencialmente geradoras de impactos ambientais e para a elaboração de prognóstico sobre alterações futuras da qualidade ambiental (CHARLES, 2020, p. 32).

Conforme a concepção de Fontanella et al. (2009, p. 23), “[...] a elaboração do diagnóstico ambiental envolve interpretar a situação ambiental problemática, a partir da interação e da dinâmica de seus componentes, quer relacionado aos elementos físicos e biológicos, quer aos fatores socioculturais”. Na visão de Zanatta (2014), tem-se, por intermédio do diagnóstico ambiental, a possibilidade de identificar setores com incompatibilidade entre o uso e cobertura superficial da terra, as características físicas e os instrumentos legais.

A partir da identificação dos conflitos existentes, responsáveis pela degradação ambiental, é possível estabelecer medidas corretivas e manejos adequados para esses setores. Tal proposta também permite elaborar prognósticos sobre as unidades ambientais, evitando que possíveis degradações dos recursos naturais e do ambiente ocorram (ZANATTA, 2014, p. 17).

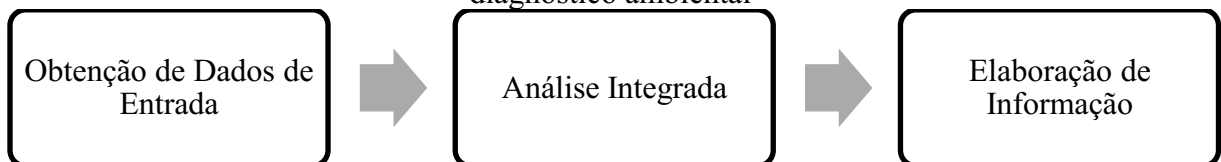
O Conselho do Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabelecido pela Resolução n.º 01, de 23 de janeiro de 1986, dispõe, em seu Art. 6º, sobre os critérios básicos e as diretrizes gerais referentes à composição do diagnóstico ambiental, sendo eles:

1. o meio físico - o subsolo, as águas, o ar e o clima, destacando os recursos minerais, a topografia, os tipos e aptidões do solo, os corpos d'água, o regime hidrológico, as correntes marinhas, as correntes atmosféricas;
2. o meio biológico e os ecossistemas naturais - a fauna e a flora, destacando as espécies indicadoras da qualidade ambiental, de valor científico e econômico, raras e ameaçadas de extinção e as áreas de preservação permanente;
3. o meio socioeconômicos - o uso e ocupação do solo, os usos da água e a socioeconômica, destacando os sítios e monumentos arqueológicos, históricos e culturais da comunidade, as relações de dependência entre a sociedade local, os recursos ambientais e a potencial utilização futura desses recursos (BRASIL, 1986, n.p).

Desse modo, em concordância com Beltrame (1994), é necessário a análise das variáveis do clima, geologia, geomorfologia, pedologia e vegetação para a elaboração de um diagnóstico, abordando cada variável e suas integrações. Baseando-se na integração dos elementos espaciais, os estudos em bacias hidrográficas necessitam mensurar os efeitos positivos e negativos estabelecidos por alterações humanas, visto que a concepção sistêmica dos elementos que a compõem, quando passam por alterações e impactos ambientais relevantes, geram o efeito em cascata na degradação dessas áreas, sendo o diagnóstico ambiental cada vez mais crucial para a identificação dos problemas ambientais.

Com base em Santos (2004), tem-se, por meio do diagnóstico ambiental, um momento de integração envolvendo, pelo menos, três fases (Fluxograma 01), cada qual compreendendo um processo único para o desenvolvimento do todo. Primeiramente, é necessário a obtenção dos dados ambientais de entrada, responsáveis pela descrição e identificação das temáticas ambientais; em seguida, a análise integrada dos elementos, momento em que serão realizados os procedimentos de integração das variáveis utilizadas; posteriormente, tem-se a elaboração das informações, ocasião na qual serão gerados os indicadores e os produtos incubidos de possibilitar a tomada de decisão.

Fluxograma 01 - Representação do tratamento metodológico comumente adotado em diagnóstico ambiental



Fonte: Santos (2004).

Cruz (2003, p. 112) destaca que o “diagnóstico ambiental resume a análise das condições ambientais atuais frente à ocupação humana, sendo composto pelo inventário, levantamento de dados, e informações sobre o ambiente físico e biológico, gerando as áreas ambientais críticas”.

Dessa forma, verifica-se, por meio das diversas concepções apresentadas, que o diagnóstico ambiental pode ser entendido como a análise das condições ambientais de determinada área de estudo capaz de gerar resultados que podem ser utilizados nas mais diversas áreas do conhecimento.

Com base no exposto, tem-se a possibilidade de compreender o funcionamento das

diferentes variáveis ambientais que compõem uma bacia hidrográfica, analisando-as individualmente e relacionando-as, resultando em um produto integrado e rico em informações. “Nas questões que envolvem a gestão dos recursos hídricos considera-se que o diagnóstico ambiental seja o primeiro passo para conhecer a realidade dos impactos antrópicos” (CRUZ, 2003, p. 21).

Por fim, segundo Santos (2008), por intermédio do diagnóstico ambiental existe a possibilidade de avaliar informações e dados ambientais, possibilitando a adoção de medidas para cada área afetada. Dessa maneira, tem-se a consolidação da aplicação de diagnósticos ambientais em bacias hidrográficas, visto a coerência e a sistematização dos seus elementos naturais relacionados às atividades econômicas, possibilitando a elaboração de um planejamento integrado.

2.3.1. Vulnerabilidade natural à perda de solo

A eficiência do planejamento e gestão ambiental de um território depende, em sua maior parte, de levantamentos e de estudos sistemáticos, abordando, previamente, os principais elementos e condicionantes do meio físico, visto que a ocupação inadequada do espaço e a utilização indevida dos recursos naturais acarretam sérios problemas ambientais (LOPES; SALDANHA, 2016).

Tratando-se da questão das bacias hidrográficas, tem-se, após a identificação das variáveis do meio físico e antrópico, a possibilidade de organização dos indicadores ambientais responsáveis pelo planejamento e ordenamento territorial (COSTA, 2018). Com isso, como um instrumento para o planejamento ambiental, os indicadores ambientais são números que representam, empiricamente, um parâmetro para determinado fenômeno (CREPANI et al., 2001).

Considerando a importância dos indicadores ambientais, apresenta-se o termo de “vulnerabilidade”, que vem sendo definido pelo nível em que uma mudança pode afetar ou destruir um sistema, sendo que esse nível depende tanto da sensibilidade quanto da suscetibilidade; de outra forma, depende da capacidade do sistema de retornar às condições originais após ser afetado por ações externas (CHRISTOFOLETTI, 1999).

Baseando-se nisso, Rios (2011) define que em um sistema com alta vulnerabilidade, os efeitos acarretados pelas menores alterações poderão desencadear grandes e intensas

consequências modificadoras. Enquanto isso, Spörl (2007) afirma que as condições de estabilidade/equilíbrio do sistema podem ser rompidas através de alterações realizadas em qualquer um dos componentes da natureza, gerando instabilidade. Ambos autores observam que qualquer alteração nos elementos ambientais resultará em um efeito cascata de instabilidade e vulnerabilidade.

Em concordância com Nascimento e Dominguez (2009), o conceito de vulnerabilidade está vinculado à distribuição da maior e da menor fragilidade em determinado ambiente. As definições de vulnerabilidade são comentadas atreladas a mais de um fator, como, por exemplo, a exposição, a sensibilidade e a capacidade adaptativa do sistema frente às alterações ocorridas nele (SANTOS, 2019).

Os estudos relativos à fragilidade ou à vulnerabilidade dos ambientes mostram-se significativos para o planejamento ambiental em razão de se tratarem de um instrumento cuja finalidade é identificar e analisar os ambientes considerando seus diferentes níveis de susceptibilidade, proporcionando uma melhor definição de diretrizes e ações a serem implementadas no espaço físico-territorial, fornecendo subsídios ao planejamento e gestão do território (SPÖRL, 2007).

Com isso, a aplicabilidade de métodos que busquem a modelagem ambiental e a criação de um produto que retrate, o mais fielmente possível, a vulnerabilidade dos ambientes, tanto na questão natural quanto frente às intervenções humanas, apresenta-se como essencial para a execução de um planejamento, visando um diagnóstico e prognóstico ambiental (OLIVEIRA, 2011).

Segundo Ceconi et al. (2018), define-se o índice de vulnerabilidade à erosão como uma prática metodológica para o planejamento e gestão territorial, pois trata-se de uma ferramenta que possibilita, através de uma base de dados acessíveis, delinear espacialmente o grau de vulnerabilidade da área de estudo. Nesse sentido, pesquisas que abarquem as concepções entorno da vulnerabilidade a erosão mostram-se de grande significância, haja vista a utilização das mesmas como ferramentas para o planejamento ambiental e ordenação do uso e ocupação (RIOS, 2011).

As discussões que envolvem o tema “vulnerabilidade à erosão”, dizem respeito ao reconhecimento de diferentes graus de sensibilidade/susceptibilidade do ambiente aos processos erosivos. São estudos associados à possibilidade de ocorrência da erosão a partir da avaliação das atuais condições ambientais, tanto no que se refere às características naturais de solo, pluviosidade, relevo, geologia e cobertura vegetal como das condições de ocupação e uso da terra pela população (RIOS, 2011, p. 12).

Dessa forma, opta-se por utilizar os parâmetros da vulnerabilidade natural à perda de

solos como indicador ambiental nas bacias hidrográficas, posto considerar a relação entre pedogênese/morfogênese; dessa forma, a vulnerabilidade natural à perda do solo nada mais é que a definição em graus de fragilidade dos sistemas ambientais, haja vista suas características naturais. Isto posto, a metodologia para sua elaboração teve seu desenvolvimento baseado na teoria da ecodinâmica, formulada por Tricart (1977). Dessa maneira, estabeleceu-se diferentes categorias morfodinâmicas, resultantes dos processos de morfogênese e pedogênese. Nesta análise, quando predomina a morfogênese, prevalecem os processos erosivos modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese, prevalecem os processos formadores de solos.

A vulnerabilidade à erosão é avaliada de acordo com as características dos elementos dos meios físico e ambiental, estudadas de forma integrada. É estabelecida a partir da análise dos principais condicionantes do processo erosivo, que envolve principalmente a chuva, as peculiaridades do solo, a topografia, a cobertura vegetal e a geologia (RIOS, 2011, p. 30).

Com isso, a primeira categoria da ecodinâmica é definida como meios estáveis que contêm a presença de cobertura vegetal densa, dissecação moderada e a ausência de manifestações vulcânicas. A segunda denomina-se de meios intergrades que englobam o balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas. E, por último, os meios fortemente instáveis abrangem as condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas, relevo com vigorosa dissecação, presença de solos rasos, inexistência de cobertura vegetal densa, planícies e fundos de vales sujeitos a inundações e à geodinâmica interna intensa.

Segundo a metodologia proposta por Crepani et al. (2001), a criação das classes para o desenvolvimento da vulnerabilidade natural à perda de solos baseia-se nas categorias morfodinâmicas estabelecidas na ecodinâmica, por intermédio da criação de um modelo responsável pela avaliação das Unidades Territoriais Básicas (UTB), por meio da atribuição de valores de estabilidade aos processos de perda de solos para cada aspecto analisado.

Os critérios desenvolvidos a partir desses princípios permitiram a criação de um modelo onde se buscou a avaliação, de forma relativa e empírica, do estágio de evolução morfodinâmica das unidades territoriais básicas, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas (CREPANI et al., 2001, p. 19).

As unidades territoriais básicas nada mais são que células de informação e análise, ou entidades geográficas, que possuem atributos ambientais específicos. As diversas células possuem uma gama de informações fundamental para a compreensão dos elementos formadores do espaço; o vínculo de cada uma é dinâmico e elas articulam-se a uma complexa rede integrada

(CREPANI et al., 2001).

Portanto, as unidades territoriais básicas podem ser compreendidas como a junção dos elementos do meio físico e antrópico, podendo ser divididas em duas categorias, unidades de paisagem natural, sendo elas: litologia, solos, declividade, clima e vegetação/uso e cobertura do solo; e unidades de intervenção antrópica, sendo qualquer ação humana que modifique as condições naturais (CREPANI et al., 2001).

2.3.2. Uso da terra recomendado

O termo “uso da terra” pode ser compreendido como a forma pelo qual o espaço está sendo ocupado pelo homem, consistindo em mapear e avaliar, qualitativa e quantitativamente, tudo o que se encontra na litosfera (CONCEIÇÃO, 2004). Em concordância com Souza (2010), o uso e ocupação da terra é a maneira pela qual a sociedade humana ocupa o espaço. A identificação do uso e cobertura da terra em uma bacia hidrográfica é um dos primeiros passos para conhecer a espacialização de suas condições ambientais frente à ocupação humana (AMORIM et al., 2007).

Segundo Charles (2020), o uso e ocupação da terra também pode ser denominado de planejamento físico, que propõe disciplinar o uso da terra e as atividades antrópicas para que se obtenha melhor aproveitamento do espaço. Em concordância com Santos (2008), seja qual for a decisão sobre o uso da terra, é necessário analisar as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e climáticas, evitando efeitos negativos ao meio natural.

Tratando-se do uso e ocupação da terra para o desenvolvimento de um planejamento, pode-se afirmar que o

Uso e ocupação das terras é um tema básico para planejamento ambiental, porque retrata as atividades humanas que podem significar pressão e impacto sobre os elementos naturais. É uma ponte essencial para a análise de fontes de poluição e um elo importante de ligação entre as informações dos meios biofísico e socioeconômico (SANTOS, 2004, p. 97).

As formas de uso e ocupação da terra são derivadas das atividades socioeconômicas, refletindo no desenvolvimento e nas relações entre a sociedade e a natureza, permitindo a constatação de graus de conservação, preservação e degradação dos recursos naturais frente aos processos produtivos (SANTOS; SOUZA, 2011).

Com base nisso, tem-se, por meio do levantamento da cobertura e uso da terra, uma

importante ferramenta para planejamento e orientação à tomada de decisões, contribuindo para a identificação de alternativas que envolvam a sustentabilidade, oferecendo contribuições para análises e avaliações dos impactos ambientais (IBGE, 2013). Em concordância com Santos (2020), tem-se, por meio do uso e ocupação da terra, uma temática profundamente estudada na ciência geográfica em razão de tratar as questões que busquem a visibilidade para as modificações espaciais provocadas pelas inúmeras atividades humanas.

Em concordância com em Belward e Skoien (2015), o desenvolvimento de estudos e discussões sobre as alterações do uso e ocupação da terra são de grande importância, visto que as ações antrópicas acarretam mudanças e impactos significativos no espaço, podendo servir como auxílio para criação de indicadores ambientais e medidas sustentáveis ao meio ambiente. Segundo o IBGE (2003, p. 37), “Ao retratar as formas e a dinâmica de ocupação da terra, estes estudos também representam instrumentos valiosos para a construção de indicadores ambientais e para a avaliação da capacidade de suporte ambiental”.

De acordo com Rosa (2003), tem-se, por meio do conhecimento sobre as formas de utilização e ocupação da terra, tanto do passado quanto do presente, informações cruciais para o desenvolvimento de estudos relacionados ao processo de erosão, desertificação, inundação, entre outros, mostrando-se fundamental, uma vez que os efeitos do mau uso ocasionam a degradação do meio ambiente. Em vista disso, é importante compreender que o uso da terra possui como objetivo principal demonstrar a espacialização espaço-temporal; em outras palavras, realizar uma análise crítica a respeito da espacialização do uso e ocupação da terra no decorrer dos anos.

A dinâmica do uso e ocupação da terra contempla uma variável muito importante, o tempo, isto é, as diferentes transformações do espaço no decorrer dos anos e a possível comparação destas modificações. Esta dinâmica propicia a análise das ocorrências de diversos fenômenos como as enchentes e alagamentos, por vezes, associadas aos diferentes usos e ocupações da terra, tornando possível o diagnóstico do envolvimento na geração e/ou agravamento destas ocorrências, que impactam diretamente no cotidiano humano (SANTOS, 2020, p. 13).

Segundo Resende et al. (2011), os estudos que envolvem o uso da terra consistem em buscar conhecer a utilização da área por parte do homem, ou a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que revestem o solo. Por fim, a realização do mapeamento de uso e ocupação da terra tem como objetivo analisar e acompanhar a evolução da ocupação no espaço, utilizando ferramentas de SIG e produtos de sensoriamento remoto, permitindo um detalhado processo técnico de análise e interpretação (CHARLES, 2020).

A significância científica sobre os estudos que abordem a elaboração do uso da terra

pode ser definida na medida em que

[...] são relevantes os trabalhos de determinação e levantamento de indicadores do uso da terra, visando o planejamento e monitoramento de dados ambientais que, pelo uso das técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, venha propiciar o planejamento de unidades ambientais (CONCEIÇÃO, 2004, p. 13).

Tratando-se do uso da terra recomendado, pode-se definir como sendo a delimitação das possíveis áreas que podem ser exploradas sem que comprometam o meio ambiente, permitindo a identificação dos pontos de fragilidade e o mapeamento dos locais adequados para as atividades antrópicas conforme a legislação ambiental (SANTOS, 2008).

Com base em Brito (2003), tem-se a elaboração do uso da terra recomendado por intermédio de trabalhos de campo, de dados de sensoriamento remoto e de técnicas de geoprocessamento, possibilitando constituir um instrumento adequado para promover o desenvolvimento sustentável, do ponto de vista ambiental, em bacias hidrográficas. Por fim, para a elaboração do uso da terra recomendado são necessário três fatores: a delimitação do uso e ocupação da terra, as áreas de preservação permanente seguindo a legislação ambiental e a fragilidade natural dos solos (BRITO, 2001).

2.4. O Geoprocessamento como subsídio à análise de impactos ambientais

As interações entre o homem e o meio ambiente vêm sendo prejudiciais à natureza, cada vez mais, constituindo-se de inúmeros impactos. Até o planejamento de modelos sustentáveis de sociedade gera consequências, mesmo que mínimas. “A degradação ambiental ocorre em toda parte, com maior ou menor intensidade, dependendo das técnicas utilizadas na exploração dos recursos naturais, e da preocupação local com a preservação [...]” (LIMA-E-SILVA; GUERRA; DUTRA, 2017, p. 234).

A visão humana da natureza como detentora e provedora de matéria-prima prejudicou consideravelmente o meio ambiente e ocasionou um desequilíbrio ambiental. Conforme Lima-e-Silva, Guerra e Dutra (2017, p. 236), “[...] a geração de produtos e rejeitos associados pelas atividades econômicas não ocorre sob o controle das leis naturais, e portanto tende a superar a capacidade de recuperação do meio”. Dessa forma, a falta de preocupação com o planejamento e gestão ambiental resulta em diversos impactos, cada vez mais comuns na atualidade.

Visto isso, tem-se o crescimento de preocupação com o meio ambiente por parte de estudantes, pesquisadores e gestores públicos, todos unidos para a minimização dos impactos

ambientais ocasionados pela exploração dos recursos hídricos (SANTOS, 2008).

Os impactos ambientais são consequências de ações humanas no meio ambiente, podendo ser propositais ou não. Toda e qualquer ação humana no espaço resulta em um impacto, seja ele grande ou pequeno. Nesse sentido, “[...] o termo impacto ambiental é aplicado para expressar as consequências para o ambiente ocasionadas por uma ação ou atividade humana” (AGRA FILHO, 2014, p. 121). Em concordância com Oliveira (2003), ressalta-se que os impactos não são gerados somente como efeito de ações antropogênicas, observando que se devem considerar os efeitos danosos gerados por agentes naturais, como furacões, terremotos, secas, inundações e movimentos de massa em área até então intactas.

Diversos autores trabalham concepções de impacto ambiental. De acordo com Moreira (1993, p. 113), impacto ambiental é “[...] qualquer alteração no meio ambiente em um ou mais de seus componentes provocada por uma ação humana”. Em concordância Moreira (1993), Sánchez (2013, p. 30), argumenta que “[...] qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização” pode ser considerada com um impacto ambiental.

Ainda segundo Moreira (1993), os impactos ambientais podem se definidos, sempre, como consequência de uma ação. Complementando essa ideia, Oliveira (2011, p. 236) afirma que “os fatores que levam a qualificar um efeito ambiental como significativo são subjetivos, envolvendo escolhas de natureza técnica, política ou social”.

Define-se impacto ambiental como qualquer alteração no meio ambiente, podendo afetar um ou diversos componentes. Sendo provocado por uma ação humana, o impacto ambiental é sempre consequência de uma ação, apesar de nem todas as consequências de uma ação humana merecerem ser consideradas como impacto ambiental (MARTINS, 2014).

Com isso, a Resolução n.º 01/1986, do CONAMA, estabelece os critérios básicos e diretrizes gerais referentes à avaliação do impacto ambiental. Dessa forma, o Art. 1º do referido dispositivo traz o seguinte:

Artigo 1º - Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - A saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - As atividades sociais e econômicas;

III - A biota;

IV - As condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - A qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986, n.p.).

De forma geral, os impactos ambientais definem-se na capacidade ou nas possibilidades

de alterações do meio por ações humanas, baseando-se em uma análise futura das possíveis consequências ocasionadas por determinadas ações. É importante ressaltar que os impactos ambientais podem ser caracterizados por serem reversíveis, variando com a possibilidade de o fator ambiental afetado retornar às suas condições originais; ou irreversíveis, com base na impossibilidade do fator ambiental afetado retornar as condições originais (MARTINS, 2014).

A análise dos impactos ambientais necessita de uma espacialização, visto que, para analisar espacialmente o impacto, é necessário delimitá-lo no espaço. Dessa forma, através do Sistema de Informação Geográfica (SIG) tem-se a possibilidade de compreender a real dimensão espacial dos impactos sofridos em determinadas áreas.

Na atualidade, todo planejamento e gestão do território necessita desenvolver a análise integrada dos elementos naturais, tanto do meio físico-biótico quanto da ocupação antrópica, relacionando-os com a realidade encontrada no espaço, tornando os métodos e as técnicas de geoprocessamento cada vez mais cruciais. A definição de geoprocessamento pode ser considerada como a utilização de técnicas computacionais para o tratamento de informações geográficas (MAGRI, 2013).

No caso do desenvolvimento de diagnósticos ambientais, os trabalhos necessitam de técnicas de geoprocessamento que busquem a representação e integração dos elementos, diferenciando-se, principalmente, por meio das variáveis a serem analisadas. Entretanto, todos os diagnósticos ambientais possuem o objetivo de colaborar ao desenvolvimento de um planejamento ambiental.

Diante disso, Gatto (1999), em seu trabalho intitulado “Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jaguaribe: Diretrizes gerais para a ordenação territorial”, aborda a análise integrada das variáveis ambientais, buscando a setorização geoambiental em razão da compreensão das potencialidades e limitações dos recursos naturais da área, resultando em um produto síntese nomeado como “mapa de potencial geoambiental”, responsável por integrar as diversas variáveis que compuseram o diagnóstico ambiental, sendo o resultado obtido somente por meio de análises espaciais realizadas por geoprocessamento.

Na mesma concepção do autor anteriormente apresentado, tem-se a pesquisa elaborada por Hauff (1996), intitulada de “Diagnóstico Ambiental Integrado da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis, SC”. O referido estudo busca elaborar subsídios ao diagnóstico ambiental por meio da relação entre as características físicas, biológicas e antrópicas da área de estudo, utilizando programas e técnicas de geoprocessamento e gerando o mapeamento das unidades ambientais. Considerando a necessidade de uma análise

integradora e realista, a pesquisa cruzou os mapeamentos relacionados ao uso do solo e ao uso previsto, criados por técnicas de geoprocessamento, com o mapeamento de unidades ambientais, buscando a averiguação e a adequação dos solos existentes e previstos com as características locais.

Com base nisso, o desenvolvimento de um diagnóstico ambiental pode variar de acordo com os objetivos a serem abordados. No caso da pesquisa elaborada por Gomes (2005), intitulada de “Diagnóstico Ambiental do meio físico da bacia hidrográfica do rio Jaboatão – PE”, apresenta-se uma abordagem metodológica com maior incidência das variáveis ambientais naturais em comparação com as antrópicas, em que o produto sintetizador é a própria análise elaborada pelo autor, utilizando como base as informações ambientais fornecidas em domínio público, manipulando-as por meio de SIG’s.

Santos (2008), em sua pesquisa, intitulada como “Diagnóstico ambiental e uma proposta de uso da bacia do córrego bebedouro – Uberlândia/MG”, apresenta a elaboração de um diagnóstico ambiental e a criação de um produto síntese visando a associação de todas as variáveis ambientais analisadas por meio das medidas de fragilidade ambiental. O referido produto foi elaborado por meio do geoprocessamento, obtendo resultados satisfatórios na análise integrada dos elementos e na proposição de um uso da terra.

Em continuidade, tem-se a pesquisa intitulada “Diagnóstico geoambiental da sub-bacia hidrográfica do rio Figueiredo, Ceará: Subsídios ao planejamento ambiental”, desenvolvida por Sousa (2012), em que o autor expõe a contextualização geoambiental da área como subsídio ao planejamento ambiental, baseando-se em uma análise integrada dos elementos naturais e antrópicos em um SIG, gerando um quadro como produto síntese de cada variável, contendo as potencialidades e limitações da área, impactos ambientais, riscos de ocupação e as diretrizes ambientais a serem seguidas. Por meio disso, outro autor que utiliza de técnicas de geoprocessamento e análises de variáveis ambientais integradas, por intermédio de uma visão geossistêmica, trata-se de Charles (2020), que, em sua pesquisa nomeada como “Diagnóstico ambiental do *arrondissement* de Arcahahe – Haiti”, desenvolve um diagnóstico ambiental por meio do geoprocessamento e análises geossistêmicas, criando como produto do diagnóstico o mapeamento da fragilidade ambiental.

A pesquisa desenvolvida por Zanatta (2014), intitulada de “Diagnóstico visando planejamento ambiental da alta bacia do ribeirão areia dourada, Marabá Paulista”, apresenta a elaboração de um diagnóstico ambiental por intermédio dos condicionantes físicos e antrópicos, utilizando uma visão sistêmica adaptada da geoecologia das paisagens, resultando na integração

das variáveis analisadas e criação do mapeamento do estado geoecológico da área, por intermédio do geoprocessamento.

Por último, tem-se o trabalho desenvolvido por Oliveira (2011), nomeado como “Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental no litoral sul do Rio Grande do Norte”, responsável por identificar os impactos ambientais e desenvolver um modelo de vulnerabilidade ambiental, resultados alcançados por meio de metodologias do geoprocessamento que permitiram a utilização dos produtos em diagnósticos ambientais.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A princípio, para o desenvolvimento desta pesquisa teve-se a elaboração do referencial teórico objetivando apresentar e embasar os principais conceitos e abordagens sobre a temática trabalhada. O referencial foi baseado em teses, dissertações, leis federais, livros, periódicos e artigos, buscando leituras e autores que abordem os tópicos relevantes presentes na presente pesquisa, principalmente quanto às definições de planejamento e gestão de bacias hidrográficas, à conceitualização e aplicabilidade do diagnóstico ambiental, estudos sobre a vulnerabilidade natural à perda de solos, uso da terra recomendado, os impactos ambientais e as técnicas de geoprocessamento.

3.1. Vulnerabilidade natural à perda de solos

O desenvolvimento do material cartográfico da vulnerabilidade natural à perda de solo utiliza como base a metodologia elaborada por Crepani et al. (2001), que atribui valores referentes aos graus e classes de vulnerabilidade de cada variável ambiental, embasando-se nos critérios e conceitos definidos na ecodinâmica do autor Tricart (1977), responsável por fundamentar-se em um instrumento lógico de sistema, focando nas relações mútuas dos elementos que compõem a dinâmica e os fluxos de energia/matéria. Por meio disso, Tricart (1977) classifica o meio ambiente usando a escala de vulnerabilidade, definindo os meios como estáveis, intergrades e instáveis, estabelecendo as categorias morfodinâmicas (Quadro 1).

Quadro 1 - Categorias morfodinâmicas da ecodinâmica

CATEGORIAS MORFODINÂMICAS	
Meios estáveis	Cobertura vegetal densa
	Dissecação moderada
	Ausência de manifestações vulcânicas.
Meios intergrades	Equilíbrio entre as Interferências Morfogenéticas e Pedogenéticas.
Meios fortemente instáveis	Condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas;
	Relevo com vigorosa dissecação
	Presença de solos rasos
	Planícies e fundos de vales sujeitos a inundações
	Geodinâmica interna intensa

Inexistência de cobertura vegetal densa; Fonte: Tricart (1977).
--

Fundamentado nesses princípios, Crepani et al. (2001) determinaram critérios que possibilitaram o desenvolvimento de um modelo que busca a avaliação do estágio de evolução morfodinâmica da unidade de paisagem (Quadro 2). Por meio disso, teve-se a atribuição de valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas, sendo necessário ressaltar que no momento de predominância da morfogênese prevalecem os processos erosivos; quando predomina-se a pedogênese, estabelecem-se os processos formadores do solo.














Quadro 2 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas









Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese/Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a morfogênese	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Posteriormente, a partir da avaliação desenvolvida, os autores buscaram contemplar uma maior variedade de categorias morfodinâmicas, resultando na construção de uma escala de vulnerabilidade à perda de solo (Quadro 3). Desenvolveu-se 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo. Às áreas em que se encontra o predomínio dos processos de pedogênese, atribuiu-se valores próximos a 1,0; situações intermediárias, com valores ao redor de 2,0; e locais com predominância dos processos de morfogênese, valores próximos a 3,0.

Quadro 3 - Avaliação da estabilidade das categorias morfodinâmicas

Unidade de Paisagem	Média		Grau de Vulnerabilidade	Grau de Saturação				
				Verm.	Verde	Azul	Cores	
U1	VULNERABILIDADE	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		2,6		255	204	0		
U6		ESTABILIDADE	2,5	Moderadamente Vulnerável	255	255	0	
U7			2,4		204	255	0	
U8			2,3	Medianamente Estável/ vulnerável	153	255	0	
U9			2,2		102	255	0	
U10			2,1		51	255	0	
U11			2,0		0	255	0	
U12			1,9		0	255	51	
U13			1,8		0	255	102	

U14		1,7	Moderadamente Estável	0	255	153	
U15		1,6		0	255	204	
U16		1,5		0	255	255	
U17		1,4		0	204	255	
U18		1,3	Estável	0	153	255	
U19		1,2		0	102	255	
U20		1,1		0	51	255	
U21		1,0		0	0	255	

Fonte: Crepani et al. (2001).

Materiais:

- Vulnerabilidade ao tema Geologia (Litologia);
- Vulnerabilidade ao tema Geomorfologia;
- Vulnerabilidade ao tema Pedologia;
- Vulnerabilidade ao tema Vegetação;
- Vulnerabilidade ao tema Clima;
- *Software* QGIS 3.16.4 Hannover

Procedimentos Operacionais:

Com base na metodologia apresentada, elaboram-se os modelos de vulnerabilidade aos temas de geologia (Litologia), geomorfologia, solos, vegetação/uso da terra e clima, sendo que cada variável compõe uma unidade da paisagem; posteriormente, cria-se e atribui-se um valor final, resultado de uma média aritmética dos valores individuais de cada tema, gerando a vulnerabilidade natural à perda de solos. Baseia-se na Equação 01 para a elaboração da média aritmética; todos os dados das variáveis presentes na equação são *raster's*, visto a necessidade de utilizar a álgebra de mapas para o desenvolvimento.

(1)

$$V = \frac{(G + R + S + Vg + C)}{5}$$

Onde:

V = Vulnerabilidade

G = Vulnerabilidade para o tema Geologia (Litologia)

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia

S = Vulnerabilidade para o tema Solos

Vg = Vulnerabilidade para o tema Vegetação

C = Vulnerabilidade para o tema Clima

Fonte: Crepani et al (2001, p. 22).

A atribuição de valores de vulnerabilidade à perda de solo para as classes de cada tema busca seguir uma lógica diretamente relacionada às características de cada variável. No caso das cores a serem atribuídas, é importante ressaltar que, para melhor representação da classe de estabilidade ou vulnerabilidade, os autores partiram da combinação de três cores primárias (Azul, Verde e Vermelho), buscando a representação de cada classe de vulnerabilidade associada a uma cor específica.

Seguindo o critério definido, o valor de maior estabilidade (1,0) irá se associar à cor azul; o valor de estabilidade intermediária (2,0) irá se associar à cor verde; o valor de maior vulnerabilidade (3,0) à cor vermelha. Tratando-se dos valores situados entre 1,1 e 1,9, na escala de vulnerabilidade estes associam-se a cores resultantes da combinação entre o azul e o verde; os valores situados entre 2,1 e 2,9 associam-se a cores resultantes da combinação entre o verde e o vermelho, crescendo a participação do segundo à medida em que o valor da vulnerabilidade se aproxima de 3,0. “Na escolha das cores procurou-se obedecer aos critérios de comunicação visual que buscam associar às cores “quentes” e seus matizes (vermelho, amarelo e laranja) situações de emergência, e às cores “frias” e seus matizes (azul, verde) situações de tranquilidade” (CREPANI et al. 2001, p. 23).

3.1.1. Vulnerabilidade para o fator Geologia (Litologia) (G) e Pedologia (S)

Em vista da necessidade de obtenção de dados ambientais físicos, mais especificamente em relação à geologia e à pedologia, utilizou-se como base de informação o Portal do IBGE, visto sua vasta gama de dados ambientais abertos, por ser um instituto público federal, bem como em virtude da ausência de uma base de dados em escala mais detalhada da região.

