UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA MESTRADO

GEILSON SILVA PEREIRA

FRAGILIDADE AMBIENTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAÇAGI-PB: SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima

João Pessoa

2024

FRAGILIDADE AMBIENTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAÇAGI-PB: SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL

GEILSON SILVA PEREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduaçãoem Geografia da Universidade Federal da Paraíba (PPGG/UFPB), como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Rodrigues Viana de Lima.

Catalogação na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

P436f Pereira, Geilson Silva.
Fragilidade ambiental na sub-bacia hidrográfica do rio Araçagi-PB: subsídios para o planejamento ambiental / Geilson Silva Pereira. - João Pessoa, 2024.
138f. : il.

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

1. Fragilidade Ambiental. 2. Sub-bacia. 3. Perdas de Solos. I. Lima, Eduardo Rodrigues Viana de. II. Título.

UFPB/BC CDU 504(813.3)(043)

Elaborado por CHRISTIANE CASTRO LIMA DA SILVA - CRB-15/865

FRAGILIDADE AMBIENTAL NA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAÇAGI-PB: SUBSÍDIOS PARA O PLANEJAMENTO AMBIENTAL

Por

Geilson Silva Pereira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Corpo Docente do Programa de Pós-graduação em Geografia do CCEN-UFPB, como requisito total para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Território

gov.br Documento assinado digitalmente
EDUARDO RODRIGUES VIANA DE LIMA
Data: 19/04/2024 09:34:12-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Trabalho e Ambiente. Aprovada por:

Prof. Dr. **Eduardo Rodrigues Viana de Lima**
Orientador

gov.br Documento assinado digitalmente
BARTOLOMEU ISRAEL DE SOUZA
Data: 14/09/2023 09:36:22-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. **Bartolomeu Israel de Souza**
Examinador interno

gov.br Documento assinado digitalmente
LANUSSE SALIM ROCHA TUMA
Data: 02/04/2024 07:24:54-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. **Lanusse Salim Rocha Tuma**
Examinador externo

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA

CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

CURSO DE MESTRADO E DOUTORADO EM GEOGRAFIA

Fevereiro/2024

AGRADECIMENTOS

Queria neste momento agradecer primeiramente ao meu Deus Senhor e Salvador por ter me dado forças para concluir este trabalho acadêmico.

Ao meu orientador Dr: Eduardo Rodrigues Viana de Lima pela contribuição neste trabalho, me dando suporte nas técnicas de geoprocessamento, sendo uma referência para mim na vida acadêmica.

A minha esposa Luciene, por todas as vezes que me deu forças e apoio para seguir em frente e nunca desistir dos meus sonhos, estando sempre ao meu lado em todaa etapa desta dissertação.

A minha mãe Maria das Dores, pelas vezes que me incentivou a estudar mesmo com poucos recursos financeiros acreditou na minha capacidade de realizar meus sonhos.

Ao meu amigo Francicélio Mendonça da Silva, pelo apoio e experiência repassada durante os dois anos de mestrado no qual se dispôs a realizar aula de campo comigo - mesmo sendo de outro estado- e por outros atos de amizade.

Ao meu amigo Douglas do Nascimento Lima, pelo apoio e palavras de incentivo e por toda a sua amizade verdadeira desde a época de infância.

Aos professores Dr: Bartolomeu Israel de Souza e Dr: Lanusse Rocha Tuma Salim pelas contribuições ao longo desta dissertação e pelo fato de terem aceitado participar da minha banca de defesa sendo ambos referência para mim na vida acadêmica.

Ao PPGG e todos os seus professores pela contribuição ao longo dois anos do mestrado acadêmico.

Às minhas irmãs Maria Jeane, Rosilene, Maria José, Maria Aparecida e Maria das Vitórias.

À CAPES pelo financiamento da Bolsa durante os dois anos do curso de mestrado, no qual me deu suporte para dar prosseguimento a esta pesquisa.

À Universidade Federal da Paraíba, por ofertar este curso de pós graduação que me deu esta oportunidade de alcançar mais este grau acadêmico.

Agradeço a todos os meus ex-professores do ensino fundamental, médio e superior que contribuíram para a minha formação como cidadão e profissional.

In memoriam ao meu pai José de Brito Pereira pela educação que me ofertou durante seu tempo em vida.

Dedico este trabalho aos meus pais José de Brito Pereira e Maria das Dores Silva e a todas as pessoas que não tiveram a oportunidade de estudar.

Se um dia tiver que escolher:
entre o mundo e o amor.
Lembre-se:
Se escolher o mundo
ficará sem o amor
mas se escolher o amor
com ele conquistará
o mundo.

(Albert Einstein)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Elementos de uma bacia..... 27

Figura 2- Componentes de uma bacia..... 28

Figura 3- Quadro de análise para o cálculo da perda de solos..... 31

Figura 4- Mapa de localização da Sub-bacia Araçagi-PB..... 34

Figura 5- Mapa de compartimentação estrutural da área de estudo..... 35

Figura 6- Afloramento de granito no munícipio de Pilões-PB..... 37

Figura 7- Mapa geológico da sub-bacia Araçagi..... 41

Figura 8- Mapa de classes de solos da sub-bacia Araçagi..... 43

Figura 9- Mapa do domínio Morfoescultural da área de estudo..... 46

Figura 10- Escarpa oriental da Borborema e seu limite com a superfície Pré-Litorânea no município de Cuitegi-PB..... 48

Figura 11- Mapa geomorfológico da sub-bacia Araçagi..... 49

Figura 12- Mapa de altimetria da sub-bacia Araçagi..... 50

Figura 13- Superfície Pré-litorânea no município de Araçagi..... 51

Figura 14- Padrão de drenagem da sub-bacia..... 52

Figura 15- Padrão de drenagem da sub-bacia..... 53

Figura 16- Mapa de hidrografia da sub-bacia Araçagi..... 54

Figura 17- Mapa dos tipos climáticos do Brasil..... 57

Figura 18- Espécie de facheiro na nascente do rio Araçagi no município de Areial-PB..... 59

Figura 19- : Mapa de formação vegetal da sub-bacia do rio Araçagi..... 60

Figura 20- Vegetação remanescente de mata atlântica no brejo paraibano Areia-PB..... 61

Figura 21- Mapa da litologia da sub-bacia Araçagi..... 78

Figura 22- Mapa de fragilidade da Litologia da Sub-bacia Araçagi..... 80

Figura 23- Mapa de curvas de nível na sub-bacia Araçagi..... 82

Figura 24-Modelo Digital de Elevação da sub-bacia do rio Araçagi..... 84

Figura 25- Perfil topográfico A-B da Sub-bacia Araçagi..... 85

Figura 26- Perfil topográfico C-D da sub-bacia do rio Araçagi..... 86

Figura 27- Perfil topográfico transversal E-F da Sub-bacia Araçagi..... 87

Figura 28- Mapa de declividade da sub-bacia Araçagi..... 89

Figura 29-Mapa do Índice de dissecação do relevo da sub-bacia do rio Araçagi.... 93

Figura 30- Mapa de fragilidade dos solos..... 95

Figura 31-Pluviosidade média da Sub-bacia do rio Araçagi..... 97

Figura 32- Mapa de pluviosidade média da sub-bacia do rio Araçagi..... 98

Figura 33-Mapa de postos Pluviométricos dentro e em volta da sub-bacia do rio Araçagi..... 99

Figura 34- Mapa de intensidade pluviométrica da sub-bacia Araçagi..... 100

Figura 35- Mapa da fragilidade pluviométrica da sub-bacia do rio Araçagi..... 101

Figura 36- Mapa do uso e ocupação do solo da sub-bacia Araçagi..... 102

Figura 37- Uso na Sub-bacia Araçagi-PB. Uso A: Desvio de água para indústria de tijolo.Uso B: Ocupação Urbana. Uso C: Plantio de milho. Uso D: Extração de areia..... 104

Figura 38-Mapa de fragilidade Emergente da sub- bacia Araçagi..... 105
.

Figura 39-Mapa de fragilidade Potencial da sub-bacia Araçagi..... 106

Figura 40- A: Sulcos erosivos no município de Pilões. B: Ravina nomunicípio de Areial..... 107

Figura 41- Mapa da fragilidade ambiental da sub-bacia Araçagi..... 109

Figura 42- Desmatamento na sub-bacia Araçagi no mnicípio de Areia-PB..... 111

Figura 43- Barramentos na sub-bacia do rio Araçagi, no município de Esperança-PB..... 112

Figura 44- Mapa de erosividade da sub-bacia Araçagi..... 113

Figura 45- Mapa dos valores de Erodibilidade dos tipos de solos da sub-bacia Araçagi..... 115

Figura 46-Mapa de erodibilidade da sub-bacia Araçagi..... 116

Figura 47-Mapa do fator LS da Sub-bacia Araçagi..... 118

Figura 48- Encostas concavas e convexas. Encosta A: Encosta concava no município de Cuitegi. Encosta B: Encosta convexa no município de Araçagi..... 119

Figura 49 Mapa do fator (C) - uso e cobertura da terra da sub-bacia do rio Araçagi... 121

Figura 50- Usos da terra. Uso A: Cana de açúcar no município de Cuitegi. Uso B: Pastagem para a criação de gado bovino no município de Remígio-PB..... 122

Figura 51- Encostas vegetadas. Encosta A: Encosta vegetada com alto grau de declividade com afloramentos de granitos. Encosta B: Encosta vegetada com grau de declividade média sem presença de afloramentos graníticos..... 122

Figura 52- Mapa de perdas de solos na sub-bacia do rio Araçagi..... 123

Figura 53-Perdas de solos por processos erosivos na sub-bacia do rio Araçagi. Perda A: Perda de solos em uma encosta por meio do pisoteio do gado bovino no município de Areia.Perda B: Depósito de sedimento no município de Guarabira. Perda C: Ravina nomunicípio de Alagoinha. Perda D: Sulcos erosivos no município de Araçagi..... 124

Figura 54- Mapas gerados com a metodologia de Ross (esquerda) e de Wischmeier e Smith..... 127

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Pesos atribuídos a litologia da sub-bacia Araçagi..... 65

Quadro 2- Níveis hierárquicos da declividade da sub-bacia Araçagi..... 66

Quadro 3- Pesos atribuídos aos solos da sub-bacia Araçagi..... 67

Quadro 4: Pesos atribuído ao uso e cobertura da sub-bacia Araçagi..... 67

Quadro 5- Cálculo de transformação da intensidade pluviométrica de Crepanni 2001 para Ross 1994..... 68

Quadro 6- Índices de Ross para a intensidade pluviométrica da sub-bacia do rio Araçagi.. 69

Quadro 7- Valores de Erosividade fator (R) da sub-bacia Araçagi.. 73

Quadro 8- Valores atribuídos ao fator (K) da sub-bacia Araçagi.. 74

Quadro 9- Valores atribuídos ao fator C da sub-bacia Araçagi..... 75

Quadro 10- Níveis hierárquicos comparativos da metodologia de Ross e Wischmeir e Smith..... 76

Quadro 11: Fragilidade das unidades Geológicas da sub-bacia Araçagi..... 79

Quadro 12- Dimensão interfluvial média e grau de entalhamento do vale..... 89

Quadro 13- Matriz para o Índice de dissecação do relevo proposta por Guimarães et al 2017..... 91

Quadro 14- Matriz para o IDR proposta por Guimarães et al 2017..... 92

LISTA DE SIGLAS

AESA- Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba

APP- Área de Preservação Permanente

CCMS- Complexos Convectivos de Mesoescala

CPRM- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DH- Dissecação Horizontal

DOL- Distúrbios Ondulatórios do Leste

DV- Dissecação Vertical

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Agricultura e Pecuária

EUPS- Equação Universal da Perdas de Solos

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDR- Índice de Dissecação do Relevo

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

LI- Linhas de Instabilidades

MDE- Modelo Digital de Elevação

MEA- Massa equatorial atlântica

OL- Ondas de Leste

OMS- Organização Mundial da Saúde

RFF- Frentes, Repercussão de Frentes Frias,

SBCS- Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SRTM- Missão Topográfica do Radar Schutler

SUDENE- Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

USLE- Universal Soil Loss Equation

VCAN- Vórtice Ciclônico de Altos Niveis

ZCIT- Zona de Convergência Intertropical

RESUMO:

As atividades humanas têm contribuído para o aumento dos desequilíbrios ambientais. Considerando que grande parte da população mundial se concentra às margens dos rios, esses desequilíbrios têm afetado a disponibilidade de água para os seres humanos, diante das fragilidades apresentadas por esse ambientes. Diante do exposto, esta dissertação tem como objetivo geral fazer uma avaliação das fragilidades ambientais existentes na sub-bacia do rio Araçagi-PB, com base em duas metodologias diferentes. Os objetivos específicos foram: Avaliar a fragilidade potencial com dados do meio físico e biótico e com base na metodologia de Ross (1994); avaliar a fragilidade emergente causada pela ação antrópica, com base na metodologia de Ross (1994); analisar a fragilidade ambiental, com base no potencial de perdas de solo, utilizando a Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS); comparar a fragilidade ambiental gerada com as duas metodologias; propor medidas de gestão e planejamento ambiental com a finalidade de minimizar os problemas decorrentes das fragilidades identificadas na sub-bacia Araçagi-PB. Por meio da metodologia de Ross, foram identificadas várias fragilidades na sub-bacia do rio Araçagi. No alto curso se destacam os barramentos feitos para disponibilizar água para o gado bovino, sendo a nascente uma área muito desmatada para dar lugar para as pastagens. No médio curso ocorrem os processos erosivos lineares superficiais, como os sulcos erosivos e as ravinas nas áreas de maior declividade. Já no baixo curso o uso é mais intenso, o que faz com que essa área seja muito desmatada, para dar lugar a urbanização e a outros diversos usos, sejam industriais ou agropecuários. É importante ressaltar que ainda restam resquícios de vegetação em parte da bacia , o que faz com que a fragilidade não chegue a ter níveis muito altos. Com isso, foi possível perceber que a maior parte da bacia possui índice alto de fragilidade. Por meio da EUPS foram identificadas as perdas de solos na sub-bacia do rio Araçagi, constatando-se que as mesmas ocorrem principalmente nas áreas com maior declividade. A geometria dasencostas também tem papel fundamental, já que nas encostas côncavas as perdas ocorrem de forma mais significativa, enquanto em encostas mais convexas as perdas são inferiores. Dessa forma, grande parte da sub-bacia apresentou baixa perda de solos, sendo as maiores perdas na porção norte, no médio curso. Portanto, por meio deste estudo foi constatado que as duas metodologias mostraram que existem fragilidades na sub-bacia, embora sendo predominantes níveis diferentes . Em ambas observou-se fragilidades em boa parte da bacia, mas não em níveis muito críticos. A realidade da sub-bacia mostra que ainda há possibilidade de atuação dos órgãos ambientais, com medidas de gestão e planejamento ambiental, no sentido de amenizar os problemas ambientais, impedindo que problemas mais graves venham ocorrer.

Palavras- chave: Fragilidade Ambiental. Sub-bacia. Perdas de Solos. Planejamento Ambiental.

ABSTRACT

Human activities have contributed to the increase in environmental imbalances. Considering that a large part of the world's population is concentrated along river banks, these imbalances have affected the availability of water for human beings, given the weaknesses presented by these environments. In view of the above, this dissertation has the general objective of making an assessment of the environmental weaknesses existing in the Araçagi-PB river sub-basin, based on two different methodologies. The specific objectives were: Assess potential fragility with data from the physical and biotic environment and based on the methodology of Ross (1994); evaluate the emerging fragility caused by human action, based on the methodology of Ross (1994); analyze environmental fragility, based on the potential for soil losses, using the Universal Soil Loss Equation (EUPS); compare the environmental fragility generated with the two methodologies; propose environmental management and planning measures with the aim of minimizing problems arising from weaknesses identified in the Araçagi-PB sub-basin. Using Ross' methodology, several weaknesses were identified in the Araçagi River sub-basin. In the upper reaches, the dams made to provide water for cattle stand out, with the spring being an area that was heavily deforested to make way for pastures. In the middle course, superficial linear erosion processes occur, such as erosion grooves and ravines in areas of greater slope. In the lower reaches, use is more intense, which means that this area is heavily deforested, to make way for urbanization and other diverse uses, whether industrial or agricultural. It is important to highlight that there are still remnants of vegetation in part of the basin, which means that fragility does not reach very high levels. With this, it was possible to see that most of the basin has a high rate of fragility. Using the EUPS, soil losses were identified in the Araçagi River sub-basin, noting that they occur mainly in areas with greater slope. The geometry of the slopes also plays a fundamental role, since on concave slopes losses occur more significantly, while on more convex slopes losses are lower. Thus, a large part of the sub-basin showed low soil loss, with the greatest losses being in the northern portion, in the middle course. Therefore, through this study it was found that the two methodologies showed that there are weaknesses in the sub-basin, although different levels predominate. In both cases, weaknesses were observed in a large part of the basin, but not at very critical levels. The reality of the sub-basin shows that there is still possibility for environmental agencies to act, with environmental management and planning measures, in order to alleviate environmental problems, preventing more serious problems from occurring.

Keywords: Environmental Fragility. Sub-basin. Soil Losses. Environmental Planning.

SUMÁRIO

1- INTRODUÇÃO..... 18

2- OBJETIVOS..... 19

2.1 OBJETIVO GERAL..... 19

2.2 ESPECIFICOS..... 19

3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... 21

3.1 FRAGILIDADE AMBIENTAL..... 21

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA..... 25

3.3 EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDAS DE SOLOS (EUPS)..... 30

4- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 33

4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 33

4.2 GEOLOGIA..... 35

4.3 SOLOS..... 42

4.3.1 CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLOS 44

4.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA SUB-BACIA DO RIO ARAÇAGI 45

4.5 HIDROGRAFIA..... 51

4.6 CLIMA..... 56

4.7 VEGETAÇÃO 59

5- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 63

5.1 DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAÇAGI-PB..... 63

5.2 FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADOS PROPOSTO POR ROSS (1994) 64

5.3 LITOLOGIA..... 64

5.4 DECLIVIDADE. 65

5.5 SOLOS..... 66

5.6 USO DA TERRA/COBERTURA VEGETAL..... 67

5.7 CLIMA/PLUVIOSIDADE. 68

5.8 ÍNDICE DEDISSECAÇÃO DO RELEVO..... 69

6- EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLOS. 71
6.1 FATOR (R) EROSIVIDADE DA CHUVA 72
6.2 FATOR (K) ERODIBILIDADE DOS SOLOS. 73
6.3 FATOR (LS) TOPOGRAFIA. 74
7. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS DA FRAGILIDADE AMBIENTAL OBTIDO COM A PROPOSTA DE ROSS E DA EQUAÇAO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLOS (USLE) DE WISCHMEIR E SMITH..... 76

8. FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAÇAGI-PB 77
8.1 LITOLOGIA 77
8.2 GEOMORFOLOGIA..... 80
8.2.1 DECLIVIDADE..... 88
8.2.2 INDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO (IDR)..... 90
8.3 FRAGILIDADE DOS SOLOS..... 96
8.4 CLIMA/PLUVIOSIDADE..... 96
8.5 USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL..... 101
8.6 FRAGILIDADE POTENCIAL. 106
8.7 FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIO ARAÇAGI 108

9- POTENCIAL DE PERDAS DE SOLOS NA SUB-BACIA DO RIO ARAÇAGI-PB. 112

9.1 FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA(R). 113
9.2 FATOR ERODIBILIDADE DO SOLO (K)..... 114
9.3 FATOR TOPOGRÁFICO (LS). 117
9.4 FATOR (C) USO E COBERTURA VEGETAL. 120
9.5 PERDAS DE SOLOS NA SUB-BACIA DO RIO ARAÇAGI-PB 123
9.6 ANÁLISE COMPARATIVA DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DE ROSS E DA USLE DE WISCHMEIER E SMITH 126

10- CONSIDERAÇÕES FINAS..... 128

11- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA..... 130

1- INTRODUÇÃO

Nos últimos séculos, as atividades humanas têm contribuído significativamente para o aumento das fragilidades em diversos ambientes, dentre os quais estão as bacias hidrográficas. As maiores concentrações populacionais normalmente estão situadas ao longo dos rios, comprometendo a qualidade ambiental dessas áreas.

Desde sempre a humanidade necessita da natureza para sobreviver. Nesse sentido, as terras nas margens dos rios são utilizadas para o desenvolvimento de várias atividades econômicas, provocando assim desequilíbrios ambientais nas bacias hidrográficas. As principais atividades que geram fragilidades nas bacias hidrográficas são: desmatamento, queimadas, poluição, construção de barragens, desvio da água paraa irrigação, urbanização, dentre outras.

Desde sempre o ser humano tem interferido na dinâmica da natureza, modificando os aspectos físicos e bióticos, ou seja, alterando o equilíbrio do ambiente. Um exemplo disso são os recursos hídricos, que vêm sendo utilizados de forma irracional, sem uma perspectiva de uso sustentável.

Portanto, a gestão e o planejamento das águas, sejam de rios, lagos, ou açudes, tem a responsabilidade de analisar e controlar as atividades que podem comprometê-las. Os instrumentos para serem implementados nos gerenciamentos das águas buscamrespaldo na lei n° 9433/1997, que tem como objetivo identificar os aspectos modificadores, levando em consideração características socioeconômicas, que venham servir de contribuição para a sociedade.

Molle e Cadier (1992) apontam que os primeiros açudes nordestinos foram criados na época dos engenhos na zona da mata nordestina, com o propósito de desviar a água dos rios e riachos que forneciam a força hidráulica para os moinhos.

Na sub-bacia do rio Araçagi é possível perceber várias atividades antrópicas que acontecem de forma irregular, que vêm causando a degradação, tanto do solo quanto da cobertura vegetal, que por sua vez contribui para o aumento de processos erosivos, comprometendo o equilíbrio ambiental.

As várias atividades econômicas representam um grande desafio para a conservação, proteção e sustentabilidade. Entretanto, é relevante ressaltar que não somente a ação humana pode influenciar na dinâmica ambiental, mas sobretudo os fatores de origem natural, tais como: Os regimes pluviométricos, a geomorfologia (declividade do terreno), tipo de solo, litologia e

cobertura vegetal, que podem exercer forte influência nos processos morfodinâmicos, sejam em áreas semiáridas, como em áreas de agreste e brejos de altitude, que são áreas de transição, onde a sub-bacia do rio Araçagi está inserida.

Conforme afirma Cunha (2009), os rios são influenciados de maneira direta pelas atividades exercidas pela sociedade, pois essas causam inúmeras alterações, intensificando de forma concreta os impactos negativos sobre os ambientes aquáticos.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho são apresentados a seguir.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Realizar uma avaliação das fragilidades ambientais existentes na sub-bacia do rio Araçagi-PB, com base em duas metodologias diferentes.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a fragilidade potencial com dados do meio físico e biótico e com base na metodologia de Ross (1994)
- Avaliar a fragilidade emergente causada pela ação antrópica, com base na metodologia de Ross (1994)
- Analisar a fragilidade ambiental, com base no potencial de perdas de solo, utilizandoa Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS);
- Comparar a fragilidade ambiental gerada com as duas metodologias;
- Propor medidas de gestão e planejamento ambiental, com a finalidade de minimizar os problemas decorrentes das fragilidades identificadas.

A escolha do tema se deu pelo fato da sub-bacia do rio Araçagi ser de grande importância, uma vez que é uma rede hidrográfica onde se encontra localizada a barragem Saulo Maia, o açude Tauá-Cuitegi e a barragem Araçagi, considerada uma dasmaiores do estado da Paraíba. Portanto, essa bacia é responsável pelo abastecimento hídrico de várias cidades do estado da Paraíba, tais como: Areia, Pilões, Araçagi, Guarabira, Pilõezinhos, Mamanguape etc.

Sendo assim, vários questionamentos são feitos, tais como: qual a importânciada bacia do rio Araçagi para o abastecimento de água das cidades? Existem estudos envolvendo a questão da fragilidade ambiental dessa área? Quais os principais tipos de degradação ambiental

existentes nessa bacia hidrográfica?

No contexto do estudo de fragilidade ambiental, surge o questionamento acerca do grau de fragilidade. Como a ocupação que existe nessa bacia pode acarretar mudanças na dinâmica do rio e em todo o sistema de abastecimento hídrico para as localidades que dela se beneficiam? E como a ação antrópica pode acelerar os problemas ambientais em geral?

Este trabalho servirá como suporte para novas pesquisas sobre a temática de fragilidades, buscando uma percepção crítica que colabore com o planejamento ambiental e territorial. Portanto, o estudo servirá como auxílio para a proteção da bacia estudada buscando, sobretudo, compreender como as ações antrópicas estão intensificando os processos erosivos, que por conseguinte, vem contribuindo com o assoreamento dos canais fluviais e que vem provocando mudanças na dinâmica do regime hidrológico.

A pesquisa também pretende contribuir com o planejamento ambiental da área de estudo, para que dessa forma seja possível proteger não somente a bacia, mastambém os mananciais de água que existem na bacia, contribuindo para a preservação das matas ripárias, da flora, da fauna local e dos solos.

3- FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3. 1 FRAGILIDADE AMBIENTAL

O tema fragilidade ambiental em bacias hidrográficas tem sido muito discutida nos últimos anos, utilizando-se de diferentes tipos de indicadores na caracterização da fragilidade, em diferentes tipos de recortes espaciais. Fatores relacionados com a fragilidade podem influenciar a qualidade e a disponibilidade de recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, tais como: clima, cobertura vegetal, topografia, geologia, forma da bacia, assim como o uso e o manejo do solo (PEREIRA, 1997 apud ROCHA *et al*., 2008).

Desse modo, é possível perceber que os estudos consideram pelo menos um fator, como por exemplo a exposição de um sistema a perturbações ou a sensibilidadedo meio à adaptação. Sendo assim, é extremamente necessário o esclarecimento desses conceitos quando se trata da análise de fragilidades.

O conceito de fragilidade ambiental para Milanezi e Pereira (2016) se associa ao maior ou menor grau de vulnerabilidade de uma determinada área, como também a susceptibilidade de um ambiente em estar predisposto a sofrer danos, se submetido a uma ação, e por meio disso é crucial salientar que o mapeamento será utilizado como declividade, pedologia, geomorfologia e uso e ocupação do solo, obtendo dessa forma um diagnóstico eficaz que permita avaliar os diferentes níveis de fragilidade ambiental do meio.

Diversos autores construíram os conceitos de fragilidade ambiental que se referem ao resultado das relações de conectividade e interdependência entre componentes ambientais e as atividades humanas, associadas ao limiar de ruptura, ou seja, que representa a possibilidade de sofrer ou não perturbações provenientes defenômenos e intervenções que se originam além dos limites territoriais do sistema que está sendo afetado (SANTOS, 2015).

A fragilidade ambiental é a susceptibilidade do ambiente de sofrer intervenções ou alterações. A partir do momento em que o equilíbrio dinâmico é quebrado, o sistema ambiental entra em colapso, causando uma situação de risco. A desestabilização do sistema pode ser causada por fatores naturais ou pelo ser humano (SPORL e ROSS, 2004).

Kauakubo (2005) afirma que o estudo das fragilidades se constitui como ferramenta principal que pode ser utilizada pelos órgãos públicos com a finalidade de elaborar um planejamento territorial e ambiental. A fragilidade ambiental tem como base os fatores

como solo, potencialidade de erosão causada pelas chuvas, declividade ecobertura vegetal, necessários para o planejamento ambiental (SPORL,2001).

Massa e Ross (2012) afirmam que na determinação das potencialidades dos recursos naturais, devem ser estudados componentes que dão suporte à vida como solo, relevo, geologia, água, clima e vegetação, que devem ser analisados de forma integrada,sem deixar de considerar as ações humanas que também modificam os ambientesnaturais.

Para Tamanini (2008), o conceito de fragilidade ambiental deve estar relacionado com a vulnerabilidade do ambiente em sofrer qualquer tipo de dano ou estresse. Para o autor, ela está relacionada a fatores como os desequilíbrios de origem natural, ou seja, o próprio ambiente tem suas dinâmicas que podem causar distúrbios naturais, como alta declividade e consequentemente elevada ação erosiva dos solos, porém, quanto a ação de origem antropogênica, pode se destacar o uso inadequado do solo e de possíveis intervenções em ambientes fluviais.

O termo fragilidade, para Cardoso et al (2015), refere-se à suscetibilidade de um ambiente em sofrer danos rompendo o equilíbrio dinâmico, que está relacionado ao maior potencial de degradação do ambiente, desencadeando processos erosivos do solo, como também o transporte e a deposição de sedimentos nos cursos dos rios e também a perda da biodiversidade. Garcia-Ortiz et al (2014) elencam que o termo fragilidade expressa a sensibilidade ao dano por fatores como a evolução geológica natural aolongo do tempo devido a fragilidade inerente ao material.

A palavra fragilidade vem do latim *fragilitas*, que significa “algo propenso a quebrar-se, frágil. Já no dicionário Aurélio (2022) significa estado de instabilidade. O conceito de fragilidade vem inicialmente da ecologia dos ecossistemas. Nesse momento em que surgiu, o termo fragilidade é entendido como as análises das características internas dos mecanismos e de sucessões ecológicas.

Foi somente a partir da década de 1960 por meio do relatório do clube de Roma que se começa a emergir as discussões das problemáticas ambientais, por isso surge a necessidade de ampliar o olhar que vai além dos fenômenos naturais visando procurar explicações para as transformações que são originadas pelas ações provocadas pelo ser humano no âmbito ambiental.

Para Nilsson e Grelsson (1995) existem duas abordagens referentes ao conceito de fragilidade: revelar áreas que são naturais, e antrópicas pelo simples fato de suas características e sucessões internas apresentarem áreas que possuem mudanças como resultado das pressões externas naturais e humanas. Na segunda inclui as características

tanto internas como externas agindo de forma simultânea ou até mesmo será necessário observar as causas naturais e também no conceito de fragilidade e no reconhecimento desses ambientes.

Nilsson e Grelsson (1995) ressaltam que o modo de estudar fragilidade de ecossistemas depende necessariamente da escala utilizada, como escalas temporais e espaciais. Desse modo, um determinado ecossistema que está altamente estabilizado por um grande período de tempo pode em algum outro momento conter alto nível de fragilidade por um curto período de tempo.

A fragilidade que pode ser observada é aquela que surge por meio de perturbações naturais ou por causas antrópicas que são o operador do sistema. (Nilsson e Grelsson (1995). Entretanto, a maneira mais correta de analisar a fragilidade é por meio da relação a um certo tipo peculiar de perturbação e os recursos que são considerados os mais atingidos no sistema, Smith, Theberge, (1986).

Os autores supracitados elencam aqui que fragilidade ambiental pode estar associada a um tipo particular de perturbação que nesse caso pode ser definido como a erosão, que aparece como importante categoria na análise que ajuda a definir o balanço morfogênese/pedogênese e além do mais pode auxiliar na compreensão das relações de uso e ocupação do solo com apoio do uso de técnicas nos locais naturalmente frágeis a processos erosivos. Portanto, os processos erosivos podem ser entendidos como condutores que levam a compreensão da instabilidade dos sistemas.

O professor Jurandir Ross (1994) publicou a sua obra sobre fragilidadeambiental que intitulou como "análise empírica dos ambientes naturais e antropizados". Ele afirmou que a fragilidade ambiental é uma proposta que tem o intuito de classificar os níveis de fragilidades naturais e modificados compreendendo que as ações humanas afetam diretamente a funcionalidade do ambiente, induzindo aos processos degenerativos Amaral, Ross, 2009, p.60). O Ministério do |Meio Ambiente e Energia daCosta Rica, por meio do Decreto 32967/2006-MINAE, realizou uma publicação definindo as tais áreas ambientalmente frágeis como:

> espaço geográfico que segundo suas condições de geofitness1, capacidade deuso do solo, ecossistemas que o compõem e sua particularidade sociocultural; Possui capacidade de carga restrita e algumas limitações técnicas que devem ser consideradas para utilização em atividades humanas. (COSTA RICA, Decreto No.32967-MINAE,2006, p.4) (Traduzido por Geilson 2022).

A Partenership For European Enviromental Research PEER) ratificou que as pesquisas colaborativas para compreender os níveis hierárquicos de resiliências de um ambiente são essenciais para preservá-las, para que dessa forma seja possível tomar decisões políticas que visam um planejamento ambiental do uso da Terra e das estações dos recursos naturais e por meio disso venha a promover uma instabilidade no sistema. Santos (2016) entende que a análise da fragilidade considera a estrutura e o funcionamento dos ambientes naturais e também as transformações provocadas pelo ser humano, permitindo definir a capacidade do sistema no desenvolvimento de atividades produtivas e culturais.

A fragilidade de um ecossistema também depende da sensibilidade e das tensões sobre ele por meio de perturbações esperadas inesperadas, sejam elas naturaisou até mesmo de origem (Petrosillo *et al* 2006). Já Fierz (2008) elenca que cada um dos sistemas tem suas características peculiares com estágios distintos de fragilidade, noentanto pode se entender que a fragilidade está diretamente relacionada a suscetibilidadede mudanças de cada um dos sistemas ambientais.

Os estudos de fragilidade ambiental estão intrinsecamente relacionados aos conceitos de sistema. Vite e Santos (1999) define sistema como " um complexo de elementos e interação, interação está de natureza ordenada". Dessa maneira, o termo fragilidade ambiental correlacionado com a teoria de sistemas ambientais permite determinar suas fragilidades e as possíveis potencialidades para o uso humano.

Bertalanffy (1973) por meio dos estudos da teoria geral dos sistemas que se inicia primeiramente profissionais da biologia e ecologia constatando a interdependência entre o conjunto de componentes físicos e bióticos do meio natural, posteriormente foi expandido para a análise ambiental e desta forma realizandoa inclusão com as relações dos seres vivos com o ambiente em que estão inseridos. Halle Fargen (1956) considera um sistema como um conjunto de elementos e seus atributos, Já Thornes e Brusdes (1977) defende que sistemas representam "um conjunto de objetosou atributos e das suas relações organizados para executar em função particular".