Materiais:

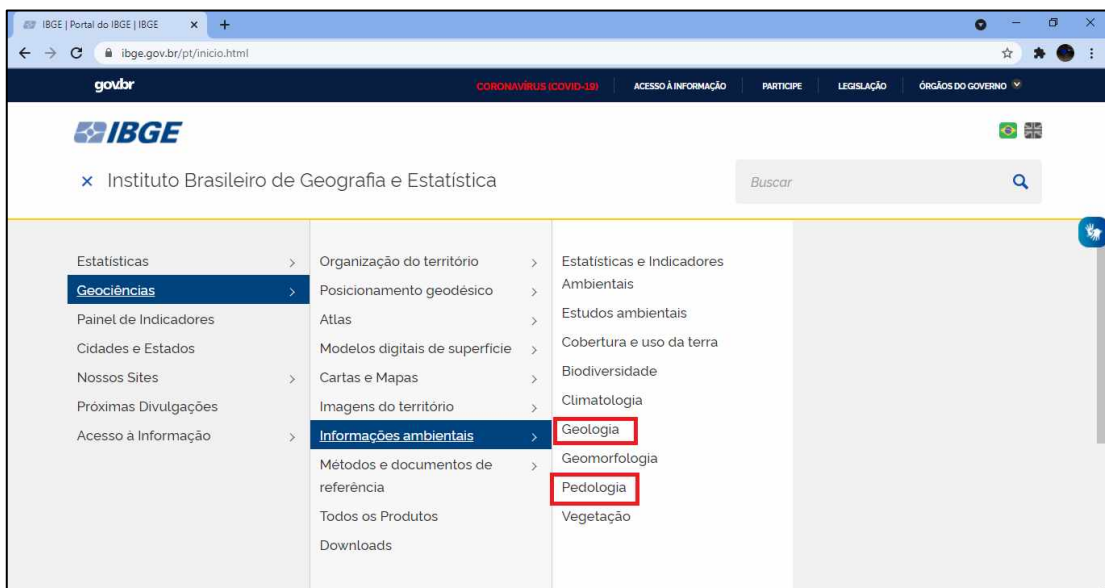
- Dados geológicos e pedológicos, na escala 1:250.000, disponibilizados pelo IBGE no formato *shapefile* (*shp.*);
- *Software* QGIS 3.16.4 Hannover;
- Banco de informações ambientais do IBGE;
- Glossário geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais;
- Portal didático do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo;

Procedimentos Operacionais:

Inicialmente, houve a necessidade do acesso ao Portal do IBGE, responsável por conter todos as informações e banco de dados referentes às mais diversas temáticas trabalhadas pelo

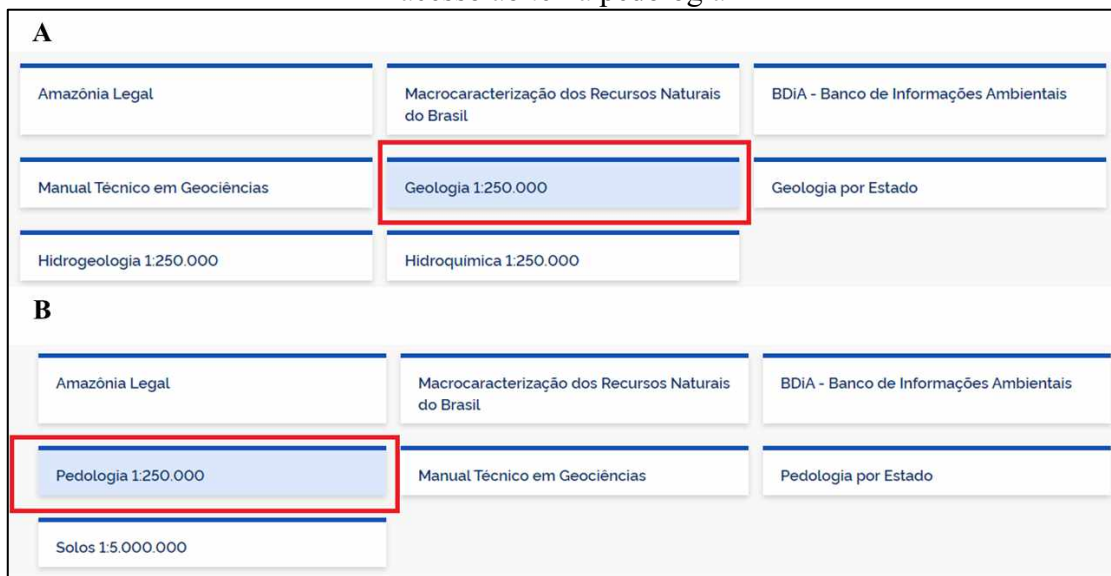
respectivo órgão, disponível em <https://www.ibge.gov.br/>. Em um segundo momento, realizou-se o acesso ao menu “Geociências”; em seguida, na opção “Informações Ambientais”, na qual encontra-se as temáticas ambientais disponibilizadas; por meio disso, trata-se de selecionar “Geologia” e, posteriormente, “Pedologia” (Figura 2). Ambas as temáticas seguiram o mesmo procedimento de obtenção; após o acesso, teve-se a seleção da opção “Geologia 1:250.000” ou “Pedologia 1:250.000” (Figura 3).

Figura 2 - Procedimento para acesso às temáticas de geologia e pedologia



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

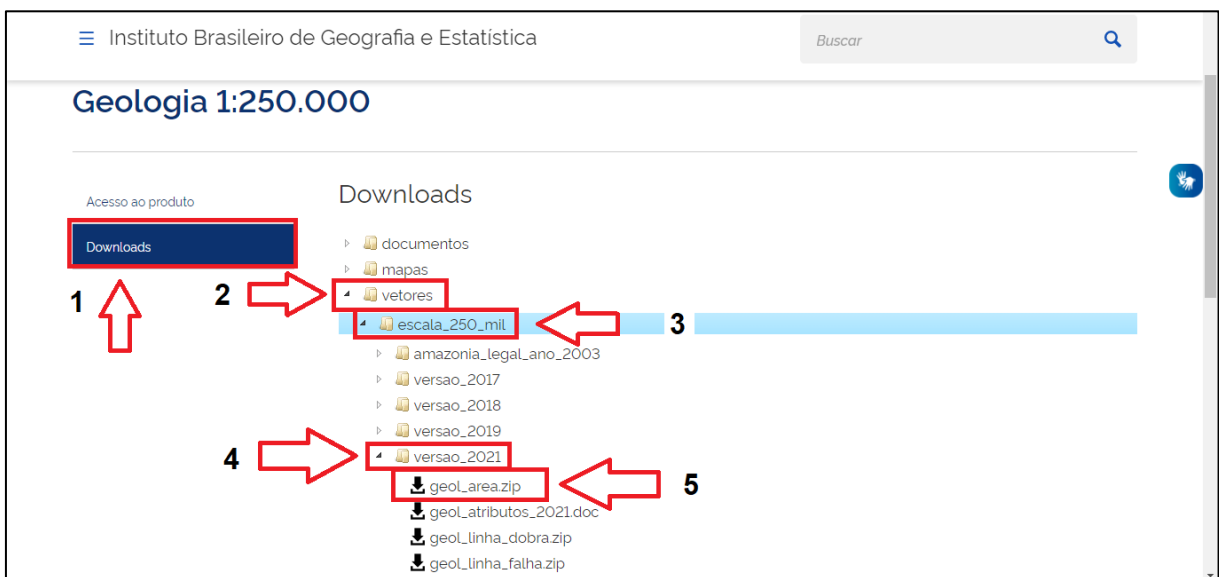
Figura 3 - (A) Procedimento de acesso ao tema geologia; (B) Procedimento de acesso ao tema pedologia



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Posteriormente conduziu-se a opção “downloads”; em seguida, a pasta de arquivos “vetores”; logo após, realizou-se a seleção da pasta “escala_250_mil”; na referida pasta, abriu-se a base denominada de “versao_2021”, na qual consta o arquivo a ser manipulado, nomeado de “geol_area.zip” ou “pedo_area.zip” (Figura 4), variando de acordo com a opção inicial acessada.

Figura 4 - Procedimento para *downloads* dos dados ambientais



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Após a obtenção dos arquivos a serem manipulados, teve-se a necessidade de realizar a “extração”, pois os mesmos são disponibilizados em formato “ZIP”, configuração amplamente utilizada de compactação de arquivos com o objetivo de reduzir o tamanho dos mesmos. Por fim, teve-se, após a extração, a obtenção dos arquivos vetoriais “geol_area” e “pedo_area” em formato *shp*. Finalizados os procedimentos de obtenção de dados, trabalha-se com cada variável, individualmente.

Tratando-se, primeiramente, da Geologia, Crepani et al. (2001) consideram somente seus aspectos litológicos, por meio do grau de coesão das rochas, entendendo-se como a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem.

Com base na metodologia elaborada de Crepani et al. (2001), atribui-se valores a cada formação rochosa (litologia) variando de 1,0 até 3,0, totalizando 21 classes denominadas de graus de vulnerabilidade. Dessa forma, as classes que se encontram próximas à estabilidade fazem referência à proximidade com o valor 1,0; às rochas que apresentam valores intermediários identifica-se o valor ao redor de 2,0; às rochas que apresentam valores próximos

à vulnerabilidade identifica-se com valores próximos a 3,0.

Com base nisso, Crepani et al. (2001) estabeleceram uma posição para as rochas mais comumente encontradas, somadas aos graus de vulnerabilidade entre a relação intemperismo e erosão (Quadro 4). Dessa forma, utiliza-se os graus de vulnerabilidade para a classificação das rochas conforme a metodologia proposta.

Quadro 4 - Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns

Litologias	Grau de Vulnerabilidade
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0
Riólito, Granito, Dacito	1,1
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2
Migmatitos, Gnaisses	1,3
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4
Andesito, Diorito, Basalto	1,5
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6
Milonitos, Quartzo muscovita, Biotita-xisto, Clorita xisto	1,7
Piroxenito, Anfíbolito Kimberlito, Dunito	1,8
Hornblenda, Tremolita, Actinolita xisto	1,9
Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0
Filito, Metassiltito	2,1
Ardósia, Metargilito	2,2
Mármore	2,3
Arenitos quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Grauvacas, Arcózios	2,6
Siltitos, Argilitos	2,7
Folhelhos	2,8
Calcários, Dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Para a identificação da predominância litológica em cada unidade geológica da área de estudo, utiliza-se o Banco de Informações Ambientais (BDiA) contido no portal do IBGE, disponível em <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>. O BDiA é um sistema digital de informações ambientais públicas, disponível em todo o território nacional, e reuni diversas coleções temáticas em formato vetorial, assim como apresenta as características individuais de cada feição contida no acervo de informações ambientais.

Realizada a identificação litológica predominante por meio dos dados ambientais fornecidas pelo BdiA, utiliza-se o QGIS 3.16.4 para interação das informações, acrescentando, individualmente, cada litologia predominante na tabela de atribudo da camada vetorial referente à geologia da área disponibilizada pelo portal do IBGE em escala de 1:250.000, disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia.html>.

Posteriormente, executa-se a classificação litológica de acordo com os graus de vulnerabilidade e sua distribuição na área de estudo (Quadro 5), transformando-a em *raster* para integrar os elementos da Equação 1. Por fim, para uma análise mais detalhada das litologias, utiliza-se do glossário geológico da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), disponível em <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>, e pelo Portal Didático do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGc-USP), disponível em <https://didatico.igc.usp.br/>.

Quadro 5 - Presença de rochas predominantes e seus graus de vulnerabilidade

Litologias predominantes	Graus de Vulnerabilidade
Aluviões	3,0
Anfibolito	1,8
Arenito	2,4
Basalto	1,5
Dunito	1,8
Folhelhos	2,8
Gabro	1,6
Gnaisse	1,3
Granito	1,1
Granodiorito	1,2
Peridotito	1,6
Quartzito	1,0
Sedimentos	3,0
Siltito	2,7

Fonte: IBGE (2019) e adaptado de Crepani et al. (2001).

Org.: José do Carmo Dias Neto (2022).

Em relação à variável de Pedologia, esta é responsável por participar na caracterização morfodinâmica, fornecendo o indicador básico da posição ocupada pela unidade dentro da escala gradativa da Ecodinâmica, indicando claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se as condições de estabilidade permitem o predomínio dos processos de pedogênese, gerando solos maduros, lixiviados e bem desenvolvidos (CREPANI et al., 2001).

Para o desenvolvimento da vulnerabilidade ao fator pedologia, é necessário considerar a principal característica de análise pedológica, denominada de grau de desenvolvimento ou maturidade do solo. Ao decorrer do processo morfodinâmico, os solos possuem participação direta na relação entre a morfogênese e a pedogênese, identificando a presença de processos erosivos da morfogênese ou processos de geração de solos bem desenvolvidos, no caso da pedogênese (CREPANI et al., 2001).

Com base nisso, utiliza-se da metodologia para desenvolver as 21 classes de

vulnerabilidade para a pedologia, seguindo a classificação dos solos impostos pelos autores, sendo que solos próximos à estabilidade são caracterizados como bem desenvolvidos, com grande porosidade e profundidade, identificados com grau entorno de 1,0; os solos intermediários apresentam-se com profundidade menor, menos estáveis e menos intemperizados, definindo-se com os valores próximos a 2,0; solos identificados como vulneráveis distinguem-se por serem jovens e poucos desenvolvidos, assumindo valores próximos a 3,0 (Quadro 6).

Quadro 6 - Relação entre as classes de solo e os valores de vulnerabilidade

Nomenclatura	Siglas	Vulnerabilidade
Latossolos Amarelo	LA	1,0
Latossolo Vermelho-Amarelo	LV	
Latossolo Vermelho-Escuro	LE	
Latossolo Roxo	LR	
Latossolo Bruno	LB	
Latossolo Húmico	LH	
Latossolo Bruno-Húmico	LBH	
Podzólico Amarelo	PA	2,0
Podzólico Vermelho-Amarelo	PV	
Podzólico Vermelho-Escuro	PE	
Terra Roxa Estruturada	TR	
Bruno Não-Cálcico	NC	
Brunizém	B	
Brunizém Avermelhado	BA	
Planossolo	PL	
Cambiosolos	C	2,5
Solos Litólicos	R	3,0
Solos Aluviais	A	
Regossolo	RE	
Areia Quartzosa	A	
Vertissolo	V	
Solos Orgânicos	HO	
Solos Hidromórficos	HI	
Glei Húmico	HGH	
Glei Pouco Húmico	HGP	
Plintossolo	PT	
Laterita Hidromórfica	LH	
Solos Concrecionários	CL	
Lateríticos Rendzinas	RZ	
Afloramento Rochoso	AR	

Fonte: Crepani et al. (2001).

Dessa forma, tratando-se de aspectos físicos da área de estudo e baseando-se na metodologia apresentada anteriormente, utiliza-se, na definição da variável de pedologia, arquivos vetoriais no formato *shp.*, adquiridos do portal do IBGE em escala de 1:250.000, disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/>.

Por fim, emprega-se os valores de vulnerabilidade para a classificação de cada solo na área de estudo, sendo também necessário realizar a atualização das nomenclaturas pedológicas para a vigente (Quadro 7); posteriormente, transforma-se o arquivo vetorial em *raster* para o prosseguimento da vulnerabilidade natural à perda de solos.

Quadro 7 - Vulnerabilidade às classes pedológicas

Nomenclatura	Sigla	Vulnerabilidade
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	PVAd	2,0
Argissolo Vermelho Eutrófico	PVe	2,0
Latossolo Amarelo Distrófico	LAd	1,0
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd	1,0
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	LVAd	1,0
Neossolo Litólico Distrófico	RLd	3,0
Neossolo Litólico Eutrófico	RLe	3,0
Neossolo Quartzarênico Órtico	RQo	3,0
Nitossolo Vermelho Distrófico	NVd	2,0
Nitossolo Vermelho Eutrófico	NVe	2,0
Plintossolo Pétrico Concrecionário	FFc	3,0

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

3.1.2. Vulnerabilidade para o fator Geomorfologia (R)

O desenvolvimento dos valores referentes à escala de vulnerabilidade para variável de geomorfologia baseia-se no entendimento dos autores Crepani et al. (2001), que afirmam que para o desenvolvimento da seguinte variável é necessário a integração da vulnerabilidade de três índices morfométricos, sendo eles: dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

Materiais:

- Modelo Digital de Elevação;
- Arquivo Matricial de Vulnerabilidade da Dissecação do Relevo;
- Arquivo Matricial de Vulnerabilidade à Amplitude Altimétrica;
- Arquivo Matricial de Vulnerabilidade à Declividade;
- *Software* QGIS 3.16.4 Hannover

Procedimentos Operacionais:

Inicialmente, é necessário a obtenção dos Modelos Digitais de Elevação (MDE), que são um conjunto de dados digitais representativos das elevações contidas na superfície terrestre. Esses modelos podem ser obtidos por meio de diversas técnicas de sensoriamento remoto, cartas topográficas, estação total, processos fotogramétricos, entre outros. Os modelos possuem o

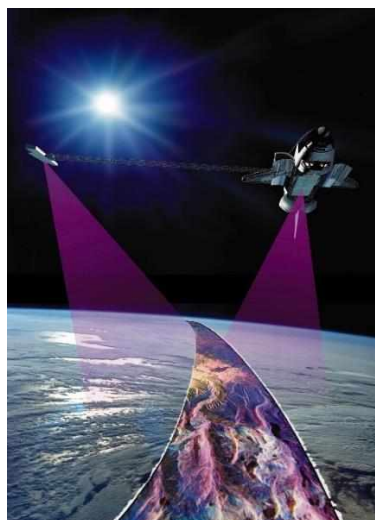
objetivo de representar, tridimensionalmente, a superfície terrestre, por meio de produtos como a hipsometria, relevo sombreado, curvas de nível, pontos cotados, entre outras manipulações possíveis.

Na seguinte pesquisa, utilizou-se de produtos originados da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), realizada, em conjunto, pela agência espacial norte-americana (National Aeronautics and Space Administration – NASA), Agência Nacional de Imagens e Mapeamento (National Imagery and Mapping Agency – NIMA), Agência Espacial Italiana (Agenzia Spaziale Italiana – ASI) e a Agência Espacial Alemã (Deutsche Raumfahrtbehörde). Os dados para a geração dos produtos da missão foram coletados entre o período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, orbitando a Terra 16 vezes por dia, cobrindo as áreas entre as latitudes de 60° N e 56° S (USGS, 2018).

Os dados produzidos pela missão SRTM são distribuídos em formato *raster*, por meio do Centro de Processamento de Dados do Centro de Observação e Ciência de Recursos Terrestres (EROS *Data Center*), administrado pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*United States Geological Survey* – USGS).

Com base nisso, o método utilizado para a coleta de dados é denominado como interferometria de radar de abertura sintética (*Synthetic Aperture Radar* – SAR) (Figura 5), responsável por medir a diferença entre o intervalo de duas observações de um determinado local, por meio de duas antenas SAR que coletaram dados de radar separadas por um braço extensor de 60 metros; e para geração de dados topográficos, foi utilizado software interferométrico, possuindo precisão suficiente para a recomposição topográfica (FAAR et al., 2007).

Figura 5 - Modelo demonstrativo da coleta por Interferometria SAR



Fonte: EUA, 2016.

Dessa forma, a seguinte pesquisa utiliza um total de 10 produtos originados da missão SRTM versão 3 (SRTM v3), possuindo 1 arco por segundo, aproximadamente 30 metros de resolução espacial e 16 bits de resolução espectral. A obtenção dos produtos ocorreu em julho de 2020 (Quadro 8).

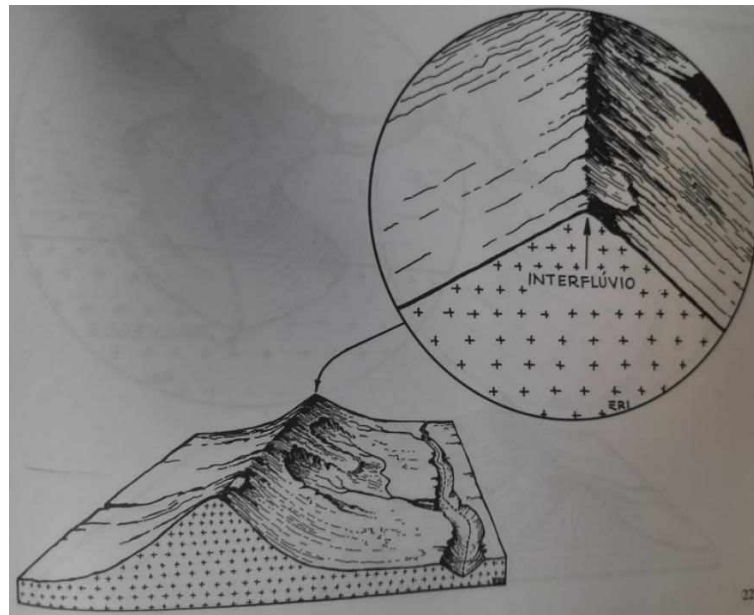
Para obtenção dos produtos SRTM empregados durante a pesquisa, utilizou-se da plataforma digital *EarthExplorer*, disponibilizada pelo USGS, responsável por fornecer todos os *raster's* necessários para a elaboração de um mosaico que abrangesse a área de estudo, dados disponíveis em <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

Quadro 8 - Detalhes sobre os produtos SRTM utilizados

Nome	Resolução Espacial	Resolução Radiométrica	Sensor
S06_w049_1arc_v3	30 metros	16 bits	Radar SAR
S06_w050_1arc_v3			
S06_w051_1arc_v3			
S06_w052_1arc_v3			
S07_w049_1arc_v3			
S07_w050_1arc_v3			
S07_w051_1arc_v3			
S07_w052_1arc_v3			
S08_w050_1arc_v3			
S08_w051_1arc_v3			

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Após a obtenção do MDE da SRHI, elaboram-se os índices morfométricos. O primeiro a ser elaborado trata-se do grau de dissecação ou grau de dissecação do relevo pela drenagem. Para se compreender a dissecação do relevo pela drenagem, é necessário entender que a intensidade de dissecação está diretamente ligada aos interflúvios. Segundo Guerra (1993) e Rossato et al. (2017), define-se um interflúvio como uma linha que une pontos de maior altitude topográfica, podendo ser considerado como pequenas ondulações que separam os vales ou duas redes de drenagem (Figura 6).

Figura 6 - Representação de um Interflúvio

Fonte: Rossato et al. (2017).

A dissecação do relevo pela drenagem pode ser obtida de duas formas. A primeira opção é a utilizada na pesquisa; baseia-se nas medidas realizadas para a amplitude dos interflúvios, tratando-se da distância entre canais de drenagem; a segunda trata-se da densidade de drenagem, determinada pelo número de canais divididos pela unidade de área, parâmetro inversamente proporcional ao primeiro (CREPANI et al., 2001). Por fim, após a definição da variável utiliza-se dos valores de vulnerabilidade para a reclassificação dos dados, resultando nos graus de vulnerabilidade para a intensidade dissecação do relevo (Tabela 2).

Tabela 2 - Valores de vulnerabilidade para a intensidade de dissecação do relevo

Amplitude do Interflúvio (m)	Vulnerabilidade
> 5000	1,0
4750 - 5000	1,1
4500 - 4750	1,2
4250 - 4500	1,3
4000 - 4250	1,4
3750 - 4000	1,5
3500 - 3750	1,6
3250 - 3500	1,7
3000 - 3250	1,8
2750 - 3000	1,9
2500 - 2750	2,0
2250 - 2500	2,1
2000 - 2250	2,2
1750 - 2000	2,3
1500 - 1750	2,4
1250 - 1500	2,5

1000 – 1250	2,6
750 – 1000	2,7
500 – 750	2,8
250 – 500	2,9
< 250	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Posteriormente, tratando-se da amplitude altimétrica, utiliza-se dos valores determinados pela amplitude relativa do relevo. Baseando-se na concepção de Guerra (1993), define-se como a diferença entre os pontos mais altos e mais baixos do relevo, estabelecidos segundo as alturas ou cotas, considerando um nível relativo.

De maneira geral, a amplitude altimétrica está relacionada com o aprofundamento da dissecação. Quanto maior a amplitude altimétrica, maior a energêcia potencial, e, conseqüentemente, maior capacidade de erosão. Por fim, a amplitude altimétrica é obtida pelo cálculo da diferença entre as cotas máxima e mínima, realizado a partir dos dados de altimetria (CREPANI et al., 2001). Após a definição da amplitude altimétrica, aplica-se os valores de vulnerabilidade, gerando os graus de vulnerabilidade para amplitude altimétrica (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores de vulnerabilidade para amplitude altimétrica

Amplitude Altimétrica (m)	Vulnerabilidade
< 20	1,0
20 – 29,5	1,1
29,5 – 39	1,2
39 – 48,5	1,3
48,5 – 58	1,4
58 – 67,5	1,5
67,5 - 77	1,6
77 – 84,5	1,7
84,5 – 94	1,8
94 – 103,5	1,9
103,5 – 113	2,0
113 – 122,5	2,1
122,5 – 132	2,2
132 – 141,5	2,3
141,5 – 151	2,4
151 – 160,5	2,5
160,5 – 170	2,6
170 – 179,5	2,7
179,5 – 189	2,8
189 – 200	2,9
> 200	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

A última variável a ser considerada no desenvolvimento da vulnerabilidade ao tema

geomorfologia é a declividade, referindo-se à inclinação do relevo em relação ao horizonte. A declividade possui ligação direta com transformação de energia potencial em energia cinética das massas de água (CREPANI *et al.*, 2001).

Com base nisso, utiliza-se o mosaico MDE para a obtenção da declividade da SRHI, gerado em formato *raster* com dados em porcentagem. Após a criação do *raster* declividade, tem-se a reclassificação do mesmo com base nos critérios de vulnerabilidade (Tabela 4), gerando os graus de vulnerabilidade para a declividade.

Tabela 4 - Valores de vulnerabilidade para a declividade das encostas

Declividade (%)	Vulnerabilidade
< 3,5	1,0
3,5 – 5,8	1,1
5,8 – 8,2	1,2
8,2 – 10,3	1,3
10,3 – 12,9	1,4
12,9 – 15,1	1,5
15,1 – 17,4	1,6
17,4 – 19,8	1,7
19,8 – 22,2	1,8
22,2 – 24,5	1,9
24,5 – 27,2	2,0
27,2 – 29,6	2,1
29,6 – 32,1	2,2
32,1 – 34,6	2,3
34,6 – 37,2	2,4
37,2 – 39,8	2,5
39,8 – 42,4	2,6
42,4 – 45,3	2,7
45,3 – 48,1	2,8
48,1 - 50	2,9
> 50	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Todos os dados gerados seguiram os critérios estabelecidos pela metodologia. Valores referentes à estabilidade encontram-se próximos a 1,0; intermediários, próximos a 2,0; vulneráveis, próximos a 3,0. Com base nisso, os autores determinam que após constatação dos valores de vulnerabilidade de cada índice morfométrico, a vulnerabilidade ao fator Geomorfologia poderá ser definida através da Equação 2.

(2)

$$R = \frac{G + A + D}{3}$$

Onde:

R = Vulnerabilidade para o tema Geomorfologia
 G = Vulnerabilidade atribuída ao Grau de Dissecação;
 A = Vulnerabilidade atribuída à Amplitude Altimétrica;
 D = Vulnerabilidade atribuída à Declividade.

Fonte: Crepani et al. (2001).

3.1.3. Vulnerabilidade para o fator Cobertura Vegetal (Vg)

Para a criação do fator de vulnerabilidade à vegetação, levou-se em consideração a densidade de cobertura vegetal, realizando a distribuição da mesma entre os 21 graus de vulnerabilidade existentes. Com base em Crepani et al. (2001), a densidade de cobertura vegetal é um fator de proteção da unidade contra os processos morfogenéticos.

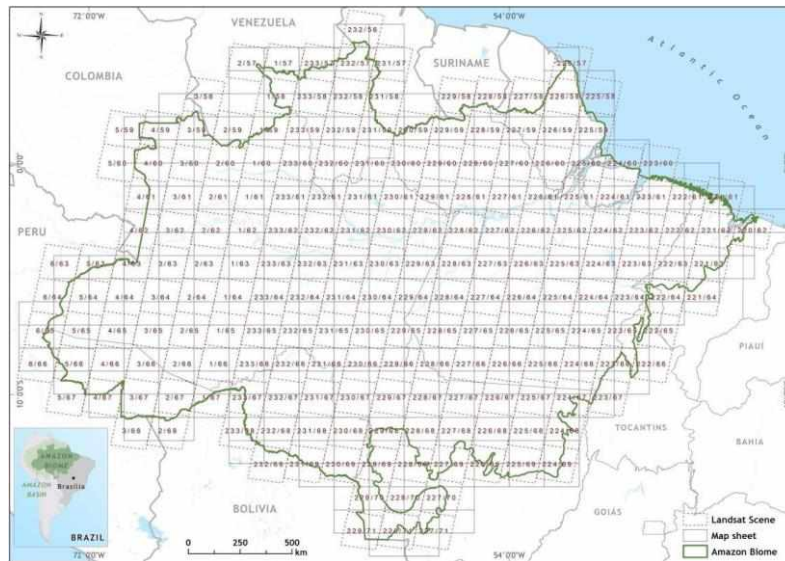
Materiais:

- Coleção 6 - MapBiomias;
 - Landsat - 5;
 - Landsat - 7;
 - Landsat - 8;
- Projeto *Esri 10-Meter Land Cover*;
 - Sentinel - 2;
- *Software* QGIS 3.16.4 Hannover

Procedimentos Operacionais:

Tratando-se, especificamente, do bioma em que a área de estudo está inserida, o MapBiomias desenvolve coleções desde 2015. Atualmente, aplica-se o classificador Random Forest para construir os mapeamentos. No último produto lançado, o projeto realizou a classificação de todas as cenas LandSat disponíveis, integrando os resultados, para gerar o mapeamento anual do bioma amazônico (Figura 7).

Figura 7 - Imagens LandSat utilizadas no mapeamento do uso e cobertura do bioma amazônico



Fonte: Projeto MapBiomias – Coleção 6 (2021).

Para o desenvolvimento dos produtos originados do projeto Mapbiomas, teve-se a aplicação de um conjunto de dados obtidos dos sensores *Thematic Mapper (TM)*, *Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* e *Operational Land Imager and Thermal Infrared Sensor (OLI-TIRS)*, abordo do Landsat 5, Landsat 7 e Landsat 8 (Quadro 9).

É importante ressaltar que todas imagens utilizadas nas classificações são submetidas ao Cloud Cover (CC), sendo ele menor ou igual a 50%. Imagens obtidas que possuam altos índices de cobertura de nuvens, ausência de dados, entre outras situações que prejudiquem a acurácia, são substituídas.

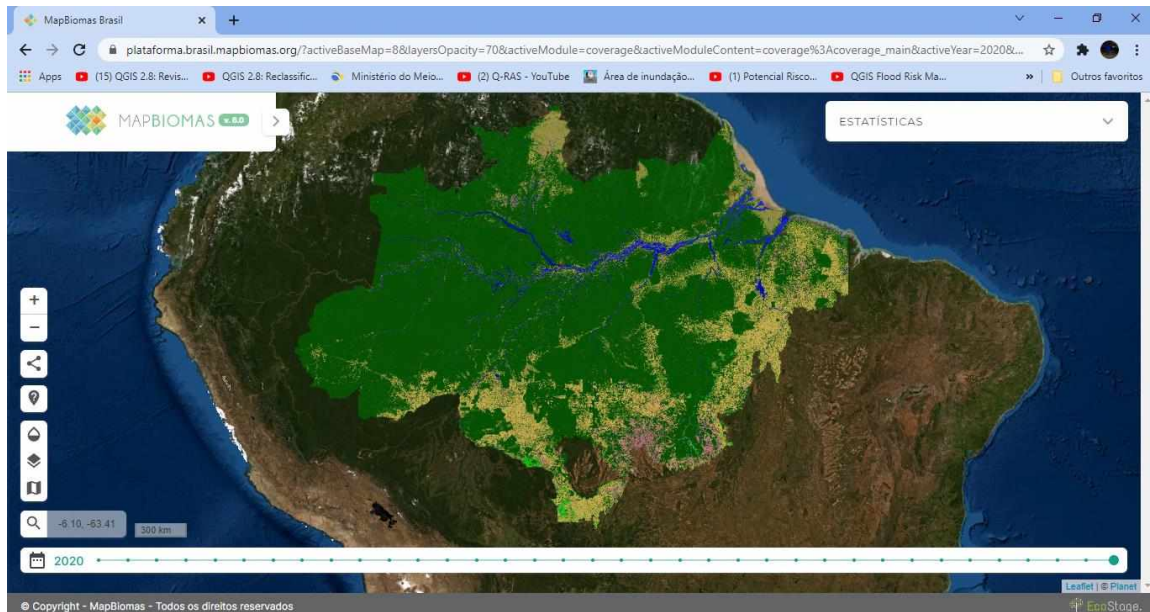
Quadro 9 - Detalhes sobre os produtos *Landsat* utilizados

Satélites	Sensores	Índice das bandas	Resolução Espacial	Produto Final
Landsat - 5	<i>Thematic Mapper (TM)</i>	225/64	30 metros	Coleção 6 - Mapbiomas
		224/65		
		224/64		
		223/65		
		223/64		
Landsat - 7	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)</i>	225/64		
		224/65		
		224/64		
		223/65		
		223/64		
Landsat - 8	<i>Operational Land Imager and Thermal</i>	225/64		
		224/65		
		224/64		

	<i>Infrared Sensor</i> (OLI-TIRS),	223/65		
		223/64		

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 8 - Produto elaborado pelo MapBiomas para o Bioma Amazônico



Fonte: Projeto MapBiomas – Coleção 6 (2021).

Com base nisso, utilizou-se a coleção 6 do MapBiomas, responsável por cobrir o período de 1985 a 2020, sendo publicada em agosto de 2021 e adquirida no mesmo mês (Figura 8). Por meio da coleção, optou-se em selecionar os dados referentes ao uso e ocupação da terra no estado do Pará no ano de 2020, gerando um *raster* com 30m de resolução espacial em SIRGAS 2000, contendo a numeração das classes de uso, sendo necessário a integração com o documento referente aos códigos das legendas.

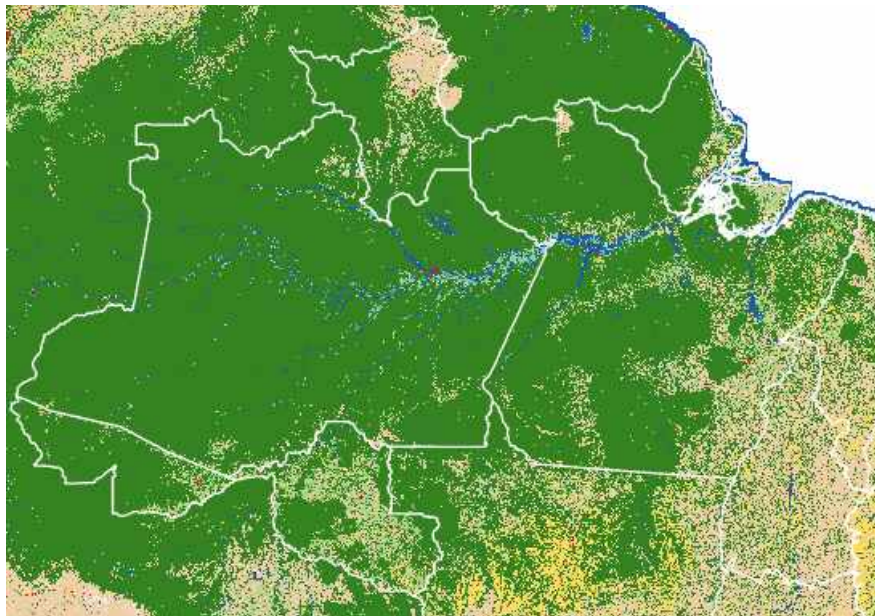
Buscando maior banco de dados e apuração a respeito dos dados de uso e cobertura da terra, utilizou-se, também, os produtos originados no projeto *Esri 10-Meter Land Cover*, mapeamento de cobertura do solo de alta resolução, desenvolvido em colaboração com a *Environmental Systems Research Institute (ESRI)*, *Impact Observatory* e a empresa *Microsoft*. americana especializada na área de informações geográficas, cujos dados encontram-se disponíveis em: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=fc92d38533d440078f17678ebc20e8e2>.