Christofoletti afirmou que cada um é composto por vários subsistemas que deve ter em cada um deles um regulador com o papel de trabalhar no sentido de dividir o input recebido, ou seja, de matéria como de energia armazenando e depositando passando pelo subsistema em forma de output.

Portanto, nos estudos de análise ambiental de uma área é permitido a identificação de suas potencialidades na utilização do uso de ocupação do ambiente e suas suscetibilidades a

seu desempenho, possibilitando assim a tomada de decisões interligadas a preservação conservação e ecodesenvolvimento Macedo, 1991).

Os primeiros estudos no Brasil acerca da fragilidade ambiental foram feitos utilizando as metodologias de Ross (1994) e Crepani *et al* (2001), fundamentados nos estudos das unidades ecodinâmicas de Tricart (1977), que por sua vez enfatiza que a natureza se processa de forma dinâmica através da troca de matéria e energia, sendo a vegetação, relevo e o solo os principais responsáveis pelo equilíbrio dos processos morfodinâmicos da paisagem (MEIRA *et al* 2016 e SILVA 2016, TRICART, 1977).

Em síntese, a fragilidade ambiental está diretamente associada a um ambiente que está sujeito a sofrer processos erosivos. Entretanto se faz necessário estudar para que seja possível avaliar as ações provocadas pelo fator antrópico, como é o caso do usodo solo e ocupação que desencadeiam problemas ambientais, comprometendo não somente a natureza, mas também a sociedade.

Com isso, por meio dos produtos gerados, terá um propósito de servir de subsídio ao zoneamento ambiental, tendo como principal objetivo corrigir problemas do uso do solo com apoio de técnicas de manejo mais eficiente para se ter uma melhor preservação de todo o ambiente.

3.2 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica vem sendo utilizada como unidade de planejamento ambiental, uma vez que se consegue aliar a gestão dos recursos hídricos com os elementos naturais e antrópicos. Oliveira (2009) considera as bacias hidrográficas como eficazes unidades de planejamento ambiental, porque são resultantes das interações entre os elementos naturais e sociais, e os recursos hídricos podem ser utilizados como indicadores dos efeitos das ações do homem no meio natural, desequilibrando as interações entre os seus componentes (objetos geográficos).

Rocha (1997) entende que uma sub-bacia hidrográfica é uma área que drena a água das chuvas por meio de rios e ravinas para um rio principal que pode desaguar no mar, em lagos ou em outros rios.Segundo Valente *et al.* (2005), uma bacia hidrográfica é caracterizada por uma porção de terra, onde ocorre a drenagem de águas pluviais para um fundo de vale (rios, córregos, ribeirões). Pires *et al* (2005) afirmam que a bacia hidrográfica é caracterizada como um sistema biofísico complexo, que evidencia sistemas hidrológicos

e ecológicos coesos.

Consideram também a água como ponto de convergência de um sistema ambiental de múltiplas relações estabelecidas entre os diversos componentes físicos,

bióticos e antrópicos. Ao entender a bacia hidrográfica como uma unidade de planejamento ambientale de ordenamento do território, introduz a ideia de que é considerada como um sistema físico e dinâmico, que se configura como uma unidade funcional básica de planejamento e gerenciamento ambiental, pois nela ocorre a integração das águas com o meio físico, biótico e social (CAMPOS, 2006, P.105).

De acordo com Magalhães Junior (2007), as características das baciashidrográficas estão na organização das interações entre os solos, geologia, geomorfologia e clima. Portanto, é essencial compreender as relações entre os elementos que compõem os sistemas hídricos e suas respectivas paisagens, que por sua vez nos dão a possibilidade de estabelecer e mensurar as potencialidades e fragilidades existentes no sistema ambiental.

As bacias possuem características que são essenciais e se inter-relacionam, sendo compostas por vários elementos que se diferenciam entre si, cada um com sua propriedade particular e única, todavia ao se agruparem, consequentemente se relacionam e se interligam, dando origem a novas dinâmicas que se espalham por todo osistema.

Para Chorley (1962), a bacia hidrográfica é um sistema aberto que capta água, composta por setores de elevados interflúvios topográficos, nos quais os cursos de água drenam para um rio principal rumo a uma saída comum. Strahler (1980) entende que uma bacia é um sistema de drenagem composto por um conjunto de pequenas baciasque estão ajustadas por formas e tamanho em relação a um rio para o qual confluem, sendo um sistema aberto e dinâmico. **Na figura 1** é possível compreender alguns dos elementos presentes em uma bacia.

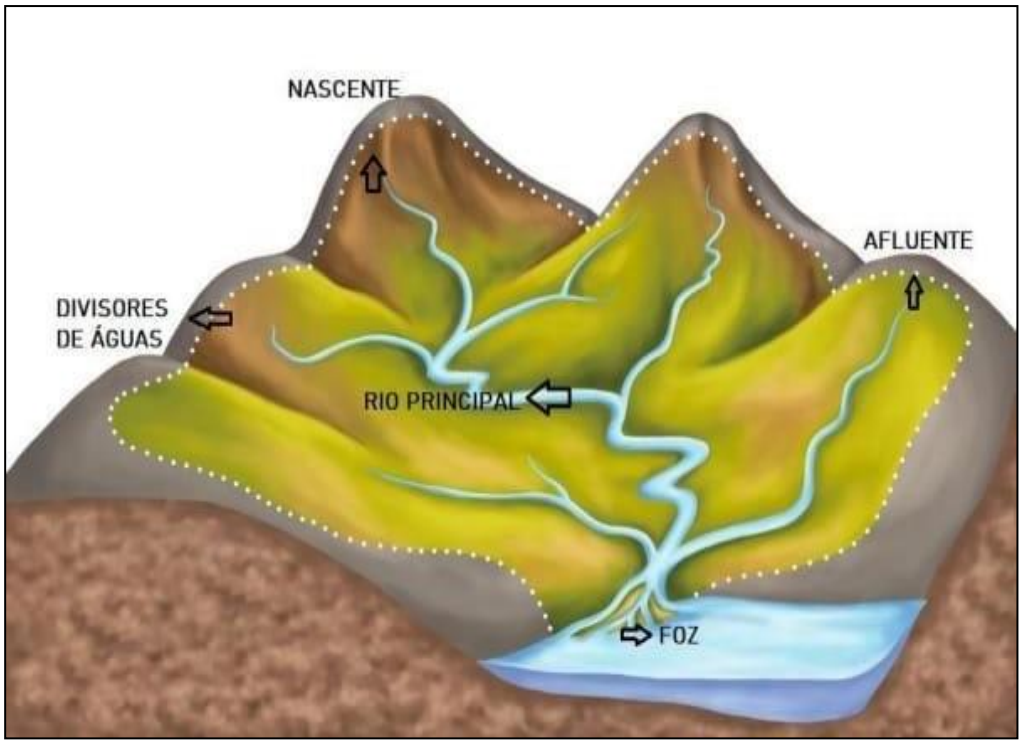


Figura 1: Elementos de uma bacia
Fonte: Mendonça, adaptado pelo autor, 2023.

Conforme afirma Piroli (2003), a bacia hidrográfica se define pela sua própria natureza através dos processos físicos e químicos que moldam o relevo, condicionando as relações entre os seus respectivos componentes e portanto o que une esses componentes é a água que precipita no espaço, direcionando-se para regiões por meio do ciclo hidrológico que formam mananciais que escoam na superfície e infiltram-se nos lençóis subterrâneos, que por sua vez alimentam aquíferos, mantendo os cursos de água nas épocas entre precipitações que ocorrem na bacia.

Dentro dessa perspectiva as bacias hidrográficas são compostas por um conjuntode elementos distintos entre si com suas peculiaridades, porém ao se conectarem passam a relacionarem de modo interligado e dessa forma termina gerando novas dinâmicas, se espalhando por todo o sistema ambiental. A **figura 2** abaixo apresentaos componentes presentes em uma bacia hidrográfica.

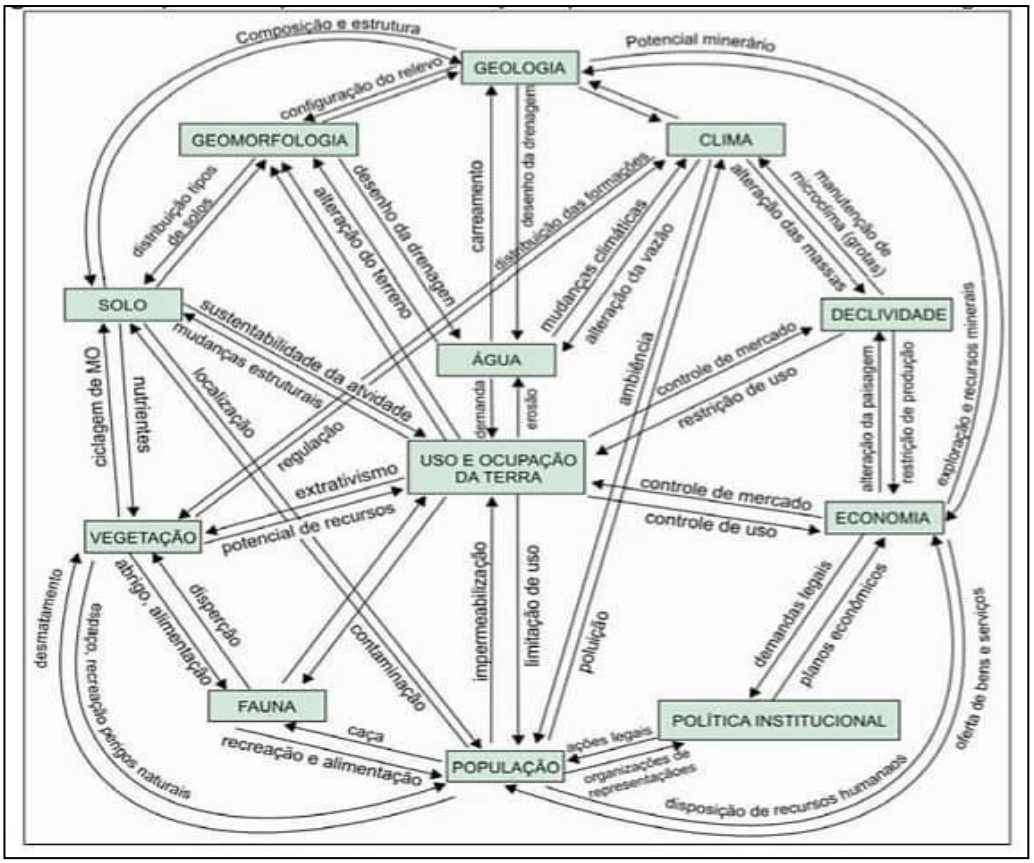


Figura 2: Componentes de uma bacia.
Fonte: Santos 2004 adaptado pelo autor, 2023.

A bacia hidrográfica é um elemento extremamente relevante para o planejamento e gestão ambiental, que se deve partir das totalidades e variáveis, nos quais se devem investigar a qualidade das águas, pedologia, geologia, biodiversidade, uso e cobertura vegetal, entre outros elementos. Leal (2002) destaca que é necessário analisar os elementos naturais e de ordem antrópica nos quais se relacionam de forma mútua.

Christofoletti e Perez Filho afirmam que uma bacia hidrográfica pode ser influenciada por inúmeras características como litologia, topografia tectônica, dos quais exercem no controle sobre a eficiência dos processos que estão atuando nas bacias. Meise Moura (1984) também trouxeram suas contribuições, realizando trabalhos em áreas de cabeceiras de drenagem apontando que essas áreas possuem fatores importantes para a manutenção desses ambientes que devem ser preservados.

Até mesmo a OMS (Organização Mundial da Saúde) ao se referir à bacia hidrográfica entende que esta requer uma análise social definindo-se como um equilíbrio entre as relações humanas e o seu ambiente que possibilita uma saúde física

mental das relações sociais desde a escala local. Assim os estudos de bacias hidrográficas não devem ser isolados, mas sim de forma sistêmica e deve ser feito uma análise complexa para entender os fenômenos que nelas existem, portanto, é impossível entendê-la a partir de estudos isolados dos elementos. Matos e Peres filho (2004)defendem que

> A bacia hidrográfica não pode ser entendida pelo estudo isolado de cada um dos seus componentes: sua estrutura, funcionamento e organização são decorrentes das inter-relações desses elementos, de modo que o todo resultante não é resultado da soma da estrutura, funcionamento eorganização de suas partes. Analisar separadamente os processos que ocorrem nas vertentes e aqueles que acontecem nos canais fluviais não permitecompreender como o sistema bacia hidrográfica funciona enquanto unidade organizada complexa. (MATTOS e PEREZ FILHO, 2004, p. 17)

Santos (2004) ao estudar os sistemas fluviais contribuiu defendendo que autilização de paradigmas sistêmicos nos estudos das bacias hidrográficas deve ser indispensável, ainda mais que a bacia hidrográfica for compreendida pela sua totalidade e que todos os elementos contidos nela estão interligados. Apesar de tantos conceitos teóricos sobre bacias hidrográficas cabe também ressaltar que a bacia hidrográfica possui um elemento extremamente amplo. É necessário compreender através de uma ideia voltada ao planejamento ambiental e conservação dos recursos naturais. Nesta perspectiva, Santos afirma que:

> O arcabouço teórico dos sistemas e o conceito de organização se adaptam perfeitamente ao estudo de bacias hidrográficas e, faz com que os analistas do ambiente reconheçam o fato de que as partes dessa paisagem não são independentes, que a bacia hidrográfica, dentro de certos limites, constitui-se num todo interconectado, expressa espaço-temporalmente através de padrões, arranjos morfológicos e estruturais complexos. (2004, p. 47)

Sabe-se que a bacia hidrográfica é um elemento indispensável para a gestão e o planejamento ambiental e partindo de suas totalidades poderão todas as suas variáveis, tais como a qualidade e quantidade das águas, pedologia, geologia, biodiversidade, usoe cobertura da terra e estudos do relevo etc. Portanto, é por meio dos estudos da qualidade das águas que possibilita identificar as interferências externas que podem acelerar ou até mesmo retardar os processos ligados à degradação ambiental gerando alterações na dinâmica do sistema.

3.3 EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDAS DE SOLOS (EUPS)

A realização da modelagem da perda de solo de uma região consiste em um processo um pouco complexo por causa dos diversos fatores que estão inter- relacionados nos quais resultam no processo de erosão, gerando a perda do material sólido. Por esse motivo é importante ressaltar que qualquer modelo que possa ser uma simplificação da realidade que são os modelos conceituais matemáticos e empíricos (STOCKING, 1982).

Os modelos conceituais são responsáveis por tentar modelar os processos erosivos, entretanto são baseados nas equações que reproduzem a realidade física realdo processo analisado. Os modelos empíricos geralmente são constituídos de equações que retratam relações de causa e efeito simples, no qual os coeficientes são calibrados por meio da experiência, relacionando dados que são observados da perda de solo, tendoum grande número de características locais, ou seja, variações explicativas (STOCKING, 1982).

Wchimeier e Smith (1978) desenvolveu um dos principais modelos que é utilizado para quantificar a erosão em todo o planeta representando uma forma de avaliar a fragilidade do ambiente. Esse modelo empírico é baseado nos resultadosobtidos por meio do uso de simuladores de chuva, conhecido por USLE (Universal Soil Loss Equation) ou podemos chamar de EUPS (Equação Universal da Perda de Solo). Esta equação relaciona as características físicas, meteorológicas e geomorfológicas de um determinado local que permite estimar a perda de solo média mensal ou anual.

A USLE se trata de um modelo empírico que pode conter erros amostraisdevido a simplificação de sua formulação (Siviero e Caiado 1999 afirmam que devido à dificuldade de medir no campo, observando os valores reais de perdas de solos por erosão em uma área, a utilização da equação torna-se indispensável, sendo a melhor forma de medir as perdas de solo de um terreno, (SILVA *et al*, 1974).

Wchimeier e Smith (1978) destaca aqui a EUPS é um modelo de erosão desenvolvido com propósito de calcular a quantidade medida de perda de solo em períodos longos para processos de erosão em lençol e sulcos em condições.especiais. Este modelo é útil e mais aplicado nas áreas rurais, mas também pode ser desenvolvido em locais com construção civil, dentre outras áreas.

O modelo da equação USLE tem a capacidade de prever a quantidade de sedimentos que se desprende do solo em um determinado terreno e que não representa processos subsequentes de deposição e remoção dos sedimentos nas erosões por

voçorocamento e também no leito dos canais fluviais.

Os primeiros estudos realizados pela equação foram elaborados para prever a perda de solo em regiões específicas localizadas na faixa onde se produz milho no Corn Belt centro Norte dos Estados Unidos da América. No ano de 1940 foi publicada uma equação relacionando a taxa da perda de solo do comprimento e ao percentual de declividade (WCHIMEIER e SMITH 1978).

De acordo com Hilu (2003) A USLE foi primeiramente utilizada no Brasil por meio de trabalhos realizados por Bertoni et al (1975) no Estado de São Paulo e vem sendo avaliada por vários autores ao longo dos anos quanto à sua aplicabilidade em nessas áreas com características do meio físico tropical Santa Catarina, 1994). A **figura 3** abaixo ilustra o esquema dos fatores utilizados para a USLE.

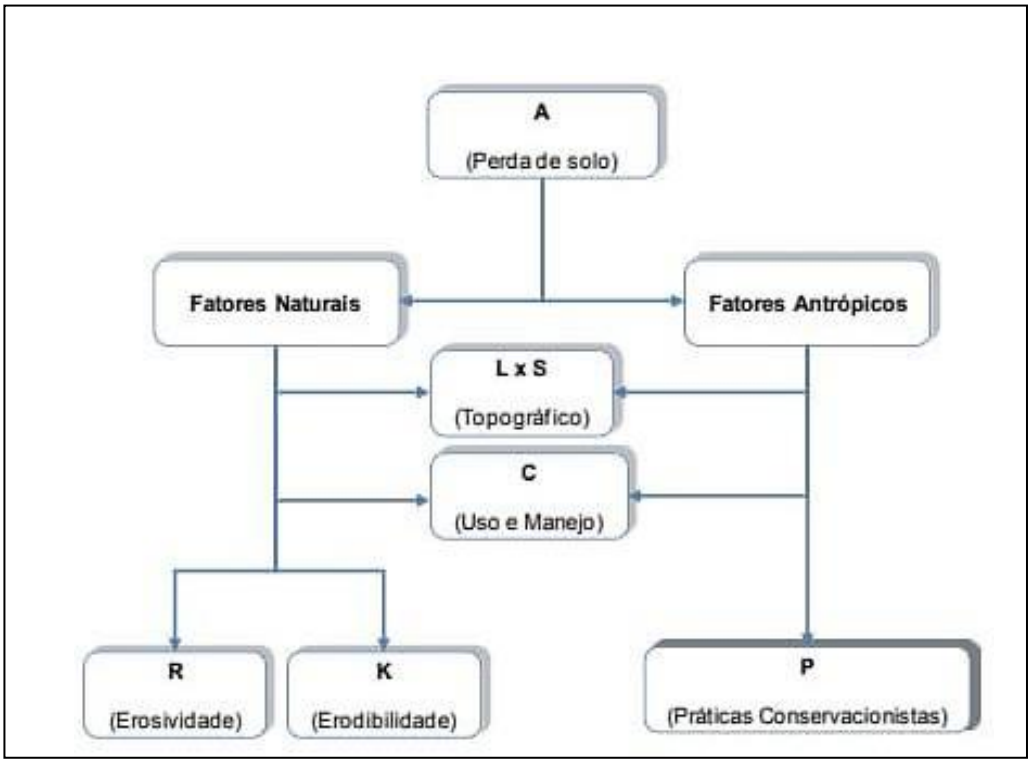


Figura 3: Quadro de análise para o cálculo da perda de solos.
Fonte: Gomes 2012, adaptado pelo autor, 2023.

De acordo com estudos da EUPS em bacias hidrográficas, para que se possa obter estimativas aproximadas de perda de solos serão necessários para a aplicação em parcelas diferentes da área estudada com todos os fatores que devem ser avaliados no local em um período específico de tempo. Portanto, ao estudar as perdas de solos por meio desta equação em uma área é preciso uma orientação, com o intuito de realizar medidas de controle de erosão do terreno a ser estudado.

A equação considera a ação conjunta dos fatores como erosividade da chuva que é a capacidade da chuva em provocar desprendimento e transporte de solo, a erodibilidade que quantifica a vulnerabilidade de um solo em sofrer erosão pela pluviosidade, características topográficas levando em conta comprimento de encosta e a declividade e o fator antrópico incluindo o uso do solo e práticas conservacionista.

4- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO DA SUB-BACIA DO RIO ARAÇAGI-PB

A sub-bacia do rio Araçagi está localizada na região do agreste paraibano, sendo parte integrante da bacia do rio Mamanguape. O rio Araçagi é o principal afluente do rio Mamanguape, drenando suas águas pelo planalto da Borborema, passando pelo alto agreste, onde nasce entre os municípios de Areial, Pocinhos, Montadas e Esperança, percorrendo 144 km de extensão, até despejar suas águas na superfície Pré-litorânea, na barragem de Araçagi, que é um dos mais importantes reservatórios de água do estado daParaíba.

Dentre os principais municípios que compõem a área de estudo, estão: Areial, Esperança, Remígio, Arara, Areia, Pilões, Serraria, Cuitegi, Guarabira e Araçagi. Todos esses municípios são drenados pelo rio Araçagi, porém a bacia como um todo abrange aproximadamente 20 municípios paraibanos, sendo essa a principal sub-bacia integrante da bacia do rio Mamanguape.

O rio Araçagi possui cinco afluentes principais que são responsáveis pelo abastecimento de água para grande parte da população do Agreste e Brejo paraibanos, são eles: do canto, Tauá, Araçagi Mirim, Guarabira e Bananeiras. Os principais reservatórios existem na sub-bacia são: a barragem Saulo Maia, localizada em Areia, Açude Tauá-Cuitegi, localizado entre o município de Alagoinha e Cuitegi, as barragens Canafístula I e Canafístula II - situadas no município de Borborema - e a Barragem Araçagi, que é o maior de todos os reservatórios da sub-bacia, que recebe água também do rio Mamanguape.

A barragem Araçagi foi construída na confluência entre os rios Mamanguape e Araçagi. Essa barragem é de extrema importância para grande parte do baixo agreste e Curimataú paraibano, disponibilizando água para várias cidades como, Guarabira, Itapororoca, Mamanguape, Cuité de Mamanguape, Capim, Belém, Araçagi, Sertãozinhoetc. (AESA, 2022).

A população da bacia do rio Araçagi possui atualmente, segundo o último censo demográfico do IBGE (2022), uma população de cerca de 233.590 mil habitantes. Na **figura 4** é possível visualizar a localização da Sub-bacia do rio Araçagi, destacando os municípios e as três principais barragens que aí se localizam.

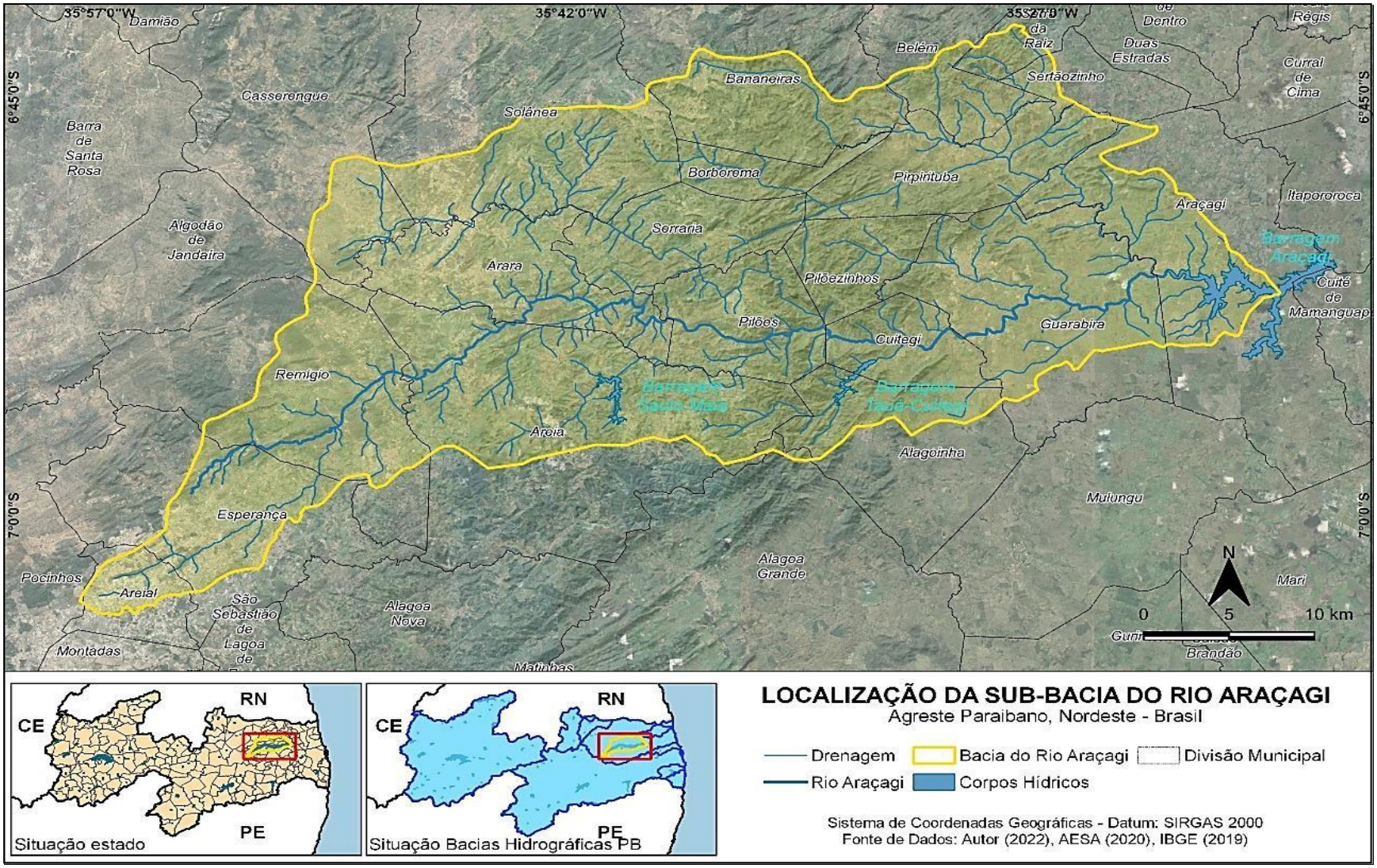


Figura 4: Mapa de localização da Sub-bacia do rio Araçagi-PB.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.2 GEOLOGIA

As formações geológicas da sub-bacia do rio Araçagi são datadas do Neoproterozóico, Paleozóico e Cenozóico. Desse modo, é possível perceber que os tipos de rochasexistentes nessa área são compostos tanto por rochas antigas, como também por rochas de idades , contribuindo para uma grande diversidade litológica.

Complexo São Caetano: foi caracterizado por Santos (1995) e Santos *et al*. (2002) como uma sequência metassedimentar e metavulcanoclástica, dominantemente félsica a intermediária dos paragnaisses (quartzitos, muscovita-biotita gnaisse por vezes com granada e mica-xistos) constituído de pelitos/psamitos e grauvacas, embora hajam evidências de uma contribuição vulcânica e principalmente vulcanoclástica.

A **figura 5** mostra a compartimentação geológica da área de estudo.

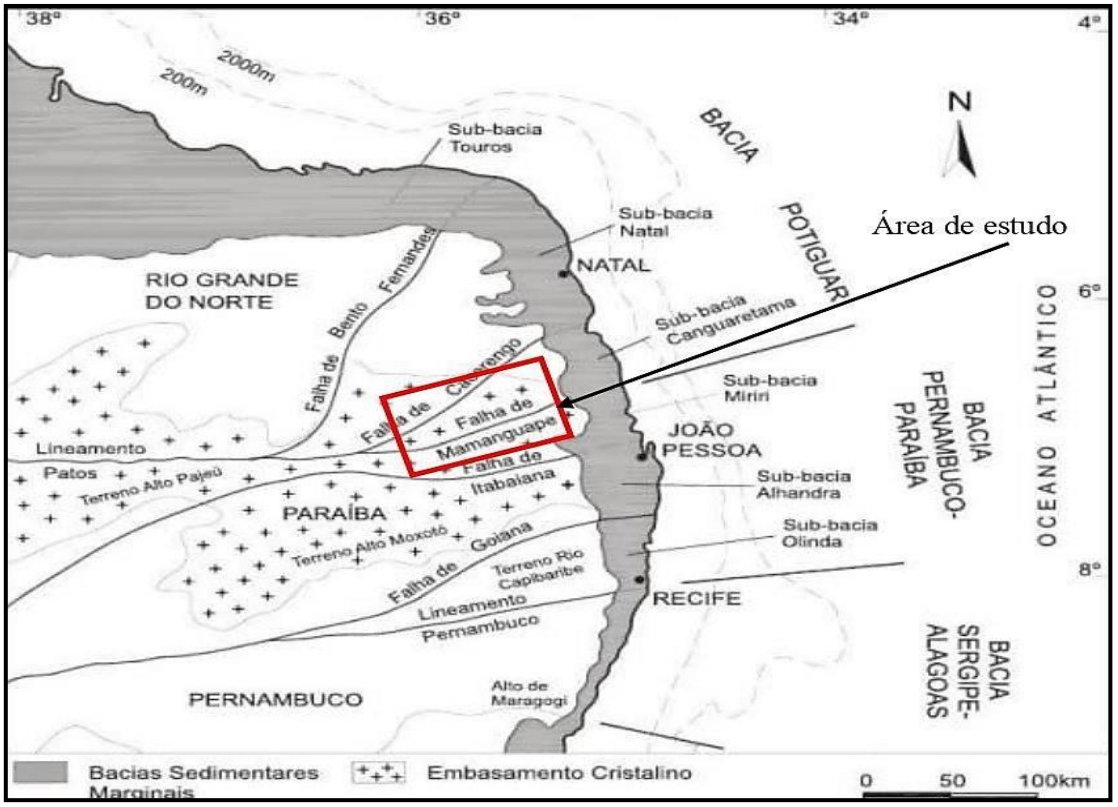


Figura 5: Mapa de compartimentação estrutural da área de estudo.
Fonte: Furrier 2006 adaptado pelo autor, 2023.

Formação Sertânia: Caracteriza-se pela presença de gnaisses aluminosos migmatizados, sendo composta (principalmente) por um (granada)-sillimanita muscovita-biotita gnaisse de granulação média a fina, lepidogranoblástico, equigranular,mesocrático (cor cinza) e com bandamento (bandas quartzo-feldspáticas e biotíticas) incipiente a fino e retilíneo.

Conforme Santos *et al.* (2002), trata-se de uma sequência eminentemente metapelítica de grau metamórfico médio a forte, sendo extremamente migmatizada. Nessa unidade ocorrem também intercalações de mármores, rochas calcissilicáticas, metamáficas e raras formações ferríferas.

Complexo Serrinha - Pedro Velho: Compreende a maior parte da área a norte da zona de Cisalhamento Remígio- Pocinhos. Composto por ortognaisses félsicos,que também constituem mesossomas nos termos migmatíticos e intercalações básicas.

Na unidade Serrinha- Pedro Velho predominam biotita-hornblenda ortognaisses localmente bandados, com composição variando de trondjemítca a granodiorítica, localmente granítica com intercalações anfibolíticas e pequenas intercalações (1 cm a 4 cm de espessura) de rochas constituídas por 94% de epidoto e 5% de quartzo (SANTOS *et al*., 2002).

Formação Serra dos Martins: É uma morfoescultura (cobertura residual) do paleógeno, que se originou de feições tabulares e mesetas em platôs residuais, sendo porsua vez circundada por relevos residuais formados por rochas ígneas e metamórficas emparte da bacia do rio Araçagi, caracterizada por descontinuidades decorrentes da meteorização.

A Formação Serra do Martins foi revisada por Mabesoone (1966) que interpretou essa formação como depositada em ambiente fluvial. A base da formação é constituída por arenitos homogêneos e friáveis, esbranquiçados, mal selecionados, localmente conglomeráticos e caulinítico, com camadas silicificadas. Na porção média são descritos bancos de arenitos argilosos, homogêneos, de cor amarela-avermelhada, com grãos de quartzo subangulosos a arredondados. No topo da formação ocorre uma crosta laterítica de cor vermelha a roxa, com seixos de quartzo angulosos, mal selecionados.

Formação Seridó: Representada por espesso pacote de metapelitos com predomínio de anfibólitos, contendo poucas intercalações de metacalcários, rochas calssilicatas e anfibolitos, entre outras (BARBOSA & FURRIER (2008). As rochas mais antigas compreendem as ígneas, mas também podem ser metamórficas, resultantes de um metaformismo de rochas metassedimentares, que por sua vez possuem grandes resistências aos processos de dissecação. Já as rochas mais recentes são as de origem sedimentar, podendo ocorrer também rochas metamórficas, que podem ser mais suscetíveis a processos intempéricos.

Pluton Esperança-Puxinanã: Localiza-se na porção noroeste da folha Campina Grande, apresentando estrutura NE-SW, fortemente condicionada por zonas de cisalhamento transcorrente. Esse corpo é associado ao denominado Plúton Esperança ou Complexo Granítico Esperança (ARCHANJO & FETTER, 2004).

Esse corpo granítico é caracterizado pela presença de fenocristais centimétricos a decimétricos de feldspato potássico. Geralmente os feldspatos apresentam caudas de recristalização, notadamente ao longo do contato meridional do corpo. Localmente a textura magmática é preservada na forma de fenocristais (sub)-euhédricos inseridos em uma matriz equigranular grossa (SAMPAIO et al., 2003).