O mapeamento teve seu desenvolvimento por meio de imagens de satélite Sentinel-2, da *European Space Agency* (Agência Espacial Europeia – ESA), utilizando o método classificador baseado em *machine learning*. O arquivo será atualizado anualmente, suportando

a detecção e a identificação de alterações na ocupação do solo, especialmente as relacionadas com a atividade humana.

Para a realização do modelo de classificação, o *Impact Observatory* desenvolveu uma Inteligência Artificial (IA) de aprendizado profundo, que baseou-se nos conjuntos de dados de treinamento desenvolvidos pela *National Geographic Society*. O produto gerado pelo projeto *Esri 10-Meter Land Cover* (Figura 9) possui resolução espacial de 10m em projeção *World Geodetic System 84* (WGS84), e teve sua disponibilização pública em julho de 2021, sendo adquirido na base dados da pesquisa em agosto de 2021.

Figura 9 - Produto ESRI da região Norte do Brasil



Fonte: *Esri 10-Meter Land Cover* (2021).

O produto utilizado pertence à série de satélites SENTINEL, lançado a partir de 2014 visando monitorar os recursos naturais terrestres, o uso e ocupação das terras, os ambientes marinhos, clima e desastres naturais. A missão é composta por pares de satélites especializados, adequados a temas de interesse distintos. Por exemplo, o primeiro par lançado, nomeado como “Sentinel – 1”, possui como objetivo o monitoramento terrestre e oceânico. No caso dos pares de satélites Sentinel – 2, foram direcionados ao monitoramento da vegetação, solos e áreas costeiras, sendo dotados com sensor óptico de alta resolução espacial (ESA, 2015) (Quadro 10).

Quadro 10 - Detalhes sobre as bandas de alta resolução do satélite Sentinel – 2

Resolução Espacial	Número da Banda	Nome da Banda	Sensor
10m	B2	<i>Blue</i> (Azul)	Multispectral Imager (MSI)
	B3	<i>Green</i> (Verde)	
	B4	<i>Red</i> (Vermelho)	
	B8	NIR (Infravermelho Próximo)	

Fonte: ESA (2015).

Dessa forma, utilizou-se dos dados da área de estudo obtidos do Projeto MapBiomias – Coleção 6 (Quadro 11) e do Projeto *Esri 10-Meter Land Cover* (Quadro 12), cruzando-os com as informações da metodologia estabelecida por Creapni et al. (2001). Em vista disso, as altas densidades de cobertura vegetal possuem valores de vulnerabilidade próximos à estabilidade que equivale ao grau 1,0; para as densidades intermediárias, atribuem-se valores intermediários – grau 2,0; baixas densidades de cobertura vegetal valores próximos da vulnerabilidade – grau 3,0, seguindo os critérios estabelecidos pela metodologia (Quadro 13).

Quadro 11 - Valores de vulnerabilidade para a vegetação do MapBiomias

Nomenclatura	Crepani et al. (2001)	Vulnerabilidade
Formação Florestal	Floresta Ombrófila	1
Formação Savânica	Savana Parque	2.5
Floresta Plantada	Reflorestamento	1.5
Formação Campestre	Formação Arbustiva	2.3
Pastagem	Pastagem	2.8
Urbano	Área sem Vegetação	3.0
Mineração		
Rio, lago, oceano		
Soja	Cultura Anual (Soja)	3.0
Lavouras Temporárias	Culturas Temporárias	2.9

Fonte: Projeto MapBiomias – Coleção 6 (2021) e Adaptado de Crepani et al. (2001).

Org.: José do Carmo Dias Neto (2022).

Quadro 12 - Valores de vulnerabilidade para a vegetação do ESRI

Nomenclatura	Crepani et al. (2001)	Vulnerabilidade
Árvores	Floresta Ombrófila	1.0
Pastagem	Pastagem	2.8
Vegetação Inundada	Formação Arbustiva	2.3
Culturas Cerais (Agricultura)	Cultura Anual (Soja)	3.0

Vegetação Gramínea Arbustiva	Campinarana Arbórea aberta	2.3
Água	Área sem Vegetação	3.0
Urbano		
Solo Descoberto		

Fonte: *Esri 10-Meter Land Cover* (2021) e Adaptado de Crepani et al. (2001).

Org.: José do Carmo Dias Neto (2022).

Quadro 13 - Valores de vulnerabilidade para a vegetação

Graus de Vulnerabilidade	Situação da Vegetação
1,0 – 1,3	Estável
1,4 – 1,7	Moderadamente Estável
1,8 – 2,2	Medianamente Estável ou Vulnerável
2,3 – 2,6	Moderadamente Vulnerável
2,7 – 3,0	Vulnerável

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

Org.: José do Carmo Dias Neto (2022).

Desse modo, realizou-se a reclassificação dos dados *raster* da vegetação de ambos os projetos, posteriormente, aplicando uma média aritmética (Equação 3), visando realizar a integração das informações no intervalo das 21 classes estabelecidas para a vulnerabilidade.

(3)

$$V_g = \frac{\text{Mapbiomas_Reclass} + \text{ESRI_Reclass}}{2}$$

$$\begin{aligned} V_g &= \text{Vulnerabilidade ao fator Vegetação} \\ \text{Mapbiomas_Reclass} &= \text{Dados do projeto MapBiomas reclassificados com os Graus de Vulnerabilidade} \\ \text{ESRI_Reclass} &= \text{Dados do projeto ESRI reclassificados com os Graus de Vulnerabilidade} \end{aligned}$$

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

3.1.4. Vulnerabilidade para o fator Clima (C)

Tratando-se da variável climática, é importante compreender a extensão dos seus efeitos no meio ambiente. Com base em Crepani et al. (2001), o clima controla o intemperismo diretamente, por meio da precipitação pluviométrica e da temperatura, assim como indiretamente, pois determina os tipos de vegetação que cobrem a paisagem. O fator climatológico auxilia na compreensão das características climáticas da região em que se encontram as unidades da paisagem, presumindo os seus possíveis comportamentos frente às alterações de uso e ocupação (CREPANI *et al.*, 2001).

Materiais:

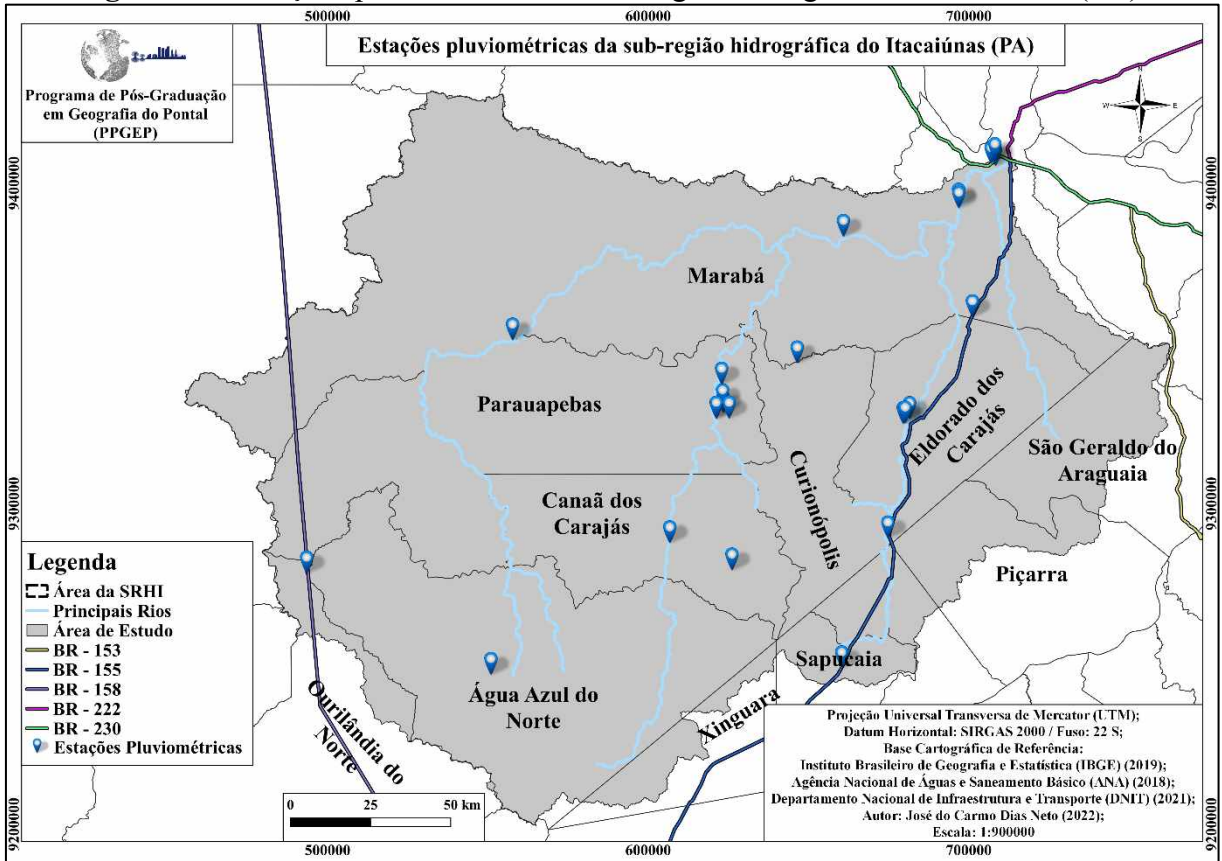
- Rede Nacional Hidrometeorológica, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) no formato *shp.*;
- Portal HidroWeb;
- Bases de dados pluviométricos;
- Microsoft Office Excel;
- Intensidade Pluviométrica;
- *Software* QGIS 3.16.4 Hannover.

Procedimentos Operacionais:

Para o início do desenvolvimento da variável clima, é necessário a obtenção de dados relativos à distribuição espacial das estações pluviométricas e de seus dados. Dessa forma, para a verificação dos postos pluviométricos e da espacialização da rede hidrometeorológica na área de estudo, necessitou-se acessar o arquivo vetorial denominado de Rede Nacional Hidrometeorológica, disponibilizado em formato *shp.*, fornecido pela ANA em seu acervo de dados abertos, atualizados no ano de 2018, disponível em <https://dadosabertos.ana.gov.br/>.

Mediante ao arquivo acessado no *software* livre QGIS 3.16.4 Hannover, constatou-se um total de 24 postos pluviométricos dentro dos limites da SRHI (Figura 10); em seguida, criou-se uma base de dados contendo o código da estação e sua nomenclatura, visando a obtenção dos dados pluviométricos (Quadro 14).

Figura 10 - Estações pluviométricas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022)

Quadro 14 - Descrição das estações pluviométricas localizadas na área de estudo

Cód.	Nome da Estação	Cód.	Nome da Estação
651005	Onça Puma	649001	Fazenda Santa Elisa
650004	Sossego	649000	Fazenda Surubim
650001	Fazenda Caiçara	550002	Salobo
649011	PARAUAPEBAS_Centro Operacional Da Prefeitura	549022	Uhe Tucuruí Rio Itacaiúnas
649010	PARAUAPEBAS_Reservatório De Água	549021	Parauapebas_Emef Paulo Freire
649009	Parauapebas_Saaep	549019	Marabá_Eefm Prof. Paulo Freire
649008	PARAUAPEBAS_Ponto De Captação SAAEP	549017	Marabá_Bombeiros
649007	Eldorado Dos Carajas_Prefeitura Municipal	549014	Fazenda Abadia
649006	Canaã Dos Carajás_Usf Novo Brasil	549012	Rod. Transamazonica - Marabá
649005	Eldorado	549011	Fazenda Alegria
649004	Parauapebas	549007	Km 60 / PA-150
649002	Eldorado	549004	Serra Pelada

Fonte: ANA (2018).

Para a obtenção das informações pluviométricas, efetuou-se a tabulação dos dados secundários obtidos da ANA, por intermédio do sítio eletrônico no Portal HidroWeb, ferramenta integrante do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), responsável por fornecer acesso ao banco de informações da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

Dos 24 postos meteorológicos presentes na área de estudo, encontrou-se uma carência significativa de dados presentes na base meteorológica nacional. Ao todo, 16 postos, ao longo da bacia, não constam com nenhuma informação (Quadro 15) e (Figura 11), restando somente 8 estações (Quadro 16) e (Figura 12).

Quadro 15 - Descrição das estações pluviométricas sem dados na área de estudo

Cód.	Nome da Estação	Cód.	Nome da Estação
651005	Onça Puma	649005	Eldorado
650004	Sossego	550002	Salobo
649011	PARAUPEBAS_Centro Operacional Da Prefeitura	549022	Uhe Tucuruí Rio Itacaiúnas
649010	PARAUPEBAS_Reservatório De Água	549021	Parauapebas_Emef Paulo Freire
649009	Parauapebas_Saaep	549019	Marabá_Eeefm Prof. Paulo Freire
649008	PARAUPEBAS_Ponto De Captação SAAEP	549017	Marabá_Bombeiros
649007	Eldorado Dos Carajas_Prefeitura Municipal	549014	Fazenda Abadia
649006	Canaã Dos Carajás_Usf Novo Brasil	549012	Rod. Transamazonica - Marabá

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Quadro 16 - Descrição das estações pluviométricas com dados na área de estudo

Cód.	Nome da Estação	Cód.	Nome da Estação
650001	Fazenda Caiçara	549007	Km 60 / PA-150
649004	Parauapebas	549004	Serra Pelada
649001	Fazenda Santa Elisa	649005	Eldorado
649000	Fazenda Surubim	549011	Fazenda Alegria

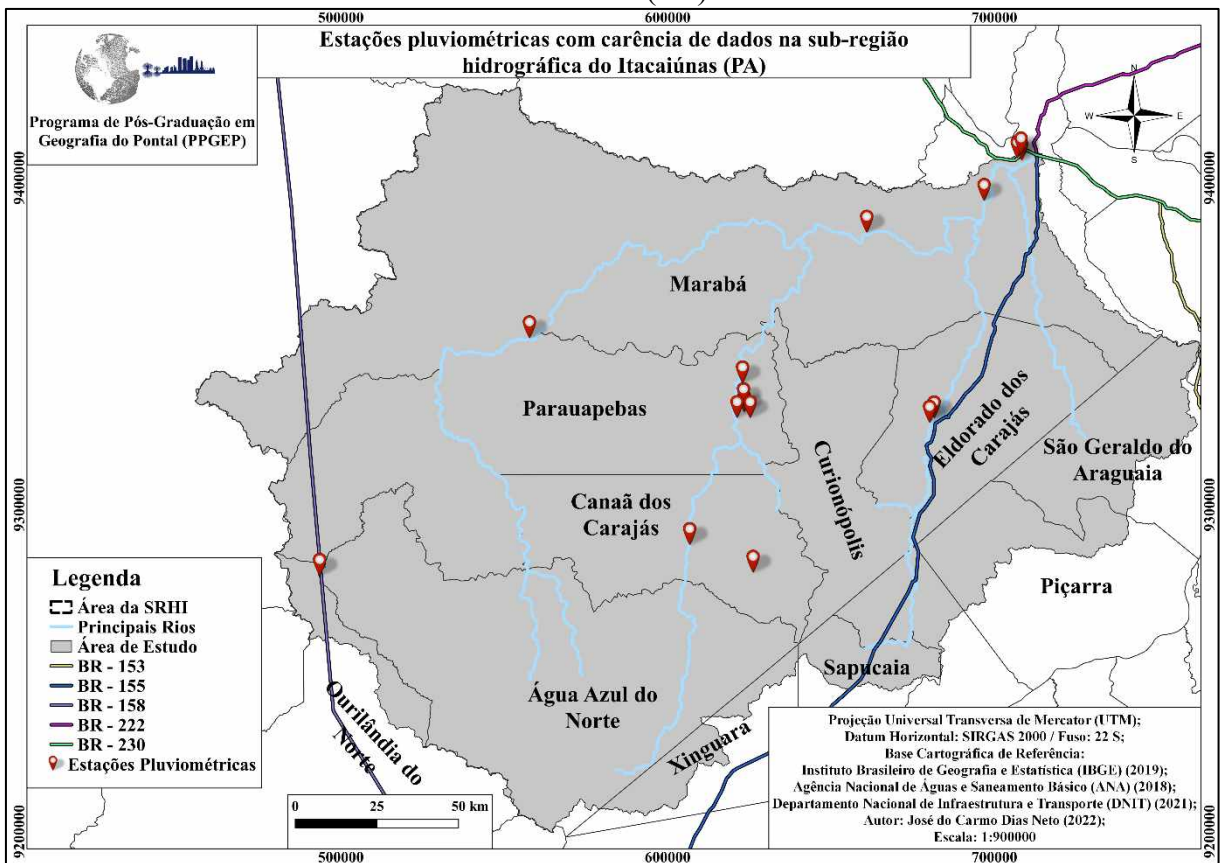
Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Em consequência da ausência de informações pluviométricas, optou-se em selecionar pontos no entorno para maior aferição e espacialização dos dados. Com isso, obteve-se 7 estações que possuem medição, encontradas ao redor do limite da SRHI, acrescentado-as a base vetorial pluviométrica localizada na área de estudo (Quadro 17).

Quadro 17 - Descrição dos postos pluviométricos com dados no entorno da área de estudo

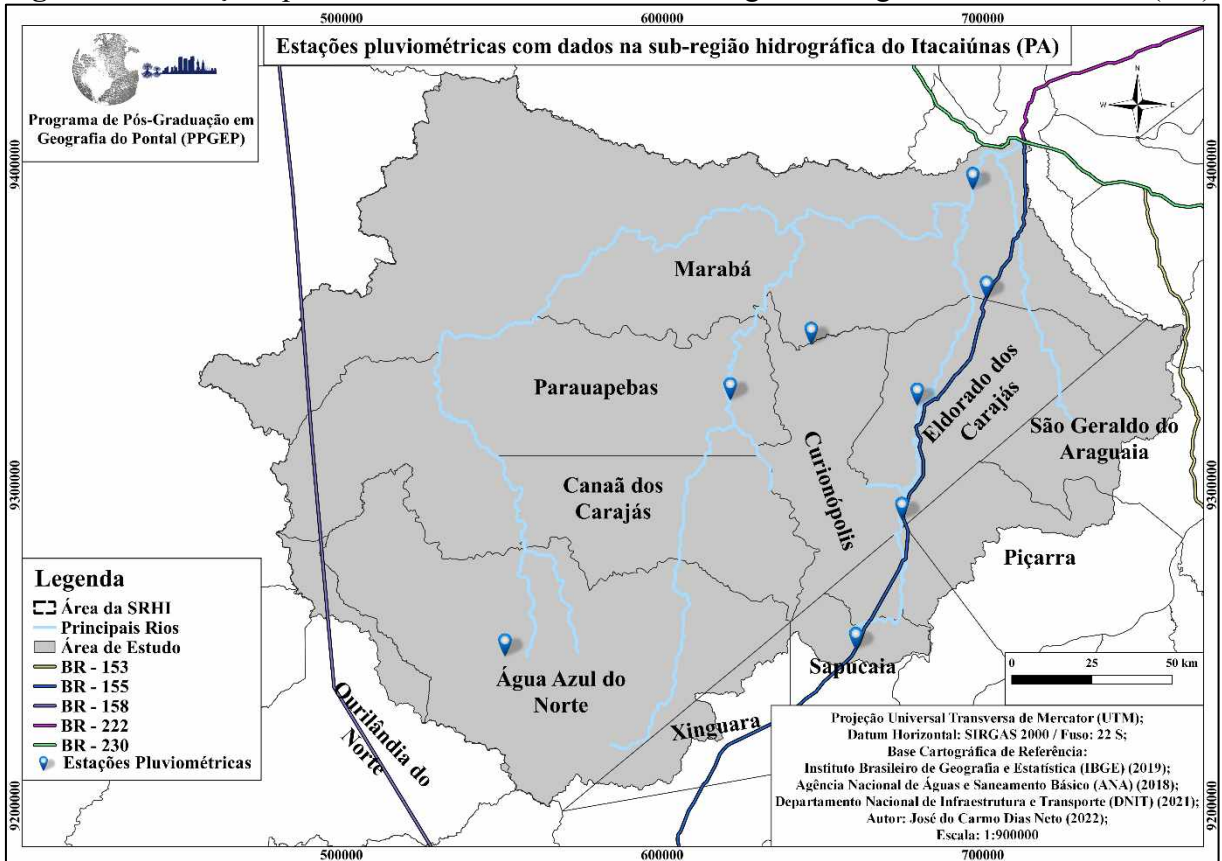
Cód.	Nome da Estação
651001	Boa Esperança
750002	Bannach
750001	Posto Da Serra
749002	Xinguara
549008	Itupiranga
649003	Porto Lemos
648000	Xambioá

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 11 – Estações pluviométricas com carência de dados na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 12 - Estações pluviométricas com dados na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)

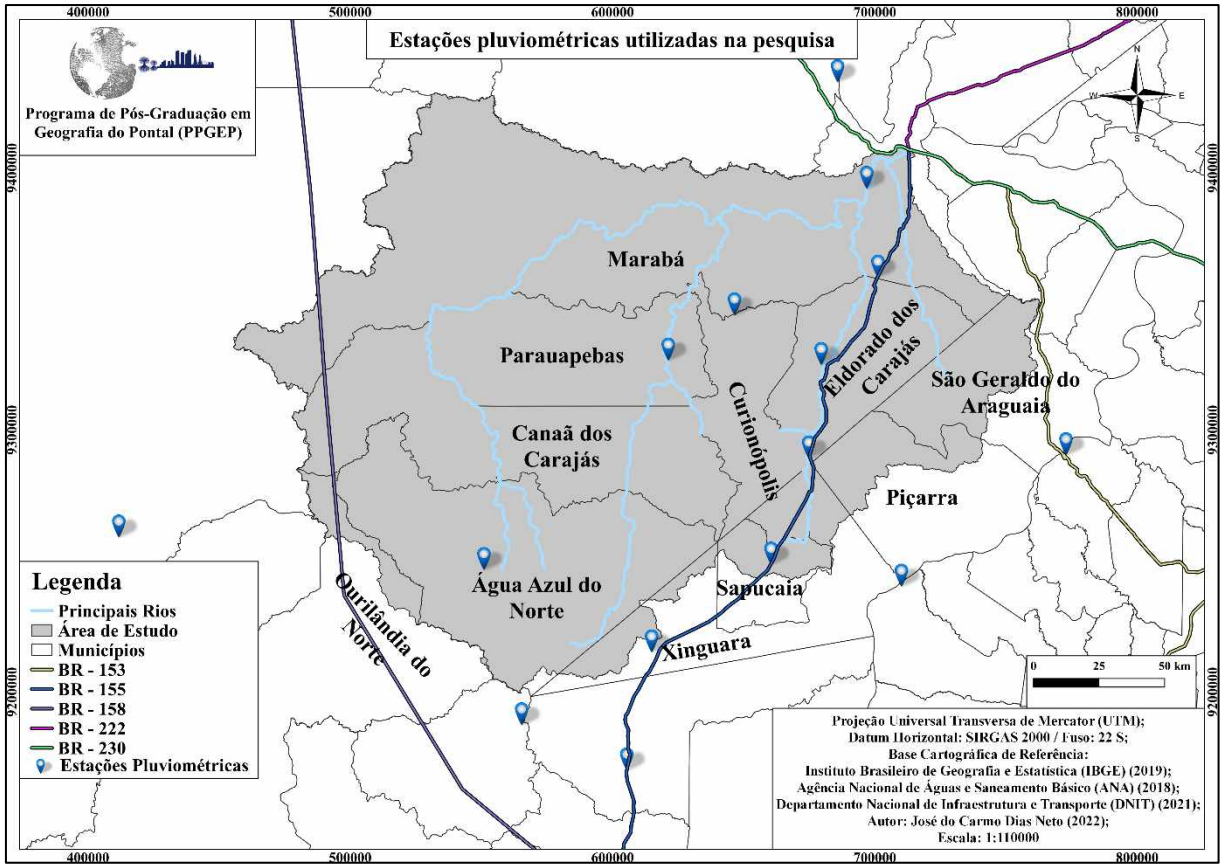


Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

A partir disso, a elaboração da base pluviométrica contou com estações presentes na área de estudo e no entorno, totalizando 15 postos para obtenção de dados (Figura 13) e (Quadro 18). Definido a seleção dos pontos a serem utilizados, é levada em consideração uma série histórica de 25 anos, de acordo com as informações disponíveis.

Por meio do portal HidroWeb, realizou-se os downloads das bases de dados pluviométricos pré-estabelecidos, fornecidos em formato de tabela excel (csv.), contendo a máxima de chuva por dia, os dias de chuva por mês, o total de chuvas de cada mês em milímetros (mm), entre outros.

Figura 13 - Estações pluviométricas utilizadas na pesquisa



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Quadro 18 - Descrição das estações pluviométricas utilizadas na pesquisa

Cód.	Nome da Estação	Coordenadas		Período de Dados
		X	Y	
549004	Serra Pelada	646483	9343836	25 ANOS
549007	Km 60 / PA-150	701154	9358244	
549011	Fazenda Alegria	696888	9392142	
649000	Fazenda Surubim	674769	9289238	
649001	Fazenda Santa Elisa	660393	9248703	
649002	Eldorado	679550	9324887	
649003	Porto Lemos	710106	9240297	
649004	Parauapebas	621231	9326570	
650001	Fazenda Caiçara	550950	9246647	
549008	Itupiranga	685763	9432846	
648000	Xambioá	772855	9290479	
651001	Boa Esperança	411735	9259067	
749002	Xinguara	614882	9215221	
750001	Posto Da Serra	605398	9170187	
750002	Bannach	565332	9187394	

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Por fim, teve-se o tratamento e análise dos dados adquiridos de cada estação em uma série histórica de 25 anos, situada entre o período de 01/01/1985 a 31/12/2020; optou-se por estabelecer o seguinte intervalo haja vista a carência de resultados mais antigos em quantidade significativa de estações pluviométricas. É importante ressaltar que, em alguns casos, ocorreram falhas de aferição ao longo das séries históricas. Para sobrepor a ausência de dados mensais ou anuais, utilizou-se a elaboração de uma média mensal e anual dos 25 anos.

Finalizado a elaboração do bando de dados pluviométricos, é necessário seguir a proposta de elaboração da intensidade pluviométrica descrita no trabalho de Crepani, Medeiros e Palmeira (2004), que afirmam que entre as principais características físicas da chuva, mais especificamente, a quantidade de chuva, a intensidade pluviométrica e a distribuição sazonal, é especialmente importante conhecer a intensidade pluviométrica, porque esta representa a relação entre as demais. Com isso, para a elaboração dos valores de intensidade pluviométrica, é necessário compreender a fórmula a ser aplicada em cada banco de dados (Equação 4).

(4)

$$\text{Intensidade Pluviométrica} = \frac{\text{Precipitação Média Anual}}{\text{Número de dias com Chuva} / 30^*}$$

* O número de dias com chuva é transformado em meses dividindo-se seu total por 30.

Fonte: Crepani, Medeiros e Palmeira (2004).

Para o desenvolvimento da intensidade pluviométrica (I.P), é, em primeiro momento, necessário a definição da precipitação média anual. Com base nisso, é imprescindível a manipulação dos dados contidos nas tabelas pluviométricas de cada estação individualmente, elaborando a somatória do índice de chuva total de todos os meses contidos nos 25 anos de série histórica, entre o intervalo de 01/01/1995 até 31/12/2020. Gerada a somatória dos dados de chuva, é necessário a divisão do resultado pelo total de anos contidos na série histórica; o quociente da divisão será a média anual em milímetros (mm) da estação pluviométrica.

Para a criação da média de dias de chuva anual, elabora-se uma somatória do total de dias que contabilizaram precipitação no decorrer dos 25 anos, dados disponibilizados nas tabelas como “totais de dias por mês”. O resultado da soma é dividido pelos anos da série histórica, criando, assim, uma média de dias de chuvas anual. Essa média é dividida por 30, para que se transforme na quantidade de meses chuvosos.

Por fim, realizados os procedimentos necessários para a elaboração da intensidade pluviométrica, manuseia-se os dados referentes à média anual, em milímetros, dividida pela média mensal de dias de chuva. O quociente gerado será o índice de I.P a ser estabelecido em cada estação (Tabela 5).

Elaborado o índice I.P de todas as estações utilizadas na seguinte pesquisa, as quais foram abordadas e listadas anteriormente, utiliza-se do *software* livre de Sistema de Informação Geográfica QGIS 3.16.4, responsável por permitir a manipulação da tabela de informações da camada vetorial do tipo *shp*. da rede hidrometeorológica da área de estudo. Dessa forma, acrescenta-se a camada vetorial as informações elaboradas relacionadas ao I.P (Intensidade Pluviométrica) da rede hidrometeorológica, visto a necessidade de espacializar as informações geradas em cada ponto de estação pluviométrica analisada.

Tabela 5 - Exemplo de tabela final para elaboração da Intensidade Pluviométrica

Cód. Estação	Somatória (mm) - 1995/2020	Média Anual (mm) - 1995/2020	Dias de Chuva - 1995/2020	Média de Dias de Chuva Anual - 1995/2020	Média de Dias de Chuva Mensal - 1995/2020	Intensidade Pluviométrica
549004	36.264,2	1.450,56	2.192	87,68	2,92	496,76

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Buscou-se um método de espacializar as informações pontuais de I.P por toda área de estudo, visando a aplicação das classes de vulnerabilidade ao fator de clima. Optou-se em utilizar o interpolador *Inverse Distance Weighting* (IDW), o qual pressupõe que quanto maior a distância de um local observado em relação ao ponto de análise, menor será sua influência sobre o valor interpolado.

Finalizado o procedimento de interpolação IDW das informações de I.P, é necessário realizar o processo de recorte do produto gerado, para que as informações representem somente a área de estudo. Concluído o procedimento, é importante compreender que os valores de I.P podem ser considerados como valores de energia potencial disponível para transformação em energia cinética, responsável pela erosividade da chuva. Com base nisso, pode-se considerar que quanto maior os valores de intensidade pluviométrica, maior a erosividade da chuva.

Dessa forma, segue-se a metodologia proposta pelos autores Crepani, Medeiros e Palmeira (2004), que definem a necessidade de realizar a interação entre o índice de I.P com os graus de vulnerabilidade à perda de solo (Tabela 6), o que os autores determinam como “escala de erosividade da chuva”. As informações relativas à pluviosidade anual e à duração do período

chuvoso permitem a criação da intensidade pluviométrica, responsável por possibilitar a quantificação do grau de risco de uma unidade de paisagem.

Tabela 6- Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à perda de solo

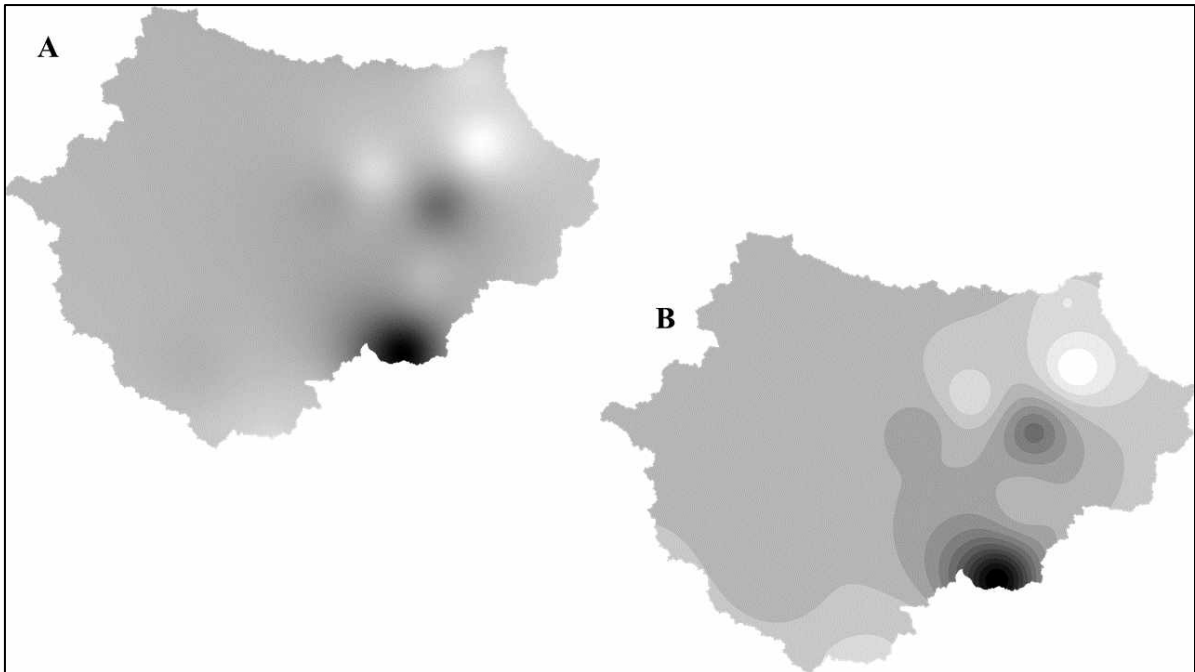
I.P (mm/mês)	Vulnerabilidade
< 50	1,0
50 - 75	1,1
75 - 100	1,2
100 - 125	1,3
125 - 150	1,4
150 - 175	1,5
175 - 200	1,6
200 - 225	1,7
225 - 250	1,8
250 - 275	1,9
275 - 300	2,0
300 - 325	2,1
325 - 350	2,2
350 - 375	2,3
375 - 400	2,4
400 - 425	2,5
425 - 450	2,6
450 - 475	2,7
475 - 500	2,8
500 - 525	2,9
> 525	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Com base nisso, tem-se a obrigatoriedade de realizar a reclassificação do *raster* de intensidade pluviométrica, atribuindo-lhe os valores de acordo com a sua distribuição na área de estudo, manipulando os valores I.P e as classes que abarcam os graus de vulnerabilidade à perda de solo.

Finalizado o procedimento de reclassificação do *raster* interpolado com as informações de intensidade pluviométrica, o produto gerado estará seguindo os critérios pré-estabelecidos (Figura 14), com base nos procedimentos dos autores anteriormente citados, podendo ser nomeado como vulnerabilidade para o fator clima (C).

Figura 14 - (A) Intensidade Pluviométrica (B) Vulnerabilidade ao fator Clima



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

3.2. Uso da Terra Recomendado (UTR)

Em um segundo momento, foi aplicada a metodologia de vulnerabilidade natural à perda de solos, incluída a elaboração do uso da terra recomendado, conforme propôs Brito (2001), somando as variáveis de uso e ocupação da terra, áreas de preservação permanente e a fragilidade natural dos solos.

Materiais:

- Vulnerabilidade Natural à Perda de Solos;
- Áreas de Preservação Ambiental, conforme a legislação federal 12.651/2012;
- Dados de unidades de conservação, disponibilizados pelo Instituto Chico Mendes de Biodiversidade em formato *shp.*;
- Dados de terras indígenas, disponibilizados pela Fundação Nacional do Índio em formato *shp.*;
- Uso e ocupação da terra, conforme os dados fornecidos pela Coleção 6 - MapBiomass;
- *Software* QGIS 3.16.4 Hannover.

Procedimentos Operacionais:

Conforme Santos (2008), o uso da terra recomendado pode ser definido como a

identificação e delimitação de áreas passíveis a serem exploradas de forma que não se comprometa o meio ambiente. Com base nisso, para o desenvolvimento da seguinte etapa utiliza-se de três variáveis para a confecção do produto final: a vulnerabilidade natural à perda de solos, as áreas de preservação permanente (APP) e o uso e ocupação da terra (Equação 5).

(5)

$$UTR = V + App + U$$

UTR = Uso da Terra Recomendado

Onde: V = Vulnerabilidade natural à perda de solos

App = Área de Preservação Permanente

U = Uso e Ocupação da Terra

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Inicialmente, é necessário a definição das APP's. O capítulo II, seção I, art. 4º da Lei Federal n.º 12.651/2012, responsável por definir sobre a delimitação das áreas de preservação permanente, dispõe o seguinte:

Art. 4º. Considera-se Área de Preservação Permanente, em zonas rurais ou urbanas, para os efeitos desta Lei:

I - as faixas marginais de qualquer curso d'água natural perene e intermitente, excluídos os efêmeros, desde a borda da calha do leito regular, em largura mínima de:

a) 30 (trinta) metros, para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

IV - as áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes, qualquer que seja sua situação topográfica, no raio mínimo de 50 (cinquenta) metros;

V - as encostas ou partes destas com declividade superior a 45°, equivalente a 100% (cem por cento) na linha de maior declive;

IX - no topo de morros, montes, montanhas e serras, com altura mínima de 100 (cem) metros e inclinação média maior que 25°, as áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a 2/3 (dois terços) da altura mínima da elevação sempre em relação à base, sendo esta definida pelo plano horizontal determinado por planície ou espelho d'água adjacente ou, nos relevos ondulados, pela cota do ponto de sela mais próximo da elevação (BRASIL, 2012, n.p.).

Com base nisso, busca-se a delimitação das áreas de nascentes conforme a distribuição espacial das drenagens em formato *shp.*, por meio do procedimento de extração de drenagens automático no QGIS 3.16.4, definindo o raio de 50 metros a partir do ponto central da nascente. Em seguida, determina-se as áreas de preservação das encostas, por meio da elaboração da declividade na SRHI, estabelecendo as áreas menores e maiores que 45°, possibilitando a diferenciação entre ambas, resultando na APP de encostas.

Posteriormente, define-se as áreas de topo de morro, com altura mínima de 100 metros e inclinação média maior que 25°. Por último, cria-se as áreas de preservação permanente, considerando uma largura mínima dos rios de 10 metros, com área de APP equivalendo a 30 metros. Após a elaboração da seguinte etapa, cria-se um único arquivo vetorial sintetizador,

contendo todas as classes de APP desenvolvidas (Figura 15) e (Figura 16).

Em seguida, é necessário destacar, além das APP's, há outras áreas protegidas por lei, como por exemplo, as terras indígenas, defendidas conforme o art. 231 da Constituição Federal, que afirma o seguinte:

Art. 231. São reconhecidos aos índios sua organização social, costumes, línguas, crenças e tradições, e os direitos originários sobre as terras que tradicionalmente ocupam, competindo à União demarcá-las, proteger e fazer respeitar todos os seus bens.

§ 1º São terras tradicionalmente ocupadas pelos índios as por eles habitadas em caráter permanente, as utilizadas para suas atividades produtivas, as imprescindíveis à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e as necessárias a sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições.

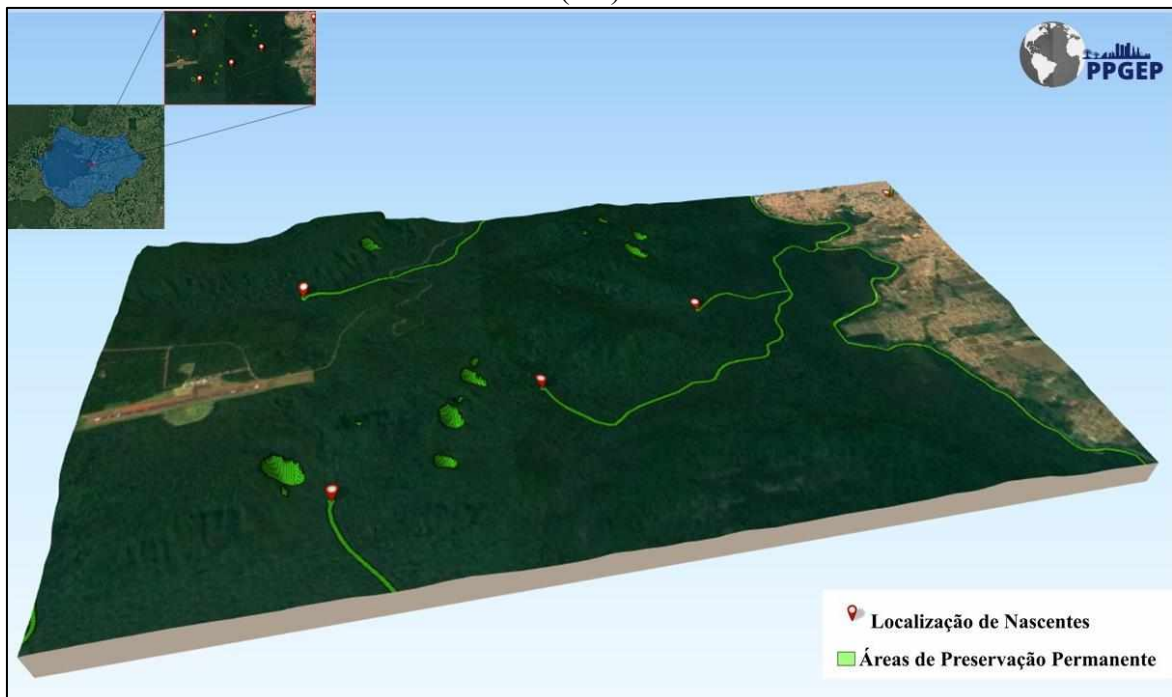
§ 2º As terras tradicionalmente ocupadas pelos índios destinam-se a sua posse permanente, cabendo-lhes o usufruto exclusivo das riquezas do solo, dos rios e dos lagos nelas existentes.

§ 3º O aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas só podem ser efetivadas com autorização do Congresso Nacional, ouvidas as comunidades afetadas, ficando-lhes assegurada participação nos resultados da lavra, na forma da lei.

§ 4º As terras de que trata este artigo são inalienáveis e indisponíveis, e os direitos sobre elas, imprescritíveis (BRASIL, 1988, n.p.).

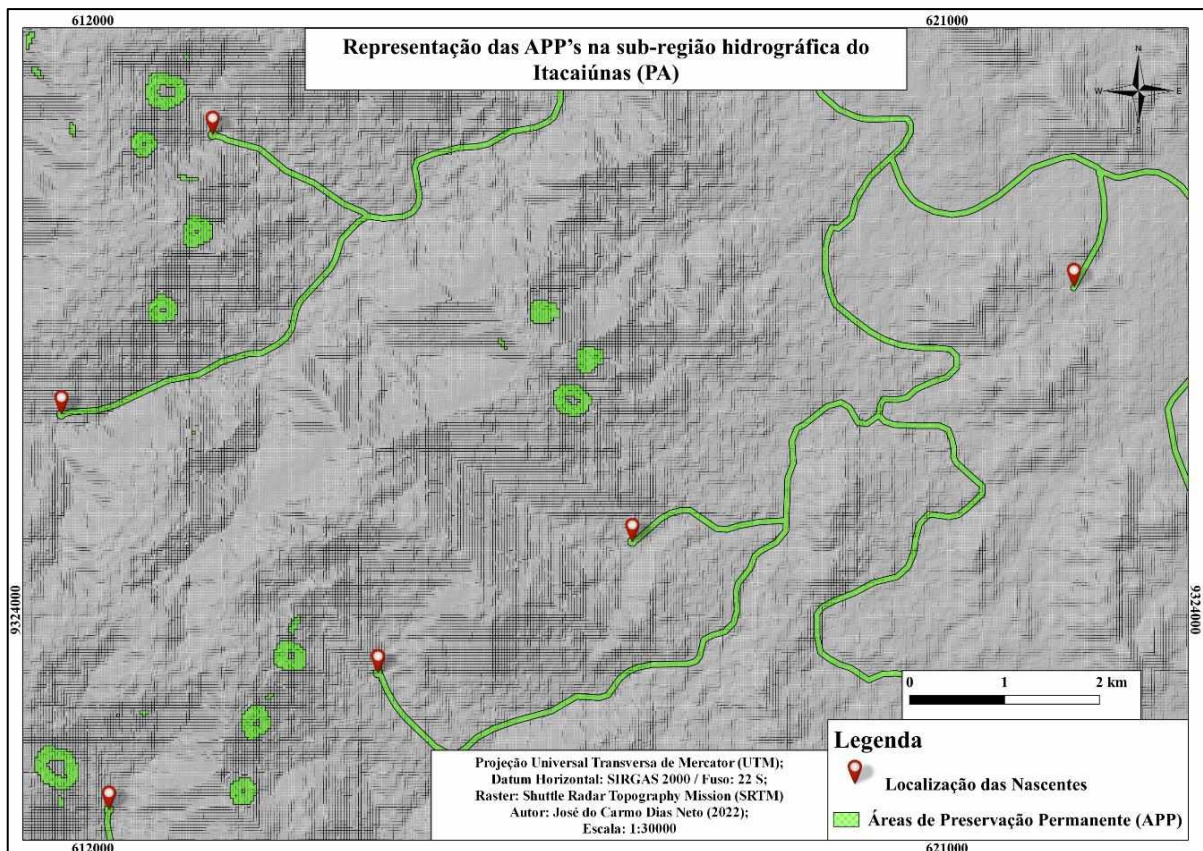
É importante pontuar que para a regularização das terras indígenas é necessário a divisão das mesmas em fases de procedimento demarcatório; cada fase determinando uma etapa da terra indígena, variando de acordo com sua situação (Quadro 19).

Figura 15 - Representação das APP's em um recorte da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 16 - Representação das APP's na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Quadro 19 - Fases do Procedimento Demarcatório

Procedimento Demarcatório	Descrição
Em estudo	Realização de estudos antropológicos, históricos, fundiários, cartográficos e ambientais que fundamentam a delimitação da terra indígena.
Delimitadas	Terras que tiveram a conclusão dos estudos publicados no Diário Oficial da União pela FUNAI e se encontram em análise pelo Ministério da Justiça para expedição de Portaria Declaratória da Posse Tradicional Indígena.
Declaradas	Terras que obtiveram a expedição da Portaria Declaratória e estão autorizadas para serem demarcadas.
Homologadas	Terras que foram demarcadas e tiveram seus limites homologados pela Presidente da República.
Regularizadas	Terras que, após a homologação de seus limites, foram registradas em cartório em nome da União e no Serviço de Patrimônio da União.

Reservas Indígenas	São terras doadas por terceiros, adquiridas ou desapropriadas pela União que não se confundem com as de posse tradicional e, por esse motivo, não se submetem ao procedimento acima descrito.
--------------------	---

Fonte: BRASIL (1996).

Com base nisso, a seguinte pesquisa utilizou-se das terras indígenas em fase considerada a partir de declarada, em razão da aprovação dos estudos realizados pela Fundação Nacional do Índio (Funai), comprovando que as terras são tradicionalmente indígenas, assim como a declaração do Ministro da Justiça de que as terras possuem uso exclusivo aos indígenas, podendo ser iniciada a demarcação das mesmas.

De modo igual, identifica-se as áreas protegidas pela Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000, responsável por instituir o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Com base nisso, ressalta-se as áreas definidas no art. 2º, inciso VI e XI:

VI - proteção integral: manutenção dos ecossistemas livres de alterações causadas por interferência humana, admitido apenas o uso indireto dos seus atributos naturais; (...)
 XI - uso sustentável: exploração do ambiente de maneira a garantir a perenidade dos recursos ambientais renováveis e dos processos ecológicos, mantendo a biodiversidade e os demais atributos ecológicos, de forma socialmente justa e economicamente viável (BRASIL, 2000, n.p.).

Por fim, realiza-se a somatória dos dados de vulnerabilidade natural à perda de solo, uso e ocupação da terra e áreas com restrição de uso, resultando em um produto sintetizador nomeado de uso da terra recomendado (UTR), levando em consideração os limites impostos naturalmente e pela legislação ambiental.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Diagnóstico Ambiental da SRHI

4.1.1. Geologia (Litologia)

Inicialmente, para a contribuição da variável Geologia, é necessário compreender as informações relativas à composição das formações geológicas, mais especificamente, entender a litologia da área, ressaltando os graus de coesão das rochas que a compõem, sendo o grau de coesão a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas (CREPANI et al., 2001).

Dessa forma, pode-se espacializar as classes litológicas para observação e análise da dimensão de cada litologia (Figura 17). A litologia com maior destaque trata-se do anfíbolito, abrangendo cerca de 13.562,17 km² (32,83%) (Tabela 7). O mesmo é definido como rocha metamórfica de grau médio a alto, podendo ser derivado de rochas ígneas básicas, como o basalto, o gabro ou de rochas sedimentares, como calcários impuros, ou ser derivado de misturas com rochas vulcânicas (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

Tabela 7 - Presença litológica predominante na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas

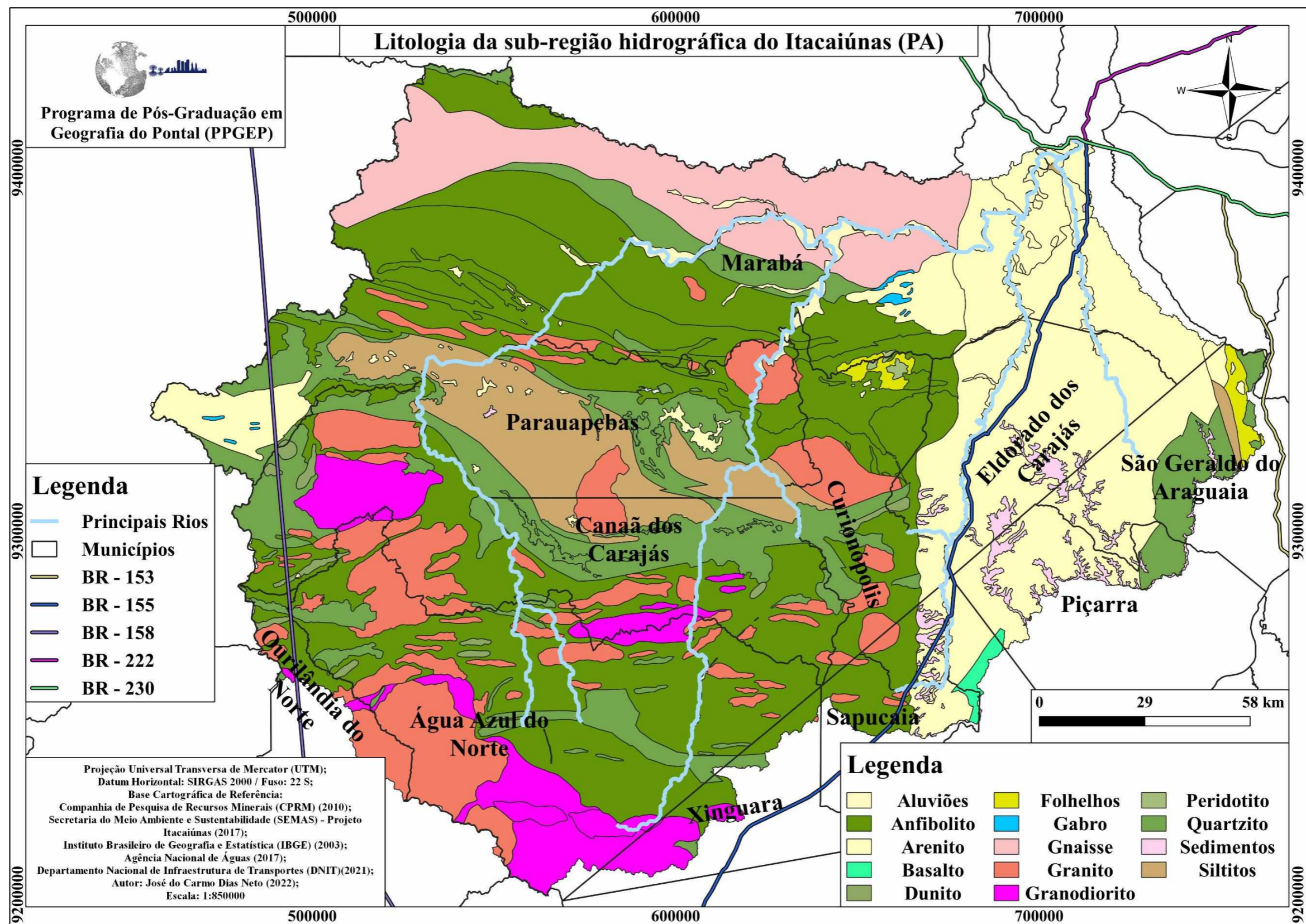
Litologias predominantes	Área (Km²)	Área (%)
Aluviões	708,41	1,71
Anfíbolito	13.562,17	32,83
Arenito	7.896,57	19,12
Basalto	99,41	0,24
Dunito	204,20	0,49
Folhelhos	229,18	0,55
Gabro	49,44	0,11
Gnaisse	3.203,40	7,75
Granito	4.586,49	11,10
Granodiorito	2.151,85	5,21
Peridotito	30,17	0,13
Quartzito	5.622,04	13,61
Sedimentos	493,35	1,19
Siltito	2.463,32	5,96

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

O segundo grupo litológico com maior presença é o arenito, que compreende 7.896

km² (19,12%) da SRHI (Tabela 7). O arenito é definido como rocha sedimentar clástica resultante da deposição de areias que, após um processo de compactação e cimentação, se transformam em rochas (IGc-USP, 2021). É formado de partículas de tamanho variado, podendo receber a nomenclatura de arenito grosso, médio ou fino. Em geral, possui matriz fina, siltico-argilosa, e cimento que pode ser de sílica, óxido/hidróxido de ferro, calcita, entre outros (CPRM, 2014).

Figura 17 - Litologia da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Em seguida, a área ocupada pelo quartzito (que é uma rocha metamórfica), com 5.622,04 km² (13,61%) (Tabela 7). O quartzito é, geralmente, de cor branca a cinza, composto quase inteiramente de quartzo, formado, principalmente, pelo aumento da pressão e temperatura exercida em arenitos ricos em quartzo (IGc-USP, 2021). De maneira geral, o quartzito pode ter como rocha original os arenitos quartzosos, tufos e riolitos silicosos e chert silicoso (CPRM, 2014).

O granito, responsável por ocupar uma área de 4.586,49 km² (11,10%) (Tabela 7), é classificado como uma rocha plutônica supersaturada e composta essencialmente por quartzo e feldspatos. Os granitos são formados pelo resfriamento do magma em profundidade; por isso, são denominados de rochas plutônicas ou intrusivas (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

Posteriormente, tem-se a litologia gnaiss, abrangendo 3.203,40 km² (7,75%) (Tabela 7); definida como rocha metamórfica das mais comuns, disposta de médio a alto de metamorfismo, submetida a temperaturas e pressões elevadas, formada pelo metamorfismo do granito ou de quartzo-argilosas, é essencialmente quartzo-feldspática; sua cor é composta por leitos de coloração clara, contendo quartzo e feldspatos intercalados com leitos que contêm minerais mais escuros, como biotita e anfíblio (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

O siltito, que representa 2.463,32 km² (5,96%) (Tabela 7), é uma rocha sedimentar clástica constituída predominantemente por fragmento de mineral ou rocha muito fino, do tamanho silte, diferenciando-se dos arenitos somente pelo tamanhos dos grãos, sendo mais finos (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

Dando continuidade, apresenta-se a litologia granodiorito, correspondendo a 2.151,85 km² (5,21%) (Tabela 7), sendo classificada como uma rocha ígnea plutônica ou vulcânica; possui como correspondente efusivo o dacito, em que predominam minerais claros (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

As áreas ocupadas pelo aluvião possuem extensão de 708,41 km² (1,71%) (Tabela 7), e são definidas como rocha de sedimento clástico depositado por um sistema fluvial no leito, nas margens de drenagens, nas planícies de inundação e nas áreas deltaicas. O aluvião é composto por material mais fino, extravasado dos canais nas cheias, muito retrabalhado e alterado, resultado da erosão fluvial recorrente. Os depósitos aluvionares normalmente são muito férteis para a agricultura, comumente sendo um fator para o desenvolvimento das sociedades humanas na história (CPRM, 2014).

A litologia dos sedimentos engloba 493,35 km² (1,19%) (Tabela 7); trata-se de rocha sedimentar formada por material fragmentário originado por intemperismo e erosão de rochas

e solos, transportado por agentes geológicos, criando depósitos em camadas sedimentares, sendo transformados em rochas por meio de litificação, podendo ser encontrados em dunas, margens de rios, encostas, planícies aluvionares, entre outras (CPRM, 2014).

A litologia de folhelho representa 229,18 km² (0,55%) (Tabela 7). O folhelho é classificado como uma rocha sedimentar clástica muito fina, argilosa a siltico-argilosa, sendo um argilito disposto em lâminas finas sobrepostas que se abrem como folhas; por fim, é importante ressaltar que geralmente apresentam grande quantidade de matéria orgânica e fósseis (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

As áreas com dunito representam 204,20 km² (0,49%) (Tabela 7). Os dunitos são definidos como uma rocha plutônica ultramáfica e ultrabásica, representando a diferenciação de magmas, toleíticos e outros, concentrando os minerais mais pesados e refratários, com mais alta temperatura de fusão (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

O basalto é responsável por abranger um total de 99,41 km² (0,24%) de área (Tabela 7); é uma rocha vulcânica escura, de grão fino, sendo o principal constituinte da crosta oceânica, visto que é formado por meio do magma extravasado até a superfície, entrando em contato com as condições de pressão e temperatura atmosféricas, resfriando-se rapidamente (IGc-USP, 2021).

A litologia de peridotito apresenta cerca de 30,17 km² (0,13%) de extensão (Tabela 7). É definida como uma rocha ígnea plutônica ultramáfica, contendo menos de 45% em peso de sílica; trata-se do principal constituinte do manto superior terrestre e forma-se nas rochas ígneas, por fracionamento magmático (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

Por fim, destaca-se a litologia gabro, indicando o menor índice de área de todas as litologias apresentadas, em torno de 49,44 km² (0,11%) (Tabela 7); constitui rocha ígnea plutônica, com granulação grossa a média, com coloração escura, de composição similar à do basalto; a referida litologia é formada em grandes profundidades, pelo lento resfriamento magmático no interior da crosta terrestre (CPRM, 2014; IGc-USP, 2021).

4.1.2 Análise da Vulnerabilidade ao fator Geologia (Litologia) (G)

Para a análise da vulnerabilidade ao fator geologia, é necessário compreender que o grau de coesão das rochas é a informação básica a ser integrada a partir da Ecodinâmica, em razão de que nas rochas pouco coesas podem prevalecer os processos erosivos (morfogênese) e rochas coesas prevalecem os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese)

(CREPANI, et al., 2001).

Dessa forma, basea-se na análise do intemperismo e da erosão das rochas realizada por Crepani et al. (2001), que leva em consideração a água como agente intemperizador, assim como a remoção dos produtos intemperizados, devido à constante presença da água; em razão da porosidade ou da fratura, resulta em maior intemperismo. Por meio disso, é necessário compreender a espacialização dos graus de vulnerabilidade a denudação das rochas (Figura 18), sua relação com as diferentes litologias presentes, assim como a distribuição das classes de vulnerabilidade à denudação das rochas (Figura 19), por meio de suas extensões (Tabela 8).

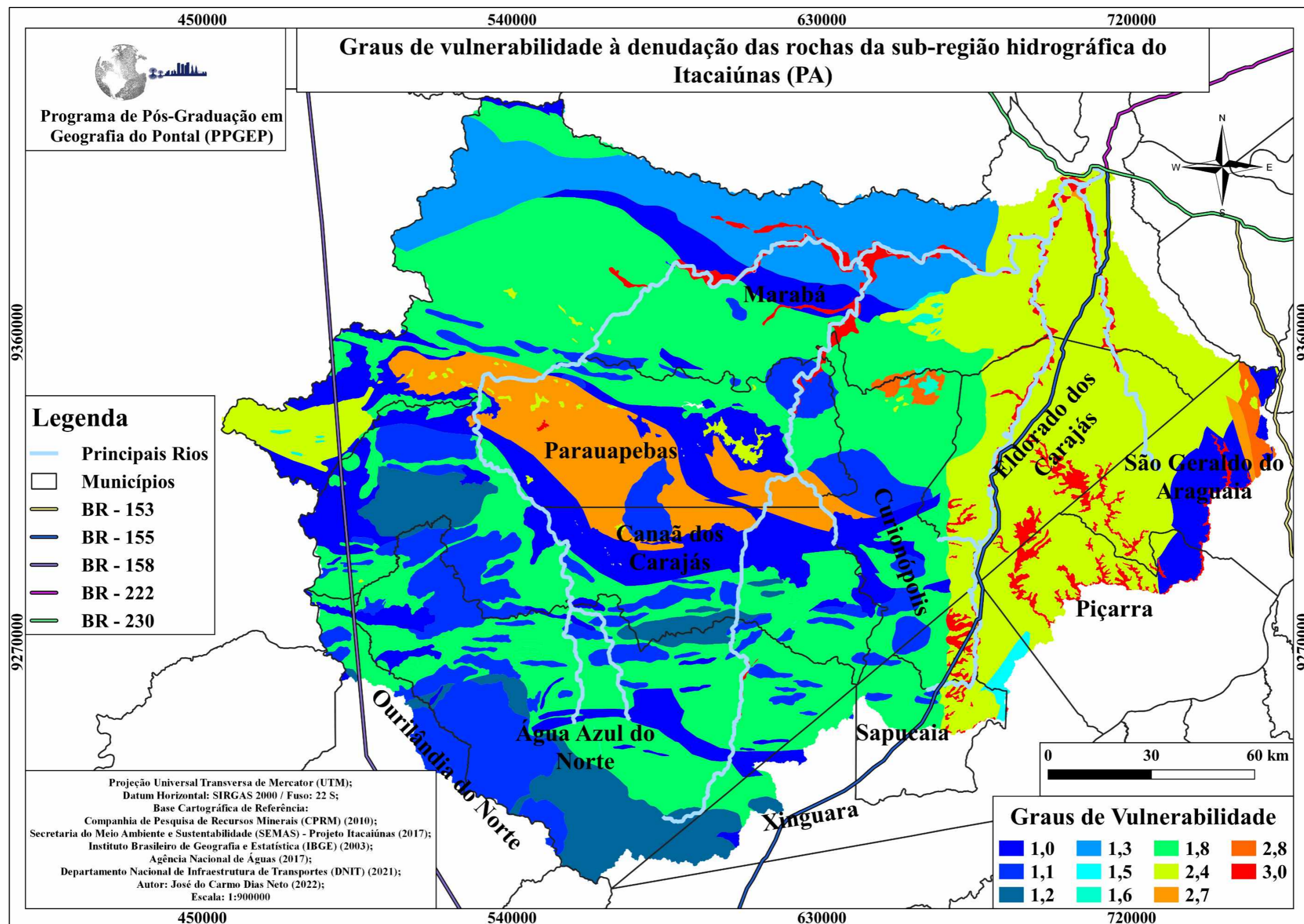
Tabela 8 - Relação entre litologias, graus e classes de vulnerabilidade

Litologias	Graus de Vulnerabilidade	Classes de Vulnerabilidade	Km²	%
Quartzito	1,0	Estável	15.563,78	37.68
Granito	1,1			
Granodiorito	1,2			
Gnaisse	1,3			
Basalto	1,5	Moderadamente Estável	179,02	0.43
Peridotito	1,6			
Gabro	1,6			
Anfibolito	1,8	Medianamente Estável ou Vulnerável	13.766,37	33.35
Dunito	1,8			
Arenito	2,4	Moderadamente Vulnerável	7.896,57	19.12
Siltito	2,7			
Folhelhos	2,8	Vulnerável	3.894,26	9.42
Aluviões	3,0			
Sedimentos	3,0			

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

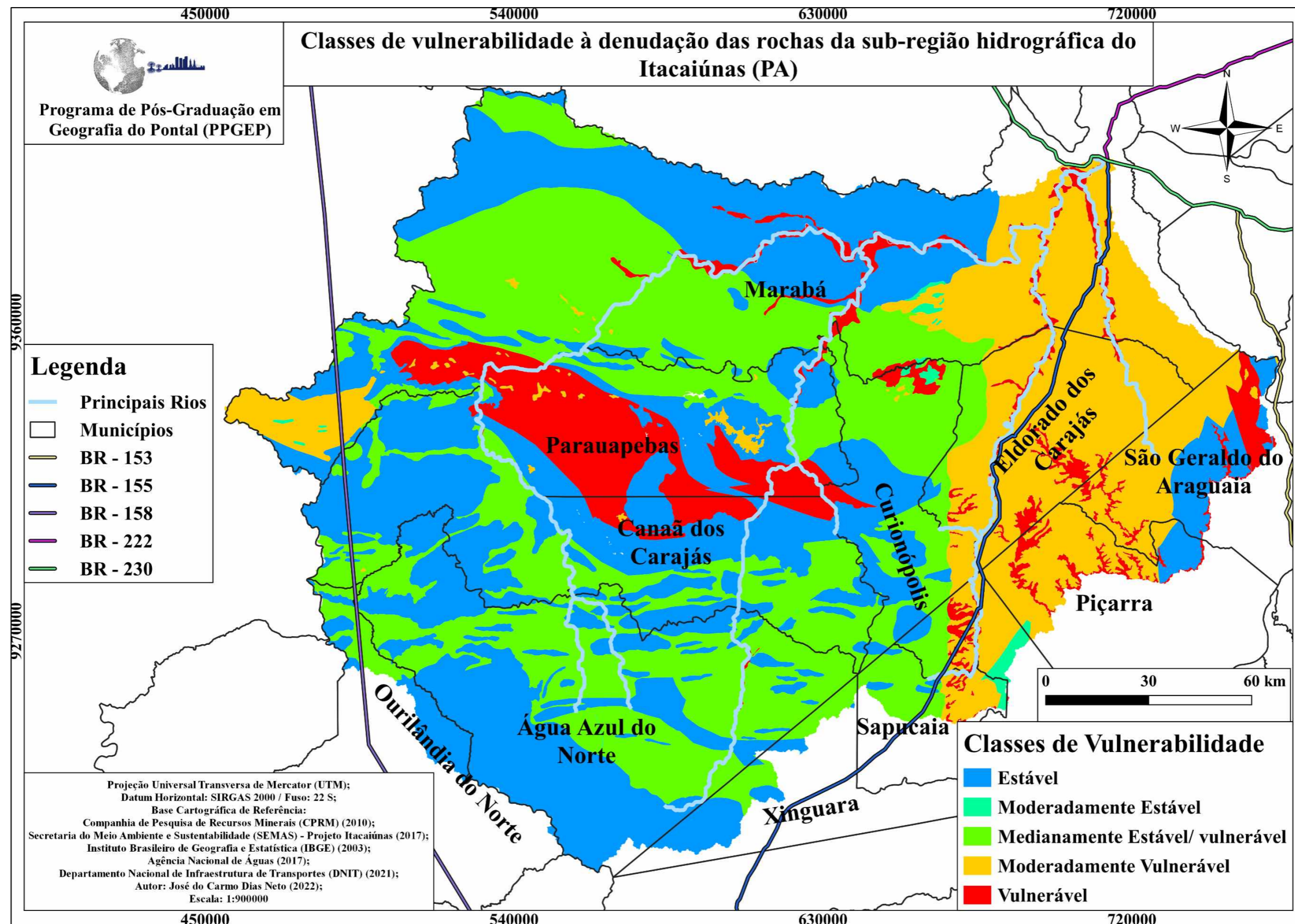
Primeiramente, apresenta-se a análise da vulnerabilidade à denudação das rochas classificadas como estáveis na SRHI, abrangendo as classes litológicas de quartzito, granito, granodiorito e gnaisse, com os graus de vulnerabilidade de 1,0 a 1,3, englobando 15.563,78 km² da área de estudo, cerca de 37,68% da área total, sendo o maior índice identificado na área de estudo (Tabela 8). Posteriormente, tem-se a classe moderadamente estável, formada pelas litologias de basalto, peridotito e gabro, sendo definidos entre os graus de 1,5 e 1,6, abrangendo 179,02 km², aproximadamente 0,43% da área total (Tabela 8). Em seguida, tem-se a classe de medianamente estável/vulnerável, compreendendo as litologias de anfibolito e dunito, possuindo o grau de vulnerabilidade de 1,8 em ambos, estendendo-se em uma área de 13.766,37 km², sendo a segunda maior, com cerca de 33,75% da SRHI (Tabela 8).

Figura 18 - Graus de vulnerabilidade a denudação das rochas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 19 - Classes de vulnerabilidade à denudação das rochas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Em continuidade, apresenta-se a classe moderadamente vulnerável, formada pela litologia de arenito, contendo o grau de 2,4, com cerca de 7.896,57 km², por volta de 19,12% da área total (Tabela 8). Por último, a classe de denudação das rochas consideradas vulneráveis, formada pelas litologias de siltito, folhelhos, aluviões e sedimentos, variando entre os graus de 2,7 até 3,0, possuindo cerca de 3.894,26 km², aproximadamente 9,42% da área de estudo (Tabela 8).

Por fim, realiza-se a espacialização das classes de vulnerabilidade à denudação das rochas (Figura 19), sendo que na SRHI predomina-se a classe estável e medianamente estável/vulnerável, com 29.330,15 km², cerca de 71.01% do total.