A **figura 6** mostra o afloramento de granito na área de estudo, sendo ela uma rocha intrusiva onde se resfriou em profundidade e foi exumada pelos processos exógenos que ocorrem na superfície terrestre.

Figura 6: Afloramento de granito no município de Pilões-PB.
Fonte: Autor, 2023**.**

Metagranitóides Cariris Velhos: São compostos por rocha Migmatítica Peraluminosa, sendo de origem do mesoproterozóico, tendo leucogranitos e migmatitos de fonte crustal, que são geradas principalmente por fusão parcial de protólito sedimentar ou vulcanosedimentar, que se originou durante a orogênese dos Cariris Velhos (SANTOS *et al.* 2002).

De acordo com Brasil (2002), os metagranitóides Cariris Velhos correspondem aos leucogranitos, a duas micas peraluminosos ou crustais colisionais associados aempurrão, de protólito sedimentar ou vulcanoclástico, gerados em ambiente de colisão, do tipo continente-continente ou continente-arco.

Formação Jucurutu: Essa unidade é referida na literatura como uma sequência de rochas metassedimentares, com pequena contribuição de metavulcânicas. É constituída, predominantemente, por biotita-anfibólio gnaisse e biotita gnaisse, fortemente milonitizados. O biotita-anfibólio gnaisse apresenta textura no geral variando de granoblástica a milonítica, granulação fina a média e coloração cinza. A biotita-gnaisse apresenta textura milonítica, granulação fina a média e coloração cinza escura (JARDIM DE SÁ 1992).

Suíte Intrusiva Itaporanga: Os corpos/litotipos atribuídos a essa suíte são granitos, granodioritos e quartzo monzonitos porfiríticos (fenocristais de feldspato atingindo 2 a 5 m de comprimento), essencialmente leucocráticos, que geralmente apresentam assinaturas aeroradiométricas e por vezes aeromagnéticas características.

Conforme ressaltado no item anterior, não é rara a presença de diorito/quartzo em corpos dessa suíte, através de processos de coexistência de magmas. Uma das feições mais comuns de processos de coexistência de magmas nessa suíte são os enclaves microgranulares máficos. No geral, apresentam-se com formas arredondas e elípticas, às vezes alongadas e orientadas, com dimensões que variam de alguns centímetros até 1,0 m (Foto 3.29) (Sampaio, 2005; MORAIS NETO, 1999).

Suíte Gabro Diorito: É formada por rocha Monzonítica. As rochas dessa suíte ocorrem na porção central (área próxima a Casserengue), extremo norte da folha Solânea, e estão associadas aos granitóides da suíte intrusiva Solânea. São monzonitos e gabros dioritos grossos a médios, piroxênios e biotita (NASCIMENTO, 2000).

Granitóide Calcioalcalino: Unidade geológica do paleoproterozóico também inserida em parte da Sub-bacia, formada por augen-gnaisse granítico, leuco-ortognaisse e quartizo monzonitico a granítico. (MORAIS NETO1999).

Granitóide Esperança: Juntamente com o corpo granítico de Puxinanã é associado ao denominado Batólito Esperança (Santos et al., 2002), Plúton Esperança (Archanjo & Fetter, 2004) ou Complexo Granítico Esperança. Esses corpos graníticos afloram na porção nordeste da Folha Campina Grande e são delimitados a norte pelo Lineamento Patos e a sul pelas zonas de cisalhamento Matinhas e Campina Grande. Apresentam-se como corpos orientados internamente, afetados por zonas de cisalhamento (sinistrais), e apresentam assinatura aeroradiométrica marcante, onde é evidenciado o alto teor em potássio desses corpos (SAMPAIO et al., 2003).

Suíte Intrusiva Dona Inês: As rochas que compõem essa suíte na região da Folha Campina grande, no geral são representados por pequenos corpos de leucogranitos e monzogranitos, equigranulares ou microporfiríticos, com textura médiaa fina (Foto 3.38). São constituídos essencialmente por plagioclásio (oligoclásio), microclina e quartzo, tendo biotita como principal mineral máfico. Localmente são observados xenólitos das rochas encaixantes.

Essa suíte é representada no Terreno São José do Campestre pelas intrusões de Dona Inês, Serra do Camucá e por várias outras intrusões menores, que ocorrem como diques e stocks. Introduzem principalmente ortognaisses paleoproterozóicos e de forma menos frequente, cortam os metassedimentos e os granitóides do Plúton Solânea (GUIMARÃES et al., 2005).

Depósitos Areno-argilosos: São formados por depósitos de argila ao longo de parte da margem Sul do rio Araçagi na Superficie Litorânea, especificamente no baixo curso, com a presença de argilitos, areia e cascalhos.

Os depósitos aluvionários são representados pelos depósitos neógenos que afloram na porção sudeste do leito do rio Araçagi, especificamente no baixo curso, próximo a foz, sendo constituídos por sedimentos arenosos e conglomeráticos inconsolidados (DIAS 2004).

Formação Barreiras: Correspondem aos sedimentos correlacionáveis ao Grupo Barreiras que também são observados recobrindo a Formação Serra do Martins, em todas as ocorrências da Formação Serra do Martins na folha Solânea (Assis, 1967, 1985;Morais Neto, 1999).

O contato entre essas formações é marcado por uma superfície de discordância erosiva e intenso processo de laterização. Os litotipos são siltitos e arenitos (serra de Araruna), e arenitos argilosos e conglomeráticos (Serra Solânea – Bananeiras), geralmente caulinizados e com aspecto friável.

Em nenhum local foi reportado processos de silicificação, ao contrário do observado nos sedimentos da Formação Serra do Martins, considerando o empilhamento estratigráfico das coberturas sedimentares observado na folha Solânea, concluindo assim que um importante pulso de soerguimento ocorreu após a deposição da Formação Barreiras, posterior ao Plioceno (MORAIS NETO (1999).

No mapa a seguir **figura 7**, pode-se visualizar de forma detalhada as unidades geológicas inseridas na Sub-bacia do rio Araçagi.

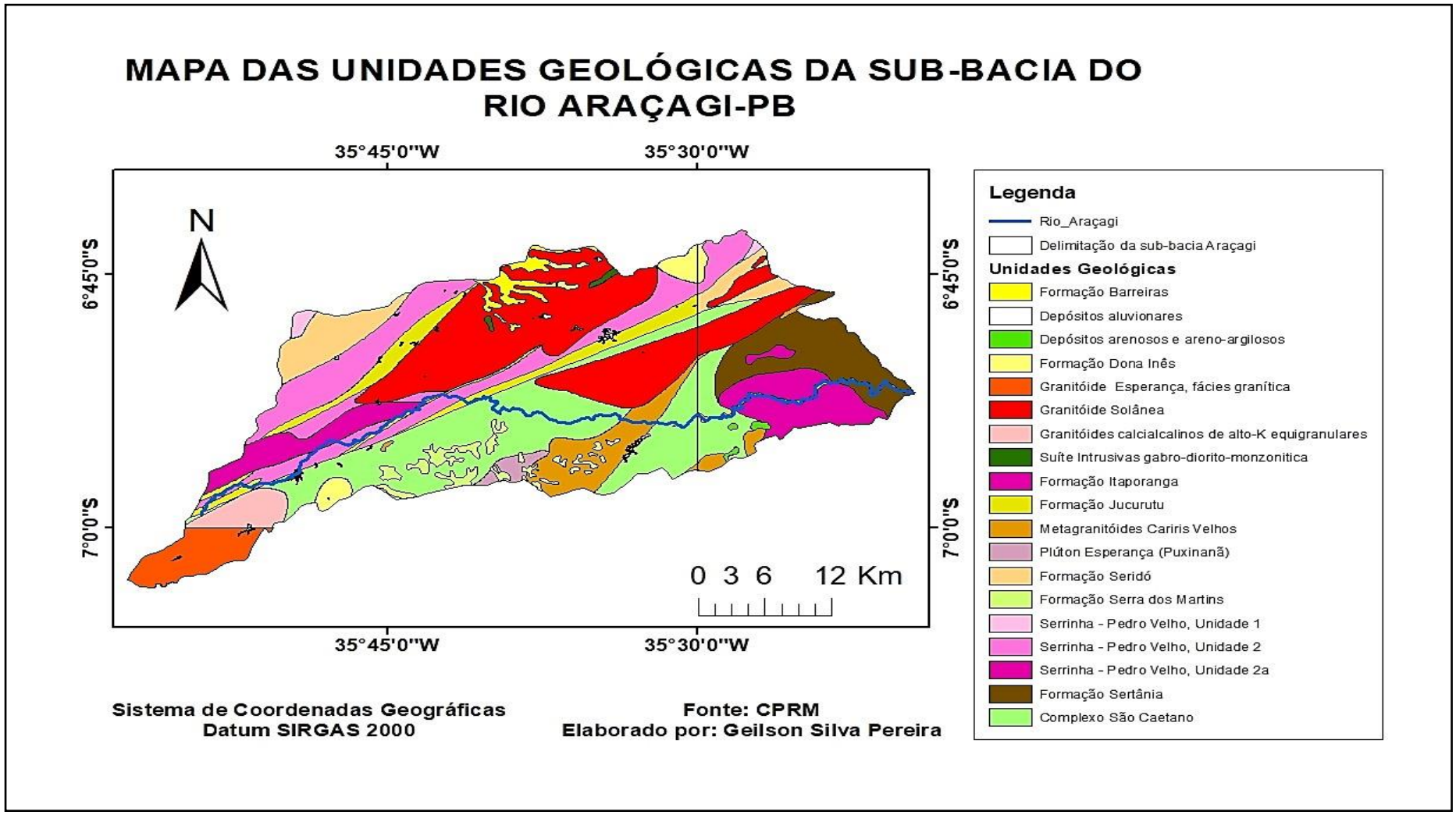


Figura 7: Mapa geológico da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.3 SOLOS

Os solos da área de estudo são classificados, de acordo com BRASIL (1972), por regiões geográficas, que estão divididas da seguinte forma: Alto Agreste, Brejo e Baixo Agreste. No Alto Agreste, onde nasce o rio Araçagi, até chegar próximo ao Brejo, os solos predominantes nas áreas mais úmidas são os Argissolos vermelho amarelos, já os Nitossolos Vermelhos e Latossolos Vermelho Amarelos ocorrem na área mais seca. Ao norte ocorrem os Neossolos Regolíticos Eutróficos e os Luvissolos, tanto no alto curso como no baixo curso.

Na sub-bacia podem ser encontrados o Argissolo Vermelho Amarelo, o Nitossolo vermelho e o Latossolo Vermelho Amarelo, ocorrendo em poucas áreas da Sub-bacia. Na área central da Superfície Pré-litorânea e ao longo da encosta do Planalto, a sudoeste, ocorrem os Luvissolos. Portanto, nessa área, onde a precipitação é maiselevada e o relevo é plano a suave ondulado, ocorrem os Argissolos Vermelho Amarelos textura média, associados aos Argissolos Vermelho Amarelos em relevo suave ondulado e escarpado e os Neossolos Litólicos em relevo ondulado (BRASIL, 1972).

Na **figura 8** é possível visualizar os tipos de solos da sub-bacia do rio Araçagi.

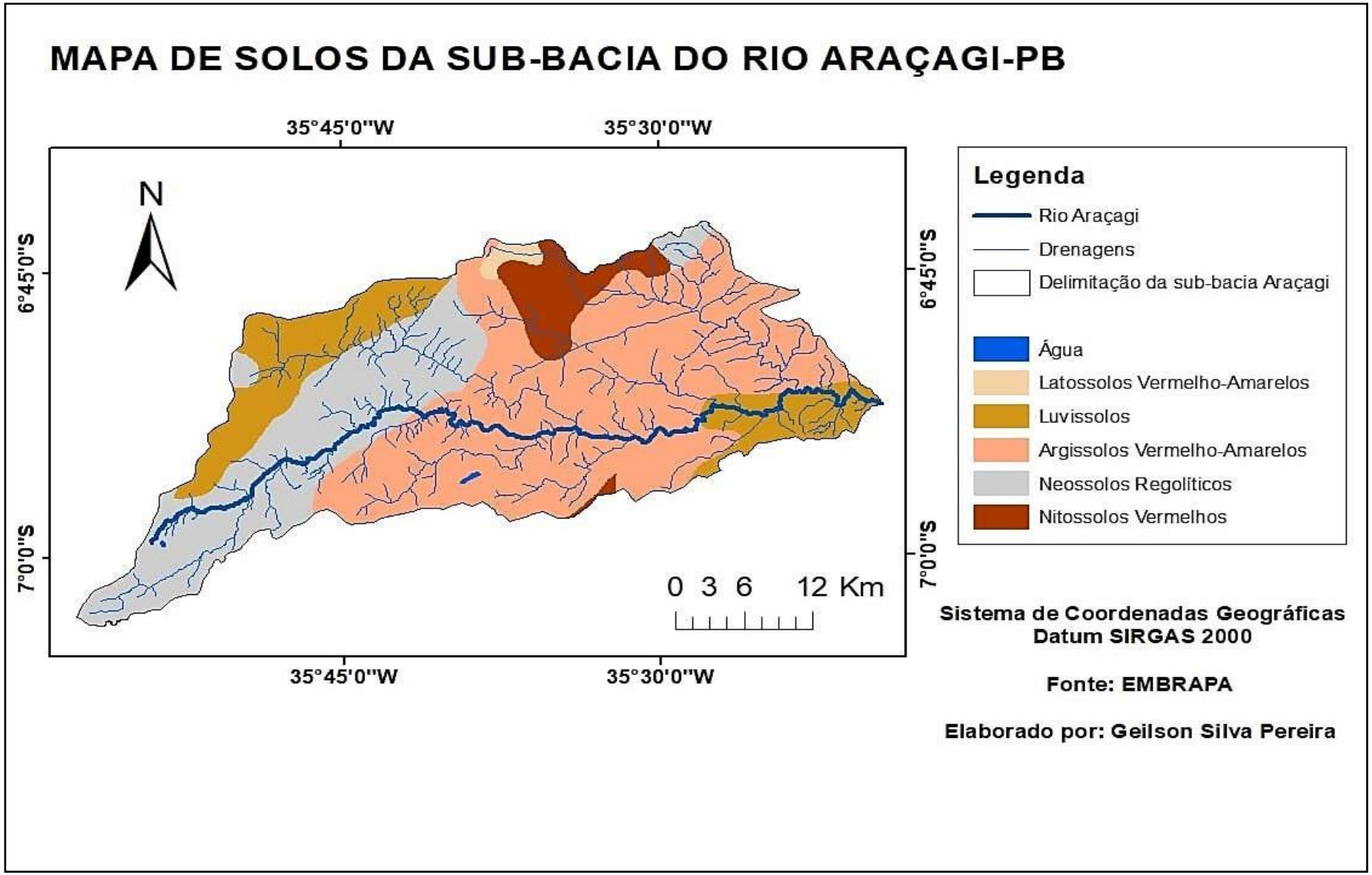


Figura 8: Mapa de classes de solos da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

4.3.1 CARACTERÍSTICAS DOS PRINCIPAIS TIPOS DE SOLOS

Os Argissolos são do grupo de solos com horizonte B textural, com argila de atividade baixa, ou atividade alta, conjugada com saturação por base baixa ou com caráter alumínico. Estão em estágio de evolução avançada, com atuação incompleta de processo ferratilização, em conexão com paragênese caulinitico-oxididica ou virtualmente caulinítica ou vermiculita, com hidróxido de alumínio entre camadas na vigência de mobilização de argila da parte mais superficial do solo, com concentração ou acumulação em horizonte subsuperficial (SBCS, 2018).

Os Latossolos Vermelho-amarelos compreendem solos minerais imperfeitamente ou mau drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial de textura mais leve, que contrasta abruptamente com horizonte B imediatamente subjacente adensado, geralmente de acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta ou muito lenta, constituindo, por vezes, um horizonte pa, condição essa que responde pela restrição à percolação de água, independentemente da posição do lençol freático, ocasionando retenção de água por algum tempo acima do horizonte B, o que se reflete em feições associadas ao excesso de umidade. Esses tipos de solos abrangem solonetz-solodizados e parte hidromórficos cinzentos (SBCS, 2018).

Os Luvissolos compreendem solos minerais não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação por base alta, imediatamente abaixo de horizonte A ou horizonte E. Solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte B textural com argila de atividade de alta saturação por base alta na maior parte nos primeiros 100 cm do horizonte B (SBCS, 2018).

Os Neossolos compreendem solos constituídos por material mineral ou por material orgânico pouco espesso que não apresentam alterações expressivas em relação aomaterial originário devido à baixa intensidade de atuação dos processos pedogenéticos, seja em razão de características inerentes ao próprio material de origem (como maior resistência ao intemperismo ou composição químico-mineralógica), seja em razão da influência dos demais fatores de formação (clima, relevo, ou tempo), que podem impedir ou limitar a evolução dos solos (SBCS, 2018).

Os Nitossolos compreendem solos constituídos por material mineral com horizonteB nítico textura argilosa (Teores de argila iguais ou maiores que 350 kg TSA), desde a superfície do solo com estrutura em blocos subangulares, ou angulares ou prismáticas degrau moderado ou forte, com cerosidade expressiva e/ ou caráter retrátil.

4.4 CARACTERIZAÇÃO GEOMORFOLÓGICA DA SUB-BACIA ARAÇAGI

A geomorfologia da área de estudo é formada pelo planalto da Borborema e pela superfície Pré-Litorânea. Conforme afirma Gondim (1999), a localização do brejo paraibano está entre a faixa oriental da Borborema e a superfície Pré-Litorânea. A superfície se localiza no baixo agreste, enquanto que o planalto da Borborema se estende do Brejo ao Alto Agreste. É importante ressaltar que não será utilizado o termo depressão, pois muitos autores estão utilizando o termo superfície, portanto a antiga depressão sublitorânea será citada neste trabalho como superfície Pré-Litorânea, segundo COSTA *et al* (2018).

No planalto da Borborema é possível observar áreas abruptas com altitudes de 200 metros a cerca de 700 metros acima do nível do mar. O planalto da Borborema possui 80% de seu substrato rochoso formado por rochas pré-cambrianas cristalinas, bacias sedimentares, rochas vulcânicas do período cretáceo, coberturas plataformais paleógenas e neógenas com formações superficiais do quaternário (SANTOS, FERREIRA e SILVA JUNIOR 2002).

O maciço da Borborema ocorre na forma de escarpas abruptas (frente oriental) sendo uma extensa área com superfície elevada e aplainada. O planalto se desenvolve na frente escarpada do Leste até suas encostas de Oeste, limitando-se com o pediplano sertanejo (Moreira, 2002).

No mapa da **figura 9** é possível observar o domínio morfoescultural onde a sub-bacia do rio Araçagi está inserida.

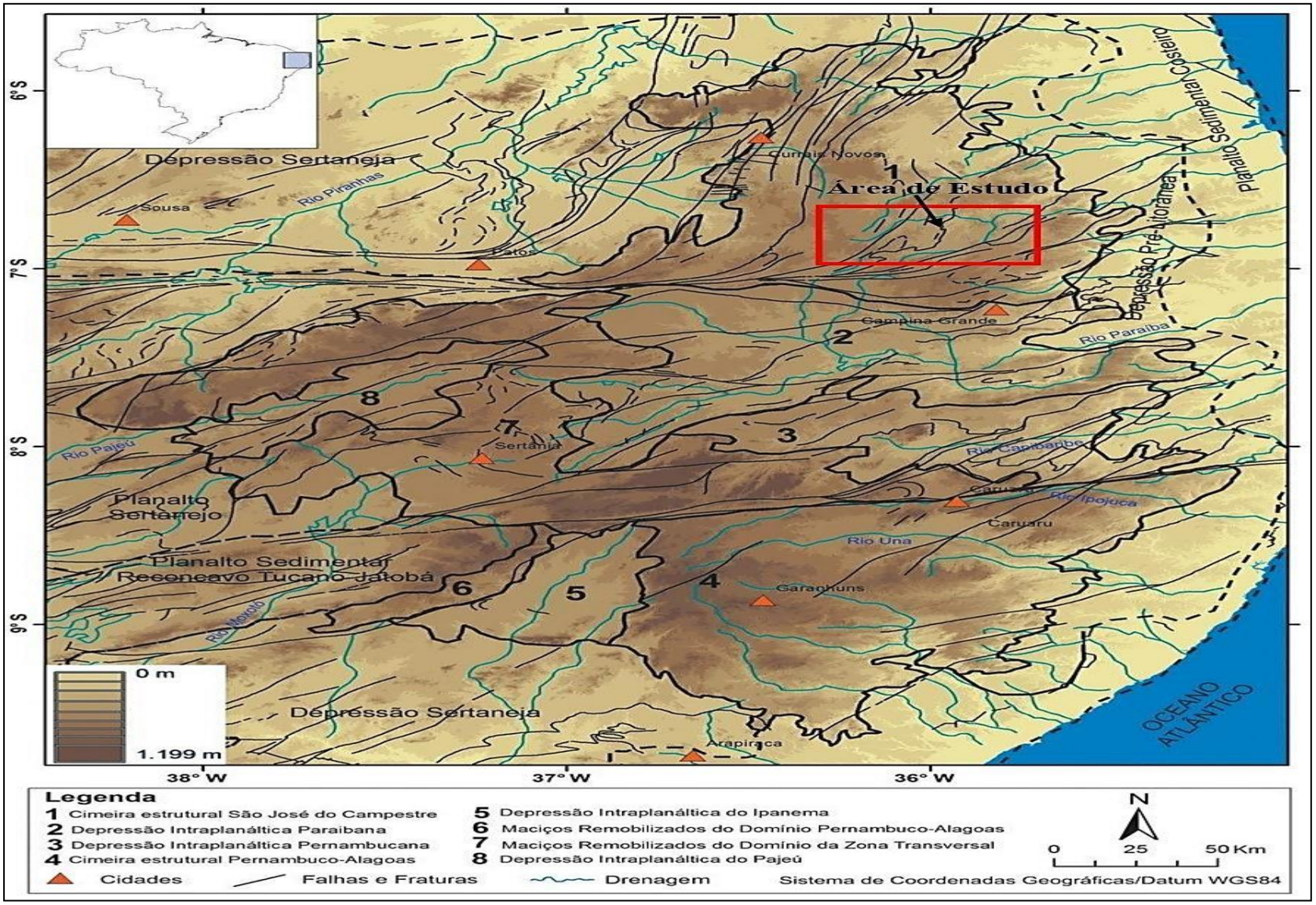


Figura 9: Mapa do domínio Morfoescultural da área de estudo.
Fonte: Corrêa, 2010, adaptado pelo autor, 2022.

O relevo do maciço da Borborema possui um conjunto de terras altas distribuídos ao longo da faixada do Nordeste oriental do Brasil ao Rio São Francisco com cotas superiores a 200 metros, sendo seus limites marcados por uma série de desnivelamentos topográficos (PEUVASTE, CLAUDINO SALES, 2004). Cestaro *et al* (2007) comentam que o planalto da Borborema é caracterizado como uma unidade de paisagem no nível de região natural que se configura como um sistema de grande expressão territorial do Nordeste brasileiro, composto pelo substrato rochoso e por processos exógenos que geram inúmeras formas de relevo.

Piveta (2012) relata que a teoria mais aceita da origem do planalto está relacionada a divisão da América do Sul com a África no período da era mesozóica, quando gerou-se um estiramento da crosta terrestre em algumas áreas onde hoje é o Nordeste do Brasil, assim como o aparecimento de elevações em certos pontos como o maciço da Borborema.

Segundo Côrrea (2010), as encostas da Borborema são marcadas por um alinhamento diferencial, no qual se distingue na porção setentrional no sentido NE-SW. Essa área encontra-se totalmente dissecada em direção a faixa litorânea, tendo suas altitudes variando entre 200 e 500 metros, com serras ultrapassando os 600 metros acima do nível do mar, assim como picos chegando a mais de 1000 metros.

Rodrigues (2012) ressalta que a altitude e a disposição da escarpa relacionadaaos ventos úmidos do litoral, favorecem a formação de chuvas orográficas nesses ambientes e dessa forma a pluviosidade contribui para o surgimento de rios perenes e degrande poder erosivo, sendo situadas nessas áreas as nascentes de rios importantes do estado da Paraíba como o Mamanguape, Araçagi e vários riachos que compõem a sub- bacia do rio Araçagi e a grande bacia do rio Mamanguape.

Na representação a seguir **figura 10** é possível visualizar a escarpa oriental da Borborema e seus limites com a superfície Pré-Litorânea.

Figura 10: Escarpa oriental da Borborema e seu limite com a superfície Pré-Litorânea no município de Cuitegi-PB.
Fonte: Autor, 2023.

Vários estudiosos discutem e questionam ~~sobre~~ a origem da escarpa da Borborema. Matsumoto (1974 *apud* CARVALHO, 1982) relata que tanto a frenteescarpada da Borborema poderia corresponder a uma escarpa de falha ou pode ter sido dissecada através de interferência indireta de um possível falhamento, dessa forma constituindo uma escarpa de linha de falha.

Sendo assim, os autores não descartam a possibilidade de a escarpa ter sido formada por processo tectônico, uma vez que para Matsumoto o formato linear que ela apresenta não pode ser explicada apenas por processos erosivos. Na representação a seguir **figura 11**, é possível observar as unidades geomorfológicas da sub-bacia do rio Araçagi.

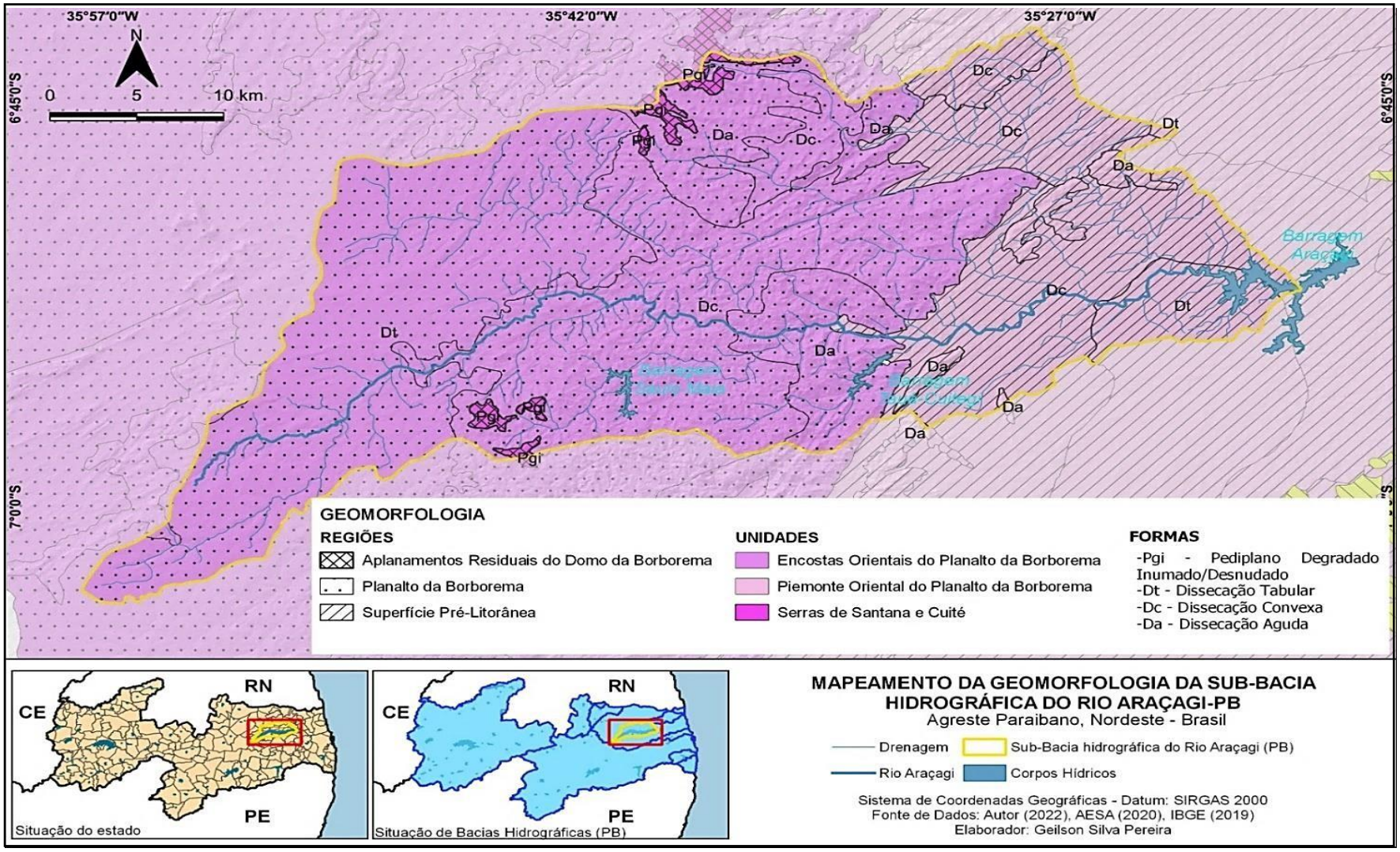


Figura 11: Mapa geomorfológico da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

O planalto da Borborema possui uma grande amplitude, e é circundado por depressões periféricas de circundesnudação, as quais separam das áreas sedimentares cretáceas e terciárias do Norte, Sul, Leste e Oeste (AB' SABER, 1952).

Na figura 12 pode-se visualizar os aspectos altimétricos da sub-bacia do rio Araçagi.

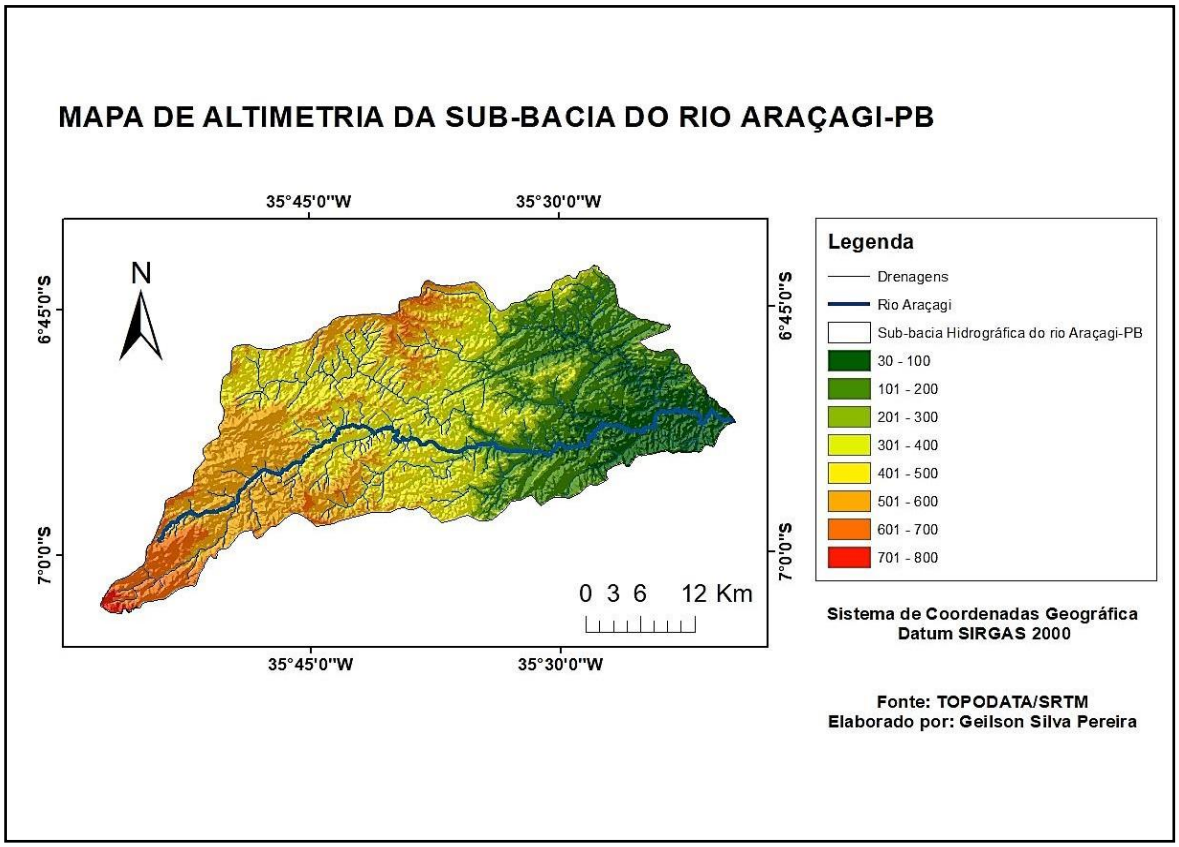


Figura 12: Mapa de altimetria da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Com relação a superfície Pré-Litorânea, ainda não é conhecida a sua gênese da de forma satisfatória, embora seu desenvolvimento tenha sido atribuído a exumação de sedimentos miocênicos da formação barreiras que a milhões de anos no passado se estendia até o sopé da formação geomorfológica da Borborema (CARVALHO, 1982).

A presente atribuição hipotética se deu pelos diversos exemplares de morros colinas e pequenos platôs sedimentares que resistiram aos processos erosivos ao longo do tempo geológico. Na **figura 13** é possível visualizar a superfície Pré-litorânea no município de Araçagi.

Figura 13: Superfície Pré-litorânea no município de Araçagi.
Fonte: autor, 2022.

A área desnudada da superfície pré-litorânea apresenta-se como um relevo semicolinoso, de topos semiarredondados e encostas no geral convexas, tendo feições semelhantes as áreas mamelonares. Os vales são abertos e pouco profundos, sendo percorridos por rios totalmente intermitentes e alguns córregos efêmeros.