4.1.3. Clima

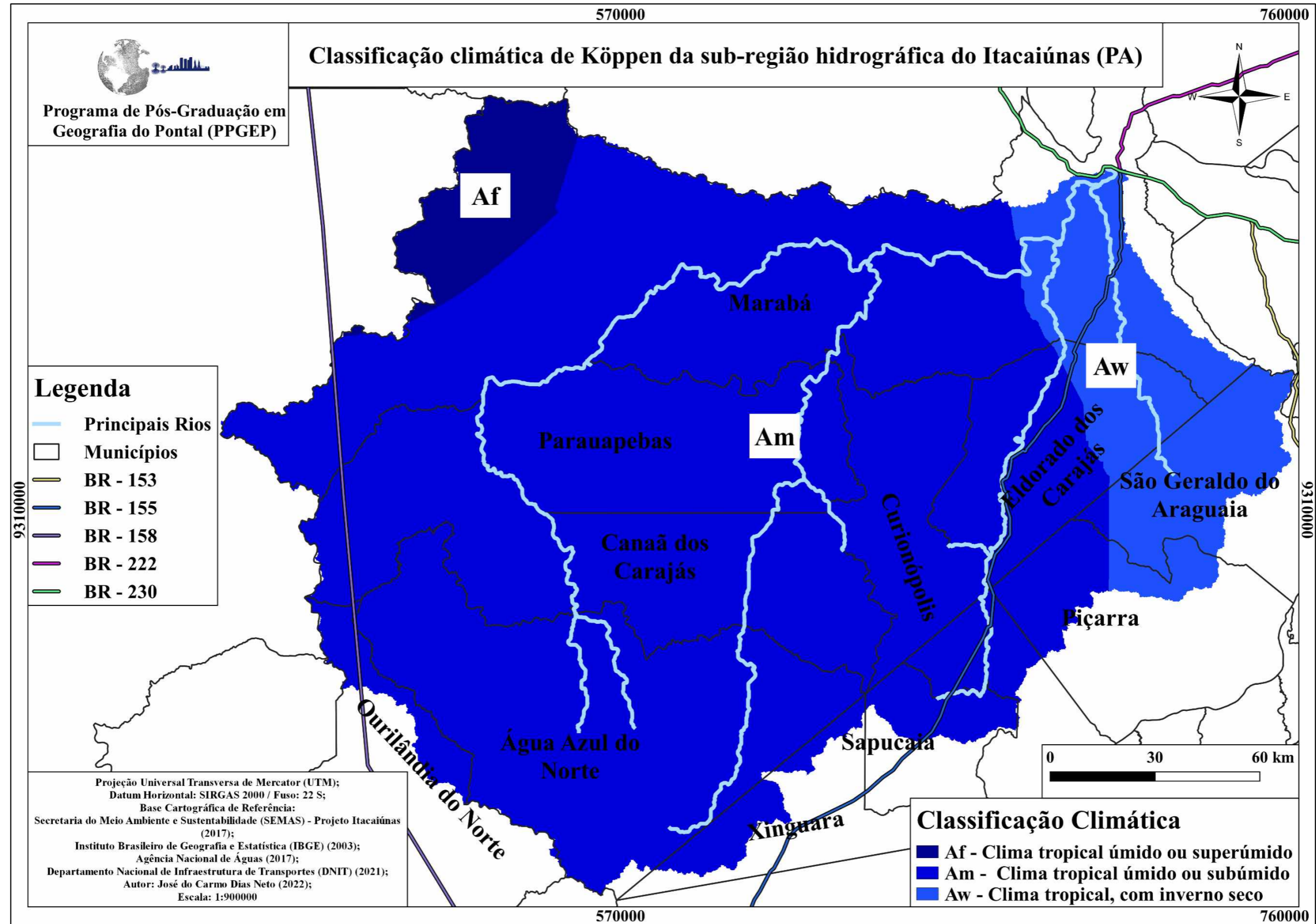
Para iniciar qualquer discussão a respeito do clima, é necessário compreender a importância das florestas na manutenção do equilíbrio ecossistêmico. Segundo Rezende e Vartuli (2021), as florestas desempenham processos naturais importantes, como por exemplo, a absorção de gás carbônico e liberação de oxigênio, a purificação e ciclagem da água, o abrigo de diferentes espécies. Além disso, as florestas asseguram a biodiversidade, influenciam no clima local à regiões longínquas, entre outras funcionalidades que exercem.

Dessa forma, tratando-se da floresta Amazônica, há um consenso na academia sobre a importância da mesma na manutenção e controle climático de boa parte da América do Sul, principalmente devido à presença dos chamados “rios voadores”. A seguinte dinâmica ambiental nada mais é que cursos de água atmosféricos invisíveis formados por vapor de água, direcionando a umidade gerada para outras regiões da América do Sul, em formato de chuvas.

É importante pontuar a presença da área de estudo na região amazônica, visto que o clima encontra-se inserido no chamado “inverno amazônico”, denominação para o período mais chuvoso do ano, com maior incidência de chuvas e nebulosidade, resultando em menor índice de temperatura.

Segundo Moraes et al. (2005), a região do estado do Pará, em que a área de estudo está localizada, possui o início do seu período de seca entre os meses de maio e junho, com precipitação média de 350mm, estendendo-se até os meses de novembro e dezembro, nos quais iniciam o período chuvoso, com precipitação média de aproximadamente 1.550mm. Anualmente, a precipitação encontra-se entre o intervalo de 1.800mm até 2.300mm.

Figura 20 - Classificação climática de Köppen da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Por meio dos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2021) fornecidos para o estado do Pará em relação ao ano de 2020, a região de estudo encontrou-se com temperaturas máximas de 32,5° C e mínimas de 25° C. Com base no estudo elaborado por Tavares et al. (2018), em que os autores realizam uma análise de quatro estações hidrometeorológicas localizadas na área da SRHI, pode-se constatar que o mês com o maior índice de chuva é março, enquanto o oposto trata-se de julho.

Abordando os sistemas de classificações climáticas (SCC) na SRHI, utiliza-se do trabalho de Köppen e Geiger (1928), em que os autores foram responsáveis por desenvolver um SCC mais abrangente, levando em consideração, principalmente, a vegetação natural. Com base nisso, no estado do Pará consta a ocorrência de três distintos tipos climáticos, sendo que a SRHI encontra-se na interseção dos mesmos, com base na metodologia de classificação climática estabelecida por Köppen (1936) e refinada por Alvares et al. (2013) para todo o Brasil. Sendo assim, a área de estudo possui: Clima tropical úmido ou superúmido (Af), Clima tropical úmido ou subúmido (Am) e Clima tropical, com inverno seco (Aw) (Figura 20).

A região com clima Af trata-se de uma região tropical úmida ou superúmida com ausência de estação seca, possuindo uma temperatura média mensal mais quente, sendo superior a 18° C. Durante o mês mais seco, as precipitações são superiores a 60 mm, com precipitações maiores de março a agosto, ultrapassando o total de 1.500 mm anuais. Nos dois meses mais quentes, sendo eles janeiro e fevereiro, a temperatura é de 24° C a 25° C.

A região com clima Am trata-se de uma transição entre os tipos climáticos Af e Aw, caracterizando-se por apresentar a temperatura média do seu mês mais frio, sempre superior a 18° C, possuindo estação seca de curto período, que é compensada pelos elevados índices de precipitação.

A última variação de clima é a Aw, a qual apresenta estação chuvosa no verão, entre os meses de novembro a abril, assim como uma nítida estação seca, no inverno no período de maio a outubro, sendo julho o mês mais seco. Por fim, a temperatura média do mês mais frio é superior a 18° C, com precipitações atingindo 1.800 mm anuais.

4.1.4. Análise da Vulnerabilidade ao fator Clima (C)

O clima é uma das variáveis mais importantes a serem consideradas em uma análise ambiental, visto que controla diretamente o intemperismo, por meio da precipitação e

temperatura, alterando e influenciando a flora e fauna, tanto local quanto regional. Além do mais, a pluviometria é a causa fundamental da denudação, pois quanto maior a taxa pluviométrica em um intervalo de tempo, maior será o efeito do intemperismo, pois cada gota de precipitação sobre as rochas resulta em alterações físicas e químicas.

Por meio disso, é necessário a compreensão das características que envolvem os graus de vulnerabilidade da chuva na área estudada, visto os efeitos significativos no meio. Dessa forma, compreende-se que a principal característica a ser ressaltada sobre a vulnerabilidade ao tema clima é a intensidade pluviométrica, uma vez que representa a relação entre a quantidade de chuva com um período de tempo. Com base nisso, os valores de I.P podem ser considerados como energia potencial, sendo esta transformada em energia cinética.

Dessa forma, a área de estudo apresentou uma I.P mensal mínima de 178,87 mm. Em outras palavras, durante o intervalo de 25 anos, a SRHI teve no mínimo 178,87 litros de precipitação de água por 1 m² por mês. Em continuidade, a área de estudo apresentou uma I.P mensal máxima de 548,76 mm, equivalendo a cerca de 548,76 litros de água a cada 1 m².

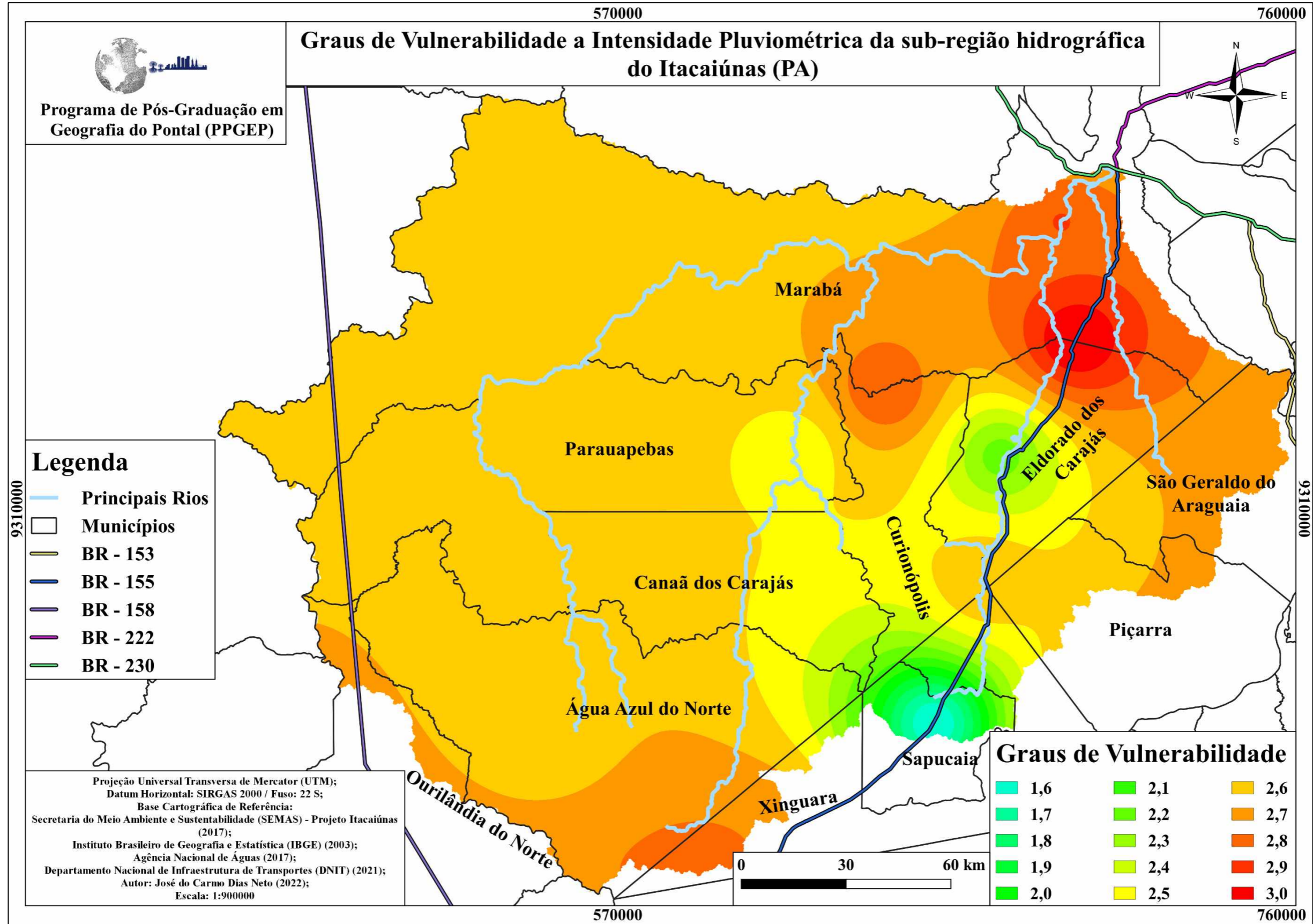
Com base nos critérios estabelecidos pelos autores Crepani et al. (2001), a SRHI possui uma vulnerabilidade mínima de 1,6 e uma máxima de 3,0 (Tabela 9), distribuídos em toda a área (Figura 21). É importante mencionar que, segundos os dados trabalhados, a SRHI não apresenta áreas com clima considerado estável, não sendo representado nas tabelas.

Tabela 9 - Valores de Intensidade Pluviométrica e Graus de Vulnerabilidade da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas

I.P (mm/mês)	Vulnerabilidade
175 - 200	1,6
200 - 225	1,7
225 - 250	1,8
250 - 275	1,9
275 - 300	2,0
300 - 325	2,1
325 - 350	2,2
350 - 375	2,3
375 - 400	2,4
400 - 425	2,5
425 - 450	2,6
450 - 475	2,7
475 - 500	2,8
500 - 525	2,9
> 525	3,0

Fonte: Crepani et al. (2001).

Figura 21 - Graus de vulnerabilidade à Intensidade Pluviométrica da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Com base nos dados gerados (Tabela 10), pode-se constatar a predominância da classe moderadamente vulnerável com o intervalo entre 350 mm a 450 mm, possuindo graus de vulnerabilidade entre 2,3 a 2,6, apresentando uma área de 29.459 km², cerca de 71,33% da área total. Em seguida, a classe vulnerável é a segunda maior a ser registrada, compreendendo de 450 mm até 525 mm ou mais, possuindo os graus de vulnerabilidade entre 2,7 a 3,0, contando com 10.252,90 km², aproximadamente 24,83% da área total (Tabela 10). As duas classes apresentadas totalizam 96,16% da SRHI, informação crucial, devido à importância dos efeitos climáticos nas dinâmicas ambientais.

Tabela 10 - Informações gerais sobre as classes de vulnerabilidade ao clima

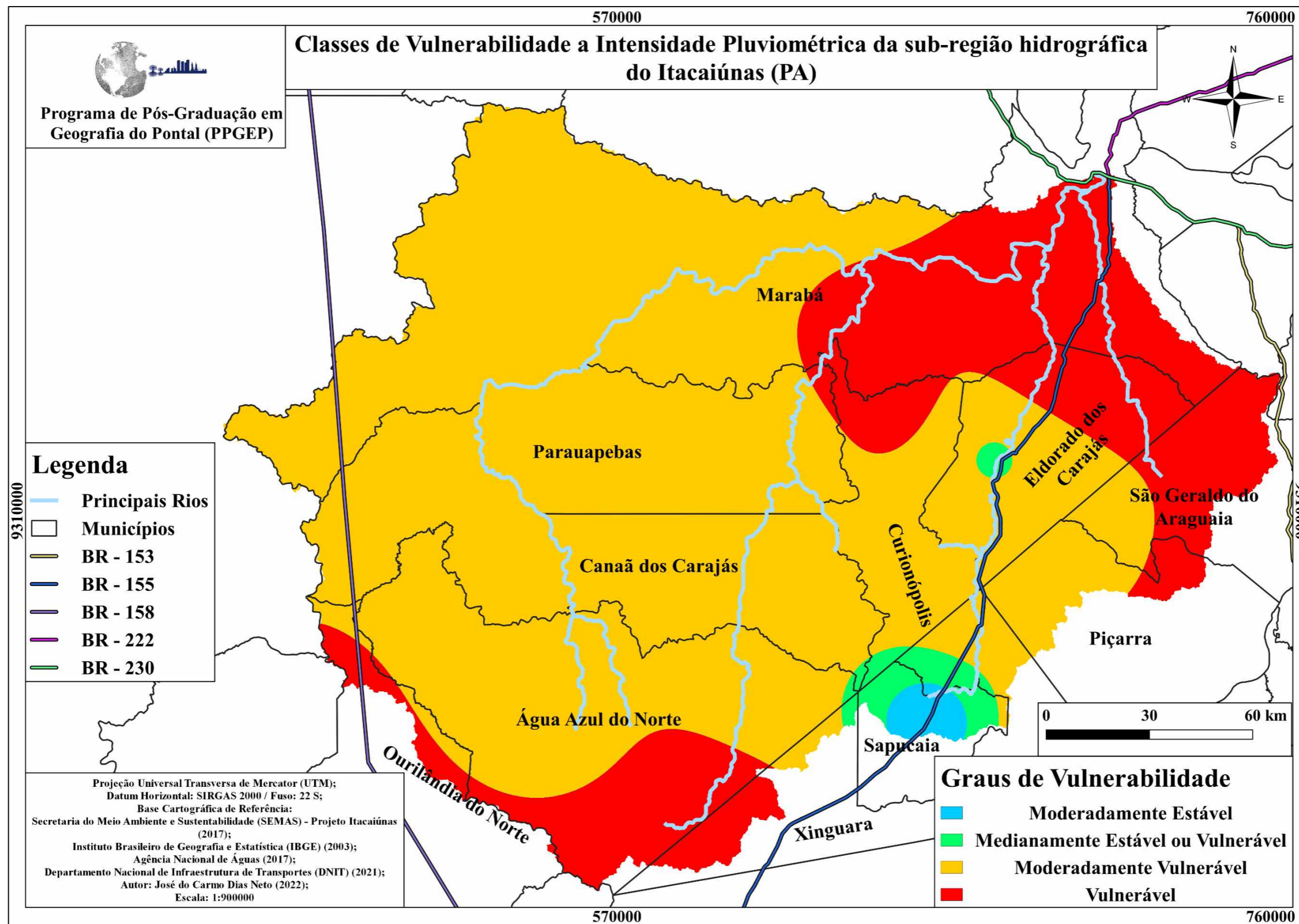
Graus de Vulnerabilidade	Classes de Vulnerabilidade	km²	(%)
1,6 – 1,7	Moderadamente Estável	95,51	0,23
1,8 – 2,2	Medianamente Estável ou Vulnerável	1.491,77	3,61
2,3 – 2,6	Moderadamente Vulnerável	29.459,82	71,33
2,7 – 3,0	Vulnerável	10.252,90	24,83

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Dando continuidade na análise dos dados, a classe nomeada como medianamente estável ou vulnerável encontra-se no intervalo de 225 mm a 350 mm, contendo os graus de vulnerabilidade entre 1,8 a 2,2, apresentando 1.491,77 km², cerca de 3,61% da área total (Tabela 10). Por último, tem-se a classe moderadamente estável, que compreende de 175 mm até 225 mm; contém os graus de vulnerabilidade entre 1,6 e 1,7; sua área é de 95,51 km², cerca de 0,23% da área total (Tabela 10).

As referidas classes encontradas na SRHI possuem predominância entre moderadamente vulnerável e vulnerável, totalizando 96,16% da área total; o restante divide-se entre a classe medianamente estável ou vulnerável e moderadamente estável, totalizando 3,84% da área de estudo; a SRHI não possui valores da classe estável. Por fim, pode-se considerar a SRHI como moderadamente vulnerável, visto os 71,33% da área enquadrarem-se na citada classe. Como forma de melhor visualização e compreensão, elabora-se o produto cartográfico demonstrativo (Figura 22).

Figura 22 - Classes de vulnerabilidade a Intensidade Pluviométrica da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022)

Segundo Crepani et al. (2001), tem-se, por meio da distribuição das chuvas, uma variável ambiental de importante análise para a compreensão das dinâmicas ambientais de qualquer localidade. A presença de áreas com ausência de vegetação ou alteração significativa na sua flora, como por exemplo, áreas antropizadas, principalmente ocupadas pela agricultura e pecuária, são afetadas diretamente pela I.P e, conseqüentemente, intensifica os processos de intemperismo.

Com base nisso, pode-se observar que a presença da SRHI na classe de moderadamente vulnerável deve ser levada em consideração em todos os aspectos ambientais, visto ser um indicador importante sobre os efeitos pluviométricos nas demais variáveis que a compõem. Diante disso, é nítida a influência do clima no que diz respeito à vulnerabilidade natural à perda do solo.

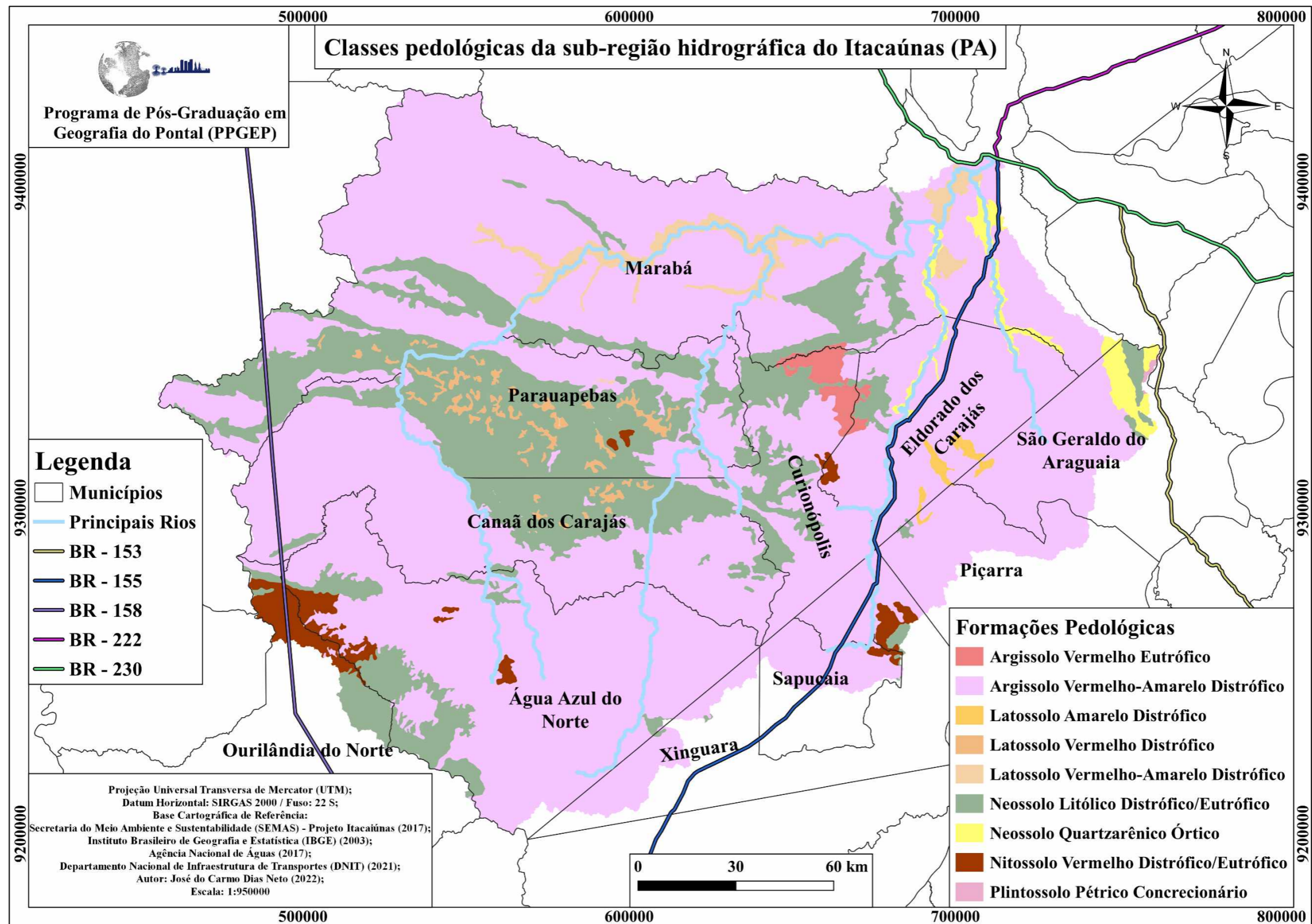
4.1.5. Pedologia

Da mesma forma que estudar o clima e a pluviometria são essenciais para a compreensão dos processos ambientais, as classes de solos, bem como suas características, são fatores que devem ser considerados e analisados em qualquer modelo de análise ambiental. A importância do entendimento da formação pedológica trata-se, principalmente, em razão da intensidade dos efeitos de erosão nos diferentes tipos de solos que podem ser encontrados em determinada área, em virtude da aceleração dos processos naturais de erosão frente às ações antrópicas.

Com base nisso, a preocupação em analisar e estudar os diversos tipos de formações pedológicas determina-se pelo cuidado em relação à capacidade do solo de absorver as ações antrópicas, visto que, em uma situação ideal, o solo seria utilizado somente da maneira que seu uso pudesse ser sustentado indefinidamente.

Por meio disso, realiza-se o levantamento das diversas formações pedológicas da SRHI (Figura 23), utilizando como base de análise o “Manual Técnico de Pedologia” do IBGE, disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>, e o projeto “Árvore do conhecimento” da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), disponível em https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/Abertura.html.

Figura 23 - Espacialização das classes pedológicas da sub-região hidrográfica do Itacaúnas (PA)



A primeira pedologia a ser analisada são os Argissolos, mais especificamente, a formação de Argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd). Os mesmos possuem determinado aumento de argila no solo, entre o horizonte superficial “A” para o subsuperficial “B”, possuindo uma baixa a muito baixa fertilidade natural, pois são fortemente ácidos, sendo compostos por argilas de baixa atividade (IBGE, 2015). A sua profundidade é caracterizada por ser variável; as cores vermelho-amareladas são devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita (EMBRAPA, 2013). A SRHI possui entorno de 30.093,840 km² (72,86%) de Argissolos vermelho-amarelo, sendo a pedologia predominante (Tabela 11).

Em seguida, tem-se os Argissolos vermelhos eutróficos (PVe), caracterizados por uma fertilidade variável, devido à diversidade dos materiais de origem, definido pelas cores vermelhas, acentuadas em razão dos altos teores de ferro, resultando na oxidação em ambientes bem drenados (EMBRAPA, 2015). Encontra-se em uma extensão de 293,630 km² (0,78%) na área de estudo (Tabela 11).

Tabela 11 - Informações gerais sobre as classes pedológicas na SRHI

Nomenclatura	Sigla	Área (Km²)	Área (%)
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	PVAd	30.093,840	72,86
Argissolo Vermelho Eutrófico	PVe	293,630	0,78
Latossolo Amarelo Distrófico	LAd	115,446	0,27
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd	346,327	0,83
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	LVAd	823,641	1,99
Neossolo Litólico Distrófico	RLd	8.285,147	20,06
Neossolo Litólico Eutrófico	RLe	36,864	0,08
Neossolo Quartzarênico Órtico	RQo	594,586	1,43
Nitossolo Vermelho Distrófico	NVd	23,591	0,05
Nitossolo Vermelho Eutrófico	NVe	672,921	1,62
Plintossolo Pétrico Concrecionário	FFc	14,007	0,03

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Posteriormente, apresenta-se o Latossolo amarelo distrófico (LAd), sendo desenvolvido de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares, possuindo uma cor amarelada homogênea; contém uma boa retenção de umidade e boa permeabilidade, possuindo baixo índice de fertilidade (IBGE, 2015; EMBRAPA, 2013). A seguinte pedologia possui o tal de 115,446 km² (0,27%) na SRHI (Tabela 11). Em continuidade, a área de estudo contém o Latossolo vermelho distrófico (LVd), que assim como os outros tipos de latossolo, possui uma homogeneidade de coloração; são solos bem drenados e com cor vermelha-escuro, devido à presença significativa de óxidos de ferro; os mesmos possuem tanto uma alta quanto baixa fertilidade. No caso da área de estudo, trata-se de uma baixa fertilidade (IBGE, 2015). A

seguinte pedologia abrange 346,327 km² (0,83%) na área de estudo (Tabela 11). A última variação pedológica do Latossolo, trata-se do Latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd), caracterizado por cores vermelho-amareladas homogêneas. Os solos desse tipo possuem alta profundidade, boa drenagem e, normalmente, baixa fertilidade natural (IBGE, 2015). Constata-se a presença de 823,641 km² (1,99%) na SRHI (Tabela 11).

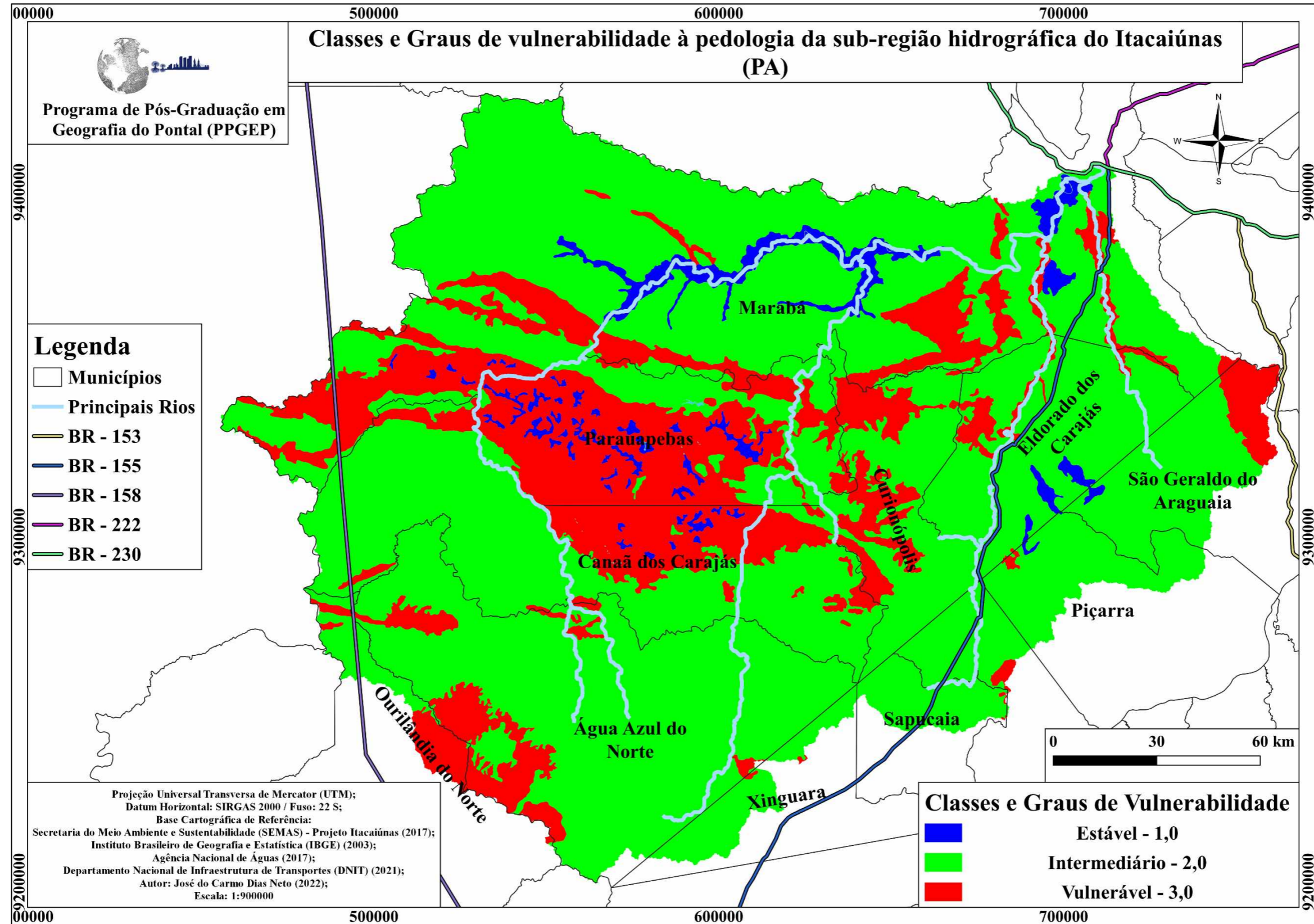
Seguidamente, tem-se os Neossolos litólicos distróficos/eutróficos (RLd/RLe), constituídos por material mineral ou material orgânico pouco espesso; compreendem solos rasos, sua fertilidade está relacionada à soma de bases e à presença de alumínio, em maior quantidade nos Neossolos litólicos eutróficos (IBGE, 2015). Constituem, aproximadamente, 8.322,011 km² da SRHI, sendo 8.285,147 km² (20,06%) com baixa fertilidade e 36,864 km² (0,08%) com maior fertilidade (Tabela 11).

A área de estudo também apresenta a formação de Neossolos quartzarênicos órticos (RQo), exibindo textura arenosa e cor amarelada uniforme abaixo do horizonte “A”; são caracterizados por serem solos profundos, não apresentando restrição ao uso e manejo (IBGE, 2015). Com base nisso, pode-se constatar que a referida classe pedológica compreende 594,586 km² (1,43%) (Tabela 11). Em seguida, tem-se os Nitossolos vermelhos distróficos/eutróficos (NVd/NVe), caracterizados pela presença de um horizonte “B” subsuperficial. Possuem textura argilosa ou muito argilosa com diferença textural mínima, geralmente são moderadamente ácidos e possuem alta e baixa fertilidade (IBGE, 2015). Na área de estudo, encontra-se um total de 696,512 km² de Nitossolos vermelhos, sendo 23,591 km² (0,05%) solos com baixa fertilidade; e o restante dos 672,921 km² (1,62%) são solos alta fertilidade (Tabela 11). Por último, destaca-se a classe pedológica nomeada de Plintossolos pétrico concrecionário (FFc), sendo estes caracterizados por não serem profundos e pela presença de expressiva de concreções de ferro ou cangas. Geralmente possuem maiores índices de drenagens do que as demais classes de plintossolos (IBGE, 2015). Dessa forma, a referida formação pedológica compreende cerca de 14,007 km² (0,03%) na SRHI (Tabela 11).

4.1.6 Análise da Vulnerabilidade ao fator Pedologia

Por intermédio das classes pedológicas encontradas na SRHI, tem-se a possibilidade de realizar a atribuição dos graus e das classes de vulnerabilidade (Figura 24). Dessa forma, a área de estudo pode ser dividida em três graus de vulnerabilidade, seguindo a metodologia proposta por Crepani et al. (2001).

Figura 24 - Classes e graus de vulnerabilidade à pedologia da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Fonte: IBGE (2003).
Org.: José do Carmo Dias Neto (2022).

A primeira classe trata-se das pedologias consideradas estáveis, sendo atribuído o valor 1,0, representada pelos Latossolos. De acordo com Crepani et al. (2001), os Latossolos são solos bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade, definindo-se como solos maduros. Por meio disso, tem-se a atribuição dos valores aos Latossolos presentes na SRHI, abrangendo uma área de 1.253,989 km², equivalendo cerca de 3,05% da área total, podendo ser considerada como pedologicamente estável (Tabela 12).

A segunda classe refere-se a pedologias consideradas intermediárias, sendo atribuídos os graus de vulnerabilidade igual a 2,0, representados pela classe Argissolos e Nitossolos, os quais apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Dessa forma, a referida classe de vulnerabilidade encontra-se com uma extensão de 31.115,407 km², cerca de 75,33% da área total. Com base nisso, a vulnerabilidade da pedologia na SRHI pode ser considerada predominantemente intermediária (Tabela 12).

Tabela 12 - Informações gerais sobre as classes de vulnerabilidade à pedologia

Graus de Vulnerabilidade	Classes de Vulnerabilidade	Km ²	%
1,0	Estável	1.253,989	3,05
2,0	Intermediário	31.115,407	75,33
3,0	Vulnerável	8.930,604	21,62

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Por fim, a terceira e última classe a ser analisada trata-se das pedologias consideradas vulneráveis, com os valores atribuídos de 3,0, definindo-se como solos poucos desenvolvidos, em fase inicial de formação, devido aos materiais de origem recentemente depositados ou locais com alta declividade (CREPANI et al., 2001). Por meio disso, a classe vulnerável compreende 8.930,604 km², um total de 21,62% da área de estudo (Tabela 12).

4.1.7 Geomorfologia

Baseando-se no arquivo digital nomeado como “Manual Técnico de Geomorfologia”, obtido por meio da biblioteca digital do IBGE, disponível em <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>, tem-se a descrição dos domínios morfoestruturais, regiões geomorfológicas, unidades geomorfológicas e dos modelados.

Com base nisso, primeiramente é necessário apresentar os domínios morfoestruturais que compreendem a SRHI, caracterizando-se por serem os maiores táxons na

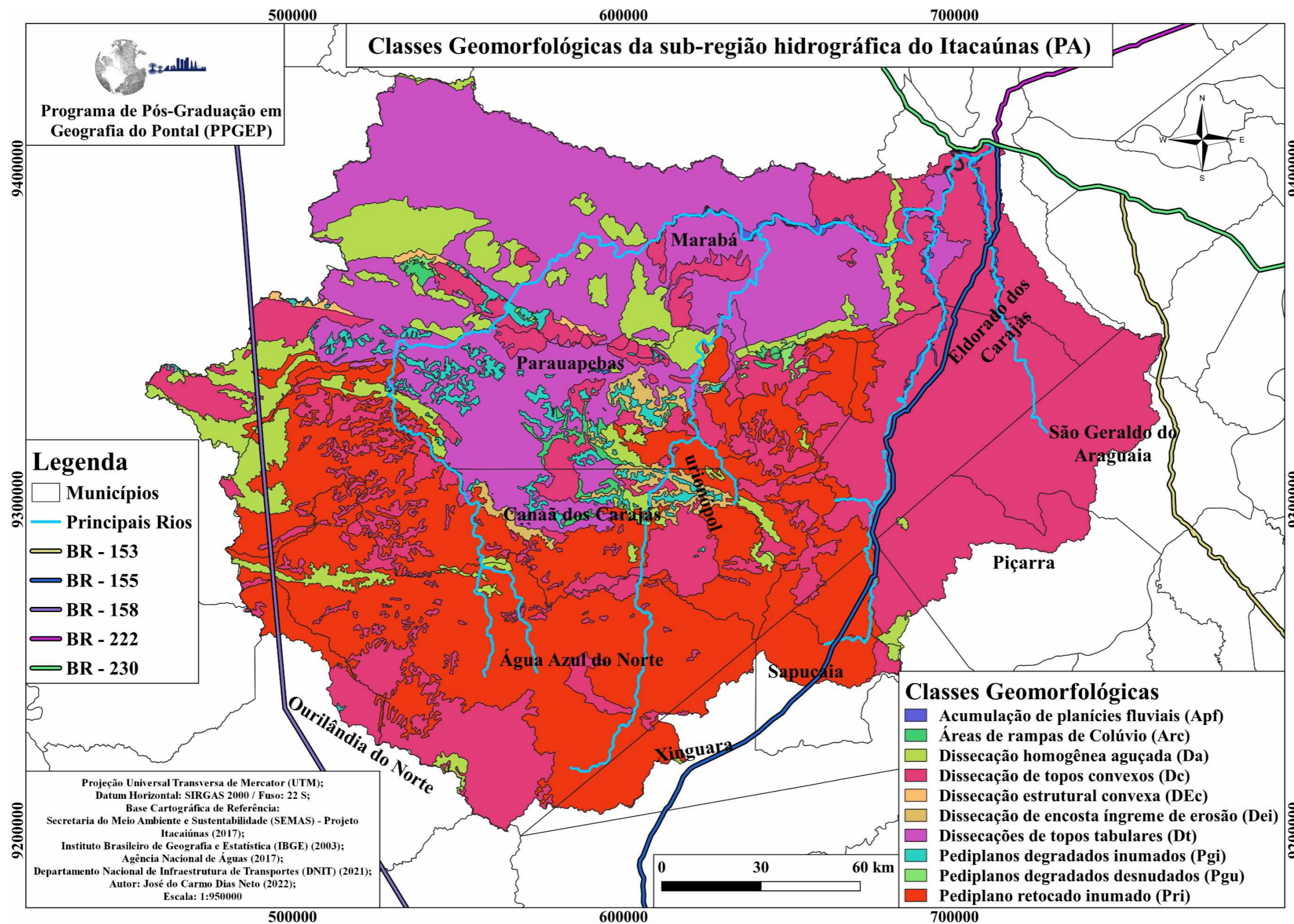
compartimentação do relevo, ocorrendo em escala regional. Dessa forma, a área de estudo abrange três domínios, sendo o primeiro nomeado como crátons neoproterozóicos, formado por planaltos residuais, chapadas e depressões interplanálticas (IBGE, 2019); o segundo domínio, morfoestrutural, é definido como cinturões móveis neoproterozóicos, composto por extensas áreas representadas por planaltos, alinhamentos serranos e depressões interplanálticas elaborados em terrenos dobrados e falhados (IBGE, 2009); o terceiro domínio trata-se dos depósitos sedimentares quaternários, constituído pelas áreas de acumulação representadas pelas planícies e terraços de baixa declividade e, eventualmente, depressões modeladas sobre depósitos de sedimentos horizontais a sub-horizontais de ambientes fluviais, marinhos, fluviomarinhos, lagunares e/ou eólicos (IBGE, 2009).

Em seguida, identifica-se o segundo nível hierárquico de classificação do relevo, as regiões geomorfológicas, representando compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais que, sob a ação dos fatores climáticos, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes (IBGE, 2009). A área de estudo possui três regiões geomorfológicas, sendo os planaltos residuais da amazônia meridional, depressões da amazônia meridional e a depressão do rio araguaia.

Posteriormente, determina-se o terceiro nível taxonômico referindo-se às unidades geomorfológicas, definidas como um arranjo de formas altimétricas e fisionomicamente semelhantes. É importante destacar que cada unidade geomorfológica evidencia seus processos originários, formações superficiais e tipos de modelados diferenciados dos demais (IBGE, 2019). Dessa forma, a SRHI possui cinco unidades geomorfológicas, nomeadas como Serra dos Carajás, planícies e terraços fluviais, depressão do Bacajá, depressão do médio Xingu e depressão do médio e baixo Araguaia.

A quarta e última ordem de compartimentação do relevo trata-se dos modelados, os quais abrangem um padrão de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar, em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes (IBGE, 2009). Com base nisso, a seguinte compartimentação é a mais detalhada. Visto isso, elaborou-se a espacialização das classes geomorfológicas dos modelados presentes na área de estudo da SRHI (Figura 25). Dessa forma, encontra-se em algumas localidades formações nomeadas como rampas de colúvio (Arc), sendo nada mais que formações de fundo de vale suavemente inclinadas, possuindo relação entre os depósitos colúviais com os depósitos aluvionares (IBGE, 2009). Com base nos dados analisados, a seguinte categoria geomorfológica possui uma área total de 212,306 km² (0,51%) (Tabela 13).

Figura 25 - Classes geomorfológicas da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



A categoria responsável por abarcar os rios e suas planícies fluviais são os locais nomeados como acumulação de planícies fluviais (Apf), tratando-se de áreas planas resultantes de acumulação fluvial, sendo sujeitas a inundações periódicas (IBGE, 2009), possuindo área de 279,009 km² (0,67%) (Tabela 13).

Em seguida, identifica-se áreas nomeadas como pediplano retocado inumado (Pri), sendo superfícies de aplanamento criadas após sucessivas fases de retomadas de erosão, sem perder as características de aplanamento, gerando sistemas de planos inclinados ou levemente côncavos. A citada classe abrange cerca de 12.188,028 km² (29,56%) (Tabela 13).

Subsequentemente, apresenta-se áreas de superfícies de aplanamento parcialmente conservado, nomeadas como pediplanos degradados inumados/desnudados (Pgi/Pgu). São superfícies que perderam a continuidade devido à mudança do sistema morfogenético. Geralmente apresentam-se de forma conservada ou com pouca dissecação e/ou separadas por escarpas ou outros modelados de aplanamento e de dissecações (IBGE, 2009).

Normalmente, os Pediplanos degradados inumados (Pgi) encontram-se mascarados, inumados por coberturas detríticas e/ou de alteração, sendo constituídos de couraças e/ou Latossolos (IBGE, 2009). A citada classe apresenta um total de 712,233 km² (Tabela 13) (1,72%); tratando-se dos pediplanos degradados desnudados (Pgu), às vezes encontram-se em desnuda, resultado da exumação de camada sedimentar ou remoção de cobertura preexistente (IBGE, 2009). Dessa forma, a SRHI contém, em média, 74,197 km² (0,17%) do mesmo (Tabela 13).

Tabela 13 - Informações gerais sobre as classes de Geomorfologia na SRHI

Classes	Sigla	Área (km²)	Área (%)
Áreas de rampa de colúvio	Arc	212,306	0,51
Acumulação de planícies fluviais	Apf	279,009	0,67
Pediplano retocado inumado	Pri	12.188,028	29,56
Pediplanos degradados inumados	Pgi	712,233	1,72
Pediplanos degradados desnudados	Pgu	74,197	0,17
Dissecação de Topos Tabulares	Dt	9.901,279	23,97
Dissecação de Topos convexos	Dc	14.023,832	33,95
Dissecação homogênea aguçada	Da	3.348,447	8,10
Dissecação Estrutural convexa	DEc	91,870	0,22
Dissecação de encosta íngreme de erosão	Dei	468,799	1,13

Fonte: IBGE (2009).

Org.: José do Carmo Dias Neto (2022).

Por meio disso, tem-se as formas de topos tabulares, classificados em dissecações de

topos tabulares (Dt), responsáveis por delinear feições de rampas inclinadas e lombadas, em geral definidas por rede de drenagem de baixa densidade, com vales rasos, apresentando vertentes de pequena declividade. De maneira resumida, resulta na instauração de processos de dissecação, atuando sobre uma superfície aplanada (IBGE, 2009). Na área de estudo, abrangem cerca de 9.901,279 km² (23,97%) (Tabela 13).

Posteriormente, identifica-se as formas de topo convexo, também classificadas como dissecação de topos convexos (Dc), caracterizados por vales bem-definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem (IBGE, 2009), possuindo área total de 14.023,832 km² (33,95%) (Tabela 13).

Em continuidade, tem-se as formas de topos aguçados, classificados como dissecação homogênea aguçada (Da). Definem-se como o conjuntos de formas de relevo de topos estreitos e alongados, resultantes da interceptação de vertentes de declividade acentuada, entalhadas por sulcos e ravinas profundos (IBGE, 2009). Abrangem um total de 3.348,447 km² (8,10%) da SRHI (Tabela 13).

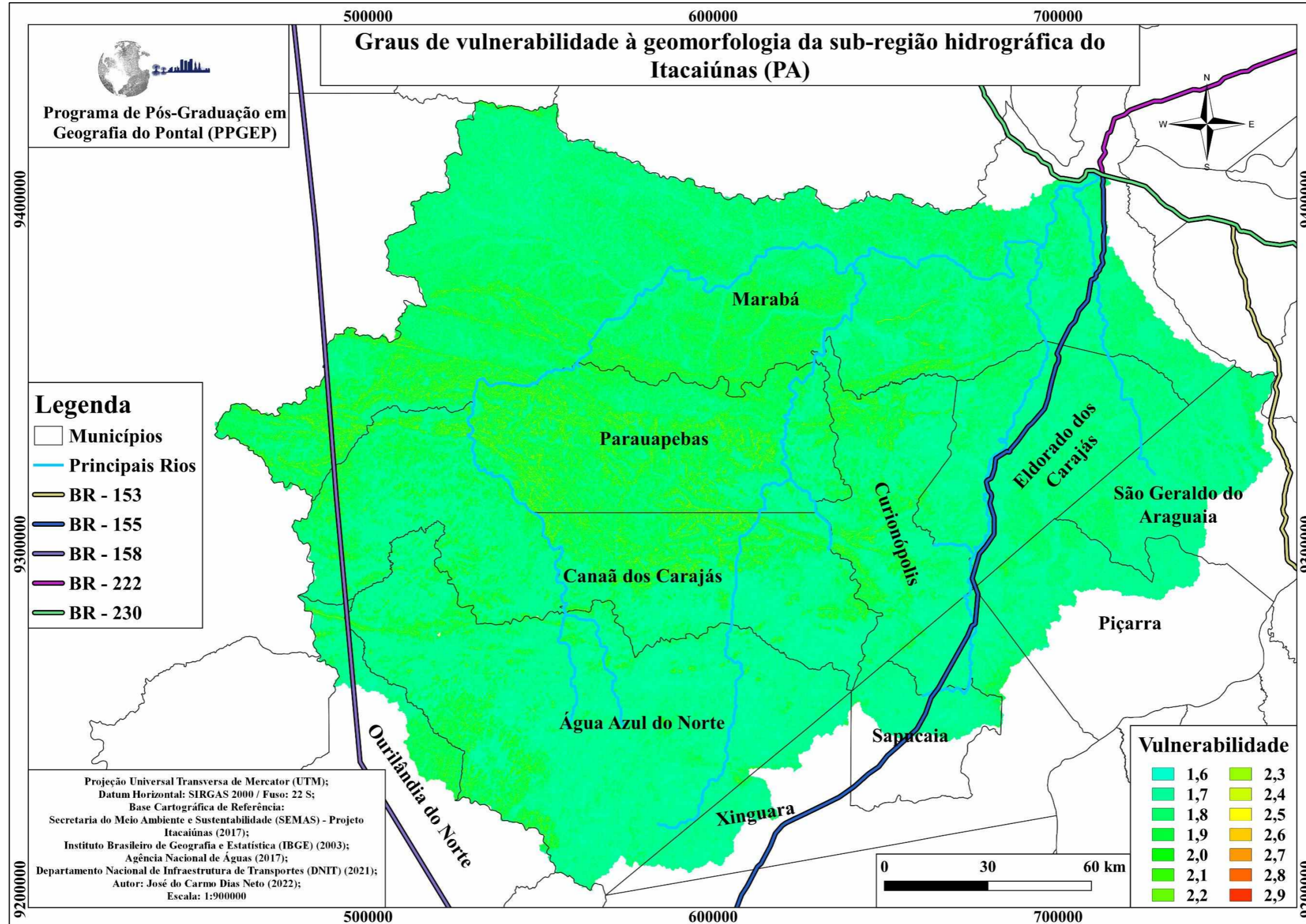
Em sequência, tem-se as áreas de dissecação estrutural convexa (DEc), tratando-se de áreas com dissecação fluvial marcadas por evidente controle estrutural, caracterizadas por inúmeras cristas, vales e sulcos estruturais (IBGE, 2009), englobando uma área de 91,870 km² (0,22%) (Tabela 13). Por fim, a classe nomeada como Dissecação de encosta íngreme de erosão (Dei) nada mais é do que uma área de incidência de escarpas, compreende cerca de 468,799 km² (1,13%) de extensão (Tabela 13).

4.1.8. Análise da Vulnerabilidade ao fator Geomorfologia

Os trabalhos que envolvem diagnóstico, análise, entre outras medidas a serem realizadas para compreensão de determinados fenômenos no espaço, possuem inúmeras variáveis a serem abordadas. No caso da geomorfologia, a mesma é uma das variáveis mais complexas a ser analisada, visto a necessidade da compreensão de que os valores referentes à vulnerabilidade ao fator geomorfologia; trata de um resultado obtido por meio de uma média aritmética entre as variáveis de dissecação do relevo pela drenagem, amplitude altimétrica e declividade.

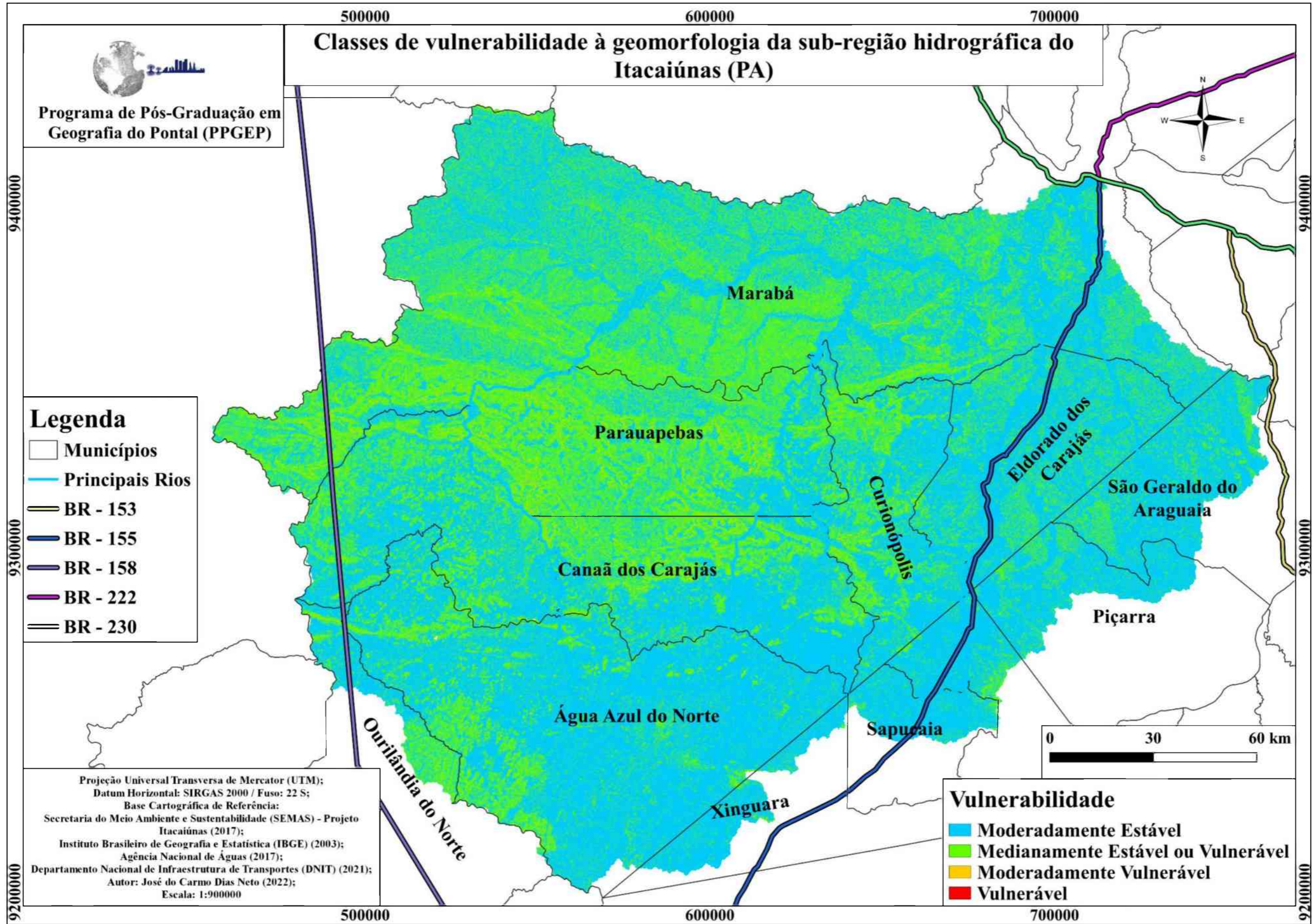
A relação das três variáveis permite uma análise geral sobre os índices morfométricos do terreno, utilizando como base os critérios estabelecidos pelo autor Crepani et al. (2001). A partir disso, é necessário compreender os graus de vulnerabilidade (Figura 26) e as classes de vulnerabilidade (Figura 27) espacializados na área de estudo.

Figura 26 - Graus de vulnerabilidade à geomorfologia da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 27 - Classes de vulnerabilidade à geomorfologia da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Com base nos resultados obtidos, pode-se analisar que a primeira classe nomeada como estável – delimitada pelos valores entre 1,0 e 1,3, definidos por baixa intensidade de dissecação do relevo, menores valores de amplitude altimétrica e menores ângulos de inclinação das encostas – não foi identificada na área de estudo.

Em seguida, a classe nomeada como moderadamente estável, entre os valores de 1,4 a 1,7, definida por formas de origem estrutural e denudacional, caracterizada por relevos suavemente ondulados, abrange um total de 27.240,339 km², cerca de 65,95% da área de estudo, sendo que somente os graus 1,6 e 1,7 foram identificados (Tabela 14).

Seguidamente, a classe medianamente estável ou vulnerável, determinada pelo intervalo de 1,8 e 2,2, representada por formas de origem estrutural e denudacional caracterizadas por relevos ondulados dissecados em colinas, possui, aproximadamente, 13.667,379 km², representando 33,09% do total de área (Tabela 14). As classes moderadamente estável e medianamente estável ou vulnerável dispõem em torno de 99,04% da área da SRHI (Tabela 12).

Tabela 14 - Informações gerais sobre as classes de vulnerabilidade a Geomorfologia

Graus de Vulnerabilidade	Classes de Vulnerabilidade	km²	(%)
1,6 – 1,7	Moderadamente Estável	27.240,339	65,95
1,8 – 2,2	Medianamente Estável ou Vulnerável	13.667,379	33,09
2,3 – 2,6	Moderadamente Vulnerável	391,895	0,94
2,7 – 3,0	Vulnerável	0,387	0,02

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Por último, tem-se as classes de menor incidência, denominadas como moderadamente vulnerável e vulnerável, encontrando-se entre o intervalo de 2,3 a 3,0, sendo formadas por formas de origem estrutural e denudacional, caracterizadas por relevos fortemente ondulados e escarpados, dissecados em cristas, ravinas e pontões, dispendo de 392,282 km², aproximadamente 0,96% da área total (Tabela 14).

Com base nisso, pode-se chegar à conclusão que a vulnerabilidade a geomorfologia da SRHI encontra-se predominantemente como moderadamente estável, porém, possuindo áreas significativas classificadas como medianamente estável ou vulnerável.

4.1.9. Cobertura Vegetal

A variável de cobertura vegetal trata-se de um indicador para diversos planejamentos ambientais, visto ser sensível a alterações antrópicas. A densidade de cobertura vegetal é um dos parâmetros formadores da vulnerabilidade natural à perda de solos, pois é um fator de proteção contra os processos de erosão. Por meio disso, elabora-se a espacialização dos dados de vegetação presentes na área de estudo (Figura 28), correlacionando-os com as definições de vegetação de Crepani et al. (2001), realizando a identificação das classes e suas áreas de extensão (Tabela 15).

Tabela 15 - Informações gerais sobre as classes de vegetação na sub-região hidrográfica do Itacaiúnas

Classes de Vegetação	Km ²	Área (%)	Classes de Vegetação	Km ²	Área (%)
Floresta Ombrófila	18.017,93	43,62	Pastagem	22.710,20	54,98
Savana Parque	0,64	0,011	Áreas sem Vegetação	314,56	0,76
Reflorestamento	0,70	0,014	Agricultura	33,38	0,08
Formação Herbácea	221,36	0,53	Formação Arbustiva	2,10	0,005

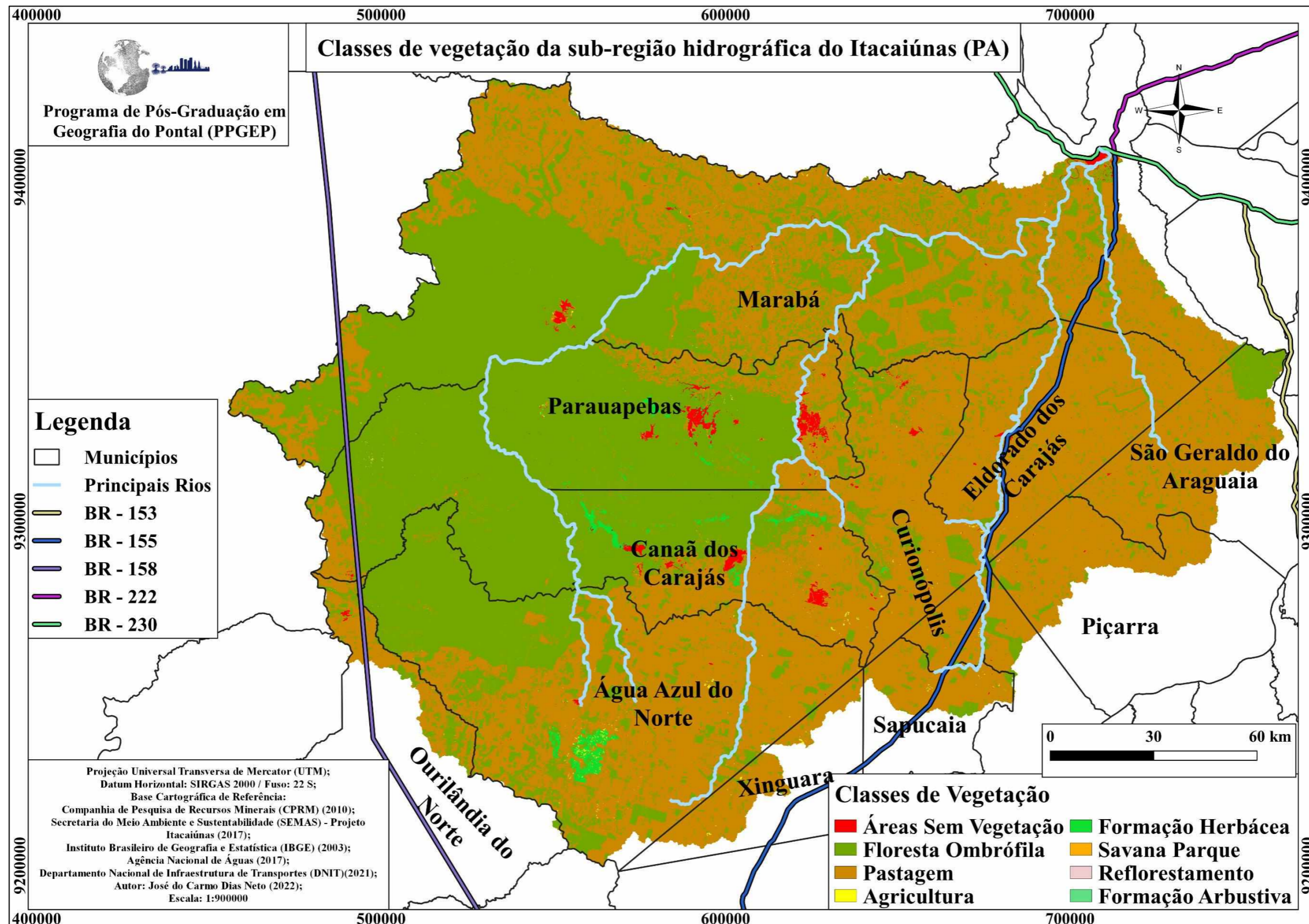
Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

A classe com maior incidência na SRHI é a de pastagem, com total de 22.710,20 km² (54,98%) (Tabela 15), correspondendo às áreas destinada ao pastoreio do gado, atribuído, em grande maioria, para a pecuária, sendo formada mediante plantio de forragens ou aproveitamento e melhoria de pastagens naturais. Na citada classe, o solo possui sua cobertura vegetação em porte de gramíneas ou leguminosas arbóreas, podendo a altura variar entre centímetros a metros.

Em seguida, a classe nomeada como floresta ombrófila apresenta a segunda maior incidência, cerca de 18.017,93 km² (43,62%) (Tabela 15). A classe é formada pelas variações entre floresta ombrófila densa e floresta ombrófila aberta, formações comumente encontradas na região amazônica, em grande maioria, tratando-se de reservas legais, unidades de conservação e terras indígenas. Posteriormente, tem-se a classe áreas sem vegetação, possuindo, aproximadamente, 314,56 km² (0,76%) (Tabela 15), constituída por locais com baixa ou nenhuma incidência de vegetação, como por exemplo, áreas de mineração, áreas urbanas, rios, lagos, entre outros.

A próxima formação a ser detalhada é a herbácea, abrangendo 221,36 km² (0,53%) de área (Tabela 15). Ocorre, predominantemente, em áreas fronteiriças da Colômbia e Venezuela, assim como em formas de disjunções por toda a Amazônia, sendo identificada em áreas planas, alagadas ou não, possuindo grande variação entre vegetação arbustiva ou herbácea.

Figura 28 - Classes de vegetação da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

A seguir, tem-se a classe de agricultura, compreendendo cerca de 33,38 km² (0,08%) (Tabela 15), constituída por índices de culturas permanentes e temporárias, com predomínio da soja. Posteriormente, define-se a formação arbustiva, com cerca de 2,10 km² (0,005%) (Quadro 22), sendo criada pela acumulação dos cursos de água, lagoas e assemelhados, que constituem os terrenos aluviais sujeitos ou não a inundações periódicas, com vegetações podendo variar entre arbustivas e herbáceas.

Em continuidade, tem-se a classe de reflorestamento, com 0,70 km² (0,014%), representando áreas com vegetação recuperada (Tabela 15); dessa forma, a última classe de vegetação identificada trata-se de formações do tipo savana parque, compreendendo cerca de 0,64 km² (0,011%), constituída, essencialmente, por um estrato de gramíneas (Tabela 15). Por fim, as vegetações predominantes na SRHI são de pastagem e florestas ombrófilas (densas e abertas), com um total de 40.728,13 km² (98,60%).

4.1.10. Análise da Vulnerabilidade ao fator Cobertura Vegetal

Por meio das diversas formações de cobertura vegetal encontradas na SRHI, realiza-se a criação da vulnerabilidade ao fator de cobertura vegetal, definida pela densidade de cobertura vegetal, sendo atribuídos os graus de vulnerabilidade à vegetação (Figura 29) e as classes de vulnerabilidade à vegetação (Figura 30), com suas informações representadas para melhor análise espacial (Tabela 16).