4.5 HIDROGRAFIA

A sub-bacia do rio Araçagi está inserida na porção oriental do estado da Paraíba,fazendo parte da bacia hidrográfica do rio Mamanguape, que é uma das principais bacias hidrográficas da porção oriental da Paraíba. Ao longo do rio Araçagi foi possível perceber que em determinados trechos o rio possui características de perenidade, intermitência e efemeridade.

A Sub-bacia do rio Araçagi possui um padrão de drenagem dendrítico, que segundo Cunha (1994), é uma drenagem com característica arborescente semelhante aos galhosde um vegetal, sendo essa drenagem desenvolvida especialmente em rochas de alta resistência com uniformidade ou pode-se dizer que ela se desenvolve em rochasestratificadas horizontalmente (CPRM, 2005). Na **Figura 14** é possível visualizar como ocorre uma drenagem dendrítica.

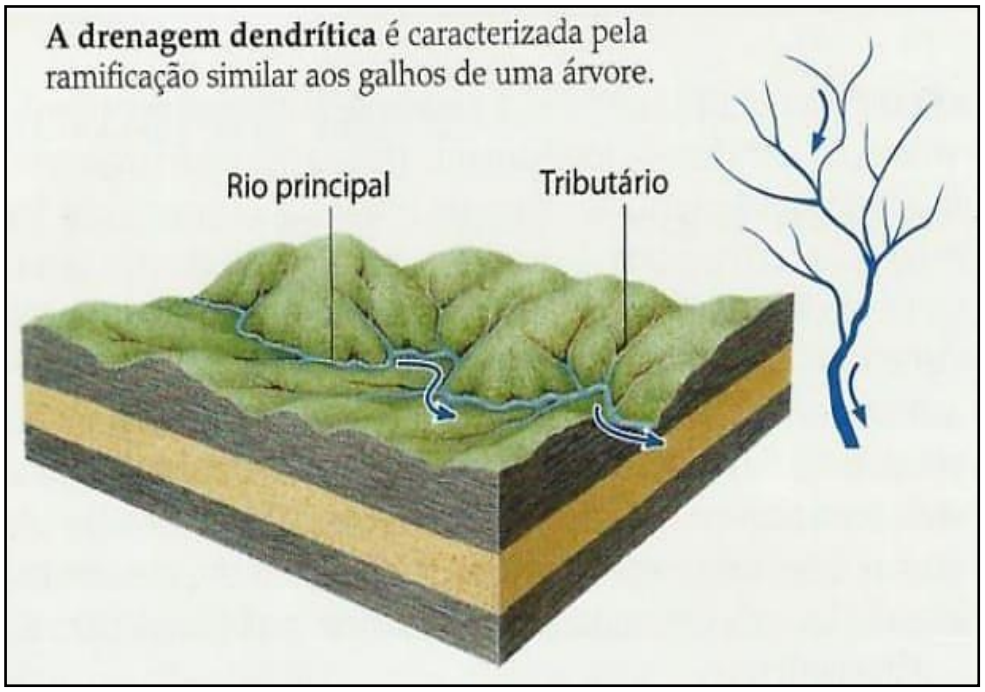


Figura 14: Padrão de drenagem da sub-bacia.
Fonte: Press *et al* 2013 adaptado pelo autor, 2023.

A Sub-bacia do rio Araçagi se estende desde o alto Agreste, no topo do planalto da Borborema, com mais de 700 metros acima do nível do mar. Pelas condições de semi-aridez dessa área, o rio apresenta regime efêmero . Na parte central da bacia pode-se encontrar os brejos de altitude, onde o rio seapresenta com regime permanente , pelo fato dessa área possuir alta pluviosidade, se comparado com as demais áreas da sub-bacia. Ao chegar no Baixo Agreste, na superfície Pré- litorânea, o rio se torna intermitente, sendo a pluviosidade mais baixa que as áreas do brejo. Na **figura 15** pode-se visualizar o perfil longitudinal do rio Araçagi.

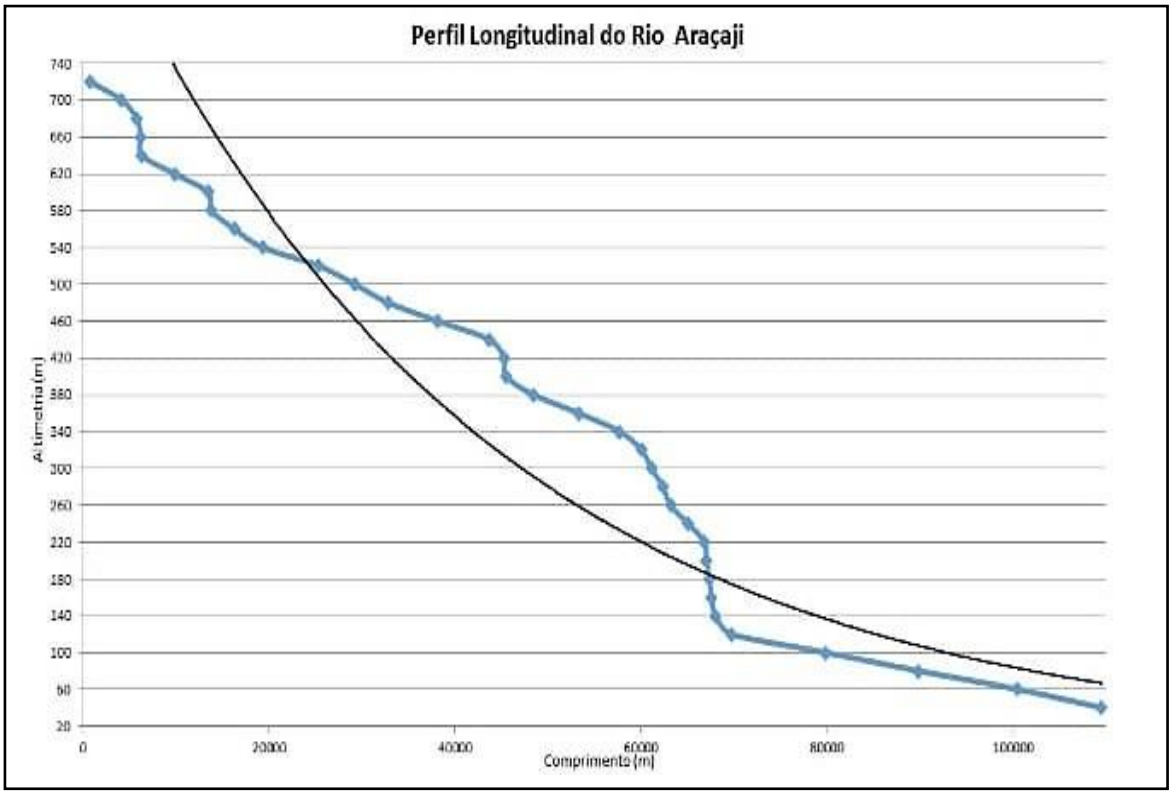


Figura 15: Perfil longitudinal do rio Araçagi.
Fonte: Corrêa 2023 adaptado pelo autor, 2024.

A figura mostra o perfil longitudinal do rio Araçagi com níveisaltimétricos de 740 metros na sua nascente, até chegar na superfície Pré-litorânea, no baixo curso, com altimetria variando de 100 a 200 metros.

A sub-bacia do rio Araçagi possui inúmeros córregos que drenam as suas águas para o rio Araçagi, sendo todos esses pequenos rios de regime intermitente, porém é importante destacar cinco deles, que possuem extrema importância para grande parte da região do Agreste Paraibano: Araçagi-Mirim, Rio do Canto, rio Tauá, rio Guarabira e o rioBananeiras. No mapa da **figura 16** observa-se a hidrografia da sub-bacia Araçagi.

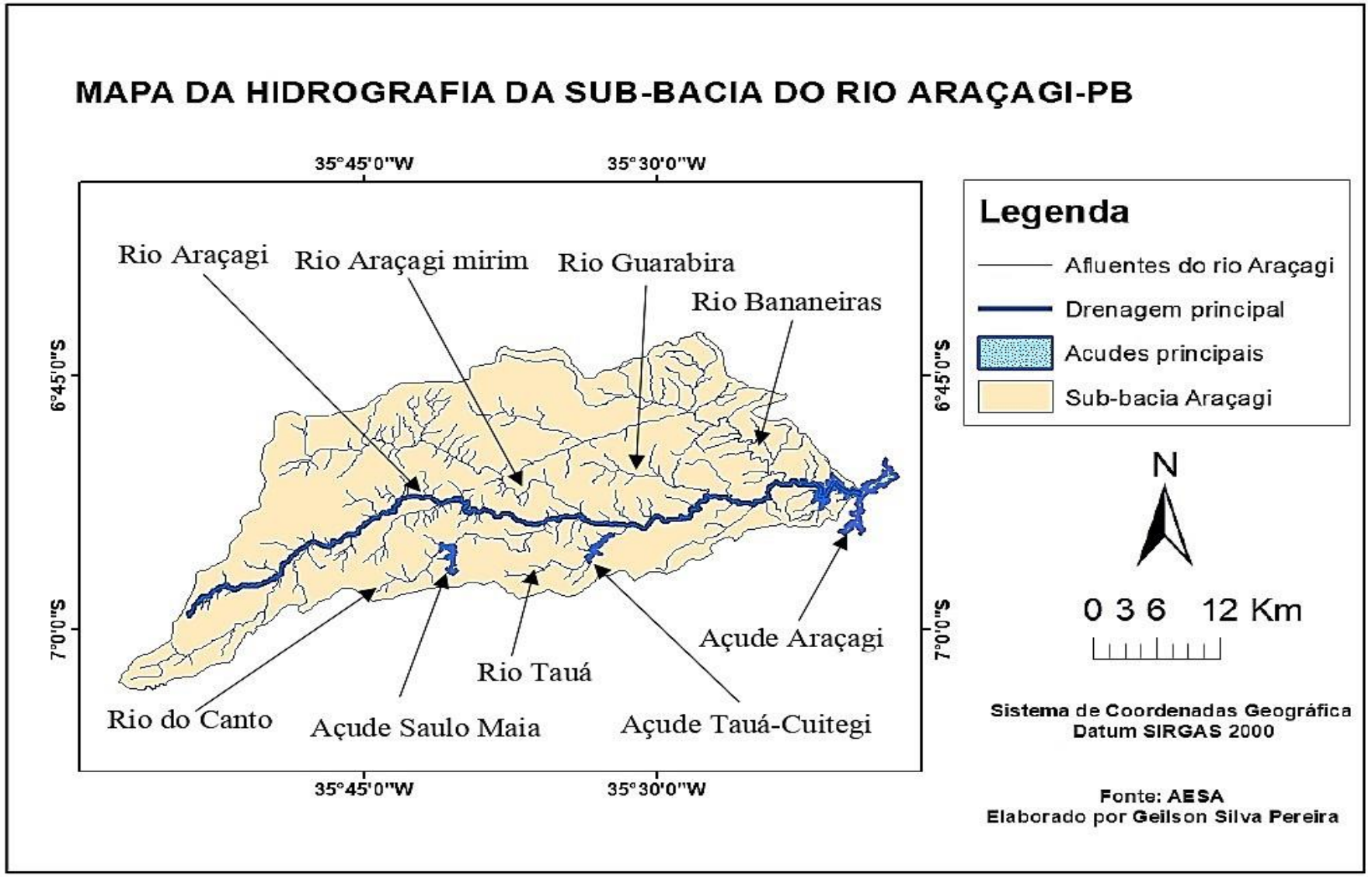


Figura 16: Mapa de hidrografia da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O rio Araçagi Mirim é um rio que nasce entre os municípios de Arara e Serraria, e drena as suas águas até chegar no município de Cuitegi. Com regime intermitente, esse pequeno rio abastece os balneários de Poço Escuro e Comunidade Veneza no município de Pilões, que são muito procurados por turistas de várias partes da Paraíba nos períodos de inverno. É importante ressaltar que há várias marmitas em seu leito, como a marmita do Gigante, muito conhecida e visitada pelos turistas (CARDOSO et al, 2014).

O rio do Canto se localiza no brejo paraibano, no município de Areia, percorrendo áreas com altitudes que variam de 600 a 650 metros. Esse rio e os riachosCaiana e Bananeiras são os principais corpos hídricos responsáveis por levar água paraa barragem Saulo Maia, que se destaca como uma das maiores barragens do brejo paraibano.

Pode-se encontrar nesse rio a cachoeira da Manga, que serve deatrativo turístico para muitas pessoas da Paraíba. A cachoeira está em um local de difícilacesso, mas sua beleza continua despertando o interesse daqueles que amam contemplar a natureza (AGUIAR *et al* 2014).

O rio Bananeiras tem sua nascente entre os municípios de Bananeiras e Borborema, no Brejo paraibano. É um rio que possui muita importância para as populações de Bananeiras, Borborema e Pirpirituba, desaguando no encontro do rio Araçagi com o Mamanguape.

No rio Bananeiras pode-se encontrar a cachoeira do Roncador, que ainda é motivo de debate se pertence ao município de Borborema, Bananeiras ou até mesmode Pirpirituba. A Cachoeira do Roncador possui a maior queda d'água do estado da Paraíba, com 45 metros de altura, por isso ela é um dos principais atrativos turísticos do estado (SOUZA, 2014).

O rio Guarabira nasce no município de Pilõezinhos e tem uma extensão de 10 km até chegar no rio Araçagi. Ele é o principal afluente do rio Araçagi na região do Baixo Agreste, possuindo grande parte de suas águas poluídas pela cidade de Guarabira (PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARABIRA, 1987; ARRUDA et al, 2010).

O rio Tauá é intermitente e nasce no município de Areia entre os sítios Laginha, Barra do Quati e Bom Retiro, sendo de grande importância para disponibilizar água para a barragem Tauá-Cuitegi (SAAE, 2022). No rio Tauá está localizada a cachoeira do Tauá - ainda pouco explorada pelo turismo- tendo quatro quedas d'água, sendo uma das mais altas de todo estado e ainda pouco conhecida pela população paraibana.

O rio Tauá é extremamente importante por abastecer o açude Tauá-Cuitegi . Desse rio é extraída água para as cidades de Alagoinha, Cuitegi, parte de Guarabira, Pilõezinhos e o Distrito Canafístula em Alagoa Grande (Cavalcante, 2004).

4.6 CLIMA

O estado da Paraíba apresenta diferentes condições climáticas. Barbosa (2013) menciona que os climas do estado estão relacionados com a proximidade com o Oceano Atlântico onde existem condições atmosféricas mais úmidas, enquanto que em áreas afastadas do litoral o ar é mais seco.

A sub-bacia do rio Araçagi se encontra inserida no estado da Paraíba, na porção leste do Nordeste, onde, segundo a proposta de Mendonça e Danni-Oliveira (2007), predomina o clima tropical do nordeste oriental, com uma quadra chuvosa a partir dos meses de abril, maio, junho e julho, se estendendo do litoral do Rio Grande do Norte atéo Sul da Bahia (MOLLION E BERNARDO, 2002).

A **figura 17** mostra os climas do Brasil, com destaque para o clima atuante na sub-bacia do rio Araçagi.

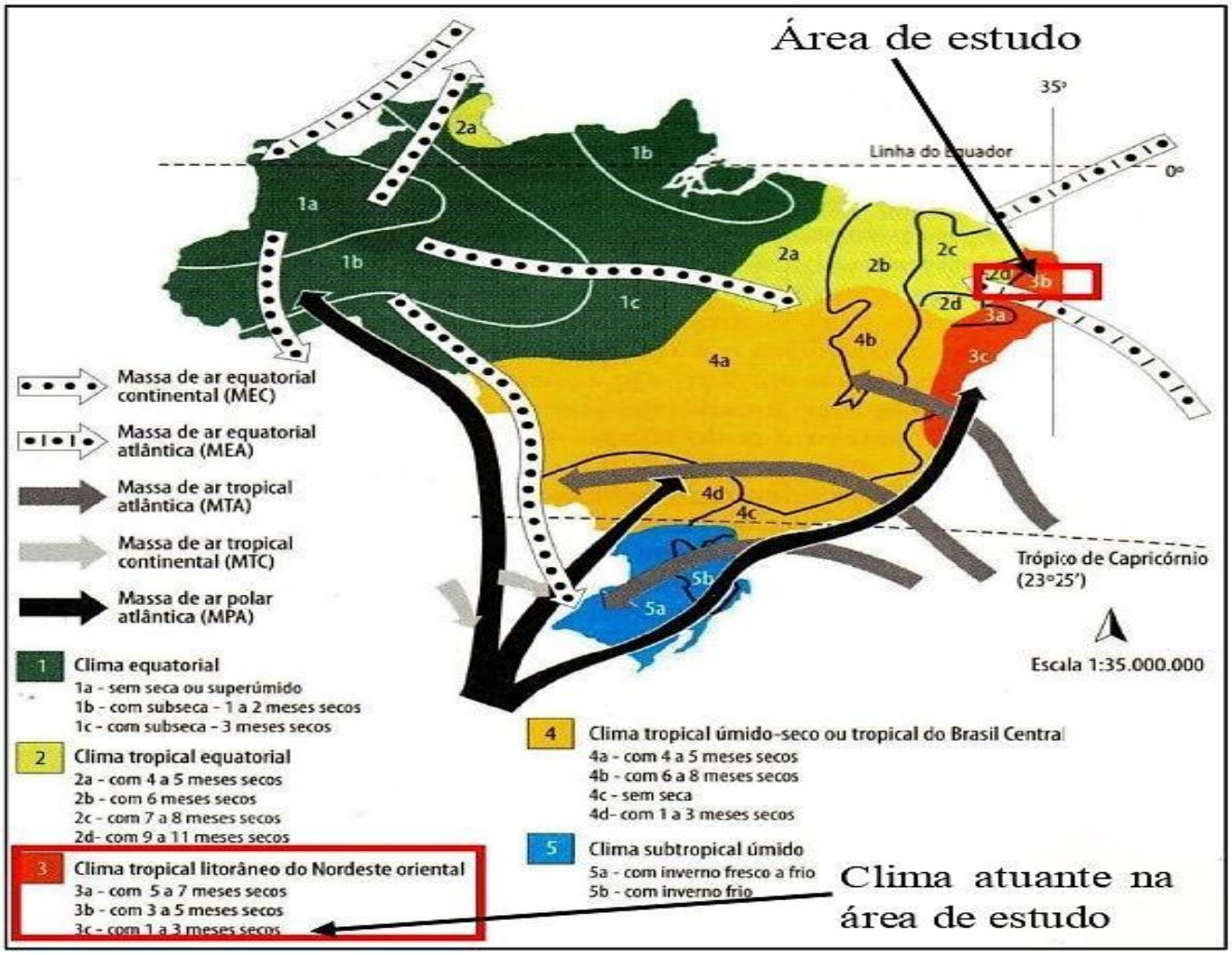


Figura 17: Mapa dos tipos climáticos do Brasil.
Fonte: Mendonça e Danni Oliveira, 2007 adaptado pelo autor, 2023.

Os Sistemas que atuam na área de estudo são de grande escala, de mesoescala e de microescala. Os sistemas de grande escala são: a Zona de ConvergênciaIntertropical (ZCIT), que atinge o leste do nordeste no outono, especificamente nos meses defevereiro e março, podendo se estender até de abril; a MEA: Massa equatorial atlântica, que ocorre na primavera; as Frentes frias (RFF), que ocorrem no inverno (PEREIRA, 2014).

Os Sistemas de mesoescala são: OL ou DOL: Ondas de leste ou distúrbios ondulatórios de Leste. Ocorrem principalmente no outono/inverno, nos meses de abril,maio, junho e julho, podendo se estender até parte de agosto; VCAS: Vórtice Ciclônicode ar Superior, com maior frequência nos meses de janeiro e fevereiro, (Gan e Kousky1982); CCMS: Complexos convectivos de mesoescala, que ocorrem principalmente na primavera/verão; LI: Linhas de Instabilidade, que ocorrem de fevereiro e março. Já os sistemas de microescala são as brisas de vales e de montanhas.

(CAVALCANTI, 1982).O local da nascente do rio Araçagi é conhecido como Alto Agreste, região definida pela condição climática marcadamente azonal, a qual faz parte do cinturãopróprio de faixas áridas ou semiáridas do estado da Paraíba (FERNANDES, 2003, p.99).

Por estar localizada em área de agreste, se encontra inserida nazona intermediária entre uma zona úmida e outra seca, ou seja, em faixa de transição damata atlântica para a caatinga. Fernandes (op. Cit.) destaca as variações pluviométricaspor meio de estudos realizados na área onde se localiza a nascente do rio Araçagi, afirmando que:

> Com índice pluviométrico variando entre 250-800 mm anuais, raramente atingindo 1000 mm no Agreste (sem considerar o sistema serrano, sempre mais chuvoso), o fato mais importante a se destacar diz respeito à existência de uma estação chuvosa de 3-5 meses, alternando com um período de estiagem de 7-9 meses. (FERNANDES, 2003, p.100).

O autor afirma ainda que a formação dos brejos de altitude ocorre pelo fato dos ventos úmidos vindos das áreas litorâneas se encontrarem com elevações mais imponentes do planalto da Borborema, quando o ar se acumula e ascende a altas altitudes, causando chuvas orográficas e com isso há o aumento da umidade nessa área, proporcionando a formação dos chamados brejos de altitude, que são considerados os refúgios úmidos do agreste.

4.7 VEGETAÇÃO

A vegetação da sub-bacia do rio Araçagi é composta por vegetação de transição entre a mata Atlântica e a caatinga, ou seja, em área de ecótono de floresta estacional decídua típica de zona de Agreste. A área de estudo está inserida no domínio morfoclimático de faixas de transição.

Os ecótonos de forma geral, podem ser entendidos como áreas de tensão ecológica, onde, na maioria das vezes, se desenvolve um conjunto misto de espéciese tipos de vegetação, possuindo estruturas parecidas com as formações próximas com espécies exclusivas (ODUM, 1988, MENDES et al, 2010, CORDEIRO et al, 2015). Na**figura 18** é possível visualizar a vegetação de facheiro típica da caatinga na nascente do rio Araçagi, no município de Areial-PB.

Figura 18: Espécie de facheiro na nascente do rio Araçagi no município de Areial-PB.
Fonte: autor, 2023.

Pode-se destacar algumas plantas típicas do Agreste como aroeira, jacarandá, cajueiro, pau-d'arco, entre outras que se misturam com as cactáceas leguminosas efêmeras, arbustos, palmeiras rasteiras e plantas epífitas, estando em solos pedregosos, mas com boa fertilidade (DUQUE, 2004.pag, 47). No mapa da **figura 19** a seguir, podem ser observadas as formações vegetais da sub-bacia do rio Araçagi.

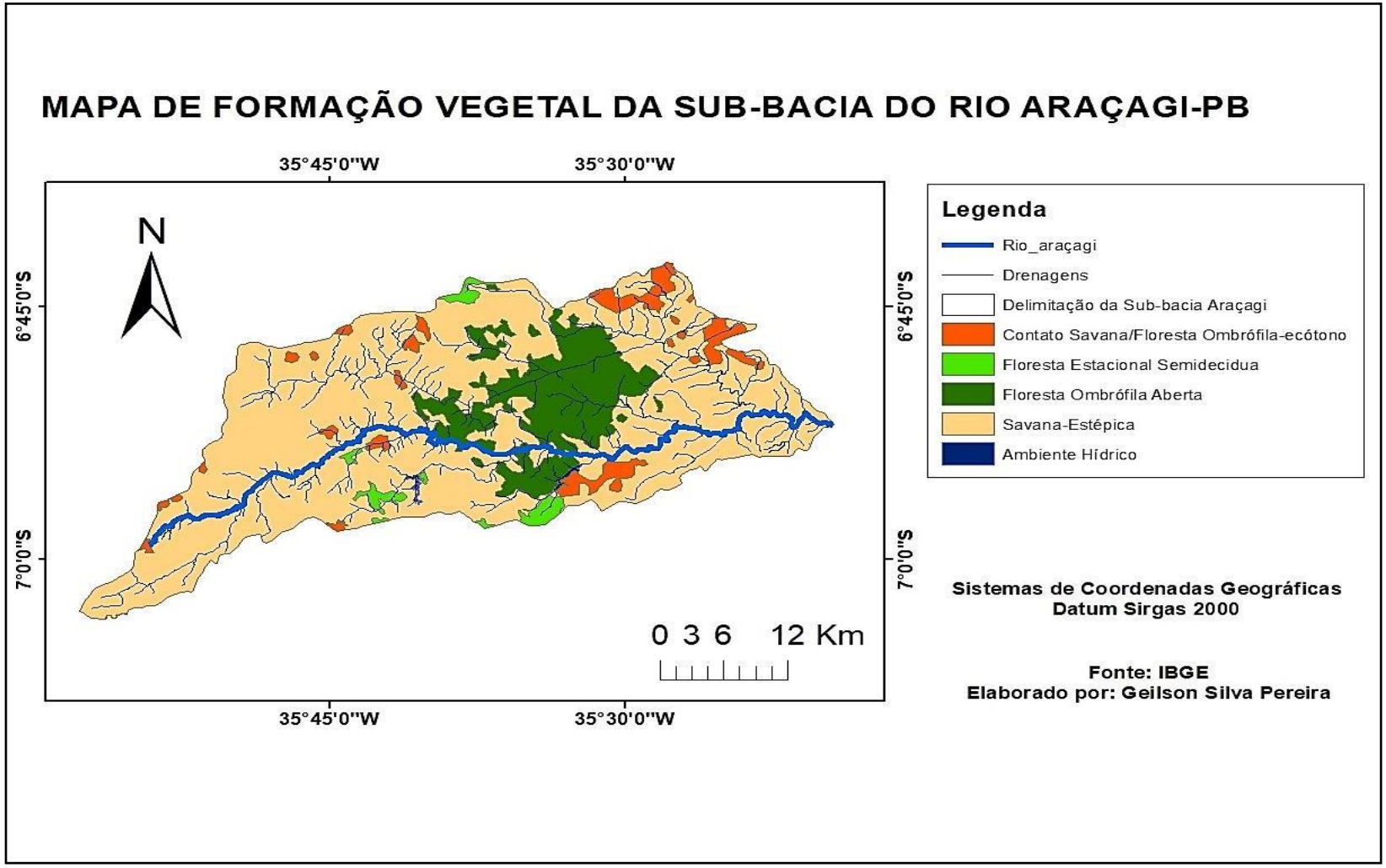


Figura 19: Mapa de formação vegetal da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Ab’Saber (2003.p, 89) afirma que grande parte do Agreste é coberto por caatinga arbórea entremeada ou não por matas secas, vegetação caducifólia que a princípio parece ter pouca biodiversidade, principalmente nos períodos de excisão. A planta nessa época perde as folhas, tendo seus galhos raquíticos sobre o chão limpo e contendo apenas seixos de rochas, causando a impressão de que não tem vida nesse ambiente. Vale salientar que isso é apenas um mecanismo de sobrevivência do vegetal.

No brejo, se configura com vegetação de porte arbóreo, que estando em área de transição entre a caatinga e a mata úmida, abriga espécies variadas de plantas típicas da mata atlântica, como também da caatinga hipoxerófila, área que pode-se chamar de ecótono, onde há a mistura de várias espécies de vegetação.

Conforme ressalta Borborema (2006), da vertente oriental do planalto até ametade do topo, a vegetação se apresenta com características de áreas úmidas, que por sua vez forma os brejos de altitude com plantas típicas da mata atlântica, conhecida como mata úmida ou de altitude (vegetação ombrófila), se restringindo apenas ao topo da Borborema entre os municípios de Areia, Pilões, Borborema e Serraria.

A seguir, a **figura 20** ilustra a fisionomia da vegetação típica dos brejos de altitude.

Figura 20: Vegetação remanescente de mata atlântica no brejo paraibano – Areia-PB.
Fonte: Autor, 2023.

Duarte (2003) ratifica que na vegetação composta de vegetação latifoliada de altitude são frequentes plantas como as trepadeiras (lianas) epífitas, onde encontram-se as bromélias, se destacando plantas como cupiúba, sete cascas, macaíba, camunzé, sucupira, jenipapo etc.

No baixo agreste, onde ocorre a superfície Pré-litorânea, a vegetação seapresenta com espécies intermediárias entre mata atlântica e caatinga. A vegetação acatingada possui porte arbóreo sendo uma vegetação semelhante à das nascentes do rio Araçagi. A caatinga hipoxerófila se apresenta pouco seca por estar em área de transição entre a área úmida e a área seca do estado da Paraíba (DUARTE 2003).

Roda et al (2008) afirmam que nas terras baixas da superfície Pré-Litorânea a vegetação corresponde a um subconjunto das florestas úmidas com diversas espécies de vegetação de mata Atlântica e caatinga hipoxerófila.

5- PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A ciência tem como objetivo principal trazer um conhecimento que venha contribuir com a sociedade. Khun (1970) afirma que a ciência é uma atividade que tem como objetivo compreender e responder a problemas, guiando-se por meio de pressupostos com o intuito de explicar diversos fenômenos.

A metodologia utilizada neste trabalho é baseada nas unidades ecodinâmicas de Tricart, e foi elaborada por Ross (1994), queenfatiza a identificação dos ambientes e suas fragilidades potenciais e emergentes, permitindo definir de maneira mais precisa as diretrizes e ações a serem implementadas em cada ambiente.

A metodologia de Ross (1994) analisa a fragilidade ambiental levando em consideração os seguintes aspectos: Litologia, geomorfologia (índice de dissecação do relevo), solos, cobertura vegetal/uso da terra, clima/pluviosidade.

Com base nesses elementos, propõe a identificação das seguintes condições:

Fragilidade Potencial = Litologia+Geomorfologia+Solos+Clima/Pluviosidade.

Fragilidade Emergente= Uso e cobertura vegetal. .

Fragilidade Ambiental=Litologia+Geomorfologia+Solos+Clima/Pluviosidade+Uso e cobertura vegetal.

Também foi utilizada a Equação Universal da Perdas de Solos (EUPS) proposta por Wischmeier e Smith (1978), que teve como objetivo analisar as perdas de solos na sub-bacia do rio Araçagi, e com isso também identificar as fragilidades existentes na área de estudo.

5.1 DELIMITAÇÃO DA SUB-BACIA ARAÇAGI-PB

Foi escolhida imagem de radar para realização a delimitação da área de estudo. Foram utilizadas as imagens SRTM (30m de resolução espacial) reamostradas para 12,5m, disponibilizadas gratuitamente pela NASA, componente das imagens ALOS-PALSAR.

O processamento das imagens foi feito com a ferramenta Fill Sinks – Wang & Liu do QGIS. Nessa etapa o raster passa por um preenchimento dos pixels a partir de algoritmos,

suavizando as anomalias. Esse procedimento gera três produtos: o modelo digital de elevação preenchido (Filled DEM), as direções de fluxo (Flow Direction) e as bacias hidrográficas presentes na cena (Watershed Basins).

Executada essa etapa, é utilizada a ferramenta Watershed, selecionando a opção half basins, que extrai as microbacias presentes na cena, gerando corpos para cada pequeno agrupamento de drenagens e afluentes.

Após isso, foi feita a separação manual de todas as microbacias presentes nos divisores de água aproximados da área de estudo. Esse material selecionado foi convertido em polígono, e suas feições são mescladas, com o intuito de transformá-las na sub-bacia desejada.

5.2 FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS E ANTROPIZADOS PROPOSTA POR ROSS (1994).

O primeiro passo foi analisar a fragilidade ambiental de acordo com a metodologia de Ross (1994, que analisa a fragilidade dos ambientes naturais e antropizados, por meio dos seguintes elementos : litologia, geomorfologia (índice de dissecação do relevo), declividade, solos, clima/pluviosidade, uso da terra e cobertura vegetal, sendo possível obter um diagnóstico fragilidade do ambiente.

Na primeira etapa definiu-se a Fragilidade Potencial da área de estudo, baseada na somatória do nível de fragilidade apresentado por cada elemento (pesos) do ambiente em separado (Litologia+Geomorfologia+Solo+Clima/Pluviosidade).

Para a obtenção da Fragilidade Emergente, que é aquela provocada pela ação humana sobre o ambiente, foi considerada a fragilidade do ambiente apenas com base no uso da terra e na cobertura vegetal. Para gerar a Fragilidade ambiental, foi feito o somatório da Fragilidade Potencial com a Fragilidade Emergente.

5.3. LITOLOGIA

O mapa das unidades litoestratigráficas foi gerado com base nos dados da CPRM de 2006, na escala de 1:1000.000. Com apoio do Software ArcGis10.8, foi feito um recorte do mapa da CPRM, com a ferramenta Clip, selecionando a área da sub-bacia do rio Araçagi. Em seguida, para gerar o mapa de fragilidade da litologia, foram definidos os pesos propostos por Ross, atribuindo para cada tipo de litologia os valores de 1 a 5 no **quadro 1**.

Peso	Fragilidade	Litologia
1	Muito baixa	Sem ocorrência
2	Baixa	Migmatitos
3	Média	Granitos, gnaisses e dioritos
4	Alta	Xistos e mármores
5	Muito Alta	Arenitos e Argilitos

Quadro 1: Pesos atribuídos a litologia da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado Pelo autor, 2023.

5.4 DECLIVIDADE

O mapa de declividade da sub-bacia foi gerado para entender o grau de inclinação do relevo. Para a obtenção desses dados foi usada imagem do SRTM disponibilizada pelo TOPODATA/INPE.

A metodologia de Ross para declividade define as seguintes categorias hierárquicas: Muito fraca (0 a 6%), fraca (6% a 12%), média (12% a 20%), forte (12% a 30%) e muito forte (>30%). Desse modo, os valores de 0 a 6% compreendem áreas de menor fragilidade , enquanto as que estão acima de 30% apresentam mais alta fragilidade.

Para o elemento declividade, representado no **quadro 2**, é possível observar os níveis de declividade estabelecidos pelo autor em sua metodologia.