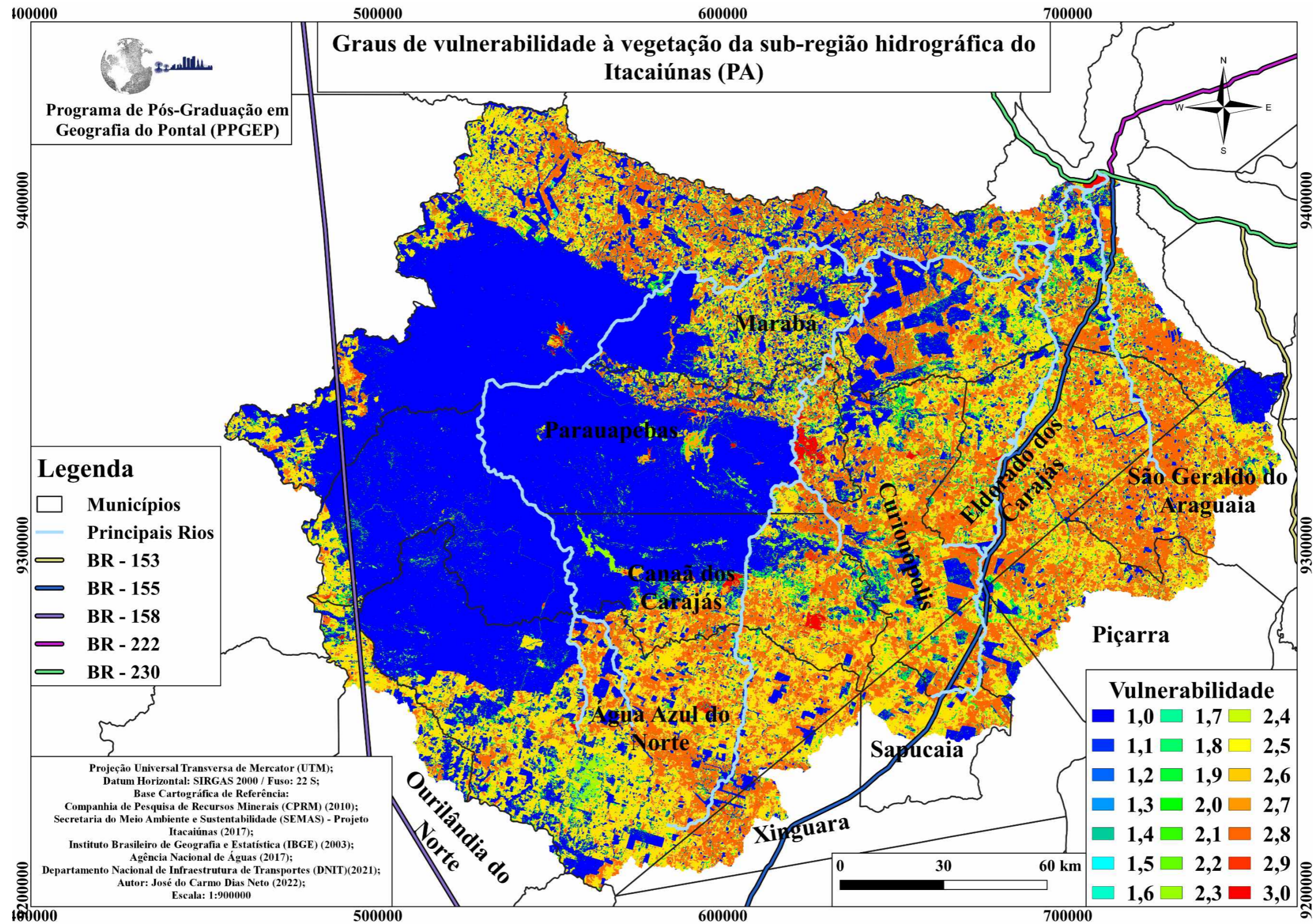
Tabela 16 - Informações gerais sobre as classes de vulnerabilidade a Vegetação

Graus de Vulnerabilidade	Classes de Vulnerabilidade	km ²	(%)
1,0 – 1,3	Estável	17.719,41	42,90
1,4 – 1,7	Moderadamente Estável	214,57	0,51
1,8 – 2,2	Medianamente Estável ou Vulnerável	3.060,04	7,40
2,3 – 2,6	Moderadamente Vulnerável	11.197,03	27,11
2,7 – 3,0	Vulnerável	9.096,35	22,02

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

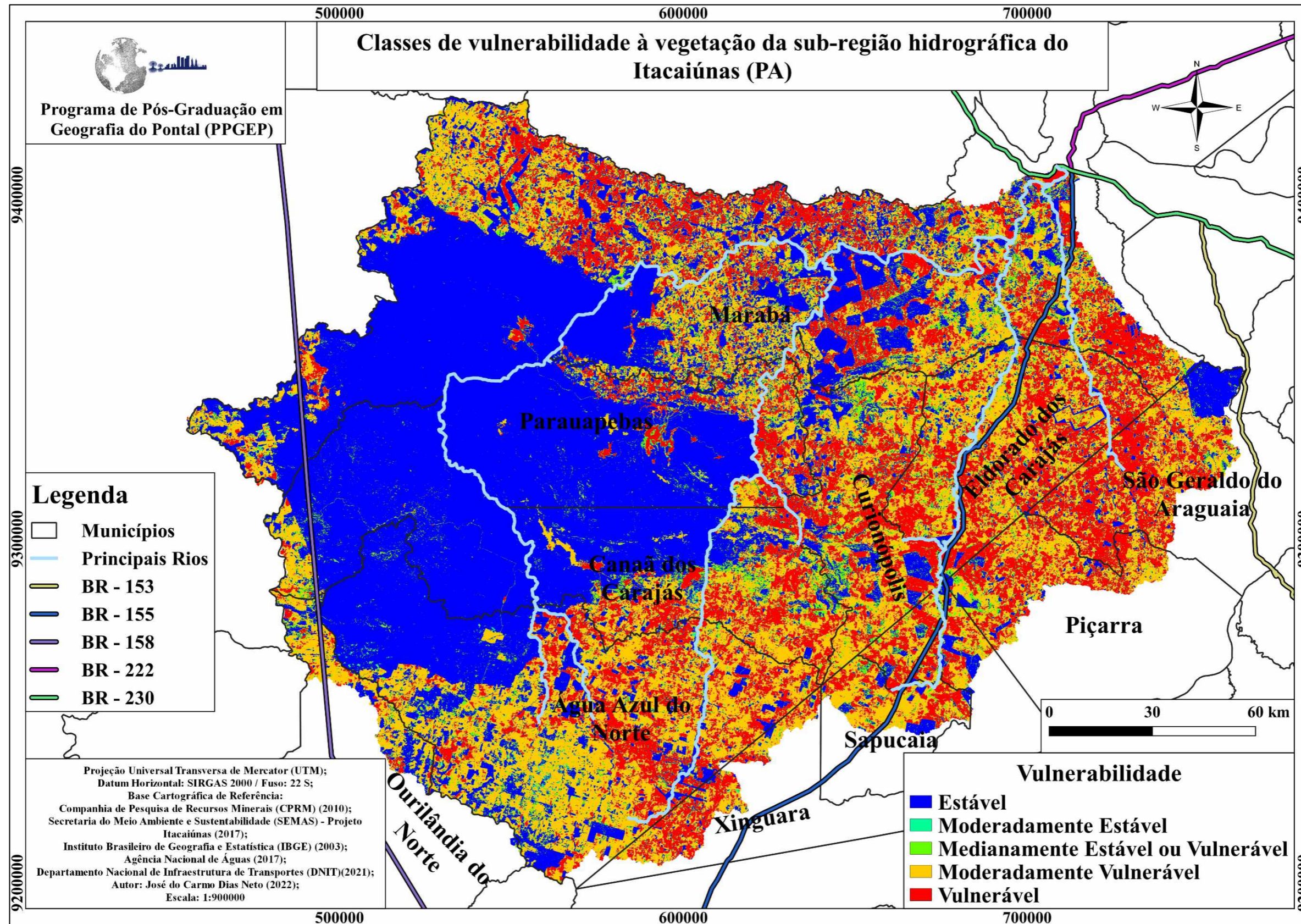
Com base nisso, tem-se a primeira classe nomeada como estável, sendo formada por vegetações consideradas em estado estável de vulnerabilidade, constituída por valores entre 1,0 e 1,3, constituindo uma área com cerca de 17.719,41 km², por volta de 42,90% da área total (Tabela 16). É formada, principalmente, por florestas ombrófilas, cuja grande maioria encontra-se localizada em reservas legais, unidades de conservação e terras indígenas.

Figura 29 - Graus de vulnerabilidade à vegetação da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 30 - Classes de vulnerabilidade à vegetação da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Em seguida, trata-se da classe moderadamente estável, formada pelos valores entre 1,4 e 1,7, compreendendo cerca de 214,57 km², aproximadamente 0,51% da SRHI (Tabela 16). A citada classe é composta, principalmente, por áreas desmatadas que apresentaram vegetações de reflorestamento.

Posteriormente, a classe medianamente estável ou vulnerável é constituída por valores entre 1,8 e 2,2, possuindo área de 3.060,04 km², próximo de 7,40% da área de estudo (Tabela 16). É formada, principalmente, por vegetações com predominância de arbustos de diversos portes. Seguidamente, tem-se a classe moderadamente vulnerável, sendo formada pelos valores entre 2,3 e 2,6; contém uma área de 11.197,03 km², cerca de 27,11% da SRHI (Tabela 16). A classe é constituída de vegetações arbustivas e herbáceas, possuindo significativa variação, encontrada, principalmente, em relevos planos, podendo ser alagadas ou não.

Por fim, apresenta-se a classe vulnerável, formada pelos valores entre 2,7 e 3,0; abrange área total de 9.096,35 km², por volta de 22,02% (Tabela 16). A referida classe compreende vegetações que sofrem influência de pastagem e agricultura, assim como áreas de vegetação suprimida.

4.1.11. Análise da Vulnerabilidade Natural à Perda de Solos

O desenvolvimento da vulnerabilidade natural à perda de solos da SRHI permitiu a análise dos graus e das classes de vulnerabilidade de cada variável ambiental utilizada, possibilitando a confecção de um produto sintetizador. Por meio disso, teve-se a definição de cada variável em relação aos índices de vulnerabilidade e sua espacialização, resultando em um modelo que identifica áreas com predominância em morfogênese ou pedogênese.

Com base nisso, realiza-se a análise dos resultados encontrados na SRHI, a espacialização dos graus (Figura 31) e das classes de vulnerabilidade (Figura 32). Primeiramente, o mapeamento indica que a área não possui os graus de vulnerabilidade de 1,0 a 1,3, respectivos a vulnerabilidade estável (Tabela 17). Com isso, pode-se constatar que a SRHI não possui a classe de maior incidência pedogênica, responsável por prevalecer os processos formadores de solos.

Tabela 17 - Informações gerais sobre a vulnerabilidade natural à perda de solos

Graus de Vulnerabilidade	Classes de Vulnerabilidade	km ²	(%)
1,0 – 1,3	Estável	-	-

1,4 – 1,7	Moderadamente Estável	3.867,32	9,36
1,8 – 2,2	Medianamente Estável ou Vulnerável	27.757,00	67,20
2,3 – 2,6	Moderadamente Vulnerável	9.615,31	23,28
2,7 – 3,0	Vulnerável	48,90	0,11

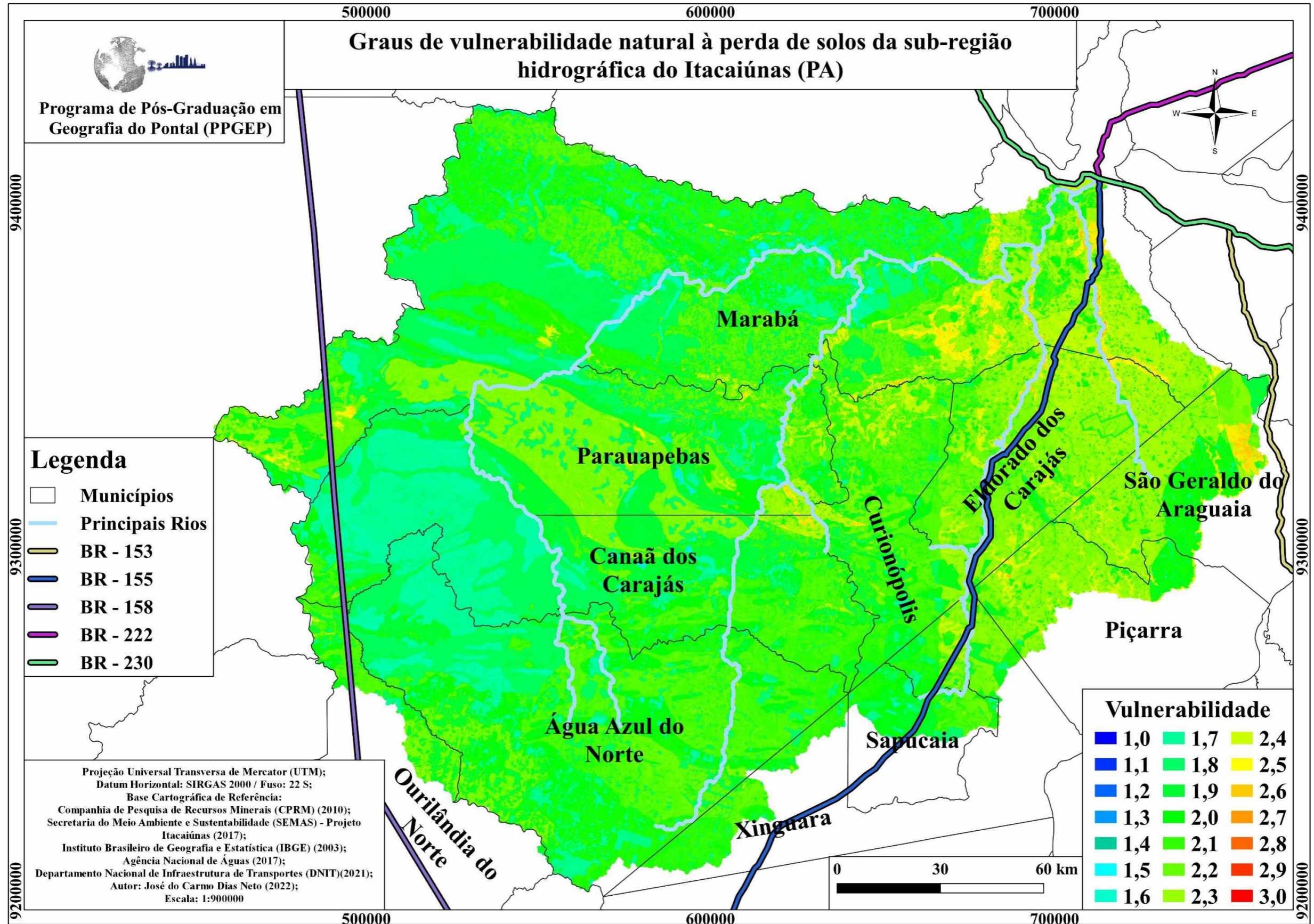
Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Posteriormente, são evidenciados os dados referentes à classe de moderadamente estável, indicada pelos graus de vulnerabilidade de 1,4 a 1,7, com cerca de 3.867,32 km², aproximadamente 9,36% da área de estudo (Tabela 17). A citada classe possui formação de solos rasos, porém, com menor ocorrência em comparação com a anterior, encontrando-se em regiões com vegetação composta por florestas ombrófilas e áreas de reflorestamento, possuindo litologias de predominância de quartzito, granito, granodiorito, gnaisse, basalto, peridotito e gabro; o relevo é definido por formas de origem estrutural e denudacional, caracterizado, principalmente, por ser suavemente ondulado; em relação ao solo, possui profundidade variável, visto ser identificado principalmente Argissolos, Latossolos e Neossolos.

Em seguida, a classe medianamente estável ou vulnerável, relacionada aos graus de 1,8 a 2,2, compreende a área de 27.757,00 km², aproximadamente 67,20% da SRHI (Tabela 17). É definida por ser a transição entre as unidades mais estáveis e as mais vulneráveis, possuindo um equilíbrio entre a pedogênese e a morfogênese. É constituída, principalmente, de vegetação ombrófila, reflorestada, arbustiva e de pastagens; encontra-se predominância nas litologias de anfíbolitos e siltitos; o relevo possui origem estrutural e denudacional, com características entre relevos planos a ondulados dissecados em colinas; a pedologia encontrada trata-se principalmente de Argissolos e Nitossolos com profundidades variáveis.

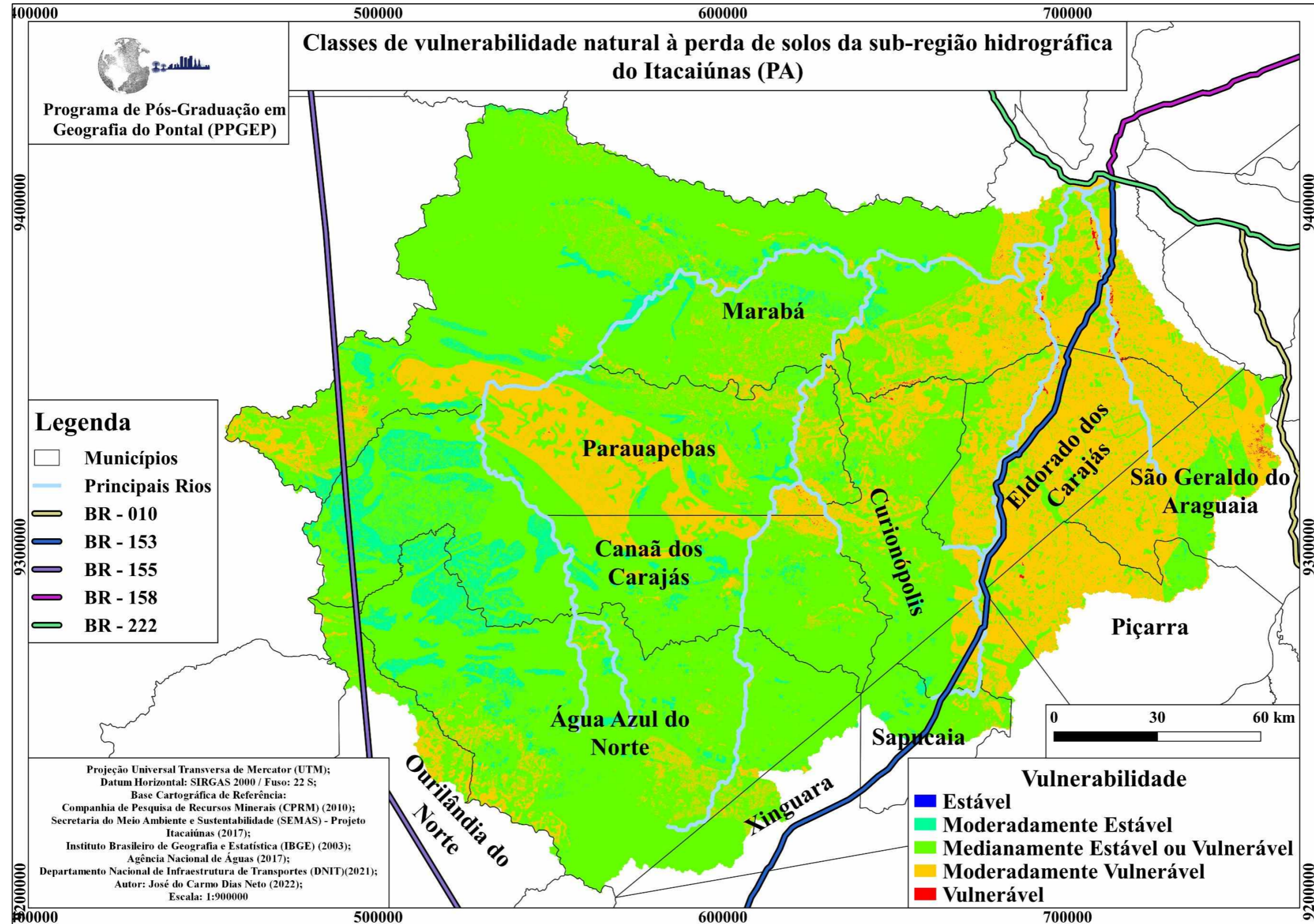
Em continuidade, tem-se a classe moderadamente vulnerável, representada pelos graus de 2,3 a 2,6, com área total de 9.615,31 km², cerca de 23,28% do total (Tabela 17). Esta classe é definida por apresentar o início do desequilíbrio entre morfogênese e pedogênese, com predominância dos processos morfogenéticos modificadores do relevo. É formada, principalmente, por vegetação de pastagem. Entretanto, dependendo das demais variáveis, pode apresentar vegetação ombrófila; possui predominância das litologias de arenito, siltito e sedimentos; seu relevo é de origem estrutural e denudacional, com características de fortemente ondulados a escarpados, dissecados em cristas, ravinas e pontões; a pedologia é definida entre os Argissolos e Neossolos, indicando profundidade variável.

Figura 31 - Graus de vulnerabilidade natural à perda de solos da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 32 - Classes de vulnerabilidade natural à perda de solos da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Por último, apresenta-se a classe vulnerável, indicada pelos graus entre 2,7 e 3,0, com área total de 48,90 km², aproximadamente 0,11% da SRHI (Tabela 17). A mesma representa as áreas que prevalecem os processos modificadores do relevo. De maneira geral, as áreas representadas possuem predomínio dos processos de erosão em detrimento aos processos de formação e desenvolvimento do solo. Dessa forma, a citada classe é formada, principalmente, por áreas com vegetações suprimidas ou com grande influência fluvial; contém, principalmente, litologias classificadas como aluviões; o relevo é de origem estrutural e denudacional; possui características de fortemente ondulados a escarpados, dissecados em cristas, ravinas e pontões; a pedologia da classe é definida pelos Argissolos e Neossolos, indicando profundidade variável.

4.2. Uso da Terra Recomendado

O resultado da proposição do uso da Terra Recomendado da SRHI (Figura 33) permitiu a análise integrada das variáveis de vulnerabilidade natural à perda de solo, uso e ocupação da terra e áreas de preservação permanente, sintetizadas em um único produto. Por meio disso, definiu-se as possíveis áreas que atualmente podem ser exploradas sem que comprometam significativamente o meio ambiente, assim como as áreas que necessitam de maior atenção devido aos diferentes usos.

A recomendação de uso da terra, visando o desenvolvimento sustentável e a preocupação com as dinâmicas ambientais da sub-região hidrográfica, levou em consideração as limitações naturais, os diversos tipos de uso da terra e as áreas protegidas por lei. Com base nisso, foi proposta uma recomendação de uso da terra que considerou as classes detalhadas no Quadro 20.

Quadro 20 - Classes de uso da terra recomendado

Proposta de Uso da Terra Recomendado	Siglas	Descrição
Área de Recuperação Ambiental	ARA	Áreas identificadas com alto índice de vulnerabilidade somados a ocupação e uso da terra, sendo necessário a elaboração de métodos de recuperação ambiental.

Área de Uso Restrito	AUR	Áreas administradas pelo Poder Público, definem-se por condições primitivas naturais de flora e fauna, contendo grande relevância ecológica e beleza cênica, é passível de pesquisas científicas, podendo ser possível ou não a visitação com propósitos de educação ambiental. Áreas particulares em seus limites serão desapropriadas e qualquer tipo de exploração comercial é proibida. Conforme o art. 2 ^a , inciso IV, da Lei federal n.º 9.985/2000.
Área de Alta Restrição	AAR	Áreas que buscam a preservação dos recursos hídricos, estabilidade geológica, biodiversidade, proteção do solo, entre outros, alterações serão permitidas em hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental, com excessão de áreas ocupadas por povos indígenas em situação declarada, visto seu direito de posse inerente e permanente das terras que habitam. Conforme o cap. II, seção I, art. 4., da Lei Federal n.º 9.985/2012 e art. 231 da Constituição Federal/1988.
Área de Média Restrição	AMR	Áreas que devem respeitar os limites constitucionais, podem ser estabelecidas normas e restrições para a utilização de propriedades privadas. Conforme o art. 2, inciso XI, da Lei federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000.
Área de Baixa Restrição	ABR	Áreas identificadas como possíveis locais de ocupação para atividades antrópicas, porém sendo necessário a aplicação de procedimentos de planejamento e gestão ambiental, devido aos diversos usos já encontrados.
Área de Uso Permitido	AUP	Áreas aconselháveis a ocupação antrópica, tendo potencial para moradias, agricultura, pecuária, entre outros. Entretanto, apesar da recomendação de uso antrópico, é necessário a precaução em relação aos efeitos negativos que podem ser originados dos diversos tipos de uso e a eliminação da vegetação.

Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Como resultado do mapeamento da SRHI, foi contabilizada a área ocupada (em km e %) por cada classe de uso da terra recomendado (Tabela 18).

Tabela 18 - Áreas ocupadas pelas classes do uso da terra recomendado

Uso da Terra Recomendado	Área	
	km ²	%
Área de Recuperação Ambiental	650,94	1,61
Área de Uso Restrito	1.758,85	4,25
Área de Alta Restrição	5.161,24	12,49
Área de Média Restrição	5.644,40	13,66
Área de Baixa Restrição	21.878,81	52,97
Área de Uso Permitido	6.205,76	15,02

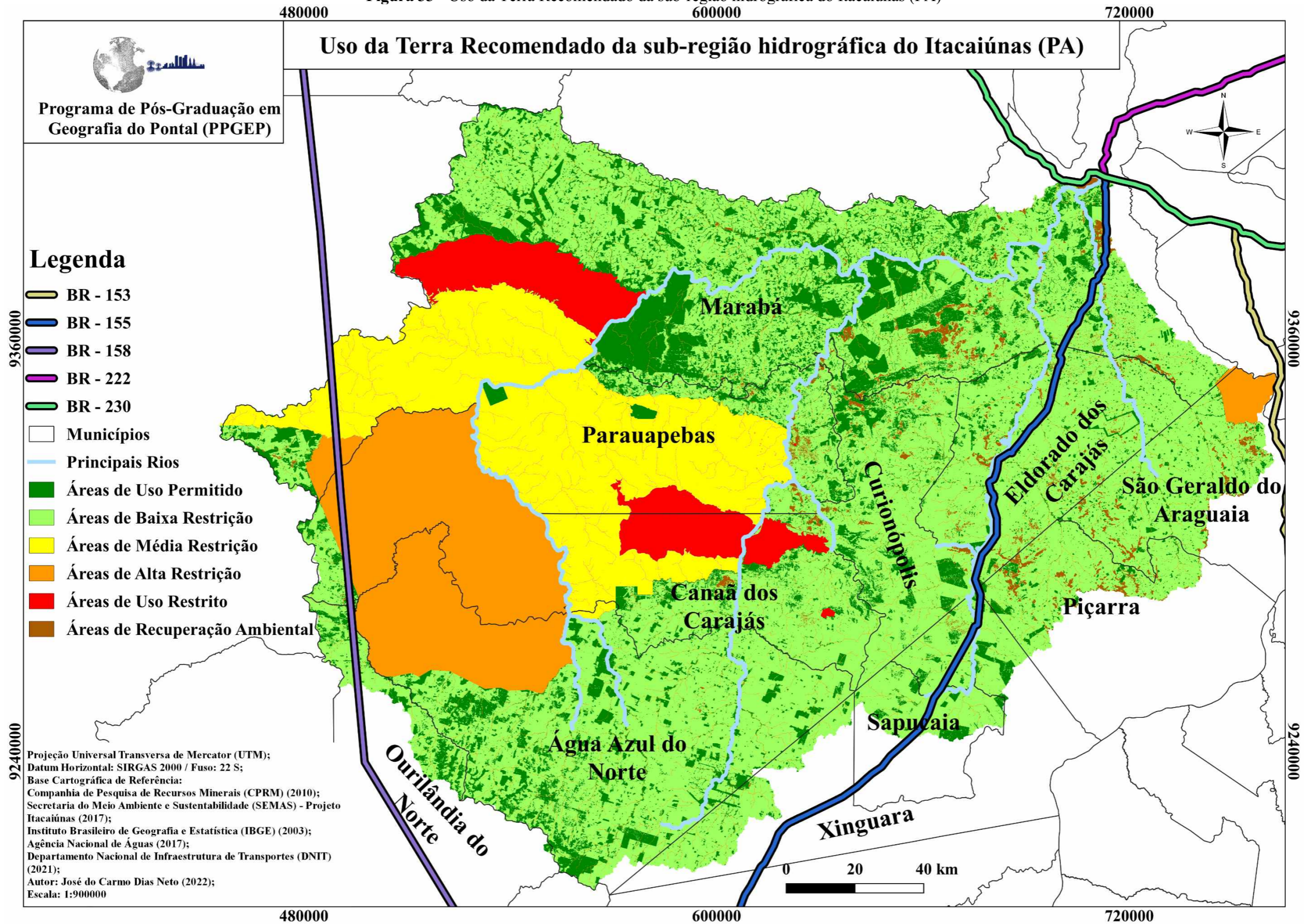
Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

A primeira classe a ser identificada com base na metodologia e nas informações elaboradas é nomeada de Áreas de Recuperação Ambiental (ARA) (Figuras 34 e 35),

determinadas de acordo com os graus de vulnerabilidade natural à erosão somados aos diversos tipos de uso da terra, sendo identificados pelos maiores graus de vulnerabilidade.

Com base nisso, a classe ARA é constituída basicamente por duas classes de vulnerabilidade, sendo elas áreas “moderadamente vulneráveis” e “vulneráveis”, determinadas pelo intervalo dos graus de vulnerabilidade de 2,3 a 3,0. Representa, principalmente, áreas com início inicial e avançado de desequilíbrio entre a morfogênese e pedogênese, prevalecendo processos de erosão em detrimento aos processos de formação e desenvolvimento de solos.

Figura 33 - Uso da Terra Recomendado da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Em continuidade, a SRHI apresenta um total de 650,94 km² de áreas enquadradas na referida classe, por volta de 1,61% da área de estudo (Tabela 18), formada por uma variedade de usos classificados com alto grau de vulnerabilidade, como por exemplo, pastagem, agricultura, mineração e ocupação antrópica. Os principais tipos de vegetação identificados são de áreas com vegetação suprimida, com o intuito de utilização da área para a implantação de atividades. Por fim, devido aos fatores apresentados, recomenda-se a realização de procedimentos de recuperação ambiental para áreas enquadradas como ARA.

Figura 34 - Solo Exposto localizado na Área de Recuperação Ambiental (ARA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022)

Figura 35 - Ocupação localizada na Área de Recuperação Ambiental (ARA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Em seguida, tem-se as Áreas de Uso Restrito (AUR) (Figuras 36 e 37), identificadas como locais de uso antrópico vetado, que necessitam, obrigatoriamente, de medidas de conservação e proteção, baseando-se no art. 7º, § 1º da Lei Federal n.º 9.985, de 18 de julho de 2000. Dessa forma, essa classe é responsável pelas áreas de preservação da biota e dos demais atributos naturais existentes em seus limites, sem interferência humana direta ou modificações ambientais, sendo necessário a elaboração de medidas de recuperação ambiental do ecossistema, assim como ações de manejo que visem estabelecer a restauração e preservação do equilíbrio natural, diversidade biológica e os processos ecológicos naturais.

A AUR é formada por duas unidades de conservação de proteção integral, sendo a primeira nomeada de Parque Nacional dos Campos Ferruginosos e a segunda como Reserva Biológica do Tapirapé. Com base nos dados elaborados, esta classe possui extensão de 1.758,85 km², aproximadamente 4,25% da área total da SRHI (Tabela 18). A mesma está situada nos municípios de Marabá, Parauapebas e Canaã dos Carajás.

Por fim, as áreas denominadas como AUR possuem o objetivo de proteger amostras de ecossistemas amazônicos, por exemplo, a vegetação de canga ou campos rupestres ferruginosos e áreas com presença de castanhais. É importante destacar a existência de fauna e flora endêmicas, ameaçadas de extinção, além de ambientes aquáticos e cavernas.

Figura 36 - Campo Rupestre Aberto localizado na Área de Uso Restrito (AUR)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2019).

Figura 37 - Vegetação de Canga localizada na Área de Uso Restrito (AUR)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2019).

Posteriormente, tem-se as Áreas de Alta Restrição (AAR) (Figuras 38 e 39), as quais caracterizam-se pela limitação do uso antrópico, baseando-se no art. 3º, inciso II, da Lei Federal n.º 12.651, de 25 de maio de 2012 e, no art. 22 da Lei Federal n.º 6.001, de 19 de dezembro de 1973. Assim sendo, possuem o objetivo de preservar os recursos hídricos, a estabilidade geológica, a biodiversidade, proteger o solo, entre outros, qualquer tipo alteração é vetada, com exceção de alterações em hipóteses de utilidade pública, de interesse social ou de baixo impacto ambiental, o acesso é permitido para obtenção de água e para realização de atividades de baixo impacto ambiental.

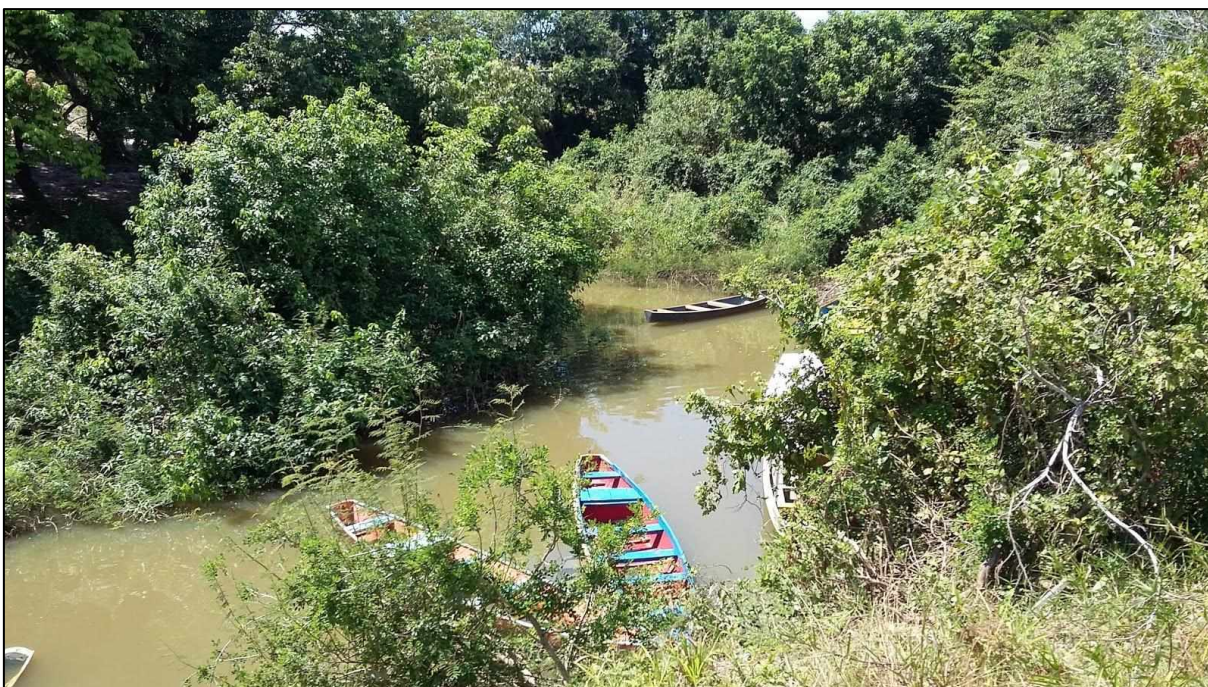
A referida classe tem como ressalva as áreas ocupadas por povos indígenas em situação mínima de declarada, visto seu direito de posse inerente e permanente das terras que habitam, assim como o direito ao usufruto exclusivo das riquezas naturais e de todas as utilidades naquelas terras existentes. Com base nisso, a AAR é formada pelas áreas de preservação permanente, somadas as terras indígenas das comunidades de Xikrin do Kateté e Sororó, habitadas pelos povos Mebêngôkre Kayapó, Mebêngôkre Xikrin e Aikewara (ISA, 2022). A citada classe encontra-se com o total de 5.161,24 km², por volta de 12,49% da SRHI (Tabela 18). Por fim, é relevante destacar que as áreas de alta restrição encontram-se envolta de problemas ambientais, desde o desmatamento de encostas, morros, matas ciliares, presença de ocupações, atividades madeireiras e de garimpos ilegais.

Figura 38 - Aldeia Xikrin do kateté localizada na Área de Alta Restrição (AAR)



Fonte: Comunidade Xkrin do Katete (2022).

Figura 39 - Área de Preservação Permanente localizada na Área de Alta Restrição (AAR)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Subsequentemente, retrata-se a classe de Áreas de Média Restrição (AMR), evidenciando-se com o objetivo básico de compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável, em consonância com o art. 7º, § 2º da Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Com base nisso, a referida classe é responsável por representar determinadas localidades que possuem a finalidade de integração entre a exploração econômica da área com mecanismos de preservação, gestão e conscientização ambiental.

A AMR é formada por quatro unidades de conservação de uso sustentável, sendo a primeira nomeada de Floresta Nacional dos Carajás; a segunda, de Floresta Nacional do Tapirapé-Aquiri; a terceira, de Floresta Nacional do Itacaiúnas; a quarta e última, de Área de Preservação Ambiental do Igarapé Gelado; localizam-se nos municípios de Marabá, Parauapebas, Canaã dos Carajás e Água Azul do Norte. Baseando-se nas informações elaborados no mapeamento UTR, a classe possui uma extensão total de 5.644,40 km², em torno de 13,66% da área total (Tabela 18).

Dessa forma, busca-se, na citada classe, a conciliação da exploração do ambiente com a garantia de recursos naturais renováveis de forma infindável, levando em consideração os processos ambientais e ecológicos, de forma economicamente viável, incentivando a comunidade local e científica no desenvolvimento de pesquisas de fauna, flora e métodos de uso sustentável, considerando, principalmente, os conhecimentos das populações tradicionais.

Por fim, para melhor compreensão da classe AMR, apresenta-se dois exemplos das situações abordadas. A primeira situação trata-se da exploração econômica na área de estudo, por meio do projeto ferro carajás S11D (Figura 40), o qual, segundo a empresa Vale, trata-se do seu maior complexo minerador, com investimento de 6,4 bilhões; em seguida, tem-se o programa de voluntariado desenvolvido pelo Instituto Chico Mendes de Biodiversidade (ICMBio) (Figura 41), que possui o propósito de promover a participação da sociedade na conservação da biodiversidade por meio de ações voluntárias, além de reconhecer a importância da contribuição da população na preservação ambiental, incentivando diversas ações de conservação da natureza, como pesquisas, visitas, comunicações, educação ambiental, entre outras.

Figura 40 - Complexo S11D localizado na Área de Média Restrição (AMR)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 41 - Voluntariado ICMBio, localizado na Área de Média Restrição (AMR)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Em seguida, apresenta-se as Áreas de Baixa Restrição (ABR) (Figuras 42 e 43), que caracterizam-se por serem identificadas como possíveis locais para o desenvolvimento de atividades humanas; encontram-se distribuídas, principalmente, em áreas com índices de vulnerabilidade entre medianamente estável ou vulnerável e medianamente vulnerável. Sendo assim, é importante compreender que apesar da classificação como possíveis locais de desenvolvimento humano, isso não exige a necessidade de um planejamento ambiental, alterando-se de acordo com as classes de vulnerabilidade encontradas.

A presença de atividades antrópicas variadas já dispostas nas áreas da referida classe resultam em consequências significativas, modificando as dinâmicas ambientais das áreas em que se encontram. Com base nisso, recomenda-se, para o uso das seguintes áreas a atribuição de procedimentos de planejamento ambiental e gestão ambiental, visto que sua totalidade já possui diversos usos. Por fim, a citada classe encontra-se com 21.878,81 km², aproximadamente 52,97% da SRHI (Tabela 18).

Figura 42 - Área de uso indefinido localizada na Área de Média Restrição (ABR)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Figura 43 - Área de uso indefinido localizada na Área de Média Restrição (ABR)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

A última classe é identificada como Áreas de Uso Permitido (AUP) (Figuras 44 e 45), caracterizada por conter os locais de ocupação aconselhável, visto que apresentam os menores índices de vulnerabilidade, ausência de ocupação humana e consonância com as leis vigentes.

A ausência de alterações nas seguintes áreas permite uma diversidade de atividades, contanto que ocorra a preocupação no desenvolvimento de procedimentos básicos de planejamento ambiental, em vista da necessidade de preservação da vegetação, assim como o uso sustentável. Por fim, baseando-se nos critérios pré-estabelecidos, a referida classe possui área total de 6.205,76 km², por volta de 15,02% da área (Tabela 18).

Figura 44 - Área de Uso Permitido (AUP)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

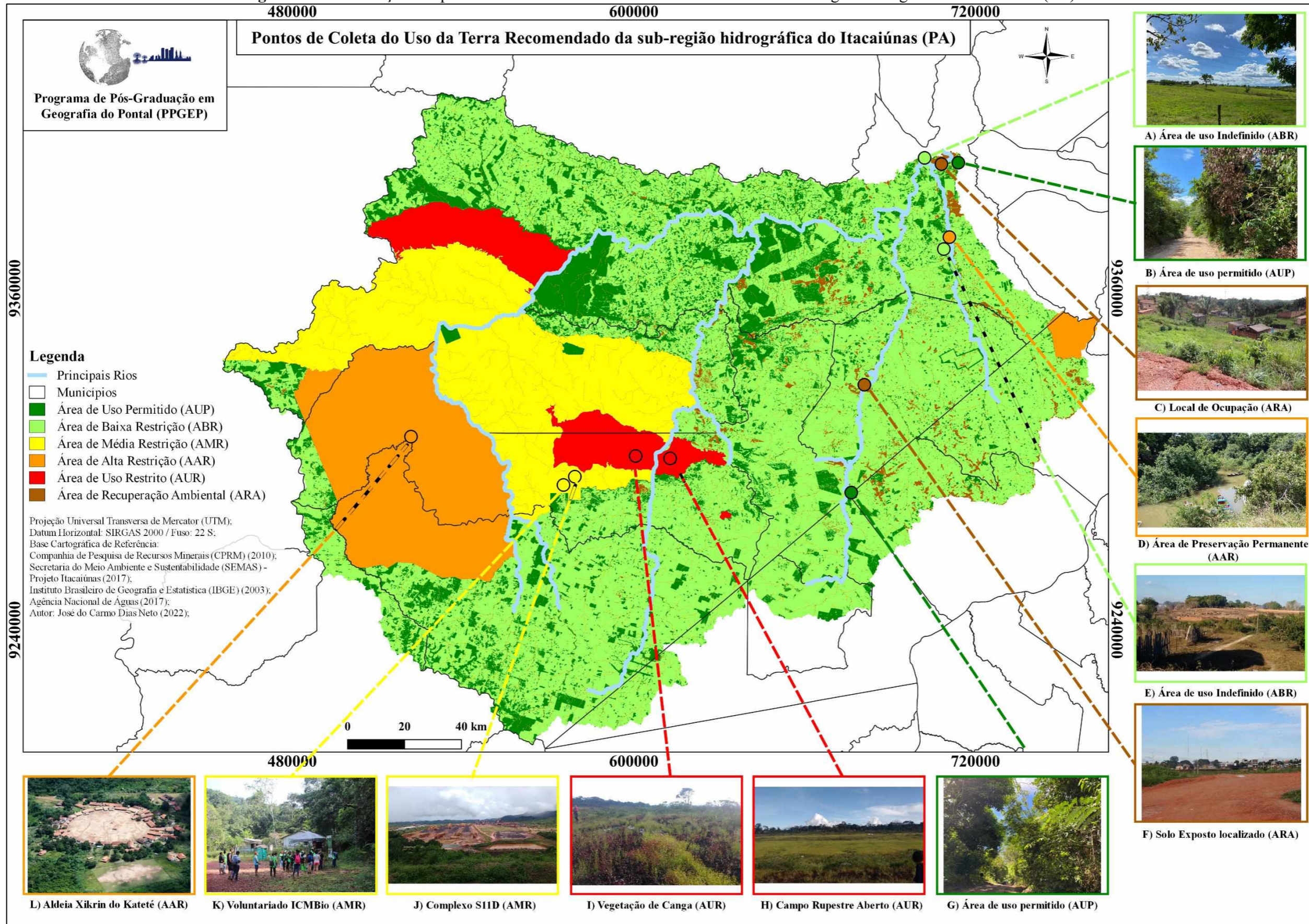
Figura 45 - Área de Uso Permitido (AUP)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

Por fim, buscando a melhor compreensão da área de estudo, elaborou-se um produto cartográfico com os pontos de amostragem de cada classe (Figura 46), totalizando 12 pontos de amostragem, cada classe sendo representada por dois registros fotográficos, direcionando a localização de cada amostragem.

Figura 46 - Distribuição dos pontos de Coleta do Uso da Terra Recomendado da sub-região hidrográfica do Itacaiúnas (PA)



Autor: José do Carmo Dias Neto (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A SRHI possui uma diversidade de elementos naturais e antrópicos que formam a sua dinâmica ambiental; é de grande relevância o desenvolvimento de estudos que abordem a integração das variáveis ambientais e sociais, assim como seus efeitos no espaço. A ferramenta do diagnóstico ambiental, ou do diagnóstico ambiental físico, apresenta-se como uma forma de compreender e analisar os diferentes aspectos que compõem uma determinada área, podendo ser tanto físicos quanto sociais, assim como a relação entre ambos, utilizando de uma base de dados espaciais.

Por meio disso, pesquisas que permitem a elaboração de produtos cartográficos através da combinação de diferentes variáveis ambientais, somadas a uma proposição de modelo de uso ideal a ser seguido, proporcionam a identificação e análise de impactos ambientais, além de ser um caminho ideal a ser seguido. Assim sendo, o diagnóstico ambiental do meio físico da SRHI permitiu uma análise integrada das variáveis ambientais propostas, gerando dois produtos sintetizadores que servirão de subsídio para futuros planejamento ambientais.

Dessa forma, a metodologia empregada nesta pesquisa obteve sucesso na elaboração de um diagnóstico ambiental dos aspectos físicos da SRHI e na criação do uso da terra recomendado; primeiramente, utilizando das variáveis ambientais de geologia (litologia), geomorfologia, pedologia, clima (precipitação) e vegetação, realizando a análise e manipulação de cada variável na área de estudo, gerando dois produtos sintetizadores. O primeiro produto relaciona-se à vulnerabilidade natural à perda de solos, com o objetivo de analisar de forma integrada as variáveis e servir como referência para a produção de um modelo de uso da terra, com base nos limites naturais da área, gerando o segundo produto sintetizador.

Com base nisso, abordando resumidamente sobre a variável de geologia, mais especificamente, a questão da litologia, pode-se identificar uma gama de classes litológicas, sendo elas de anfíbolito com maior presença, seguido de arenito, quartzito, granito, gnaisse, siltito, granodiorito, aluviões, sedimentos, folhelhos, dunito, basalto, gabro e peridotito.

A respeito do clima na SRHI, inicialmente pode-se constatar a distribuição de três classes climáticas conforme Köppen (1936) e Alvares et al. (2013), sendo elas de Clima tropical úmido ou superúmido (Af), Clima tropical úmido ou subúmido (Am) e Clima tropical, com inverno seco (Aw). Com base no estudo elaborado, a intensidade pluviométrica no período de 25 anos apresentou a mínima mensal de 178,87 mm à 548,76 mm máxima mensal.

Em relação às classes de solos, é adequado afirmar que a pedologia nomeada como

Argissolo vermelho-amarelo distrófico (PVAd) possui maior domínio na área, sendo seguida por Argissolos vermelhos eutróficos (PVe), Latossolo amarelo distrófico (LAd), Latossolo vermelho distrófico (LVd), Latossolo vermelho-amarelo distrófico (LVAd), Neossolos litólicos distróficos (RLd), Neossolos litólicos eutróficos (RLe), Neossolos quartzarênicos órticos (RQo), Nitossolos vermelhos distróficos (NVd), Nitossolos vermelhos eutróficos (NVe) e Plintossolos pétrico concrecionário (FFc).

Tratando-se da geomorfologia, é válido afirmar que a SRHI está presente em três domínios morfoestruturais, nomeados como crátons neoproterozóicos, cinturões móveis neoproterozóicos e depósitos sedimentares quaternários; o relevo pode ser classificado como região geomorfológica dos planaltos residuais da amazônia meridional, depressões da amazônia meridional e depressão do rio araguaia; as unidades geomorfológicas são definidas como serra dos Carajás, planícies e terraços fluviais, depressão do Bacajá, depressão do médio Xingu e depressão do médio e baixo Araguaia.

A última ordem de compartimentação do relevo, e a mais detalhada, trata-se das classes geomorfológicas dos modelados, sendo estes identificados como Áreas de rampas de colúvio (Arc), Acumulação de planícies fluviais (Apf), Pediplano retocado inumado (Pri), Pediplanos degradados inumados (Pgi), Pediplanos degradados inumados (Pgu), Dissecações de topos tabulares (Dt), Dissecação de topos convexos (Dc), Dissecação homogênea aguçada (Da), Dissecação Estrutural convexa (DEc) e Dissecação de encosta íngreme de erosão (Dei).

Em referência à variável de cobertura vegetal, é possível constatar, com maior incidência, áreas com vegetação de pastagem, em porte de gramíneas ou leguminosas arbóreas; em seguida, a floresta ombrófila, tratando-se, principalmente, de reservas legais, unidades de conservação e terras indígenas; posteriormente, áreas sem vegetação, locais sem presença de vegetação – por exemplo, áreas de mineração, áreas urbanas, rios e lagos. Seguidamente, formações herbáceas identificadas como possuindo grande variação entre vegetação arbustiva ou herbácea; a seguir tem-se a classe de agricultura, constituída por índices de culturas permanentes e temporárias, com predomínio da soja; áreas de reflorestamento, representando áreas com vegetação recuperada; e, por fim, vegetações do tipo de savana parque, constituída essencialmente por um estrato de gramíneas.

Abordando a questão da vulnerabilidade natural à perda de solo, inicialmente pode-se constatar que a SRHI não apresenta a classe de maior formação de novos solos no que se refere à vulnerabilidade estável; a classe com maior incidência trata-se da vulnerabilidade medianamente estável ou vulnerável, definida por possuir equilíbrio entre a pedogênese e

morfogênese; em seguida, a classe moderadamente vulnerável, apresentando o início do desequilíbrio entre morfogênese e pedogênese, com domínio dos processos morfogenéticos; posteriormente, é evidenciada a classe de moderadamente estável, possuindo a formação de solos rasos, com menor ocorrência em comparação com a classe estável; e, por último, tem-se a classe vulnerável, representando áreas de prevalência de processos modificadores do relevo, com alto índice dos processos de erosão.

A respeito do modelo de uso da terra recomendado, utilizou-se critérios para definir possíveis locais para ocupação, gerando a primeira classe definida como Áreas de Recuperação Ambiental (ARA), identificada pelos maiores graus de vulnerabilidade e, conseqüentemente, pelos maiores índices de erosão; posteriormente, tem-se as Áreas de Uso Restrito (AUR), definida por locais de uso antrópico vetado, sendo obrigatório medidas de conservação e proteção, buscando a defesa de ecossistemas. Em seguida, delimita-se as Áreas de Alta Restrição (AAR), caracterizadas pela limitação do uso antrópico, visando, principalmente, a preservação ambiental – qualquer tipo de alteração é desaprovada, porém, conta com excessões. Em seqüência, tem-se as Áreas de Média Restrição (AMR), evidenciando-se com o objetivo básico de compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável, representando localidades que possuem tanto exploração econômica quanto mecanismos de preservação, gestão e conscientização ambiental. Seguidamente, detalha-se a classe nomeada como Áreas de Baixa Restrição (ABR), possuindo características favoráveis ao desenvolvimento de atividades humanas, sendo importante compreender que a necessidade de um planejamento ambiental é uma diretriz básica para qualquer tipo de uso; por fim as Áreas de Uso Permitido (AUP) determinadas por locais de ocupação aconselhável, visto os menores índices de vulnerabilidade, ausência de ocupação humana e consonância com as leis vigentes.

Com base em toda informação elaborada e na análise das mesmas para o desenvolvimento do diagnóstico ambiental físico da SRHI, pode-se indentificar impactos ambientais distribuídos por toda a área de estudo. A SRHI apresenta diversas formas de uso e ocupação que não consideram os limites naturais da área em que estão inseridas, resultando em processos avançados de degradação ambiental.

Nesta perspectiva, existe o conflito para o uso de determinadas áreas, como por exemplo, os limites definidos por lei de terras indígenas e de unidades de conservação, frequentemente ignorados por infratores, afetando diretamente as poucas áreas que possuem preservação, resultando na perda de biodiversidade e de ecossistemas amazônicos.

Outro ponto a ser ressaltado são os efeitos gerados pela presença humana em áreas de

preservação permanente. A SRHI é afetada consideravelmente pela retirada de vegetação ciliar, no decorrer de sua drenagem principal. O desrespeito à legislação ambiental é um dos principais problemas encontrados.

De maneira geral, pode-se observar a presença de degradação ambiental, extração ilegal de madeira, mineração ilegal, atividades de alto índice de degradação sendo realizadas em locais com alta vulnerabilidade, ocupação urbana em afluentes, retirada de mata ciliar e a presença de incêndio florestais.

Conclui-se que a SRHI está cercada de conflitos e de impactos ambientais relacionados ao uso e ocupação da terra e aos limites naturais dispostos. Com base nisso, a presente pesquisa pôde trabalhar com a elaboração de um modelo de uso da terra recomendado, indicando como deveria ser ocupada a área de forma que contribuísse com a preservação ambiental, gerando o mapa de uso da terra recomendado da SRHI.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Rede Hidrometeorológica Nacional**. 2018. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/8014bf6e92144a9b871bb4136390f732_0/explore?location=-14.553600%2C-53.040550%2C4.43. Acesso em: 16 nov. 2021.
- AGRA FILHO, S. S. **Planejamento e Gestão Ambiental no Brasil: Os Instrumentos da Política Nacional de Meio Ambiente**: os instrumentos da política nacional de meio ambiente. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.
- ALMEIDA, J. R.; TERTULIANO, M. F. Diagnose dos Sistemas Ambientais: métodos e indicadores. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. 16. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 1 dez. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Acesso em: 15 dez. 2020.
- AMBIENTAL CONSULTING; ICMBio. **Reserva Biológica do Tapirapé: Plano de manejo**. Brasília, 2009.
- AMORIM, R. F.; ALMEIDA, S. A. S.; CUELLAR, M. Z.; COSTA, A. M. B.; GOMES, C. Mapeamento de Uso e Ocupação do solo na bacia hidrográfica Piranhas/Açu, utilizando imagens CBERS e técnicas de classificação supervisionada. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3709-3716.
- BASSOI, L. J.; GUAZELLI, M. R. Controle Ambiental da Água. In: A. Pilippi, M.A. Romério & G.C. Bruna. **Curso de Gestão Ambiental**. São Paulo: Editora Manole, 2004.
- BELTRAME, A. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas – modelo e aplicação**, UFSC, 1994.
- BELWARD, A. S. SKOIEN, J. O. Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 103, mai. 2015, p. 115– 128.
- BERTRAND, G. **Paisagem e Geografia Física Global: Esboço Metodológico**. Tradução Olga Cruz. *Carderno de Ciências da Terra*. Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo (USP), n. 13, 2004.
- BORGES, K. A. V. **Modelagem de Dados Geográficos**: curso de especialização em geoprocessamento. [S. L.]: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 2002. 66 p. Disponível em: <https://docplayer.com.br/12673294-Karla-albuquerque-de-vasconcelos-borges.html>. Acesso em: 15 dez. 2020
- BORGES, R. B. **Gestão de Recursos Hídricos, com foco em Goiás**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Produção Sustentável) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006.

BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRASIL. Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 28. mai. 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 15 dez. 2020.

BRASIL. Lei n.º 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 02. set. 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.html. Acesso em: 15 dez. 2020.

BRASIL. Lei n.º 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei n.º 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n.º 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 28. dez. de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 15 dez. 2020.

BRASIL. Lei n.º 6.001, de 19 de dezembro de 1973. Dispõe sobre o Estatuto do Índio. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 19. dez. 1973. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6001.html. Acesso em: 15 dez. 2020.

BRASIL. Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1º, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 19. jul. 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9985.html. Acesso em: 15 dez. 2020.

BRASIL. Decreto n.º 1.775, de 08 de Janeiro de 1996. Dispõe sobre o procedimento administrativo de demarcação das terras indígenas e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 09. jan. 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d1775.html. Acesso em: 15 dez. 2020.

BRITO, J. L. S; HERZ, R. **Adequação das potencialidades do uso da terra na bacia do Ribeirão Bom Jardim no Triângulo Mineiro (MG): ensaio de geoprocessamento**. 2001. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

BRITO, J. L. S. Elaboração de um mapa de uso da terra recomendado da baciado ribeirão bom jardim, triângulo mineiro-MG, utilizando SIG. In: simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Inpe, 2003. p. 1749-1754. Disponível em: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:_Bgx__Qx8ZsJ:marte.sid.inpe.br/arc_hive.cgi/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.14.14.39+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br. Acesso em:

27 mar. 2022.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. INPE, 1998. [online] Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto>. Acesso em: 15 dez. 2020.

CANDIDO, H. G. **Degradação Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Uberaba - MG**. 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Ciências Agrárias e Veterinárias) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

CHARLES, R. **Diagnóstico Ambiental do Arrondissement de Arcahaie – Haiti**. 2020. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Blücher, 1999.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA n.º 1, de 23 de janeiro de 1986**. Considerando a necessidade de se estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=95508>. Acesso em: 15 dez. 2020.

CONCEIÇÃO, L. A. B. S. **Diagnóstico ambiental através do uso de técnicas de sensoriamento remoto como apoio para o planejamento de unidades administrativas: o caso de Osório, RS**. 2004. 82 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

COMUNIDADE XIKRIN DO CATETÉ. Associação Indígena Porekrô. **Ponto de Cultura: Pulsando o Brasil**. Disponível em: <https://xikrindokatete.wordpress.com/about/>. Acesso em: 20 mai. 2022.

COSTA, F. R. **Análise Da Vulnerabilidade Ambiental Da Bacia Hidrográfica Do Rio Doce (RN)**. 2018. 244 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM. **Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP)**. Brasília, 2014. Disponível em <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/>. Acesso em: 29 jul. 2021.

CREPANI, E.; MEDEIROS, S. J.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, G. T.; DUARTE, V; BARBOSA, F. C. C. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: Inpe, jun. 2001, 108 p.

CRUZ, L. B. S. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba-MG**. 2003. 180 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (org.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. 16. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017.

CUNHA, S.B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2000.

CURI, D. (org.). **Gestão Ambiental**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2011.

DIAS, A. P.; DIAS, R. Silva. **Diagnóstico e Controle de Impactos Ambientais**. Manaus: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), 2014.

EUROPEAN SPACE AGENCY – ESA. **Missions: Sentinel-2**. União Europeia, UE: CAPES, c2015. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>. Acesso em: 20 jul. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Árvore do conhecimento**. 2013. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/Abertura.html. Acesso em: 25 out. 2021.

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L. The Shuttle Radar Topography Mission. **Reviews Of Geophysics**, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 1-33, 19 maio 2007. American Geophysical Union (AGU). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1029/2005rg000183>. Acesso em: 15 dez. 2020.

FONTANELLA, A.; COUTINHO, A.; PERRY, C.; RHEINHEIMER, C.; SCHNECK, F.; IOB, G.; MATTEI, G.; SILVA, J.; MAHFUS, J.; TALLINI, K.; AMARAL, K. F.; VASCONCELOS, M.; BERGMANN, M.; LANGONE, P.; PEREIRA, R.; ROGES, R.V. S.; ÁVILA, T.; SOLDATELLI, V.; HARTZ, S. M.; RODRIGUES, G. G.; GUERRA, T. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do Rio da Ilha, Taquara, Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências: Brazilian Journal of Biosciences**, Porto Alegre, v. 7, n. 1, p. 23-41, mar. 2009. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/849/842>. Acesso em: 16 dez. 2020.

FRANÇA, L. M. A. **Impacto das ações antrópicas e do clima no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio pajeú**. 2017. 78 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/26802/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Luciana%20Mayla%20de%20Aquino%20Fran%c3%a7a.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

FRANCO, G. B. et al. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Almada (BA). **Revista Geografia**, Londrina, v. 20, n.3, p. 71-94, set./dez. 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE - FEEMA. **Vocabulário básico de meio ambiente**. 4. ed. Rio de Janeiro: Maio Gráfica, 1992.

GARCIA, R. M. **Transformações do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do**

Ribeirão Taquaruçu, Pontal do Paranapanema, São Paulo. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2017. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/150485/garcia_rm_me_prud.pdf?sequenc e=3&isAllowed=y. Acesso em: 20 mar. 2021.

GATTO, L. C. S. **Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe:** diretrizes gerais para a ordenação territorial. Salvador: IBGE, 1999.

GOMES, S. C. **Diagnóstico Ambiental do Meio Físico da Bacia Hidrográfica do Rio Jabotão - PE.** 2005. 99 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

GORAYEB, A. **Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica do rio Caeté - Amazônia Oriental - Brasil.** 2008. 204 p. Tese (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas) – Universidade Estadual Paulista, 2008.

GUERRA, A. T. **Dicionário geológico-geomorfológico.** 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv23450.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2021.

HAUFF, S. N. **Diagnóstico Ambiental Integrado da Bacia Hidrográfica da Lagoa da Conceição – Florianópolis, SC.** 1996. 151 f. Dissertação (Mestrado em Geografia – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

HOLDER, J. S. **Pattern and Impact of tourism on the environment of the Caribbean.** In: Medlik, S. (ed.) *Managing tourism.* f. 358 Londres: Butterworth-Heinemann, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de pedologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 425 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - EMBRAPA. **Manual técnico de uso da terra.** 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>. Acesso em: 05 fev. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Manual técnico de geomorfologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 175 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv66620.pdf>. Acesso em: 12 mai. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Prognóstico de Temperatura.** Brasil, 2020. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/progt>. Acesso em: 23 mar. 2021.

KÖPPEN, W. **Das geographische System der Klimate.** In: KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (Eds): *Handbuch der Klimatologie.* Berlin: Gebrüder Bornträger, 1936. Banda 1, Parte C, p. 1-44.

KOTTEK, M. J.; Grieser, C.; Beck, B.; Rudolf, and F. Rubel, 2006: **World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated.** *Meteorol. Z.*, 15, 259-263. DOI: 10.1127/0941-2948/2006/0130.

LIMA-E-SILVA, P. P.; GUERRA, A. J. T.; DUTRA, L. E. D. Subsídios para Avaliação Econômica de Impactos Ambientais. In: CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira (org.). **Avaliação e Perícia Ambiental**. 16. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2017. p. 217-261

LOPES, M. S.; SALDANHA, D. L. Análise de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao planejamento ambiental do oeste da Bacia Hidrográfica do Camaquã - RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 68, p. 1689-1708, out. 2016. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44437/23512>. Acesso em: 08 jun. 2021.

MAGRI, R. A. F.. **Análise da Suscetibilidade à Erosão da Região do Médio Rio Grande (MG)**. 2013. 232 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

MARTINS, E. L. S.. **Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do córrego grotão, Ceilândia - DF**. 2014. 122 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural Sustentável) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MENDES, J. S.; GORAYEB, A.; BRANNSTROM, C. Diagnóstico participativo e cartografia social aplicados aos estudos de impactos das usinas eólicas no litoral do ceará: o caso da praia de xavier, camocim. **Geosaberes**, Fortaleza, v. 6, n. 3, p. 243 - 254, jul. 2015. ISSN 2178-0463.

MORAES, B. C.; COSTA, J. M. N.; COSTA, J. M. N.; COSTA, M. H. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônia**, S/D, v. 2, n. 35, p. 207-214, 13 mai. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/3hcq8XkDqNqvqYFqTxkCXgB/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 30 jul. 2021.

MOREIRA, I.V. D. **Vocabulário básico de meio ambiente**. Rio de Janeiro: Feema/Petrobrás, 1993.

NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J. M. L. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental como Instrumento de Gestão Costeira nos Municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, Salvador, v. 3, n. 39, p. 395-408, set. 2009. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/7686/7113>. Acesso em: 08 abr. 2021.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). Disponível em: <https://www.nasa.gov/>. Acesso em: 01 out. 2020.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (NASA). National Imagery and Mapping Agency. Disponível em: https://www.nga.mil/history/1604011696989_National_Imagery_and_Mapping_Agency.htm. Acesso em: 01 out. 2020.

OLIVEIRA, F. F. G. **Caracterização e diagnóstico de impactos ambientais em Natal/RN**

com apoio do geoprocessamento. 2003. 208 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003. Disponível em: <https://docplayer.com.br/3548219-Characterizacao-e-diagnostico-de-impactos-ambientais-em-natal-rn-com-apoio-do-geoprocessamento.html>. Acesso em: 20 mar. 2021.

OLIVEIRA, F. F. G. **Aplicação das técnicas de geoprocessamento na análise dos impactos ambientais e na determinação da vulnerabilidade ambiental no litoral sul do rio grande do norte.** 2011. 250 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2011. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102932/oliveira_ffg_dr_rela.pdf?sequencia=1&isAllowed=y. Acesso em: 02 abr. 2021.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.** 2022. Disponível em: <https://code.earthengine.google.com/?scriptPath=users%2Fmapbiomas%2Fuser-toolkit%3Amapbiomas-user-toolkit-download-mosaics.js>. Acesso em: 15 abr. 2022.

REZENDE, E. N.; VARTULI, V. Os rios voadores e as mudanças climáticas ocasionadas pelo desmatamento da floresta amazônica: uma perspectiva a partir do constitucionalismo latino-americano. **Revista Brasileira de Direito Animal**, Salvador, v. 16, n. 3, p. 110-115, dez. 2021.

RIBEIRO, S; CATALÃO, V; FONTELES, B.(organizadores). **Água e cooperação: reflexões, experiências e alianças em favor da vida.** Tradução: Roller Ibañez. Brasília: Ararazul, Organização para a Paz Mundial, 2014. 240 p.

RIOS, M. L. **Vulnerabilidade à erosão nos compartimentos morfopedológicos da Microbacia do Córrego do Coxo/Jacobina - BA.** 2011. 159 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

RODRIGUES, M. **Introdução ao geoprocessamento.** In: I Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento. São Paulo: EPUSP, p. 1-26. 1990.

RODRIGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; CAVALCANTI, A. P. B. **Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental.** Fortaleza: Edições UFC, 2004.

RODRÍGUEZ, J. M. M.; SILVA, E. V.; LEAL, A. C.; Planejamento Ambiental em Bacias Hidrográficas. In: SILVA, E. V.; RODRÍGUEZ, J. M. M.; MEIRELES, A. J. A. (Org.). **Planejamento Ambiental e Bacias Hidrográficas.** Fortaleza: Edições UFC, 2011.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**, 5. ed. Uberlândia: EDUFU, 2003.

ROSSATO, M. S.; BELLANCA, E. T.; FACHINELLO, A.; CÂNDIDO, L. A.; SILVA, C. R.; SUERTEGARAY, D. M. A.. **Terra: feições ilustradas.** 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2017.

SACHS, I. Prefácio. In: VEIGA, J. E. **Desenvolvimento sustentável: o desafio do século XXI.** Rio de Janeiro: Garamond, 2010.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos.** 2. ed. São Paulo:

Oficina de Textos, 2013.

SANTOS, C. R. **Diagnóstico Ambiental e uma Proposta de Uso da Bacia Hidrográfica do Córrego Bebedouro - Uberlândia/MG**. 2008. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SANTOS, J. O.; SOUZA, M. J. N. Impactos Ambientais e Riscos de Ocupação na Bacia Hidrográfica do Rio Cocó - Ceará. In: SILVA, Edson Vicente da; RODRIGUEZ, José Manuel Mateo; MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade (org.). **Planejamento Ambiental e Bacias Hidrográficas: planejamento e gestão de bacias hidrográficas**. Fortaleza: UFS, 2011. p. 87-115.

SANTOS, J. S. **DINÂMICA DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA E OS ALAGAMENTOS E ENCHENTES NA BACIA DO ARROIO DA RONDA EM PONTA GROSSA (PR)**. 2020. 121 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Território, Ciências Exatas e Naturais) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2020.

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

SANTOS, W. V. **Análise da Vulnerabilidade à Erosão da Microbacia Hidrográfica do Maxixe no Alto Sertão de Alagoas**. 2019. 61 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2019. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/5084/1/An%C3%A1lise%20da%20vulnerabilidade%20%C3%A0%20eros%C3%A3o%20da%20microbacia%20hidrogr%C3%A1fica%20do%20Maxixe%20no%20Alto%20Sert%C3%A3o%20de%20Alagoas.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2021.

SILVA, E. V.; RODRIGUEZ, J. M. M.; MEIRELES, A. J. de A. **Planejamento Ambiental e Bacias Hidrográficas: Planejamento e gestão de Bacias Hidrográficas - Tomo 1** – Fortaleza: Edições UFC, 2011.

SOARES, F. B. **Planejamento e zoneamento ambiental da Bacia Hidrográfica do Manancial Balneário da Amizade nos Municípios de Álvares Machado e Presidente Prudente – São Paulo/Brasil**. 2015. 226 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2015.

SOUSA, M. L. M.. **Diagnóstico Geoambiental da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Figueiredo, Ceará: Subsídios ao Planejamento Ambiental**. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Dinâmica Territorial e Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SOUZA, J. C. **Avaliação da Suscetibilidade e do Potencial a Erosão Laminar da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Sozinha (GO)**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

SOUZA JUNIOR, C. et al. Reconstructing Three Decades of Land Use and Land Cover Changes in Brazilian Biomes with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, V. 12, Issue 17. DOI: 10.3390/rs12172735.

SOUZA, M. L. Participação popular no planejamento e na gestão urbana no Brasil: vinte anos de esforços, conquistas e tropeços (1986-2005). In: PEREIRA, E. M. (Org.). **Planejamento urbano no Brasil: conceitos, diálogos e práticas**. Chapecó: Argos, 2008.

SOUZA-FILHO, P. W. M.; SOUZA, E. B.; SILVA JÚNIOR, R. O.; NASCIMENTO, W. R.; MENDONÇA, B. R. V.; GUIMARÃES, J. T. F.; DALL'AGNOL, R.; SIQUEIRA, J. O. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 167, p. 175-184, fev. 2016. Elsevier BV. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.039>.

SPÖRL, C. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais**. 2007. 183 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona, v. 5, n. 93, p. 01-12, 15 jul. 2001. Disponível em: <http://www.ub.edu/geocrit/sn-93.htm>. Acesso em: 10 abr. 2021.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico físico-ambiental e a determinação da fragilidade potencial e emergente da bacia do baixo curso do rio Passaúna em Araucária - Paraná**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TAVARES, A. L.; CARMO, A. M. C.; SILVA JÚNIOR, R. O.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; SILVA, M. S.; FERREIRA, D. Ba. S.; NASCIMENTO JÚNIOR, W. R.; DALL'AGNOL, R. *Climate indicators for a watershed in the eastern amazon*. **Revista Brasileira de Climatologia**, Belém, v. 23, n. 14, p. 389-410, dez. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/61160/36870>. Acesso em: 30 jul. 2021.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. 2022. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/>. Acesso em: 03 abr. 2022

TOZI, S. C. **A gestão Ambiental no Pará**. Belém: DEGEO/UFPA, 2007.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2013. ed. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 4. Porto Alegre: ABRH/Editora da UFRGS, 2013.

TUNDISI, J. G; MATSUMURA-TUNDISI, T. **Recursos hídricos no século XXI**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

UNITED STATES OF AMERICA (EUA). NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Shuttle Radar Topography Mission: the mission to map the world**. the mission to map the world. 2016. Disponível em: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/multimed.htm>. Acesso em: 25 mar. 2021.

USGS. **USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)**. Non-Void Filled, 2018. Disponível em: . Acesso em: https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects. Acesso em: 02 fev. 2016.

USÓ, M. **Modelagem hidrológica hec-hms da bacia hidrográfica do rio bauru, bauru, SP**. 2020. 93 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2020. Disponível em:
https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/194199/uso_maurilio_me_botfca.pdf?sequence=3&isAllowed=y. Acesso em: 31 mar. 2021.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. **Instituto de Geociências (IGc)**. São Paulo, 2021. Disponível em <https://didatico.igc.usp.br/>. Acesso em: 15 jul. 2021.

VESTENA, L. R. **Desnaturalização dos desastres**: Em busca de comunidades resilientes. Curitiba: CRV, 2017.

ZANATTA, F. A. S.. **Diagnóstico visando planejamento ambiental da alta bacia do ribeirão areia dourada, marabá paulista (SP)**. 2014. 142 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2014.