Fragilidade	Declividade
Muito baixa	0 a 6%
Baixa	6% a 12%
Média	12% a 20%
Alta	12% a 30%
Muito Alta	>30%

Quadro 2: Níveis hierárquicos da declividade da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

5.5 SOLOS

O mapa de solos da área de estudo foi gerado com base no mapa disponibilizado pela Embrapa Monitoramento por Satélite, na escala de 1:.500.000, do estado da Paraíba (2006).

Posteriormente, foram atualizados os tipos de solos da área de estudo por meio do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos de 2018, utilizando os padrões técnicos de cores RGB. A elaboração do mapa de fragilidade dos solos da área de estudo foi feita por meio dos pesos propostos por Ross aos tipos de solos presentes na área de estudo.

O mapa de fragilidade dos solos foi elaborado com base nos pesos propostos por Ross e que são apresentados no **quadro 3**.

Peso	Fragilidade	Solos
1	Muito fraca	Latossolos vermelhos amarelos
2	Fraca	Argissolos vermelhos amarelos e Nitossolos vermelhos
3	Média	Luvissolos
4	Forte	Neossolos
5	Muito forte	Sem ocorrência

Quadro 3: Pesos atribuídos aos solos da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

5.6 USO DA TERRA/COBERTURA VEGETAL

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi obtido do MapBiomas, na escala de 1:250.000 do ano de 2021, e foi utilizada a paleta de cores HTML convertida para RGB. O mapa de fragilidade emergente foi gerado por meio dos pesos propostos por Ross (1994). O peso dos tipos de usos utilizados na sub-bacia do rio Araçagi, com base em Ross (1994), estão expostos no **quadro 4**.

Peso	Fragilidade	Uso
1	Muito baixa	Formação Florestal
2	Baixa	Formação Savânica
3	Média	Pastagem, Lavoura Perene
4	Alta	Formação Campestre, cana de Açúcae e Mosaico de Usos
5	Muito alta	Área Urbana e outras áreas não vegetadas

Quadro 4: Pesos atribuído ao uso e cobertura da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

5.7 CLIMA/PLUVIOSIDADE

Os dados de precipitação são de extrema importância para se analisar a fragilidade ambiental de um lugar. A ação das chuvas é um elemento modificador, por regular e ativar todos os processos morfodinâmicos que contribuem nos processoserosivos. Para entender o índice pluviométrico da área de estudo foi feita a interpolação de dados de chuvas coletados em pluviômetros que foram instalados na região estudada e no seu entorno, com base em uma série histórica fornecida pela AESA.

Com esses dados foram gerados os mapas de intensidade e de fragilidade pluviométrica. Para gerar a intensidade pluviométrica foi utilizada a metodologia proposta por Crepani (2001).

O **quadro 5** mostra a transformação da intensidade pluviométrica para fragilidade, segundo a proposta de Ross (1994).

Transformação da fragilidade de Crepani para Ross		
Crepani	Ross	Intensidade
1	1	140
1,1	1,2	147
1,2	1,4	154
1,3	1,6	161
1,4	1,8	168
1,5	2	175
1,6	2,2	182
1,7	2,2	189
1,8	2,4	196
2	2,6	203
2,1	2,8	212
2,2	3	217
2,3	3,2	224
2,4	3,4	231
2,5	3,6	238
2,5	4,0	245
2,6	4,2	252
2,7	4,4	259
2,8	4,6	266
2,9	4,8	273
3	5,0	280

Quadro 5: Cálculo de transformação da intensidade pluviométrica de Crepani para Ross.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Para o cálculo da intensidade foram divididos os índices pluviométricos pelo número cinco que corresponde a quantidade de meses mais chuvosos na área em que se localiza a sub-bacia do rio Araçagi, com base no Boletim da AESA de 2020. No **quadro 6** estão os índices de Ross para intensidade pluviométrica.

IP (mm/ano)	Fragilidade	IP (mm/ano)	Fragilidade	IP (mm/ano)	Fragilidade
140	1	189	2,4	238	3,8
147	1,2	196	2,6	245	4
154	1,4	203	2,8	252	4,2
161	1,6	210	3	259	4,4
168	1,8	217	3,2	266	4,6
175	2	224	3,4	273	4,8
182	2,2	231	3,6	280	5

Quadro 6: Índices de Ross para a intensidade pluviométrica da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

5.8 ÍNDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO

A metodologia utilizada foi com base em Ross (1992-1994), que propõe o índice de dissecação do relevo por meio da dimensão interfluvial média e o grau de entalhamento dos vales. Para este trabalho, foi utilizado a proposta de Guimarães et al (2017), que propõe uma automatização do índice de dissecação.

Os procedimentos metodológicos seguiram conforme o artigo de Guimarães etal (2017), apresentada em vídeo por OpenGIS ‘’https://youtu.be/FbD8Ig6JJqo’‘. Para a representação e processamento foi feito o entalhamento dos vales, sendo utilizada a resultante cartográfica da Dissecação Vertical (DV); já para dimensão interfluvial média, a Dissecação Horizontal (DH). O índice é a soma dessas duas variáveis. O software utilizado para o processamento foi o QGIS 3.22.14.

1 - Escolha da imagem de RADAR: Para este estudo, foram utilizadas as imagens SRTM (30m de resolução espacial), obtidas gratuitamente no Earth Explorer;

2- A imagem foi recortada para um amortecedor de 1000m ao redor do perímetro da bacia, para evitar efeitos de borda dentro da bacia. Além disso, foram feitosos tratamentos iniciais para o modelo digital de terreno ficar hidrologicamente consistente, com correção de depressão (*r.fill.dir*);

3- Após isso foi executada a inversão de relevo pela calculadora raster, multiplicando cada pixel por -1, esse procedimento transforma as bases de morro para uma delimitação coerente;

4- Na ferramenta *r.fill.dir* foi executado o processamento da direção de fluxo, preenchendo os valores sem dados pela ferramenta *preencher sem dados;*

5- Com isso foram geradas as bacias, de acordo com a direção de fluxo invertida (talvegue) pela ferramenta *r.watershed.* Feito o processamento, esse raster foi convertido em vetor, e por *estatísticas zonais* são atribuídos os valores do MDE do relevo invertido para cada polígono vetorizado. Com isso, tem-se a dissecação vertical (DV);

6- Para se ter a DH, deve-se primeiramente executar a soma de área de cada vetor em m² e posteriormente em outra coluna o perímetro da bacia, esse procedimento é baseado em Christoffoletti ( ), e fornece a dimensão interfluvial média da bacia;

7- Após isso, o perímetro é dividido por 2 na tabela de atributos (para se ter o comprimento) e a área é dividida por esse comprimento, para então ser gerada a largura média da bacia, e com isso tem-se o DH em valores;

8- Essas duas resultantes são renomeadas para "DV" e "DH", e com isso é feita uma VB com os dados, conforme segue:

CASE WHEN "DH" < 250 THEN 5 WHEN "DH" >= 250 and "DH" < 750 THEN 4 WHEN "DH" >= 750 and "DH" < 1750 THEN 3WHEN "DH" >= 1750 ad "DH" < 3750 THEN 2WHEN "DH" >= 3750 THEN 1 END e CASE

WHEN "DV" < 20 THEN 10, WHEN "DV" >= 20 and "DV" < 40 THEN 20 WHEN "DV" >= 40 and "DV" < 80 THEN 30 WHEN "DV" >= 80 and "DV" < 160 THEN 40WHEN "DV" >= 160 THEN 50 END

9- Essa VB classifica os índices conforme ROSS, e sua finalização para aplicação de simbologia é a soma dos dois atributos executados anteriormente;

10- Com isso, são recortados os polígonos tratados para a delimitação da bacia.

Para se considerar o índice de dissecação do relevo, foi necessário utilizar a matriz que se baseia na relação de densidade de drenagem/dimensão interfluvial média para a dissecação no plano horizontal e nos graus de entalhamento dos canais de drenagem para a dissecação no plano vertical.

6- EQUAÇÃO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLO (EUPS)

Foi utilizada a EUPS, proposta Wischmeier e Smith (1978), que leva em consideração os seguintes fatores: de erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento da vertente; declividade; cobertura e ocupação do solo e práticas conservacionistas .

Sendo assim, a equação paramétrica EUPS tem a seguinte formulação: **A=**R.K.LS. C. P
Onde:

A= Perda de solo por unidade de área e de tempo (ton/ha.ano);
R= Fator erosividade da chuva -potencial erosivo médio anual das chuvas (MJ.mm.ha/hr/ano);
K= Fator erodibilidade do solo - perda de solo por unidade do fator erosividade da chuva, para um solo específico, quando mantido permanentemente descoberto e com preparo do solo no sentido da vertente (t.h/MJ/mm);

L = fator definido pelo comprimento da vertente - razão entre as perdas de solo de uma área com um comprimento de vertente qualquer e aquela com 25 m de comprimento, para o mesmo tipo de solo e a mesma declividade (m);

S = fator associado ao grau de declive - razão entre as perdas de solo de uma área com uma declividade qualquer e aquela com 9% de declive, para o mesmo tipo de solo e mesmo comprimento de vertente (%);

C = fator que se refere ao uso da terra, à cobertura vegetal e manejo de cultura(englobados no tema uso da terra) - razão entre as perdas de um solo de uma área com cultura e manejo específicos e aquela mantida permanentemente descoberta (adimensional);

P = fator prática de conservação do solo - razão entre as perdas de solo de uma área compráticas conservacionistas aquela mantida permanentemente descoberta e com preparo do solo no sentido da vertente (adimensional).

6.1 FATOR (R) EROSIVIDADE DA CHUVA

O fator R representa um índice numérico que expressa a capacidade da chuva emerodir uma área com solo desprotegido. Pesquisas realizadas demonstraram que ascaracterísticas das chuvas que exercem maior influência sobre a erosão são sua energia cinética total e sua intensidade máxima em minutos.

O cálculo do fator Erosividade, segundo Wischmeier e Smith (1978), pode ser efetuado utilizando-se a seguinte fórmula e forma de potência:

$$R = 0,13\ P^{1,24}$$

R= Erosividade

P= Precipitação anual

0,13= índice de erosão em MJ/ha.ano

A seguir, no **quadro 7**, pode-se observar a precipitação e o índice de erosividade calculado na sub-bacia do rio Araçagi, de acordo com a precipitação média na área de estudo, com base nos dados pluviométricos da AESA.

PRECIPITAÇÃO	EROSIVIIDADE
700	438
800	517
900	598
100	682
1100	767
1200	855
1300	944

Quadro 7: Valores de Erosividade fator (R) da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

6.2 FATOR (K) ERODIBILIDADE DOS SOLOS

A erodibilidade do solo nada mais é do que a suscetibilidade do solo em sofrer erosão, que se constitui em característica inerente do solo, associado com suas propriedades que, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1993), afetam a velocidadede infiltração, permeabilidade e capacidade total de armazenamento de água, os quais resistem às forças de dispersão, salpico, abrasão e transporte pela chuva e escoamento.

A erodibilidade dos solos foi obtida a partir da utilização do mapa de solos do Estado da Paraíba na escala 1:500.000 (SUDENE/EMBRAPA). O fator erodibilidade foi calculado por meio dos pesos atribuídos aos respectivos tipos de solos da sub-bacia do rio Araçagi, com apoio dos dados obtidos por meio do trabalho realizado por Lima (2003) no estado da Paraíba. A seguir , no **quadro 8,** é possível visualizar os pesosatribuídos para os tipos de solos existentes na área de estudo

Solos	Pesos
Latossolos vermelhos amarelos	0,03
Luvissolos	0,30
Argissolos vermelhos amarelos	0,10
Neossolos Regoliticos	0,15
Nitossolos vermelhos	0,14

Quadro 8: Valores atribuídos ao fator (K) da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Os pesos atribuídos aos tipos de solos são resultados de trabalhos realizados em áreas similares a sub-bacia do rio Araçagi, através de testes sobre os níveis de fragilidade da perda de solo por meio de suas características físicas e químicas, assim como as suas características de susceptibilidade a erosão.

6.3 FATOR (LS) TOPOGRAFIA

O fator topográfico é um dos fatores que compõe a EUPS, e é constituído pela extensão (Length - L) e declividade (Slope - S) das vertentes, as quais representam a influência da topografia no poder erosivo do escoamento superficial, representados principalmente pela sua velocidade e seu volume conforme afirmam WISCHMEIER & SMITH(1978).

Para o cálculo de LS foi utilizado a equação : $LS = 0{,}00984 * S^{1,18} * Lx^{0,63}$ Sendo S a declividade em porcentagem e L o comprimento da rampa. onde:

LS = fator topográfico;

LX = comprimento de rampa;

S = declividade.

Entretanto, para a busca do nível de informação se fez necessário identificar o comportamento das vertentes, através de um espaçamento entre as curvas de nível, tornando esse cálculo possível, com o objetivo de realizar o detalhamento que sepretende obter para o trabalho.

Para a obtenção desse fator serão adquiridas cenas do modelo digital de elevação (MDE) SRTM 1 arc-second (com resolução espacial de 30 m) no TOPODATA/INPE com apoio do software Qgis.

6.4 FATOR (C) USO E COBERTURA

De forma diferente dos fatores erodibilidade, erosividade e topográfico, analisados anteriormente, os fatores uso e manejo do solo (C), e práticas conservacionistas (P), são diretamente relacionados com as atividades exercidas pelo homem, portanto, dependentes de sua intervenção, conforme comenta Pinto (1991), ambos os fatores incluem o tema uso da terra no modelo EUPS.

O fator C também foi calculado por meio dos pesos atribuídos aos respectivos tipos de uso e cobertura inseridos na sub-bacia do rio Araçagi, com apoio dos dados obtidospor meio do trabalho realizado por Lima (2003) no estado da Paraíba. No **quadro 9** é possível visualizar os valores atribuídos para o fator C na sub-bacia.

Usos	Valor simulado
Floresta	0,00004
Formação Savânica	0,00007
Formação Campestre	0,01
Pastagem	0,01
Cana de açúcar	0,004
Mosaico de usos	0,21
Áreas urbanas	0,0
Outras áreas não vegetadas	1

Quadro 9: Valores atribuídos ao fator C da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

O fator P (práticas conservacionistas) não será considerado neste trabalho , uma vez que não é possível identificar os diferentes tipos de manejo utilizados na área de estudo.

7. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS RESULTADOS DA FRAGILIDADE AMBIENTAL OBTIDO COM A PROPOSTA DE ROSS E DA EQUAÇAO UNIVERSAL DA PERDA DE SOLOS (USLE) DE WISCHMEIR E SMITH.

A comparação da fragilidade ambiental obtida pela metodologia de Ross e da Equação Universal da Perdas de Solos foi feita de forma visual. Através dos dois mapeamentos, foi possível realizar uma comparação dos resultados obtidos com as duas metodologias. No **quadro 10** é possível visualizar como foi feita a comparação dos níveis utilizados em cada metodologia.

FRAGILIDADE AMBIENTAL (ROSS)	PERDAS DE SOLOS (USLE)
Muito Baixa	Baixa
Baixa	Média
Média	Média a Alta
Alta	Alta
Muito Alta	Muito Alta

Quadro 10: Níveis hierárquicos comparativos da metodologia de Ross e Wischmeir e Smith.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

8. FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO ARAÇAGI-PB

8.1 LITOLOGIA

O estudo da litologia de uma determinada área é de extrema importância para compreender a Dinâmica Ambiental e sobretudo os processos geomorfológicos que nelaatuam. A fragilidade ambiental de uma determinada bacia hidrográfica recebe influênciade vários elementos físicos, sendo a Geologia uma grande aliada nesse processo.

As rochas possuem suas fragilidades ao intemperismo e a erosão, que por suavez contribuem para a fragilidade natural. O estudo dos tipos de rochas de uma região tem total relevância nos estudos de fragilidade ambiental, por isso a importância de entenderos principais tipos de rochas inseridos na sub-bacia do rio Araçagi.

Ainda existem outros tipos de rochas na área de estudo por meio de cadaunidade geológica identificada pela CPRM, que nos oferta umamelhor compreensão acerca dos tipos de rochas cada unidade. No quadro abaixo é possível visualizar o grau de fragilidade de cada unidade geológica e os tipos de rochas da sub-bacia Araçagi.

A sub-bacia Araçagi se encontra inserida no escudo cristalino do Paleozóico e Neoproterozóico, composta na sua maior parte por granitos, gnaisses, migmatitos e dioritos, que possuem um menor grau de fragilidade, sendo esses tipos de rochas mais resistentes ao processo de infiltração e ao intemperismo químico provocado pelas águas pluviais. As rochas que são mais frequentes na sub-bacia Araçagi são os granitos, gnaisses, migmatitos, dioritos, xistos, mármores, arenitos e argilitos.

Pode-se encontrar também rochas com teor de fragilidade muito baixa, destacando os mármores, arenitos e argilitos. Esses tipos de rochas possuem uma grande porosidade, facilitando a infiltração da água nesses corpos rochosos e favorecendo o intemperismo e consequentemente a erosão.

As rochas mais resistentes estão constituídas nas unidades geológicas mais antigas formadas por suítes graníticas do Neoproterozóico, enquanto as menos resistentes estão inseridas na maior parte das unidades do paleozóico, como é o caso da unidade Serra dos Martins, assim como do cenozóico, no período quaternário inserida na

formação Barreiras, que é a unidade mais jovem do ponto de vista geológico da sub- bacia do rio Araçagi, com a presença de rochas na sua maioria sedimentar.

A **figura 21** ilustra a litologia presente na sub-bacia do rio Araçagi.

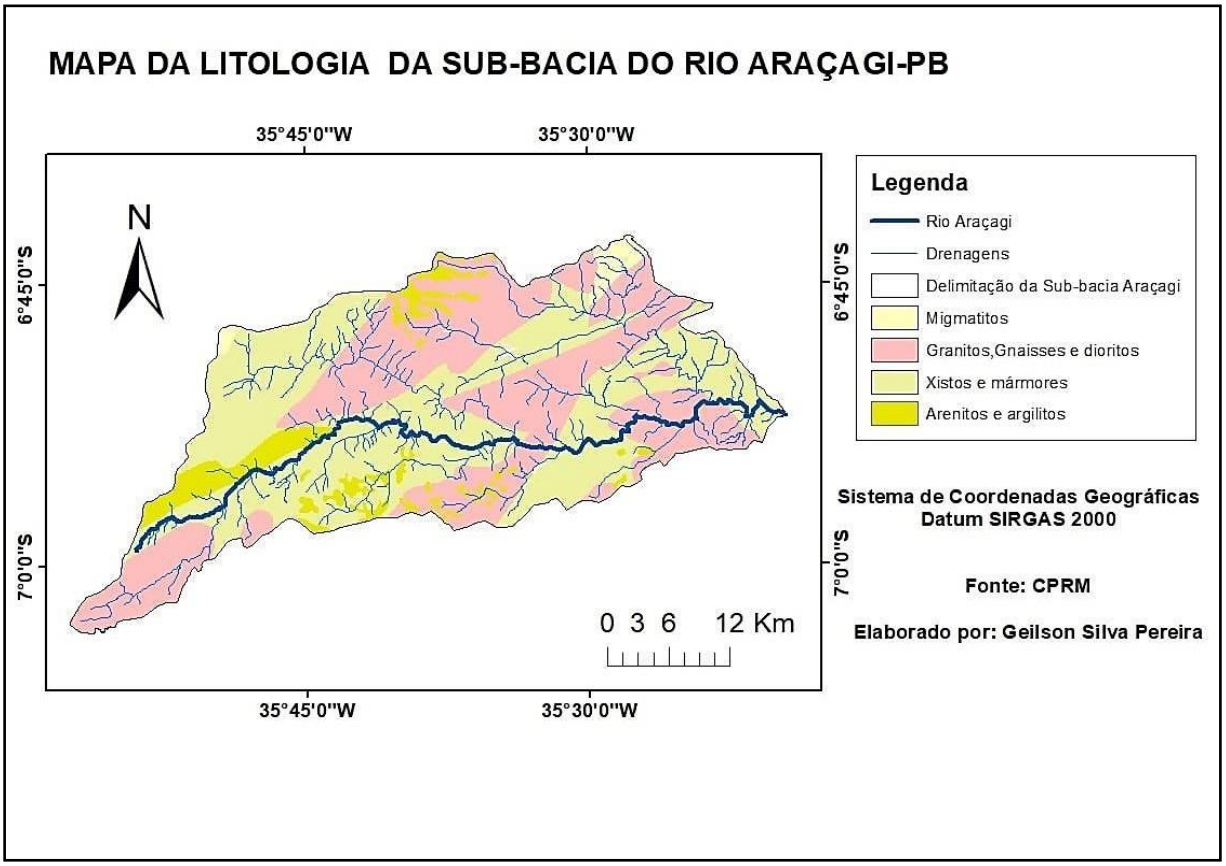


Figura 21: Mapa da litologia da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

As unidades geológicas inseridas na sub-bacia Araçagi são extremamente importantes para entender os principais tipos de rochas que nela existem, entretanto, através do mapeamento de suas unidades foi possível compreender como se encontram essas formações litológicas dentro da sub-bacia.

A sub-bacia do rio Araçagi está inserida em 19 unidades geológicas. Desse modo, é importante compreender que as unidades que possuem uma menor fragilidade são aquelas que possuem na sua maioria rochas ígneas e metamórficas como os granitos, gnaisses, migmatitos, dioritos etc.

Na representação a seguir **quadro 11** é possível verificar a fragilidade litológica na sub-bacia do rio Araçagi, por meio das unidades geológicas

Unidades Geológicas	Principais Rochas	Fragilidade
Granitóides Esperança fáceis graníticas	Granitos	Muito baixa
Granitóides Solânea	Granitos	Muito baixa
Granitóides calçioalcalinos de alto-K-equigranulares	Granitos	Muito baixa
Formação Dona Inês	Granitos	Muito baixa
Formação Itaporanga	Granitos	Muito baixa
Plúton Esperança-Puxinanã	Granitos	Muito baixa
Metagranitóides Cariris velhos	Ortognaisses-graníticos e Migmatitos	Muito baixa
Complexo Sertânia	Gnaisses, migmatitos e mármore	Muito baixa
Complexo São Caetano	Gnaisses e quartizitos	Muito baixa
Formação Serrinha Pedro velho Unidade 1	Ortognaisses	Muito baixa
Formação Serrinha Pedro velho unidade 2	Ortognaisses, dioritos e anfibolitos	Muito baixa
Formação Serrinha Pedro velho-2ª	Ortognaisses, migmatitos e anfibolitos	Muito baixa
Formação Serindó	Gnaisses quartizosos	Muito baixa
Suíte Intrusiva Gabro-diorito Monzonita	Gabros e dioritos	Média
Formação Jucurutú	Gnaissses, xisto e mármore	Média
Formação Serra dos Martins	Arenitos médios e conglomeráticos, avermelhados, amarelados e cinzas esbranquiçados	Alta
Formação Barreiras	Arenitos quartizosos e argilitos	Alta
Depósitos aluvionares	Areias, cascalhos e níveis de argila	Muito alta
Depósitos areno-argilosos	Coberturas inconsolidadas argilosas e areno argilosas, areia, cascalho e argila	Muito alta

Quadro 11: Fragilidade das unidades Geológicas da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na área de estudo a maior parte das rochas são muito resistentes e por isso por meio dos pesos propostos por Ross foi constatado que a maior parte da bacia possui uma baixa fragilidade litológica, no entanto é crucial ressaltar que a geologia de uma áreapossui influência direta na fragilidade potencial, pois o substrato rochoso de uma área contém significância nas análises ambientais, que por sua vez precisa ser investigado para que se possa obter um resultado satisfatório sobre a dinâmica ambiental.

No mapa a seguir **figura 22** é possível observar a fragilidade litológica na sub-bacia do rio Araçagi.

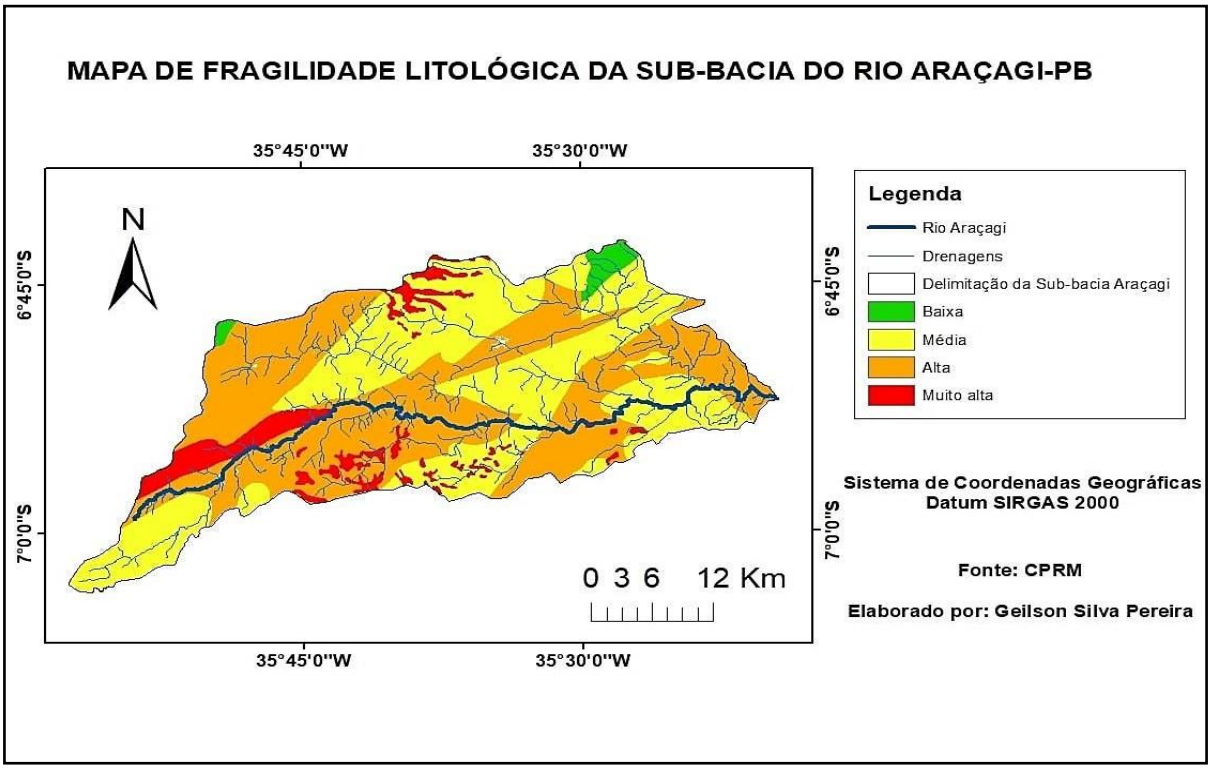


Figura 22: Mapa de fragilidade da Litologia da Sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

8.2 GEOMORFOLOGIA

A sub-bacia estudada possui uma geomorfologia diversificada com distintas posições altimétricas, apresentando relevos com grande rugosidade e sinuosos. Barros (2005) afirma que nas posições Sul, Sudeste e Leste, o relevo é muito movimentado, apresentando configurações semelhantes aos mares de morros identificados por Valverde (*apud* 2005,p.25).

Valverde (op. cit.) comenta que esse relevo vem sendo dissecado pelo intemperismo mecânico, que tem como agente modelador os processos exógenos, destacando-se a erosão. Na sub-bacia do rio Araçagi o relevo possui declives fortemente acentuados, superando os 25° em vários locais, com processos erosivos intensos devido a diferença no gradiente altimétrico.

Na borda do planalto da Borborema e sopé, conhecido como piemonte, na porção leste da área, encontram-se níveis menores de energia. A morfologia aparece suavizada em alguns locais, tendo algumas colinas erelevos mamelonares que constituem o que Andrade (1998) e Barros (2005) chamam de chã.

Brasil (1972) verificou uma grande variação altimétrica, de 100 metros a 600 metros. A parte oriental é a mais elevada do planalto da Borborema, atingindo cotas superiores a 600 e 700 metros acima do nível do mar, apresentando uma topografia acidentada e se configura com

morfologias ricas em vales e encostas abruptas e morros escarpados com desníveis superiores a 100 metros, conforme afirma LIMA (2003).

Na **figura 23** pode-se visualizar de forma nítida o mapa das curvas de nível da sub-bacia do rio Araçagi.

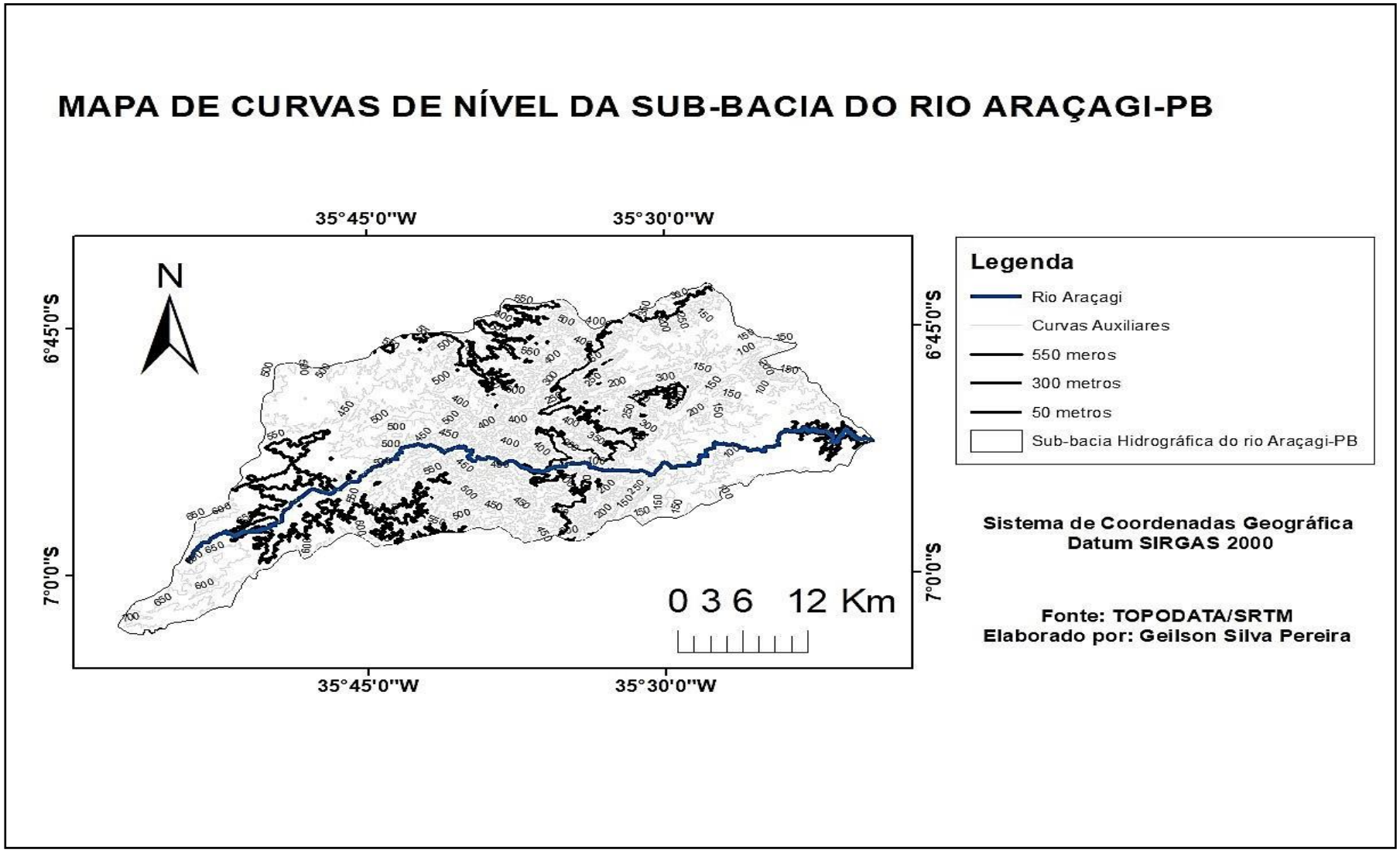


Figura 23: Mapa de curvas de nível na sub-bacia Araçagi
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

A sub-bacia do rio Araçagi se estende desde o agreste paraibano, drenando as águas do alto e médio curso pelo planalto da Borborema, que é uma das principais formações geomorfológicas do estado da Paraíba. De acordo com Brasil (1972), o relevo do Brejo paraibano é ondulado com declives de 8% à 20%, e forte ondulado, com declives entre 20% e 45%.

A superfícciePré-Litorânea compõe o baixo curso da sub-bacia do rio Araçagi, onde ocorrem processos intempéricos que dão origem ao relevo bastante dissecado nessa unidade geomorfológica (CARVALHO, 1982).

A **figura 24** ilustra o mapa do modelo digital de elevação dasub-bacia do rio Araçagi.

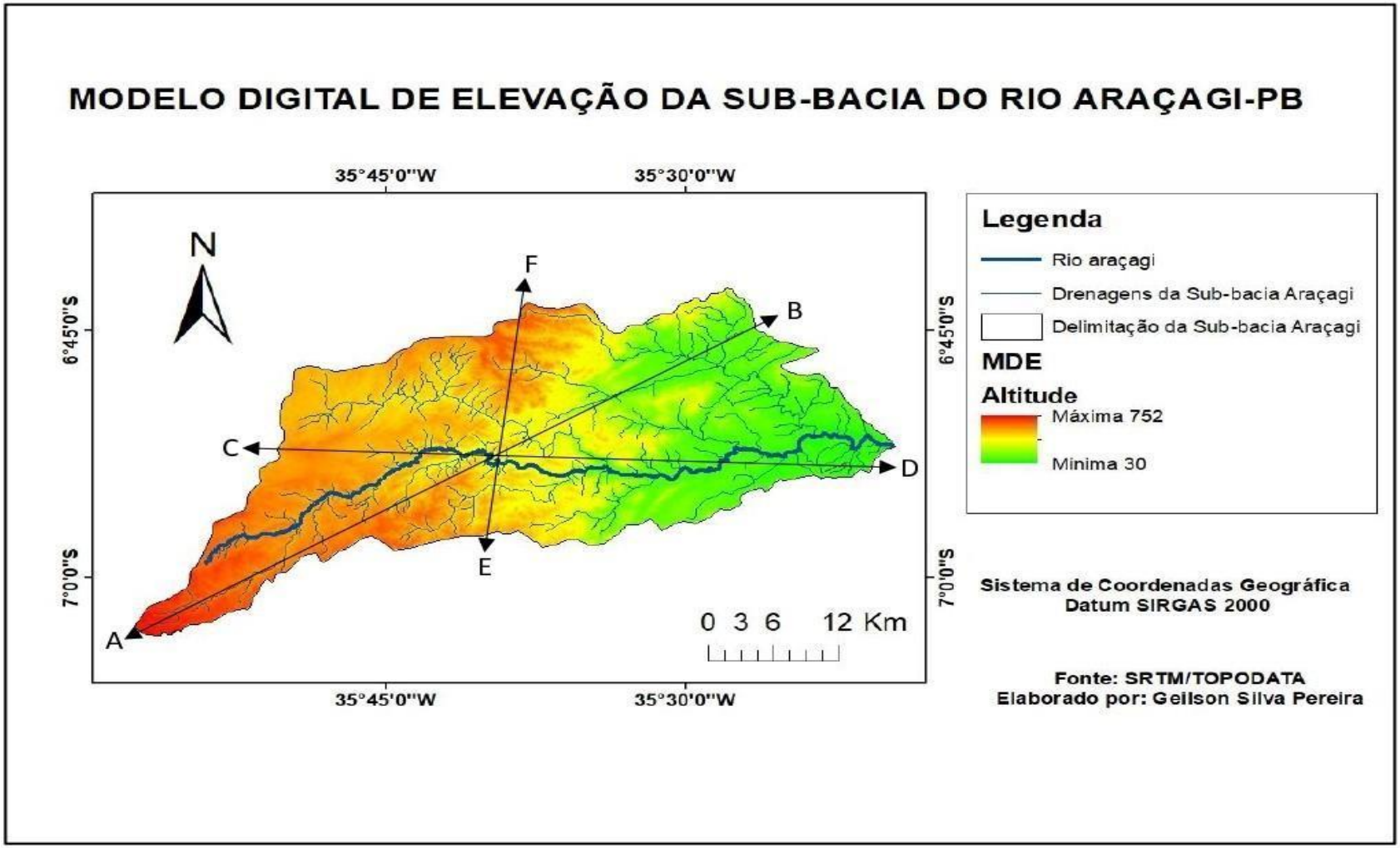


Figura 24:Modelo Digital de Elevação da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

A sub-bacia do rio Araçagi possui altitude mínima de 30 metros e máxima de 752 metros, o que demonstra uma elevação maior no alto curso que se concentra no topo do planalto da Borborema. Os perfis topográficos demonstram com mais detalhes a topografia da sub-bacia nos sentidos longitudinal e transversal.

Na **figura 25 (Perfil AB)** é possível observar o perfil topográfico longitudinal da sub-bacia do rio Araçagi.

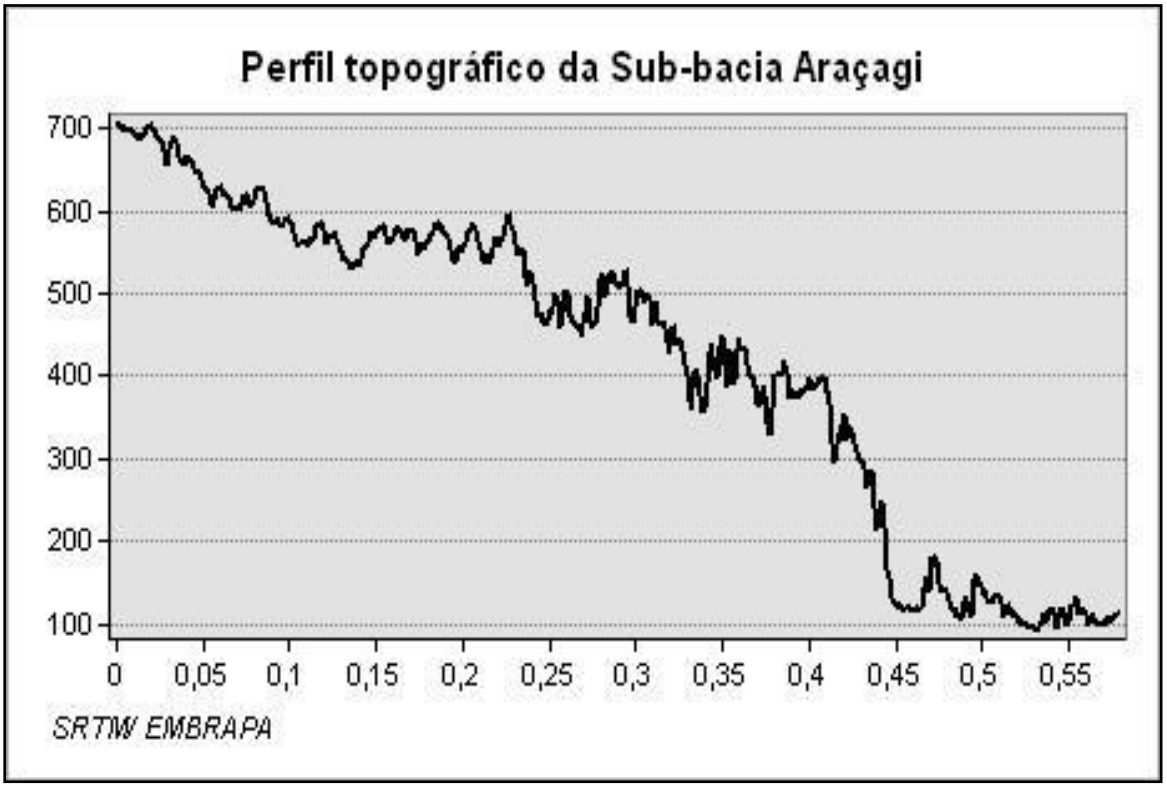


Figura 25: Perfil topográfico A-B da Sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Nesse perfil é possível perceber a rugosidade da superfície no sentido longitudinal, com acentuadas elevações e poucos vales. Na parte central pode-se perceber um alto nível de irregularidades na topografia, pelo fato de compreender as áreas de escarpas e de vertentes do planalto da Borborema, com altitudes que podem chegar a 400 e 600 metros, sendo uma área com presença de vales bem entalhados.

É nessa parte da bacia em que as declividades chegam a níveis mais elevados, quando comparado com o restante da bacia. É por esse motivo que ocorrem nessa área as maiores irregularidades da superfície e por conseguinte os vales mais encaixados.

Na **figura 26 (Perfil CD)** pode ser observado outro perfil topográfico da sub-bacia do rio Araçagi.

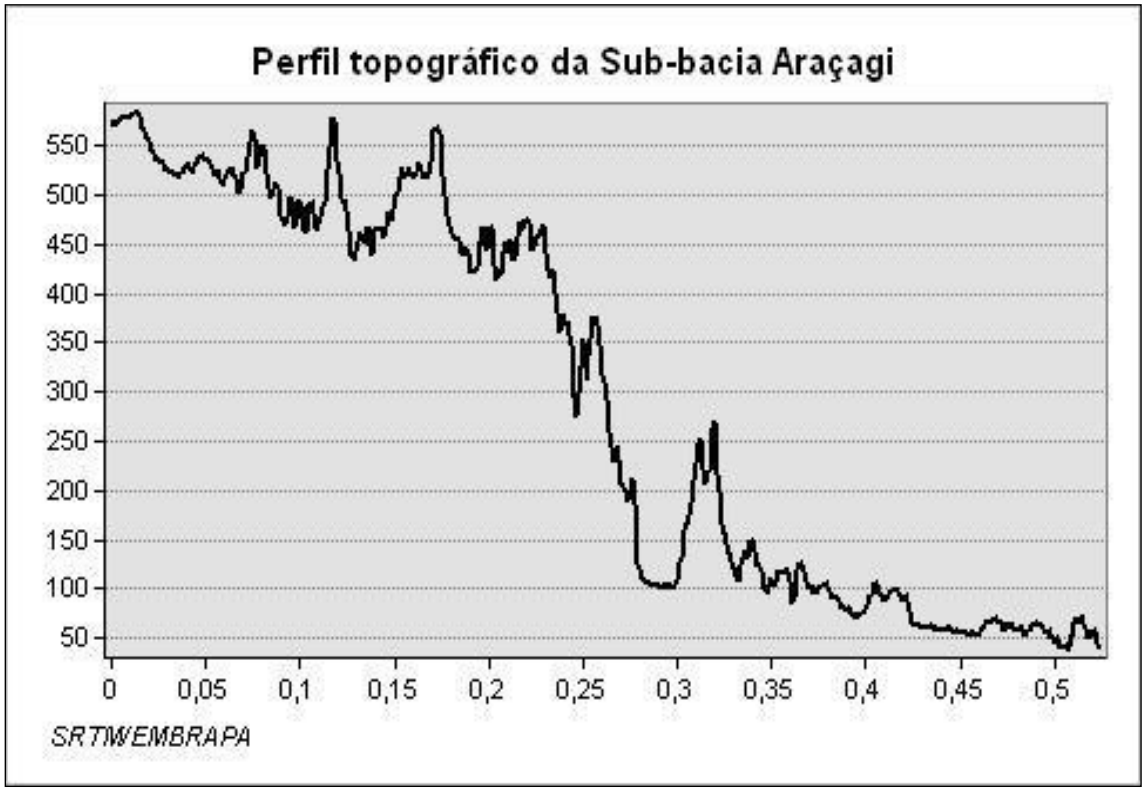


Figura 26: Perfil topográfico C-D da sub-bacia do rio Araçagi
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Nesse perfil da bacia, a topografia apresenta variações altimétricas mais expressivas, no trecho que compreende as escarpas do planalto da Borborema, com altitudes que variam de 300 a 500 metros. Ocorrem vales de maior profundidade, com escarpas abruptas na parte central. Em contrapartida, no baixo curso a rugosidade é bem abaixo da registrada no alto e médio curso. No baixo curso, a topografia é bem modesta, com vales pouco profundos.

Na **figura 27 (Perfil EF),** observa-se o perfil topográfico transversal da sub- bacia do rio Araçagi.

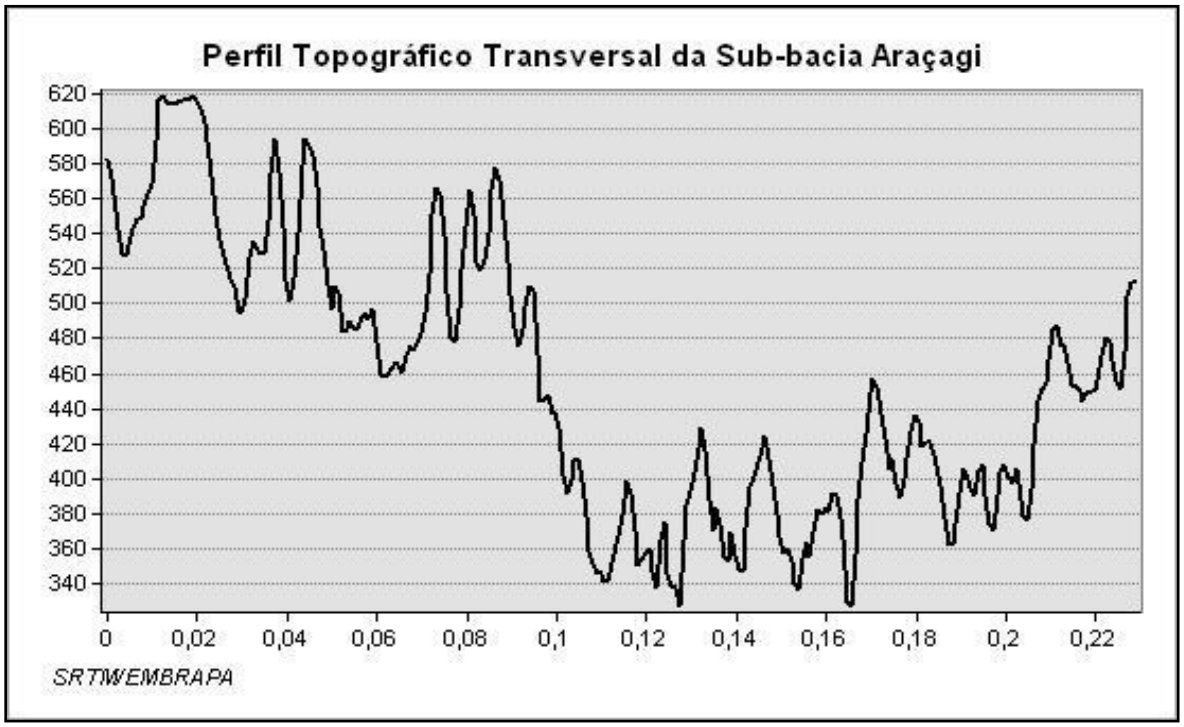


Figura 27: Perfil topográfico transversal E-F da Sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

No perfil transversal desníveis acentuados, com a predominância de vales profundos e uma superfície rugosa, evidenciando um relevo mais acidentado, com altitudes variando de 300 a 600 metros. Na parte central da bacia as altitudes são maiores, pelo fato de estar localizada sobre as escarpas do planalto, onde a rede hidrográfica escava o relevo nas encostas, criando assim vales e esculpindo a paisagem.

8.2.1 DECLIVIDADE

A declividade de um terreno é extremamente importante para saber quanto uma área é íngreme ou não, pois quando o relevo é mais escarpado, possui um potencial de sofrer processos erosivos mais intensos. A erosão dos solos está intrinsecamente relacionada com a declividade, características do perfil do solo, litologia e condições climáticas e pluviométricas da área (BIGARELA 2007).

A declividade é um dos principais fatores que influenciam diretamente na erosãodos solos de uma área, e em conjunto com as características das chuvas, propriedadesdos solos, tipos e rochas e uso e cobertura da terra, pode propiciar processos erosivos mais intensos. Dependendo da declividade, uma encosta pode sofrer maiores perdas de solos.

Nas áreas onde o terreno possui um gradiente muito alto a água não infiltra com facilidade, acelerando o escoamento superficial. Dessa forma, em áreas mais declivosas a presença de água no solo é muito pouca, quando comparadas com áreas mais planas. Esse é também um fator que deve ser levado em consideração quando se refere a influência da declividade nas ações erosivas.

No entanto, pode-se compreender que na parte da sub-bacia do rio Araçagi onde existes altas declividades, obviamente tem-se processos erosivos mais acentuados. Já nas áreas mais planas, o índice erosivo diminui, devido ao fluxo de água escoar com menos intensidade.

Os níveis de declividade indicam a intensidade dos processos erosivos, como também os riscos de movimentos de massa, deslizamentos de terras e até mesmo a ocorrência de inundações. A declividade foi gerada com base na metodologia deRoss (1994), que propõe cinco níveis hierárquicos, de muito fraca (0 a 6%), fraca(6% a12%), média (12% a 20%), alta (20% a 30%) e muito alta (acima de 30%). Com base na EMBRAPA (2006), terrenos com declividade de 6% apresentam relevo plano a suavemente ondulado, 12% ondulado, 20% forte ondulado, 30% montanhoso e acima de 30% escarpado.

A declividade da área de estudo é predominantemente muito baixa no alto curso da sub-bacia, pois se concentra no topo da Borborema, não tendo um terreno muito escarpado, sendo plano a suavemente ondulado, podendo chegar a ondulado.

No baixo curso, o relevo também possui uma topografia plana com presença de depósitos aluvionares trazidos pelos rios e córregos, assim como colúvios vindos das encostas.

Na parte centralda bacia o relevo possui características de montanhoso a escarpado, curso onde estão as maiores declividades da sub-bacia. A **figura 28** a seguir mostra a

declividade na sub-bacia do rio Araçagi.

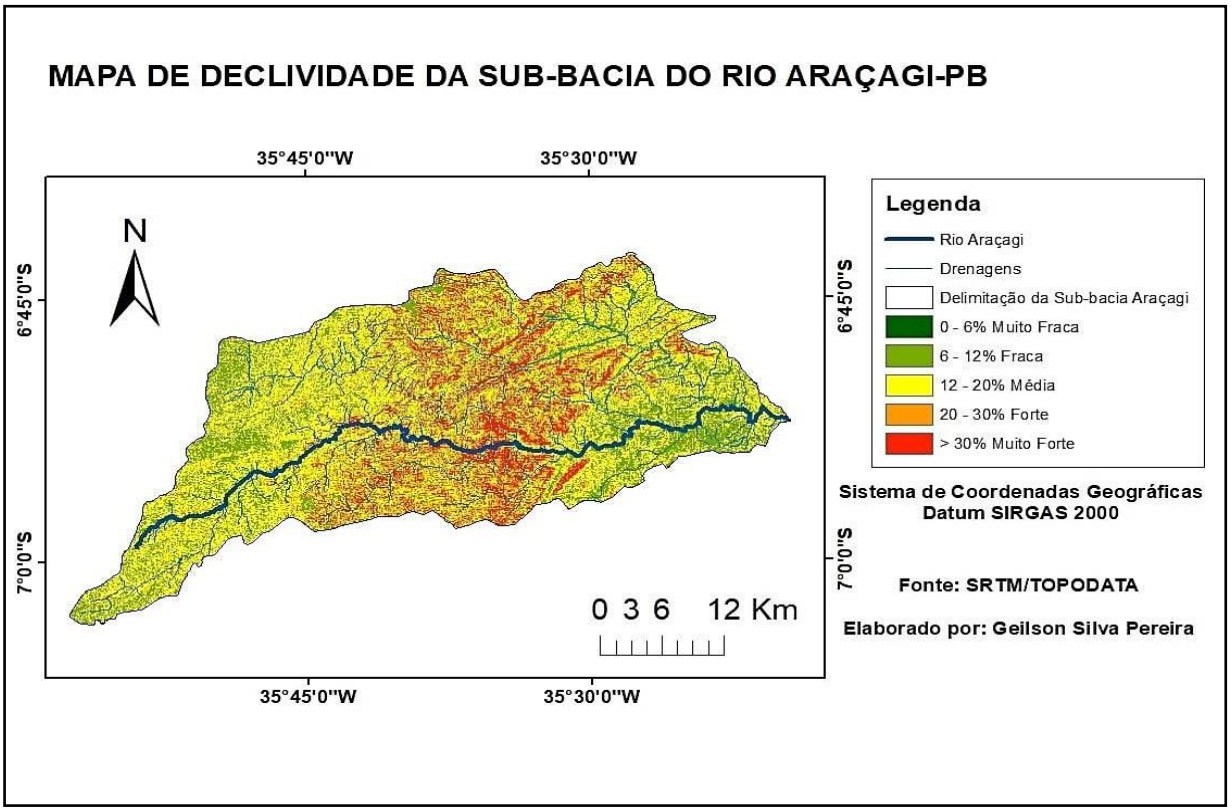


Figura 28: Mapa de declividade da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na nascente do rio Araçagi e na sua foz é possível perceber que a declividade está entre os 6%, 12% e 20%, enquanto que no médio curso, nas escarpas da Borborema, a declividade chega a 30% e até acima de 30%. Nas áreas em que o relevo é menos declivoso, os processos erosivos são menos intensos, enquanto que nas áreas em que o relevo possui declividades mais acentuadas, a erosão é mais atuante.

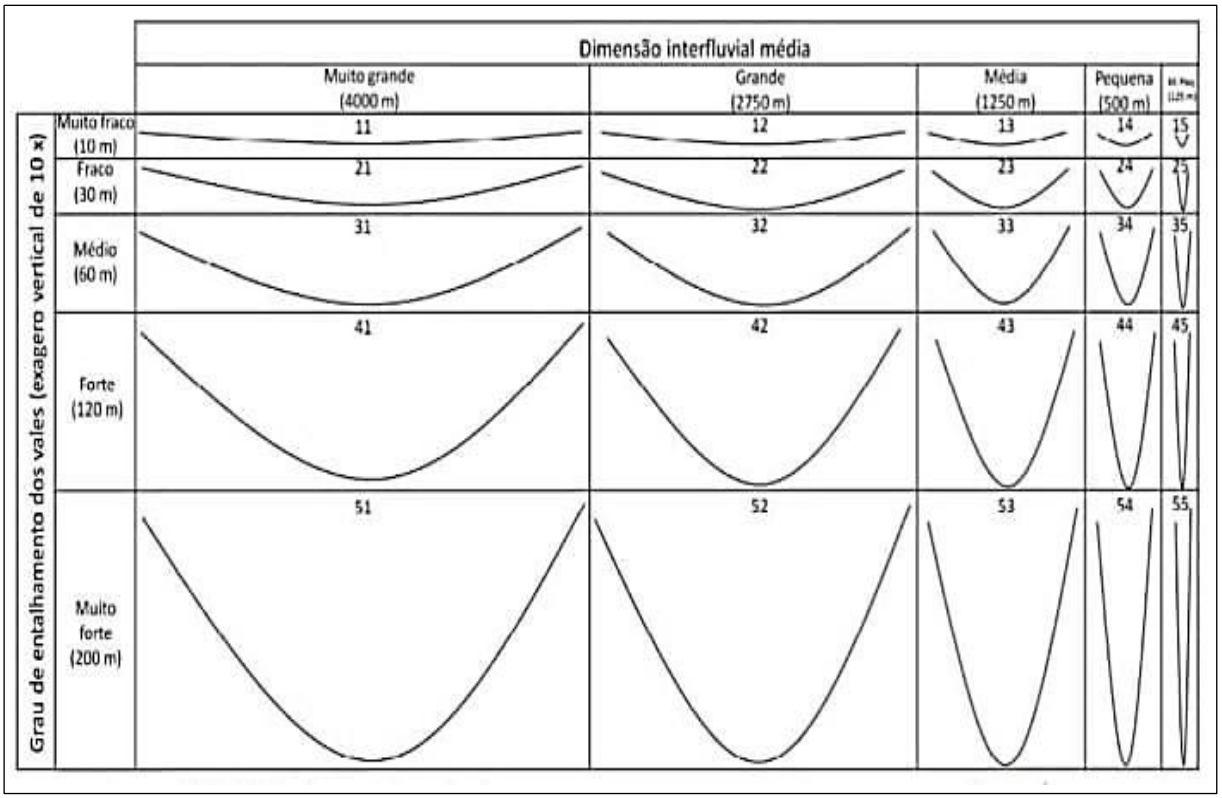
Um fator muito importante na área de estudo, a ser levado em consideração comoum contribuinte na intensidade da erosão, é o simples fato do médio curso da bacia estar localizado em área de brejos de altitude, o que influencia diretamente nos altos índices de pluviosidade, o que afeta diretamente nos processos erosivos, pois é nessa parte central que a pluviosidade é significativa.

8.2.2 ÍNDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO (IDR)

O índice de dissecação do relevo permite que seja feita uma análise morfométrica que considerao grau de entalhamento dos vales e a dimensão interfluvial média. Ross (1992 e 1994) propôs uma formulação do índice de dissecação com o propósito de fornecer subsídio para o mapeamento geomorfológico e estudar a interação entre a pedogênese e a morfogênese, assim como fragilidade ambiental, em especial em bacias hidrográficas.

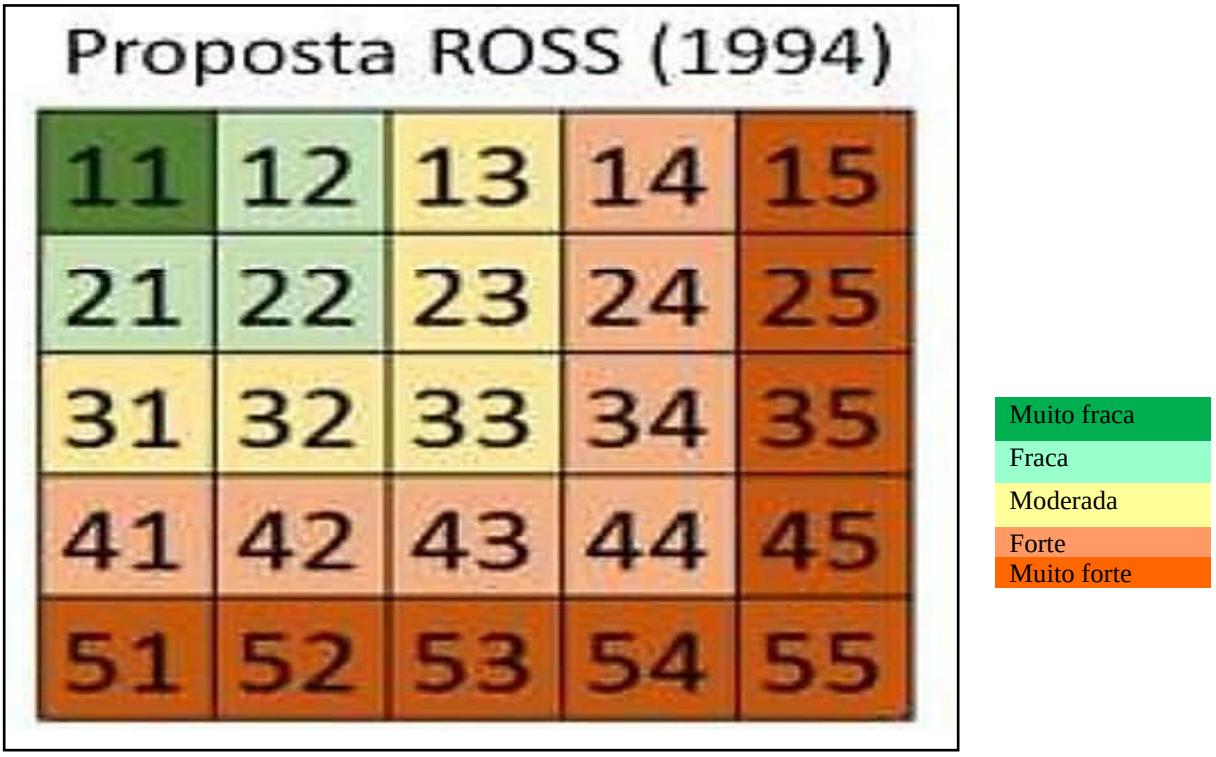
Para representar o grau de entalhamento dos vales é utilizada a amplitude relativa do relevo, que é a diferença entre os pontos mais altos e mais baixos, considerada em um nível relativo (GUERRA, 1993) por área amostral, apresentando relação com o aprofundamento da drenagem, assim, pode-se entendê-la como dissecação vertical (DV).

A dimensão interfluvial média é a medição do tamanho dos interflúvios em determinada porção da superfície terrestre. Os interflúvios são as pequenas ondulações que separam os vales (GUERRA, 1993), sendo essa variável morfométrica definida como dissecação horizontal (DH). No **quadro 12** pode-se ver a dimensão interfluvialmédia e o grau de entalhamento dos vales esquematizados por Ross (1994).



Quadro 12: Dimensão interfluvial média e grau de entalhamento do vale.
Fonte: Ross 1994 adaptado pelo autor, 2023.

Essa matriz estabelecida por Ross serve apenas de exemplo para que possa ser compreendido que ela não serve para ser adotada como parâmetro para o IDR da sub- bacia do rio Araçagi. Desse modo, cada área possui suas peculiaridades, o que dá a liberdade de utilizar outras propostas para que se tenha um resultado mais satisfatório e mais próximo da realidade da área de estudo. No quadro 13 seguinte é possivel visualizar a matriz do Índice de dissecação do relevo proposto por Ross (1994).



Quadro 13: Matriz para o ínice de dissecação do relevo proposta por Ross (1994)
Fonte: Ross 1994 adaptado pelo autor, 2023.

Para entender sobre o índice de dissecação do relevo, é necessário compreender que quanto maior a dimensão interfluvial média, menor será o grau detalhamento dovale, e consequentemente maior será o índice de dissecação (IDR). Portanto, pode-se compreender que **IDR=DV+DH.** No **quadro 14** pode-se visualizar a matriz estabelecida por Guimarães et al (2017).

Quadro 14: Matriz para o IDR proposta por Guimarães et al 2017.
Fonte: Guimarães et al 2017 adaptado pelo autor, 2023.

Na proposta de Ross, os índices de dissecação que mais aparecem são altos e muito altos, enquanto que há a ausência de dissecação muito baixa. Desse modo, a proposta da matriz estabelecida por Ross não será utilizada para esta pesquisa, pois não irá privilegiar as classes de dissecação de acordo com a realidade da área. A proposta de automatização utilizada para o IDR será a de Guimarães et al (2017), que se enquadra melhor com a realidade dos resultados obtidos na sub-bacia do rio Araçagi.

A **figura 29** mostra que é possível visualizar de forma nítida o índice de dissecação do relevo na área de estudo.

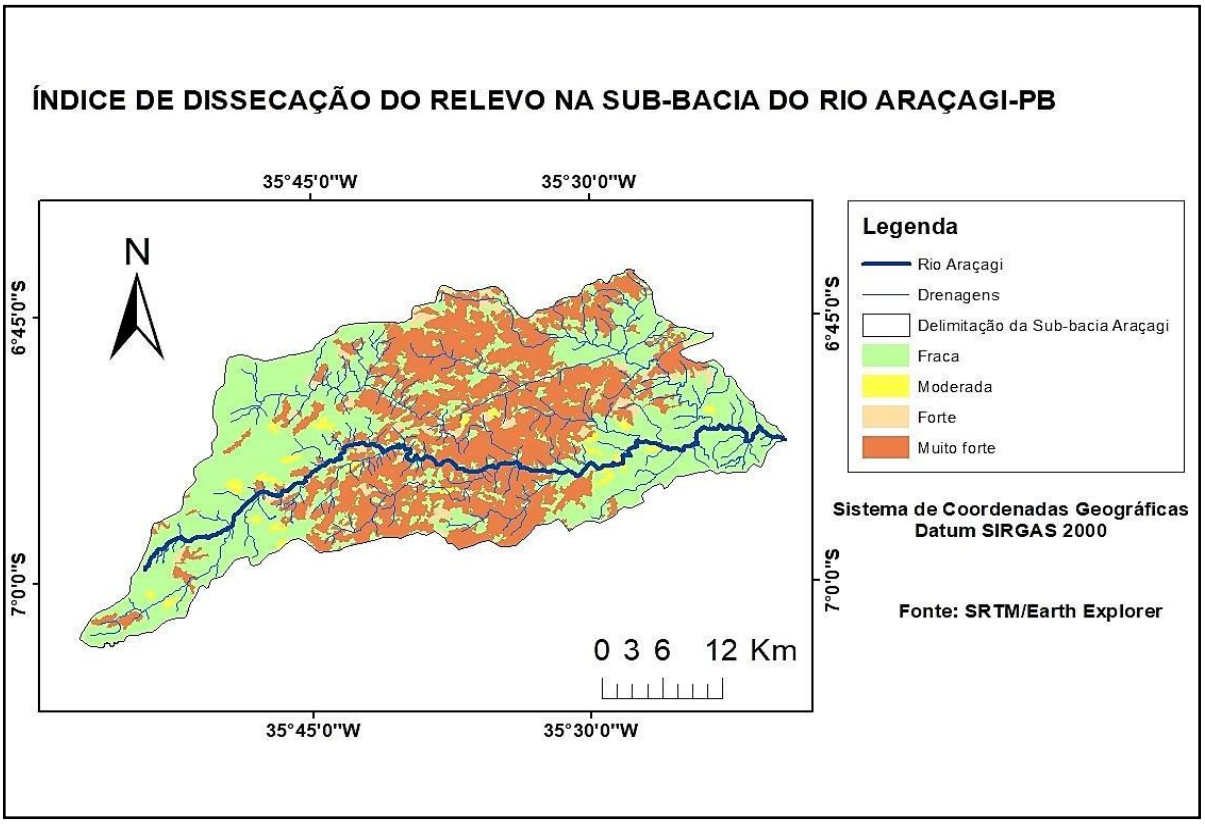


Figura 29:Mapa do Índice de dissecação do relevo da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O relevo possui uma dissecação maior nas áreas em que predominam vales encaixados e profundos com formato de V e com alta dimensão interfluvial, sendo caracterizados por apresentar declividades acentuadas.

A dissecação é fraca no alto se baixo cursos da bacia, nas áreas planas onde predominam o topo do Planalto da Borborema a oeste, e a leste onde se situa a superfície pré-litorânea, que apresentam uma pequena dimensão interfluvial, gerandoum baixo grau de entalhamento dos vales e com isso favorecendo a dissecação fraca nosquais são representados pelos perfis 14, 15, 23, 24, 25 e 35. Nas dissecações fracas os topos são planos ou ligeiramente convexizados tendo os canais de drenagem com fraco entalhamento e as declividades estão entre 5% e 10%.

As dissecações médias são pouco frequentes na área de estudo, estando distribuídas tanto em partes do alto curso e baixo curso. Nessas áreas, os topos são convexos de pequena dimensão interfluvial e com canais pouco entalhados e comformas de topos convexos planos de dimensão interfluvial um pouco maior e canais medianamente entalhados e suas declividades estão entre 10% e 20%.

A dissecação é forte próximo às escarpas do planalto da Borborema, onde a dimensão interfluvial diminui e os vales começam a ficar mais profundos. Com isso,aumenta a dissecação, estando entre os perfis 31, 41, 42, 43, 44, 51, 52 e 53. Nas áreas onde as dissecações se apresentam como fortes, os topos estão entre planos aconvexos e largos, com canais de forte entalhamento, com dimensão interfluvialpequena, médio entalhamento dos vales, e declividades variando entre 20% e 30%.

O IDR da área de estudo é muito forte na parte central da bacia, onde os valessão mais profundos e a densidade de drenagem é maior, os vales são em forma de v e o fluxo de água é mais concentrado, proporcionando a dissecação das formas de relevo.Os perfis muito fortes são 45, 54 e 55.

Nessas áreas, os vales profundos estão relacionados ao entalhamento dos cursos de água nas escarpas da Borborema. Nas áreas de dissecação muito forte, os topos são mais aguçados ou convexos e de dimensões interfluviais de média a pequena e forte entalhamento dos canais, com suas respectivas declividades acima de 30%.

8.3 FRAGILIDADE DOS SOLOS

A erodibilidade dos solos está relacionada com a suscetibilidade aerosão. Kawaakubo (2010) elenca que os solos erodem mais ou menos devido asdiferenças nos atributos físicos e químicos, mesmo estando expostos às mesmas condições ambientais.

A **figura 30** mostra a suscetibilidade dos solos da sub-bacia do rio Araçagi.

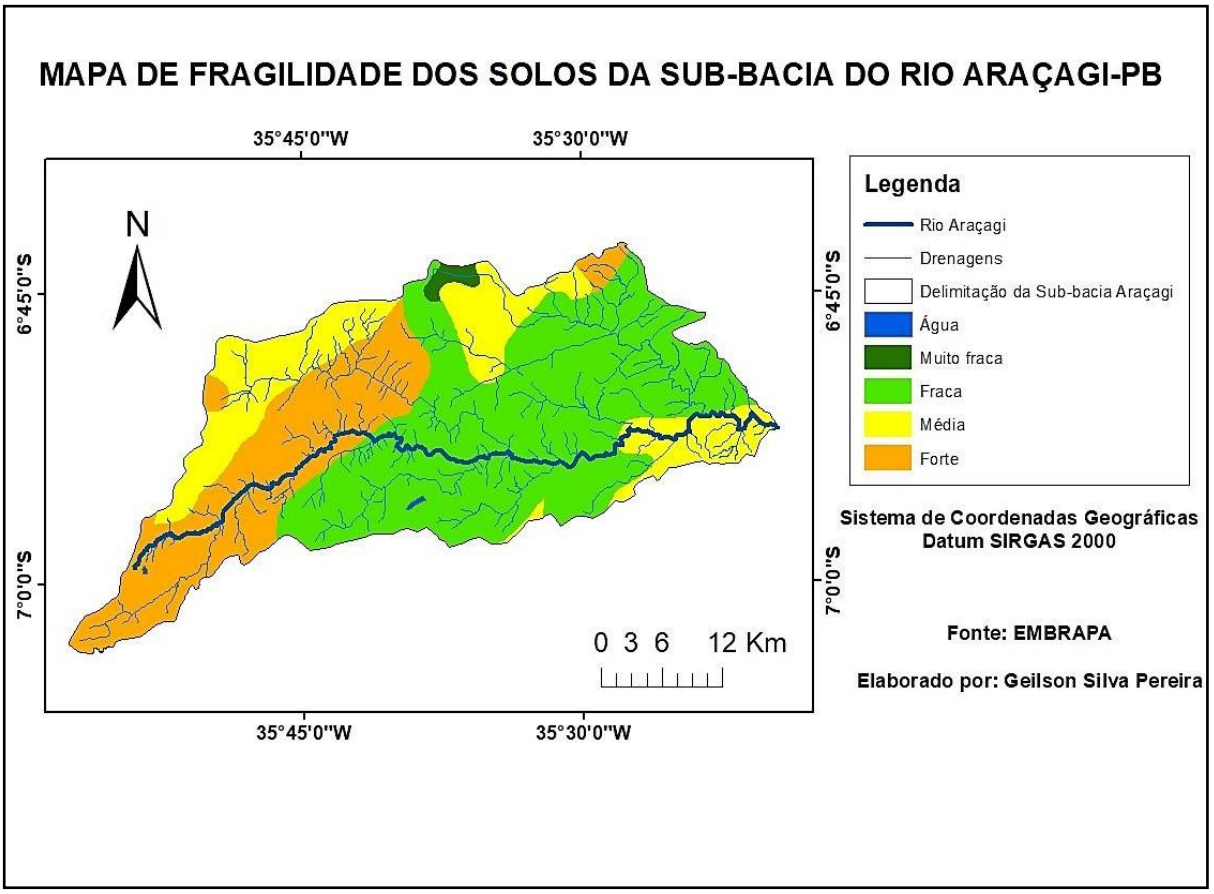


Figura 30: Mapa de fragilidade dos solos.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Os latossolos Vermelho-amarelos são encontrados com pouca frequência na sub-bacia, tendo baixa erodibilidade. Esses solos possuem uma baixa drenagem, tendo uma baixa retenção de umidade, são ácidos e têm uma fertilidade natural muito baixa, mas quando bem manejados ou em condições naturais, são bem resistentes à erosão. Cunha et al (2010) relatam que ao serem submetidos ao uso de maquinários pesados podem sofrer compactação intensa e com isso aumenta a suscetibilidade de processos erosivos.

Os Luvissolos possuem uma erodibilidade média, conforme mostra o a figura 30, e ocorrem na maior parte da área de estudo. Eles estão distribuídos entreo médio e o baixo cursos. Esses solos são pouco ou medianamente intemperizados, com acumulação de argila no horizonte B, favorecendo uma média erodibilidade (EMBRAPA, 2018).

Os Argissolos vermelho-amarelos são solos que têm uma média erodibilidade , sendo encontrados predominantemente no baixo curso e também em parte do alto curso. São solos com moderada a boa drenagem (IBGE 2007), e possuem um incremento de argila em profundidade, passando de 20% para 35 a 40% em horizontes mais profundos.

Os Nitossolos vermelhos também apresentam média erodibilidade, possuindo mais de 60% de argila, tanto em superfície, quanto em profundidade. Já os Neossolos regolíticos ocorrem em uma grande parte do alto curso da sub-bacia, sendo um solo com alta erodibilidade, esses tipos de solos podem ser arenosos ou não e até muito drenados, com uma boa reserva de minerais primários que são pouco resistentes ao intemperismo, Cunha (2010) afirma que esses tipos de solos são mais suscetíveis aos processos erosivos.

Portanto, os solos de uma determinada área podem ser os responsáveis pela existência de processos erosivos. Vale ressaltar que nesta pesquisa não foram feitas análises em laboratório para a identificação dos graus de erodibilidade, pelo fato do tempo ter sido muito curto e limitado. Porém, para a compreensão da fragilidade, os pesos sugeridos pela metodologia de Ross apresentaram bons resultados , assim como possibilitou um diagnóstico mais satisfatório da área de estudo.

8.4 CLIMA/PLUVIOSIDADE

A análise da pluviosidade de uma determinada área é uma etapa de extrema importância para que se possa obter um melhor resultado da sua fragilidade. Aschuvas causam processos erosivos em praticamente toda a superfície do planeta Terra, mas em maior intensidade nas regiões tropicais, onde as precipitações são mais volumosas (GUERRA 2012 p. 17).

Conforme afirma Bertoni et al (2012), o que mais influencia na erosão dos solossão as chuvas, sendo de grande relevância para contribuir com o transporte de sedimentos por meio do escoamento superficial. É crucial ressaltar que a quantidade e a velocidade da enxurrada dependem dos níveis de intensidade, duração e frequência da precipitação.

O pluviograma da **figura 31** mostra a pluviosidademédia na sub-bacia do rio Araçagi no período de 2001 a 2021.

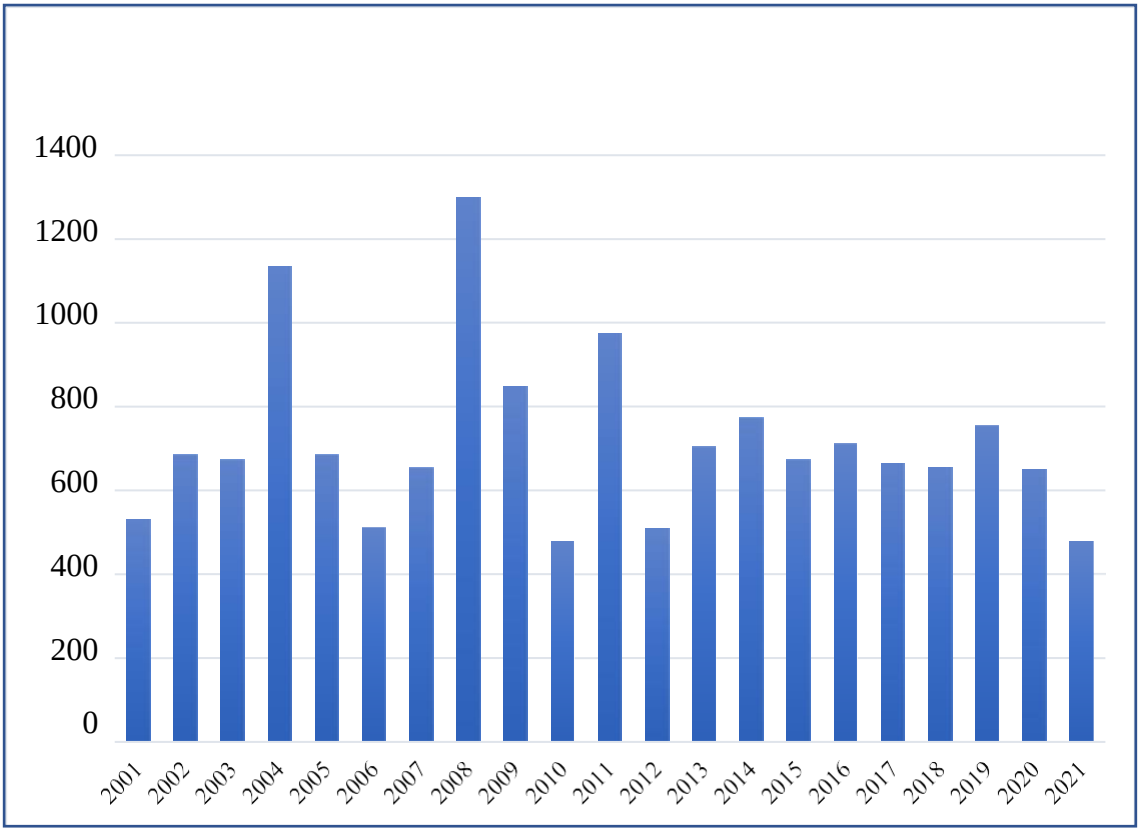


Figura 31: Pluviosidade média da Sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: AESA elaborado pelo autor, 2022.

Considerando que a área de estudo se estende por áreas com diferentes condições climáticas, a pluviosidade apresenta também regimes diferentes. No pluviograma é possível verificar a pluviosidade média na bacia do rio Araçagi nos período de 2001 a 2021.

Destacam-se os anos de 2004, 2008, 2009 e 2011, como os mais chuvosos, com médias ultrapassando os 800 mm anuais. Enquanto isso, os anos mais secos, ou seja, que apresentaram um menor índice de pluviosidade, foram os de 2006, 2010 e 2012, com pluviosidade abaixo dos 600 mm anuais. Vale ressaltar que nos meses em que a pluviosidade ocorreu baixa foram períodos de El Niño, o que influencia de forma significativa na baixa pluviosidade.

A **figura 32** mostra a espacialização da pluviosidade média na sub-bacia do rio Araçagi.

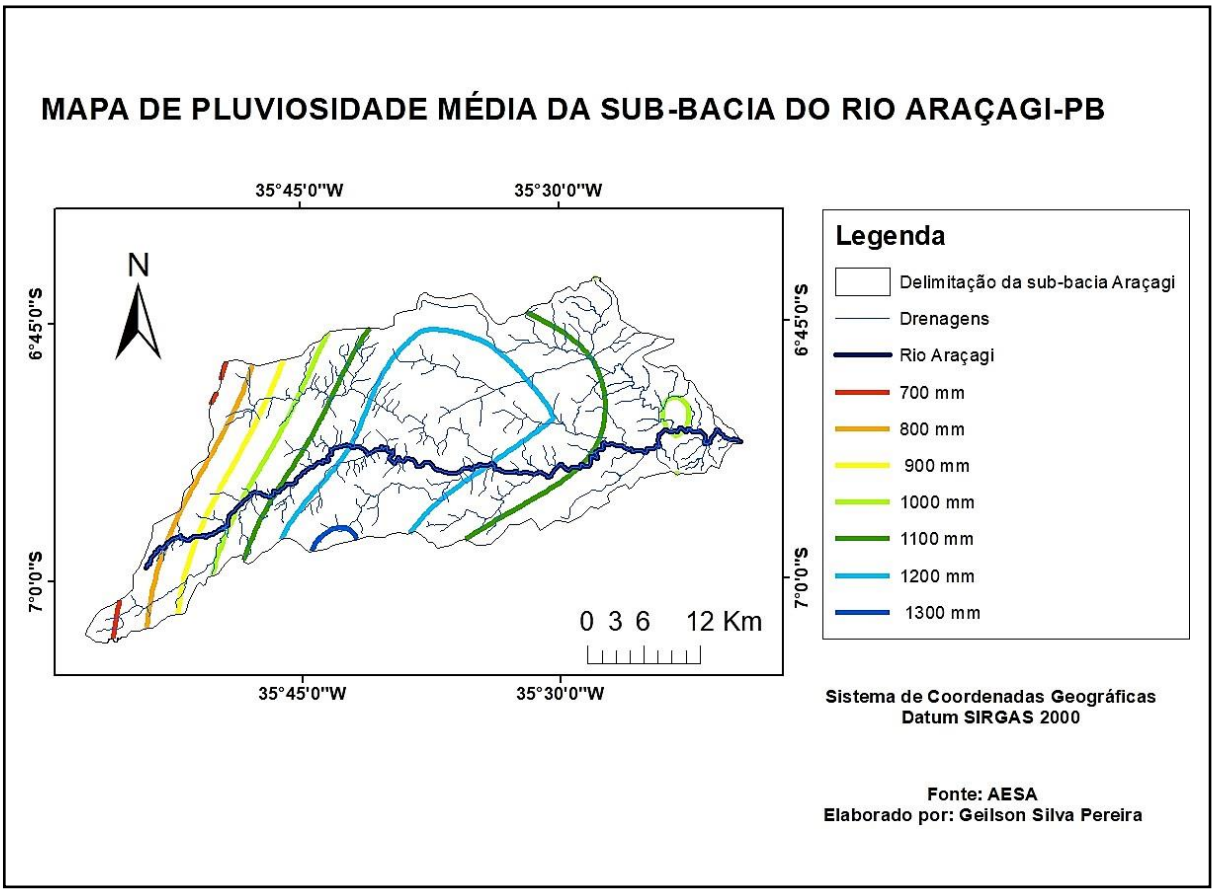


Figura 32: Mapa de pluviosidade média da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

No brejo, as chuvas são abundantes e bem distribuídas no período de março a julho, sendo resultante do efeito orográfico do planalto da Borborema sobre as massas úmidas vindas do oceano atlântico Sul. Lima (2003) cita que a precipitação média na região onde se localiza a sub-bacia do rio Araçagi pode chegar a 1400 mm/ano, com máxima de 2.197 mm no ano de 1985 e mínima de 816,9 mm em 1993.

Desse modo, ocorre em média, anualmente, de 3 a 4 meses secos, quando há um déficit hídrico-edáfico. No verão, ocorrem chuvas convectivas mais intensas, proporcionando um maior risco de erosão (LIMA, 2003). No trecho inferior do rio Araçagi, o rio percorre a Superfície Pré-litorânea, estando em área de setor úmido e subúmido, tendo essa área uma umidade e precipitação inferiores as áreas costeiras e as escarpas orientais da Borborema.

Os ventos na superfície Pré-litorânea são provenientes do atlântico, perdendo uma quantidade considerável de umidade, quando ocorre uma diminuição nos índices de precipitação. Nessa área a umidade média é de aproximadamente 78% e as precipitações são menos expressivas, com cerca de 700 mm/ano (GONSALVES,1982, PORTO, CABRAL,

TAMBARELLI, 2004).

Os dados pluviométricos usados neste estudo foram obtidos na AESA, referentes a postos pluviométricos dentro e no entorno da sub-bacia. Na **figura 33** é possível observar onde se localizam os postos pluviométricos que foram utilizados para gerar a intensidade e a fragilidade pluviométrica da área de estudo.

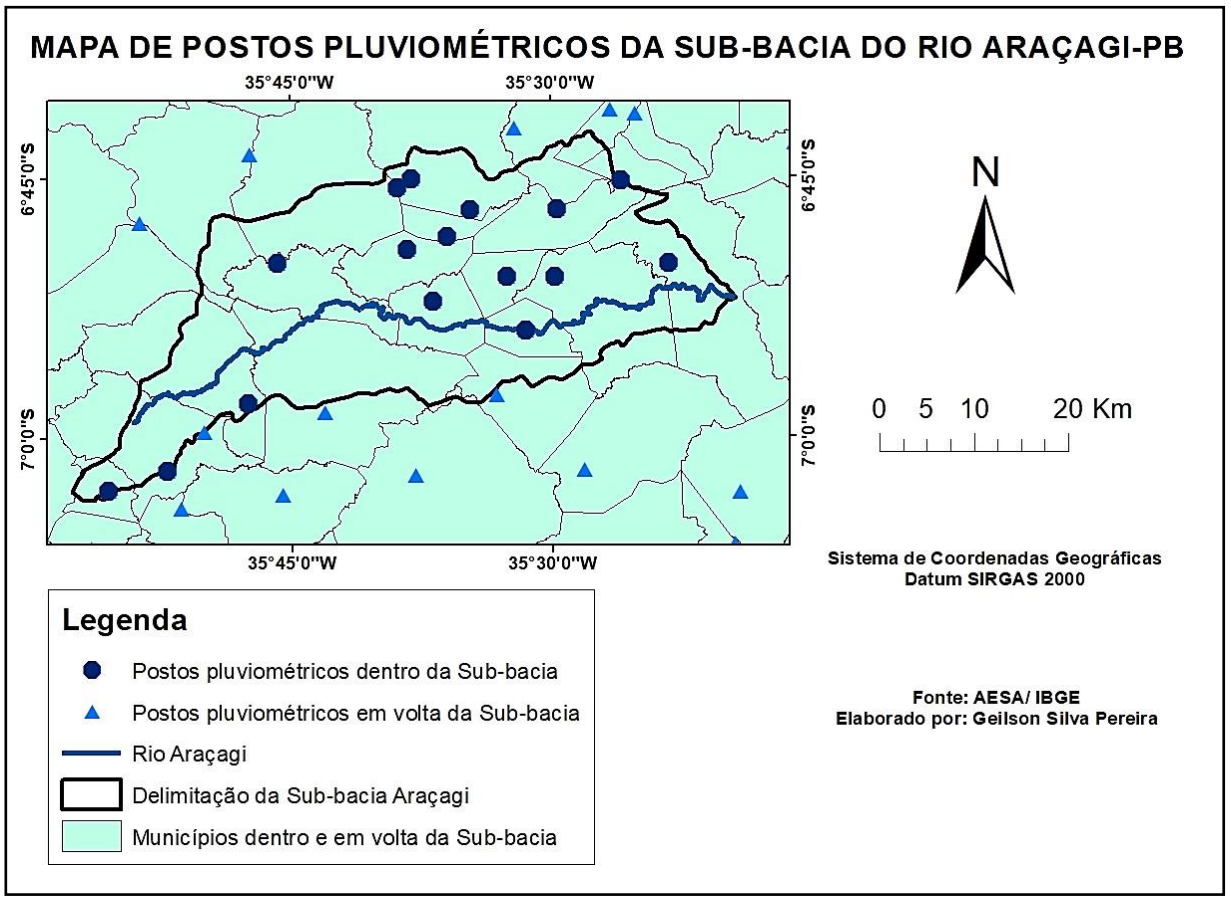


Figura 33: Mapa de postos Pluviométricos dentro e em volta da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

Na sub-bacia do rio Araçagi a intensidade pluviométrica é menor no alto curso, onde os índices pluviométricos são baixos, considerando que já se encontram condições de clima semiárido. Nas primeiras chuvas do período chuvoso nessa área , os processos erosivos são mais intensos, pelo fato da vegetação de caatingater perdido suas folhas, deixando o solo mais exposto ao impacto da chuva. Os níveis de intensidade nessa área da bacia estão entre 140mm-224mm ao ano.

O mapa da **figura 34** a distribuição espacial dos níveis de aintensidade das chuvas na sub-bacia do rio Araçagi.

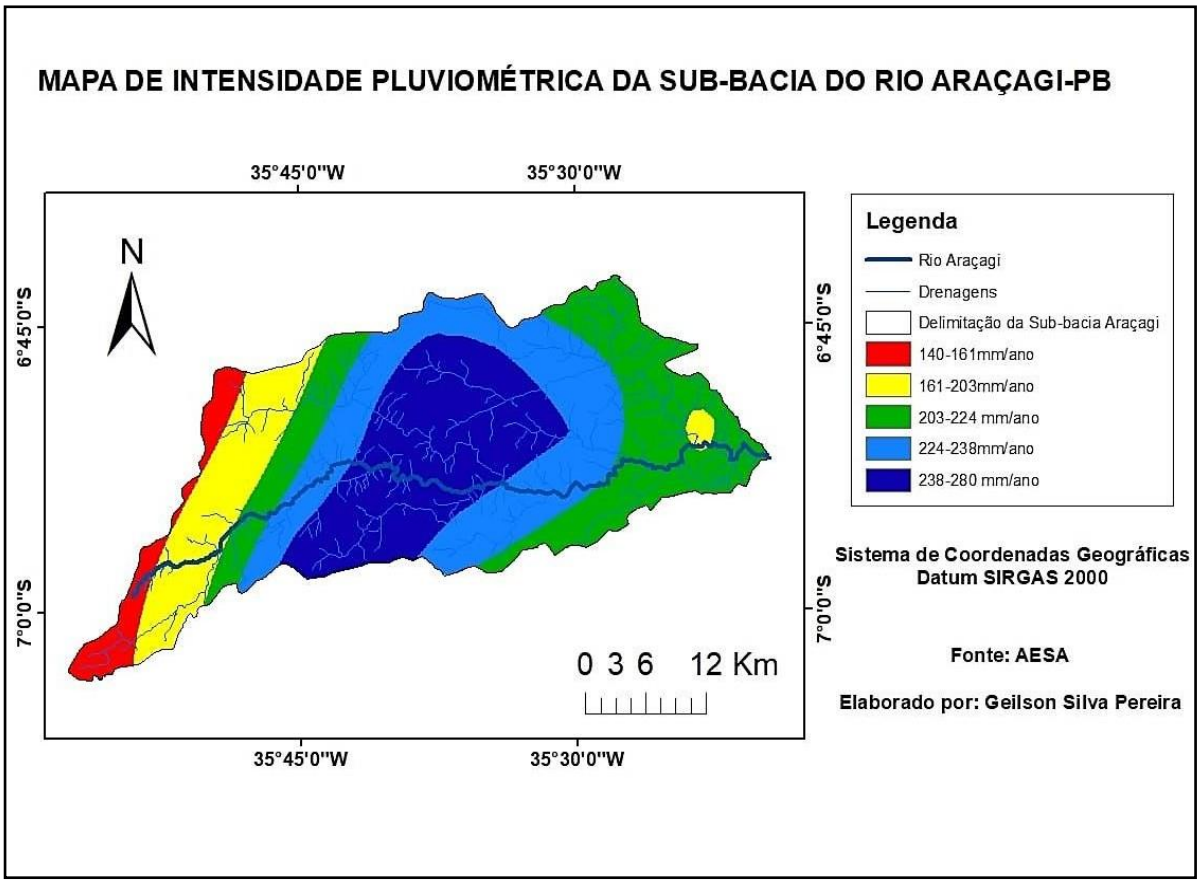


Figura 34: Mapa de intensidade pluviométrica da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

As altas intensidades estão na porção central da sub-bacia, onde ocorre o Brejo paraibano , onde os índices pluviométricos são mais elevados. A intensidade pluviométrica nessa área fica entre 284 e 280mm ao ano. No baixo curso as intensidades pluviométricas são intermediárias, entre 203 e 224mm ao ano.

A **figura 35** por sua vez, mostra o resultado da fragilidade pluviométrica, gerada a partir da intensidade pluviométrica. Observa-se que a fragilidade pluviométrica da área de estudo é maior onde a intensidade pluviométrica também é maior, ou seja, há uma relação direta entre intensidade e fragilidade pluviométrica.

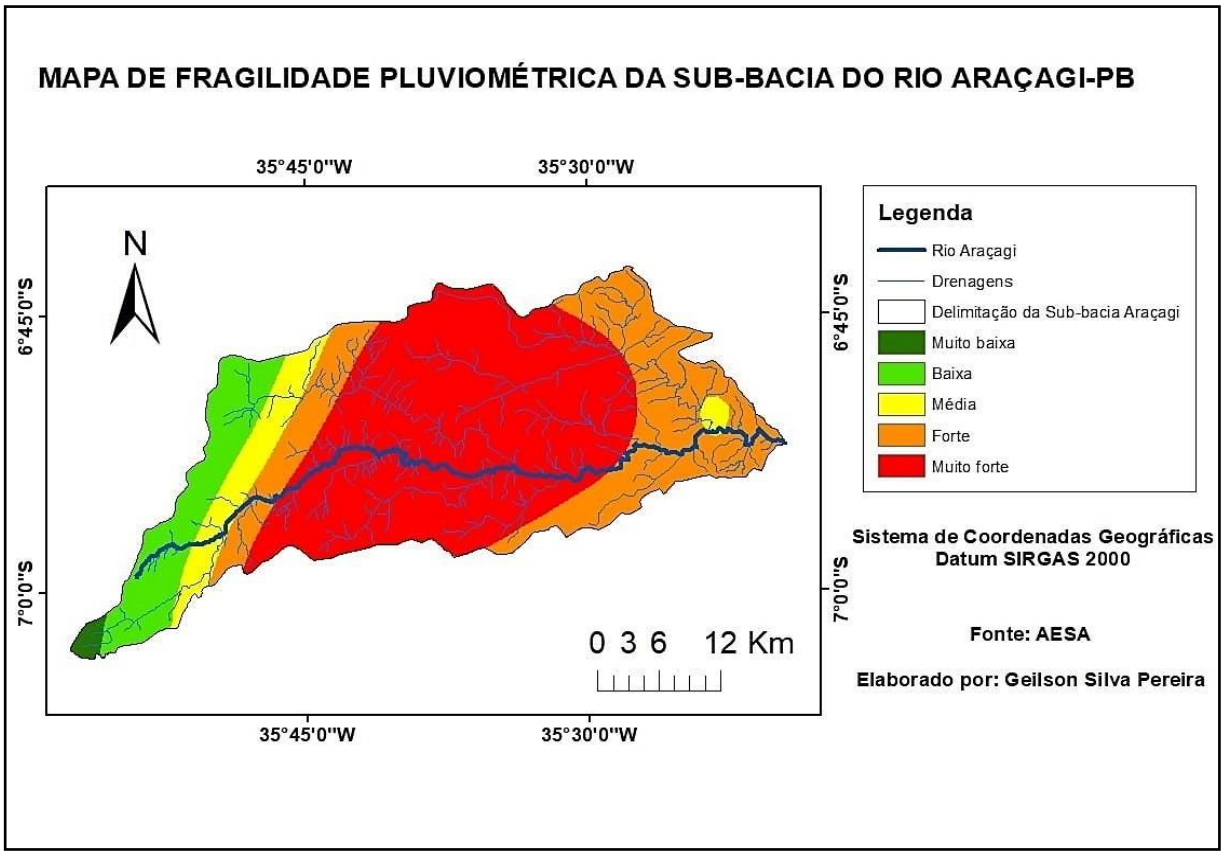


Figura 35: Mapa de fragilidade pluviométrica da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

8.5 USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL

O mapa da **figura 36** mostra como é a situação na sub-bacia do rio Araçagi quanto ao uso da terra e a cobertura vegetal.

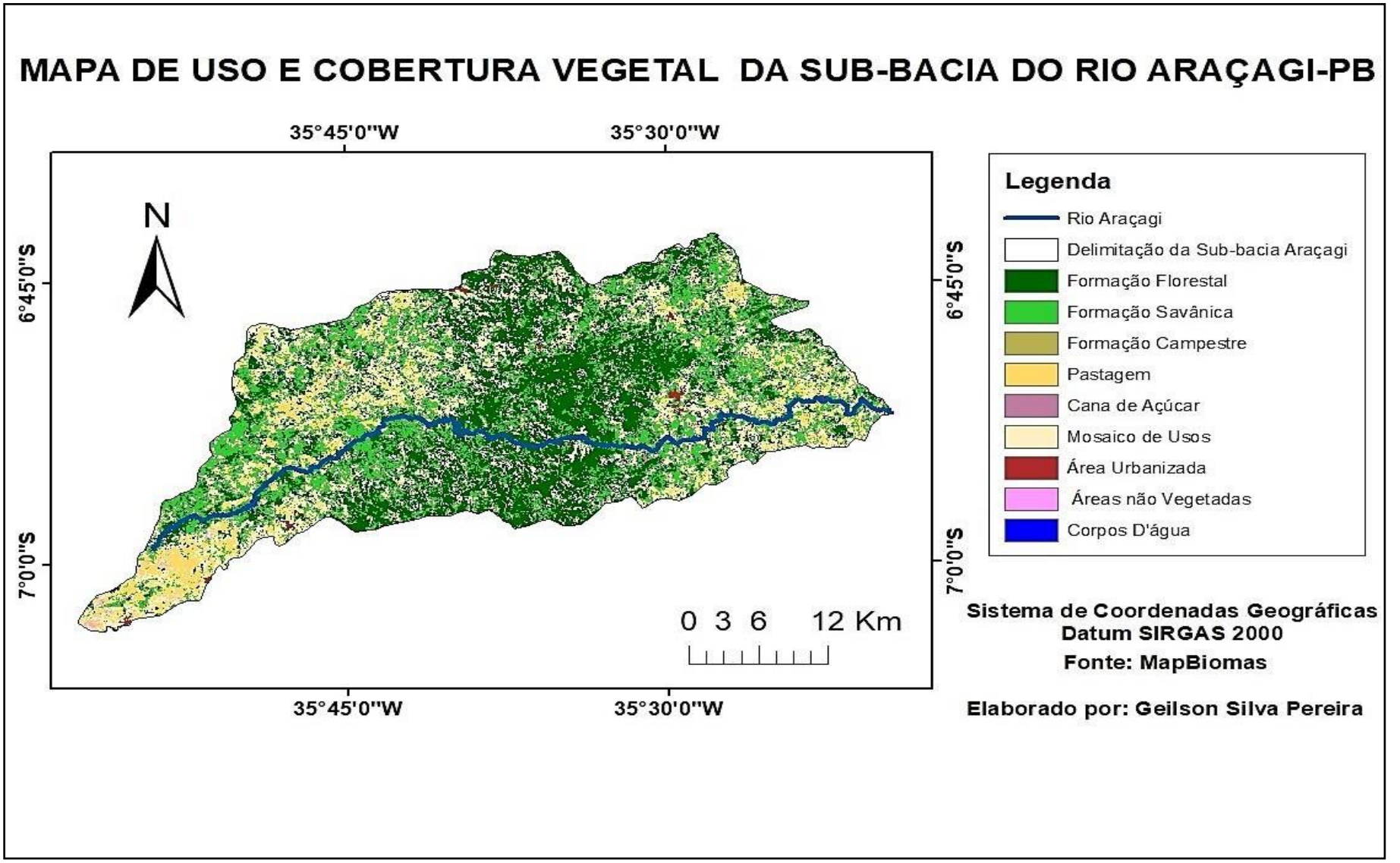


Figura 36: Mapa de uso e ocupação do solo da sub-bacia Araçagi
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

O uso da terra e a cobertura vegetal são de suma importância para entender como ocorrem as ações antrópicas na área de estudo. A remoção da vegetação por meio do desmatamento, das queimadas, e pela substituição por pastagens e culturas agrícolas, deixa a superfície do solo mais exposta aos agentes intempéricos, resultando em diferentes formas dos processos erosivos.

Calçado e Lombardi (2002) mencionam que a cobertura vegetal:

> [...] está relacionada a fatores influentes nos processos erosivos, dentre os quais se citam: efeitos espaciais da cobertura vegetal efeitos na energia cinética da chuva e o seu papel na forma de húmus a qual afeta, a estabilidade e o teor de agregados do solo.

A vegetação fornece ao solo um certo grau de proteção, dependendo do porte das plantas. Na área de estudo é possível encontrar vegetação ombrófila com características semelhantes a mata atlântica no médio curso, onde predomina o microclima sub-úmido do brejo de altitude da Paraíba. Embora os solos nessa área da sub-bacia sejam relativamente mais protegidos devido a cobertura vegetal existente, tem ocorrido um processo de desmatamento para dar lugar a pastagens para a pecuária bovina, intensificando os processos erosivos.

No alto curso do rio Araçagi a vegetação é mais rala e arbustiva, típica da caatinga. Nessa área a tendência é de que os processos erosivos ocorram com maior frequência e intensidade.

Souza et al (2005) relatam que as variações de umidade x secura durante o ano, em conjunto com uma precária capacidade de proteção da superfície do solo por parte da caatinga, fortalece o desempenho erosivo do escoamento superficial durante o período chuvoso.

Na área do baixo curso do rio Araçagi ocorrem algumas espécies de caatinga hipoxerófila e espécies de plantas da mata atlântica, constituindo as matas úmidas típicas do baixo agreste. A urbanização na sub-bacia do rio Araçagi tem crescido muito nos últimos anos, provocando a poluição dos rios.

Entre as atividades econômicas na área de estudo, destacam-se a pecuária, apicultura, piscicultura, extração de areia para a construção civil, agricultura, indústrias cerâmicas, agroindústrias como engenhos, fruticultura, entre outras.

Entre as culturas temporárias, se destacam o cultivo do milho, feijão, batata doce, mandioca, cana de açúcar, inhame, enquanto que as temporárias são as fruticulturas, como

jaqueiras, mangueiras, cajueiros, goiabeiras, bananais etc. As culturas temporárias ocorrem apenas nas épocas de chuva.

A **figura 37** ilustra de forma nítida alguns tipos de usos na área de estudo.

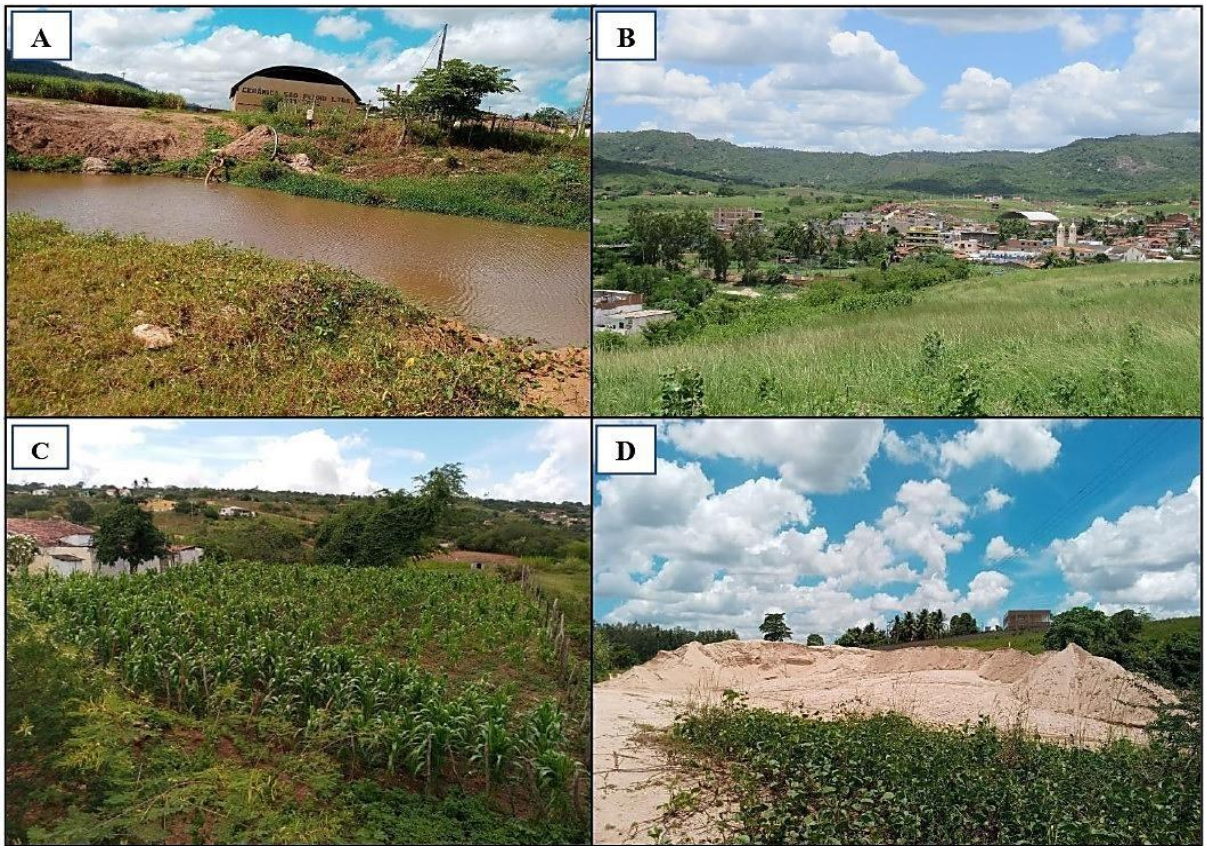


Figura 37: Uso na Sub-bacia Araçagi-PB. Uso A: Desvio de água para indústria de tijolo. Uso B: Ocupação Urbana. Uso C: Plantio de milho. Uso D: Extração de Areia.
Fonte: Autor, 2023.

A cultura que mais se destaca na sub-bacia é o cultivo de banana, que vem crescendo significativamente nos últimos anos no brejo paraibano, nos municípios de Areia, Pilões, Bananeiras, Borborema e Pilõezinhos. Os bananais vêm causando algumas alterações na dinâmica ambiental da área de estudo, por meio do desmatamento das matas ripárias (ciliares), favorecendo o desvio da água dorio para a irrigação.

A banana é uma planta que depende de muita umidade, por isso consome uma grande quantidade de água para sobreviver e desenvolver seus frutos. Uma outra atividade que tem crescido muito nas últimas décadas é a pecuária bovina, que causa um alto nível de desmatamento para dar lugar a pastagem que servirá de comida para alimentar o gado.

O superpastoreio intensivo causa danos ao solo pelo fato de ficar desprotegido e os animais removerem a matéria orgânica pelo seu pisoteio, o que fragiliza ainda mais a perda do manto de intemperismo. A pecuária bovina se destaca com mais frequência no médio curso da bacia e no alto curso,o que faz com que boa parte dos produtores dependeram da água do rio Araçagi para os animais, sendo esse rio de vital importância para a economia local.

Com base nos dados de uso da terra e cobertura vegetal, foi gerado o mapa da **figura 38,** que mostra a fragilidade emergente na sub-bacia do rio Araçagi.

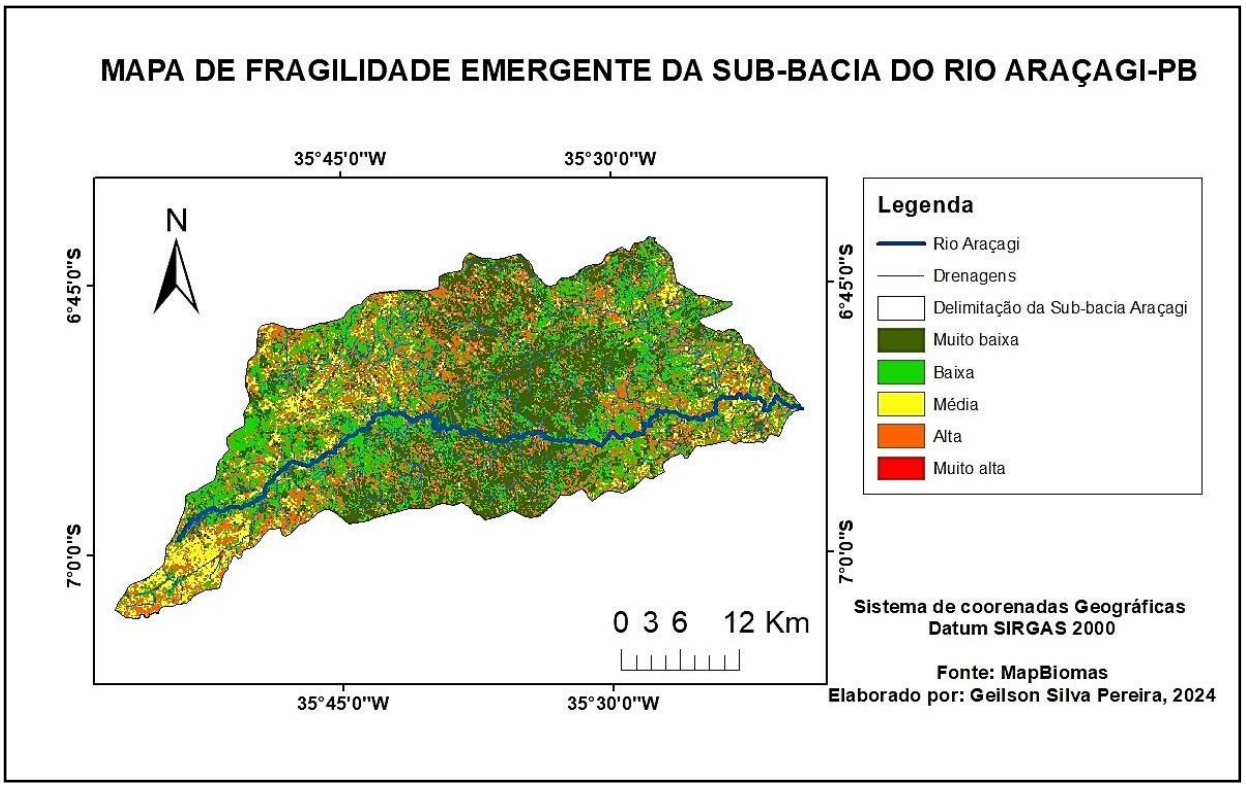


Figura 38: Mapa de fragilidade Emergente da sub- bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

8.6 FRAGILIDADE POTENCIAL

As variáveis utilizadas para gerar a fragilidade potencial são litologia, declividade, solos e pluviosidade. Dessa forma, com base na proposta de Ross, o mapa da **figura 41** foi gerado, somando os valores atribuídos a cada um desses fatores, representados nos respectivos mapas de fragilidade, e o resultado foi por meio dos trabalhos de campo realizados na área de estudo, foi possível perceber alguns processos erosivos, como sulcos e ravinas.

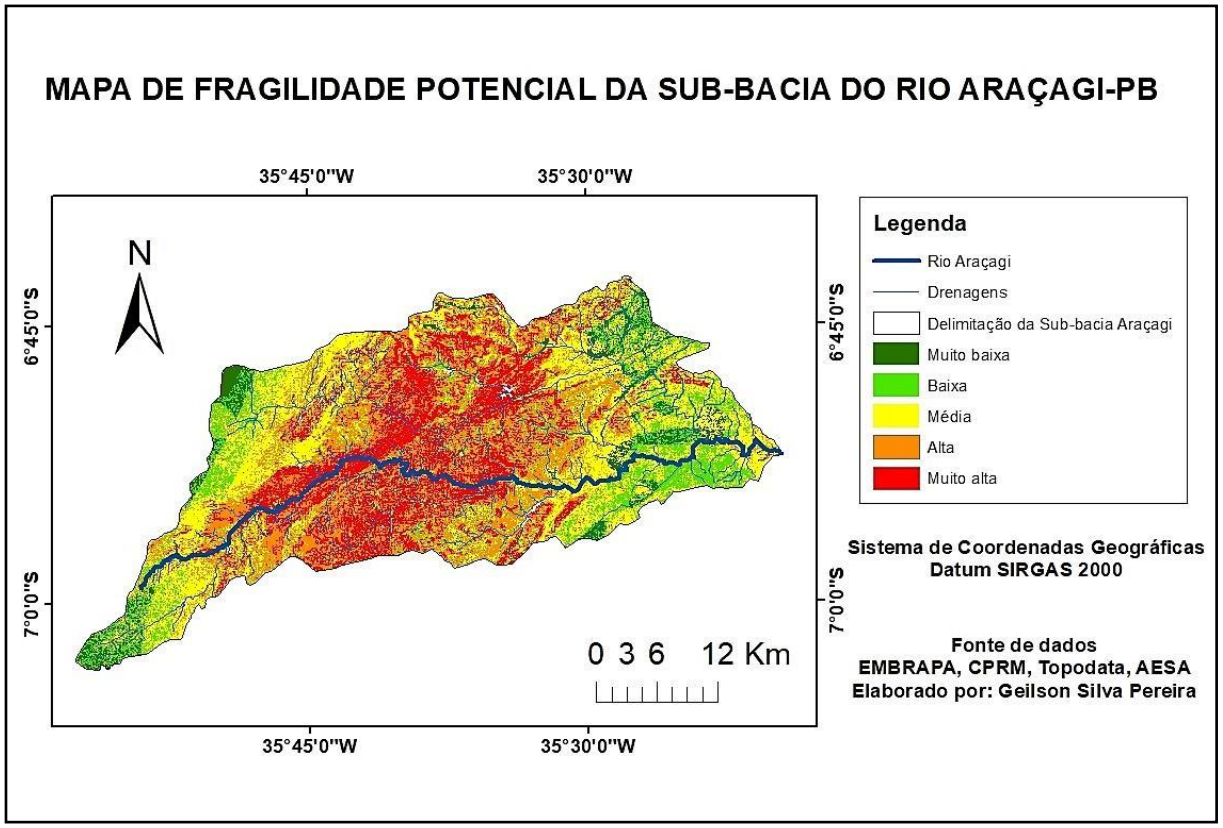


Figura 39: Mapa de fragilidade Potencial da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

As ravinas são as cicatrizes provocadas pelo escoamento superficial da água provocado pela energia cinética que entra em atrito com o solo (COELHO NETO 1989). Os processos erosivos foram registrados por meio dos trabalhos de campo realizados ao longo da sub-bacia, onde foi possível identificar os sulcos erosivos e as ravinas que ocorrem em toda a área de estudo. Uma outra questão a ser ressaltada é que ao longo da área de estudo não foram observados processo erosivos de alta intensidade, que são as voçorocas.

Um dos fatores que leva a compreender esse fato, se deve principalmente ao fator pluviométrico, pois a ação da chuva exerce grande influência no poder de erosão. Na **figura 40** pode-se perceber alguns processos erosivos lineares.

Figura 40: A: Sulcos erosivos no município de Pilões. B: Ravina nomunicípio de Areial.
Fonte: Autor, 2023.

Na **figura 40** acima é possível perceber processos erosivos causados pela ação das águas pluviais. Dessa forma, percebe-se que os processos erosivos ocorrem muitas das vezes de forma natural sobre a superfície terrestre, o que se configura em uma fragilidade própria do ambiente.

Quando o ser humano deixa os solos expostos acaba intensificando o processo e intensifica essa fragilidade. A sub-bacia do rio Araçagi possui um nível de fragilidade potencial muito baixo ebaixo, no alto e baixo curso, onde a declividade é menos acentuada. Nas áreas com relevo mais acidentado, onde a declividade é mais acentuada, os processos erosivos são mais intensos.

Muitas das vezes, a erosão pode ser acelerada quando potencializada pelas ações antrópicas, que por sua vez, ao retirar a vegetação, deixa o solo descoberto, impossibilitando a infiltração da água e contribuindo para o escoamento superficial.

De acordo com Salomão (2010), dependendo da forma como acontece oescoamento superficial ao longo da vertente, pode acarretar na remoção progressiva e uniforme dos horizontes superficiais dos solos, que é causada pelo escoamento superficial, sendo também ocasionada pelo escoamento difuso das águas da chuva, gerando a erosão laminar ou em lençol,

assim como pode resultar em pequenas incisões na superfície do terreno, causadas por linhas de fluxo de águas do escoamento superficial, originando a erosão linear, sendo o primeiro estágio para os sulcos e as ravinas.

Foster (1981) define erosão em sulcos como sendo fissuras no solo com uma profundidade de até 300 mm, podendo evoluir para as chamadas ravinas. Morgan (2005)define ravina como sendo um canal de drenagem relativamente permanente, de paredes com alta declividade, onde registra-se um escoamento efêmero, devido a precipitação que ocorre nos períodos de chuva. O Soil Science of América 2008 destaca que ravina é:

> "Canal erodido pelo fluxo concentrado, mas intermitente de água, e imediato e após a ocorrência de chuvas intensas, sendo profundo ou suficiente (normalmente >0,5 m) para interferir com a lavoura normal e não ser por ela eliminado"

O ravinamento é um processo erosivo pelo qual o fluxo superficial se acumula em canais de forma constante em períodos curtos, e desse modo ocasiona a remoção do solo a profundidades consideráveis. As ravinas nas encostas são muitas das vezesefêmeras, sendo algumas formadas por um evento chuvoso, e dessa forma obliteradas por uma nova tempestade que pode gerar uma nova rede de ravinas sem nenhuma ligação com as que foram anteriormente formadas.

Na sub-bacia do rio Araçagi é possível verificar a ocorrência de processoserosivos lineares do tipo sulcos e ravinas que ocorrem com mais intensidade nasencostas, porém não foram encontradas voçorocas na área de estudo. Um dos fatores que deve ser levado em consideração para não haver esse tipo de erosão, é a pluviosidade que não é muito intensa.

8.7- FRAGILIDADE AMBIENTAL DA SUB-BACIA DO RIO ARAÇAGI

Os problemas ambientais existentes na área de estudo têm aumentado consideravelmente devido a intensificação das ações humanas, e isso se reflete no mapa de fragiloidade ambiental da área de estudo na **figura 41.**

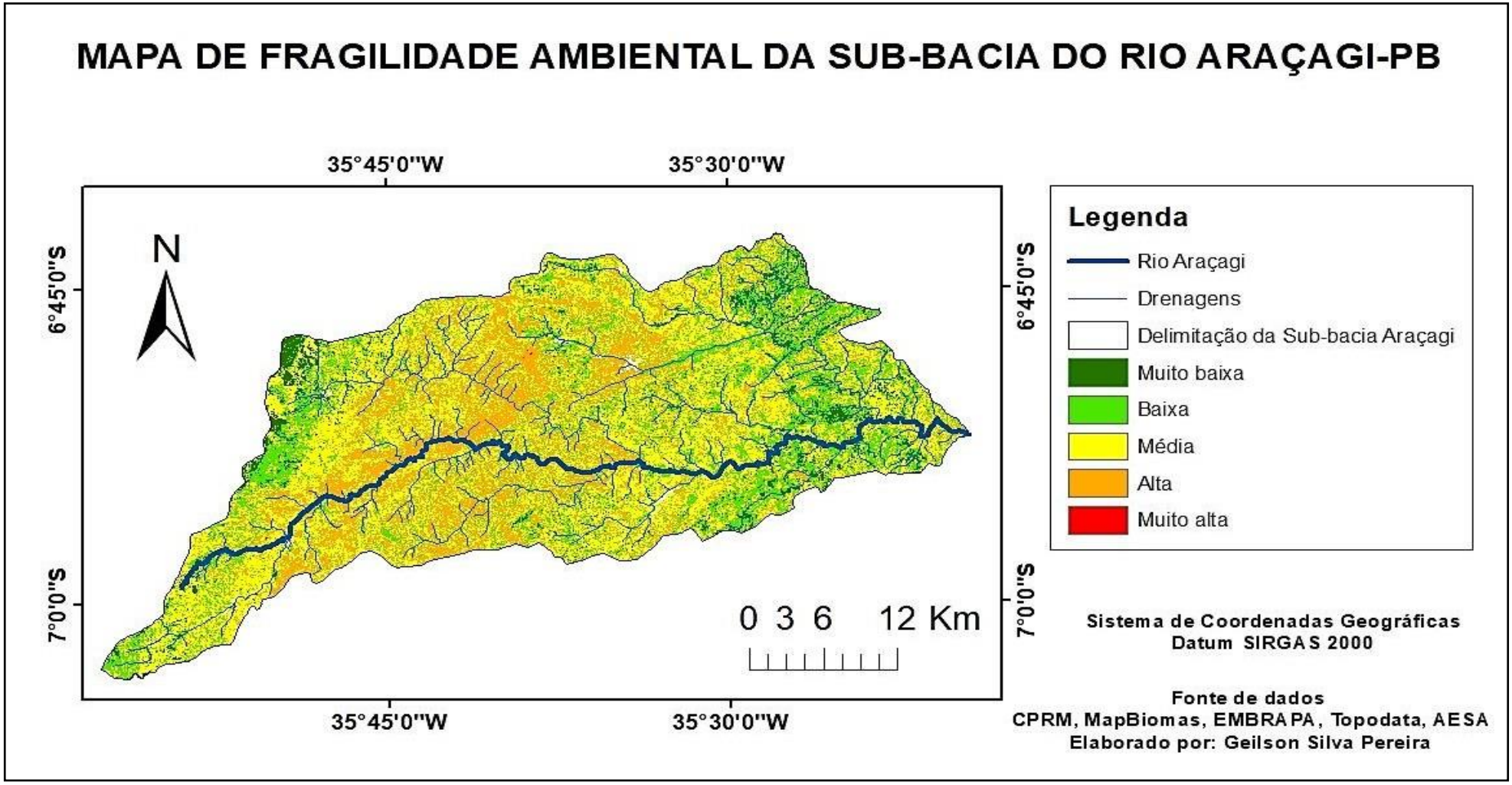


Figura 41: Mapa de fragilidade ambiental da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2023.

De acordo com essa informação, observa-se que as maiores fragilidades são encontradas na porção central da área (médio curso), onde se observam os trechos com relevo mais acidentado, na escarpa oriental do Planalto da Borborema, onde existe maior fragilidade potencial, mesmo onde ainda se observam muitas áreas com cobertura vegetal mais densa, exercendo uma boa proteção do solo. Por outro lado, as menores fragilidades ocorrem no alto curso e no baixo curso, onde estão os trechos com relevo menos movimentado, onde existe menor fragilidade potencial, mesmo ocorrendo usos da terra diversos e menor proporção de cobertura vegetal.

Diante do exposto, a fragilidade potencial, e mesmo a fragilidade ambiental, estão estreitamente relacionadas com aspectos relacionados ao relevo. Para que seja possível fazer uma relação do que foi observado nos trabalhos de campo, com os produtos cartográficos que foram gerados, a seguir são mencionados alguns elementos que foram identificados:erosão dos solos, desmatamento, queimadas, desvio de água do rio para o uso industrial e extração de areia para a construção civil.

Algo que é muito recorrente na área de estudo são as queimadas e o desmatamento. As queimadas na sub-bacia acontecem rotineiramente para dar espaço às pastagens no alto curso, enquanto no brejo (médio curso) é comum o plantio da monocultura da banana e da cana-de-açúcar.

Os processos erosivos na área de estudo estão relacionados com o plantio de capim para alimentar o gado bovino, criado de forma extensiva, que proporciona o pisoteio do solo. Nas épocas de seca, as pastagens estão mais frágeis devido à ausência de água. Dessa forma, o gado provoca o pisoteio da vegetação deixando o solo ainda mais exposto, e nas primeiras chuvadas, quando o solo está com pouca pastagem, o escoamento superficial provoca a sua remoção, causando a erosão.

Os processos erosivos também ocorrem nas áreas mais íngremes, havendo o escoamento concentrado da água, ocasionando sulcos e ravinas. Essa situação está relacionada com algumas culturas agrícolas muito comuns na região, como banana e cana-de-açúcar. Um outro problema registrado na sub-bacia é o desmatamento, que tem deixado o solo desprotegido, com isso, a ausência de vegetação contribui para os processos erosivos lineares.

As queimadas, por sua vez, geram problemas relacionados com o empobrecimento do solo, por destruir parte da matéria orgânica e dos organismos vivos. Por consequência, com a diminuição da cobertura vegetal, intensifica-se o escoamento superficial e instalam-se os processos erosivos.

A **figura 42** mostra nitidamente um caso de desmatamento que ocorre rotineiramente na sub-bacia.

Figura 42: Desmatamento na sub-bacia Araçagi no município de Areia.
Fonte: Autor, 2024.

De acordo com Marchão et al. (2007), a compactação do solo pelo pisoteio animal, agravada pela remoção da vegetação e pelo pastejo, leva à diminuição das taxas de infiltração e consequentemente ao aumento da erosão, afetando ocrescimento radicular dos vegetais.

Um outro problema identificado em campo e que não se reflete diretamente nos dados observados nos mapas gerados, são os barramentos dos rios, em alguns casos, observados próximos das nascentes. Esses barramentos são feitos para obtenção de água para os animais de criação, mas geram problemas relacionados com a alteração no fluxo de água dos rios. Esse fenômeno ocorre principalmente nos municípios de Areial e Esperança.

Na **figura 43** é possível observar diversos barramentos na área da nascente do rio Araçagi, no município de Esperança.

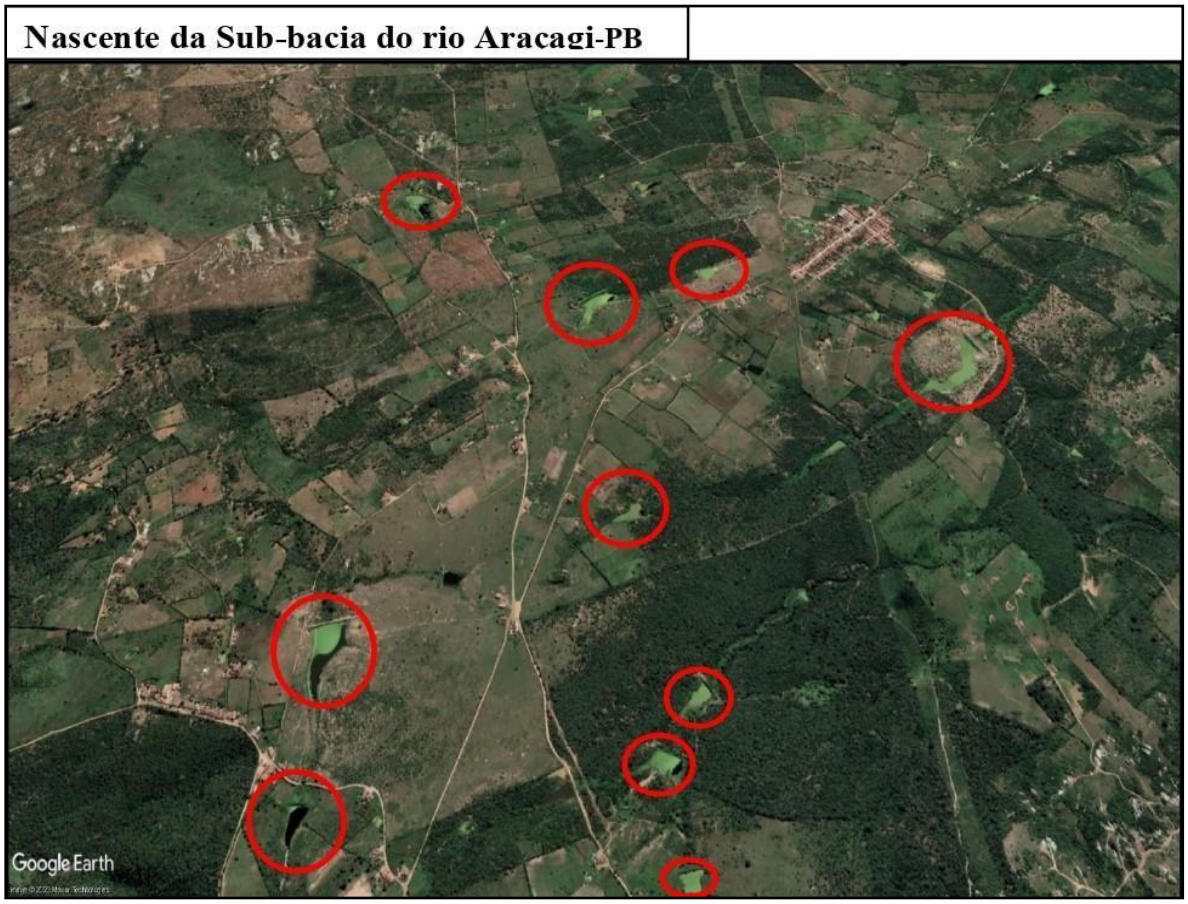


Figura 43: Barramentos na sub-bacia do rio Araçagi, no município de Esperança.
Fonte: Google Earth, elaborado pelo autor, 2024.

9- POTENCIAL DE PERDAS DE SOLOS NA SUB-BACIA DO RIO ARAÇAGI-PB

A Equação Universal da Perdas de Solos (EUPS em português), criada por Wischmeier e Smith (1978), é utilizada para estimar a perda de solos por erosão hídrica de uma determinada região. É uma forma de estimular cenários de perdas de solos e com isso é possível diagnosticar a fragilidade ambiental da área de estudo por meio dos processos erosivos que atuam sobre a superfície.

As pesquisas básicas nos estudos de erosão dos solos são extremamente importantes para que se possa realizar um planejamento ambiental, no qual devem ser consideradas as práticas conservacionistas.

A EUPS é constituída pelos seguintes fatores: erosividade da chuva (Fator R); erodibilidade dos solos (Fator K); topografia, que é a declividade e a extensão das vertentes (Fator LS); uso e cobertura da terra (Fator C) e práticas conservacionistas (P). Vale ressaltar

que o fator P não foi considerado neste estudo, já que não foi possível identificar e espacializar as práticas existentes na área de estudo.

9.1 FATOR EROSIVIDADE DA CHUVA (R)

O fator erosividade da chuva da EUPS é expresso em MJ.mm/ha.h.ano. Esse fator representa a capacidade que um evento de chuva tem de causar erosão em uma determinada área sem proteção (HILU, 2003). Existem inúmeras características das chuvas que podem ser consideradas para melhorar a precisão do cálculo da erosividade, tais como: quantidade de chuva total, energia cinética (força de impacto das gotas de chuva sobre o solo), intensidade, duração e frequência em que ela ocorre.

Portanto, devido as dificuldades de análise e disponibilidade de todos esses dados de formaconjunta,foram utilizados apenas os parâmetros que traduzem a energia cinética e a intensidade da chuva sobre a área estudada, pois por meio desses dados foi possível obter informações necessárias para o entendimento da intensidade da chuva sobre o solo.

O mapa da **figura 44** ilustra a erosividade da chuva na sub-bacia.

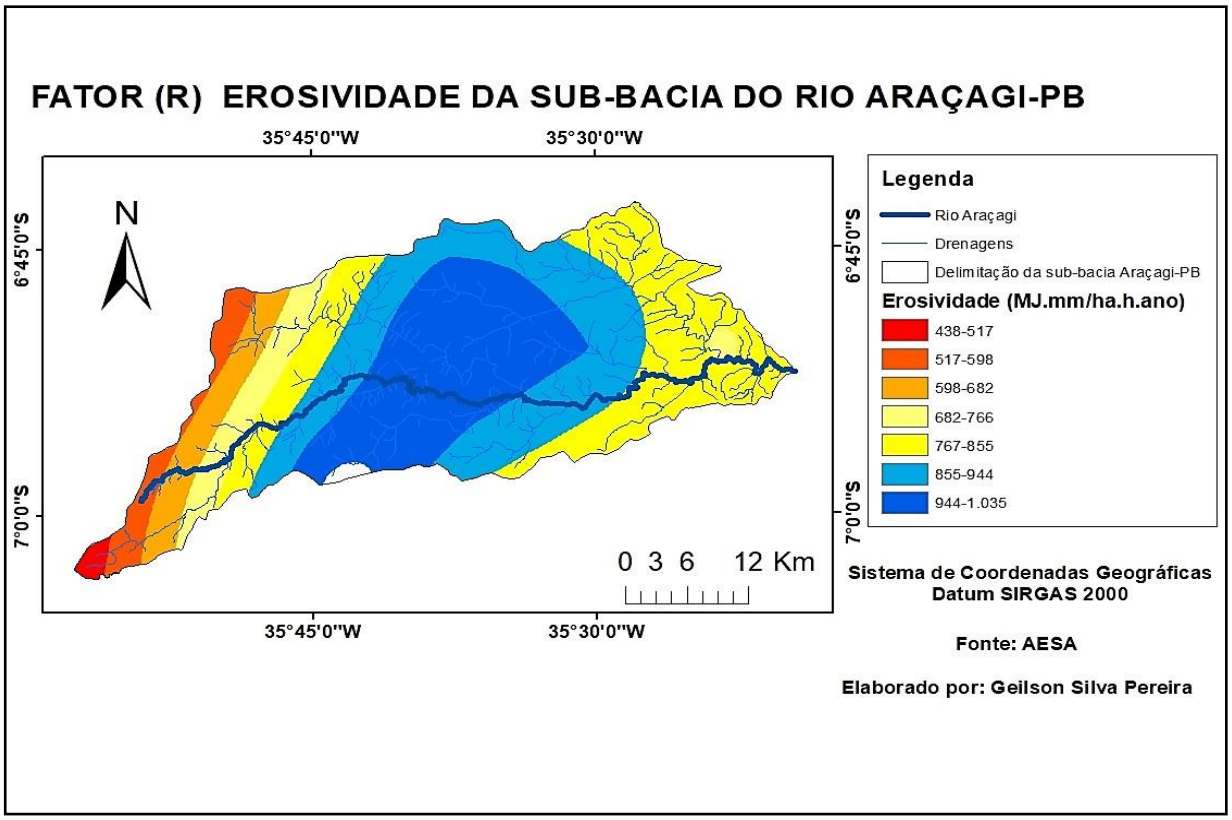


Figura 44: Mapa de erosividade da sub-bacia Araçagi
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Considerando que há uma relação direta entre quantidade de precipitação e erosividade, os valores mais baixos de erosividade da área de estudo (438 a 515 MJ.mm/ha.ano) foram encontrados a oeste da bacia, no alto curso, em uma pequena parte da área estudada, correspondendo a área de ocorrência de clima semiárido.

Os valores mais altos de erosividade (855 a 1035 MJ.mm/ha.ano) foram encontrados na poção central da sub-bacia, onde são registrados os mais valores de precipitação. Outro aspecto que deve ser mencionado é o fato de haver semelhança entre o dado de erosividade e intensidade pluviométrica, considerada na metodologia de Ross, uma vez que ambos os dados tem como origem os dados de precipitação.

9.2FATOR ERODIBILIDADE DO SOLO (K)

Quando se refere à erodibilidade, entende-se como a suscetibilidade que os solos têm de serem erodidos. Embora a intensidade de perda do solo de uma área possa ser influenciada mais pelas características das chuvas e condições do terreno (declividade, topografia), a cobertura vegetal e o manejo dos solos são agentes também indispensáveis para definir a erodibilidade dos solos.

Deve-se compreender que diferentes tipos de solos apresentam propriedades distintas, definidas durante o processo de sua formação. Essas propriedades são capazes de proporcionar uma maior ou menor facilidade com que os materiais se desprendam do solo, e posteriormente sejam transportados pela ação das águas da chuva.

Para a sub-bacia do rio Araçagi foram utilizados valores de erodibilidade disponibilizados na literatura, que possibilitaram gerar o mapa da **figura 45**.

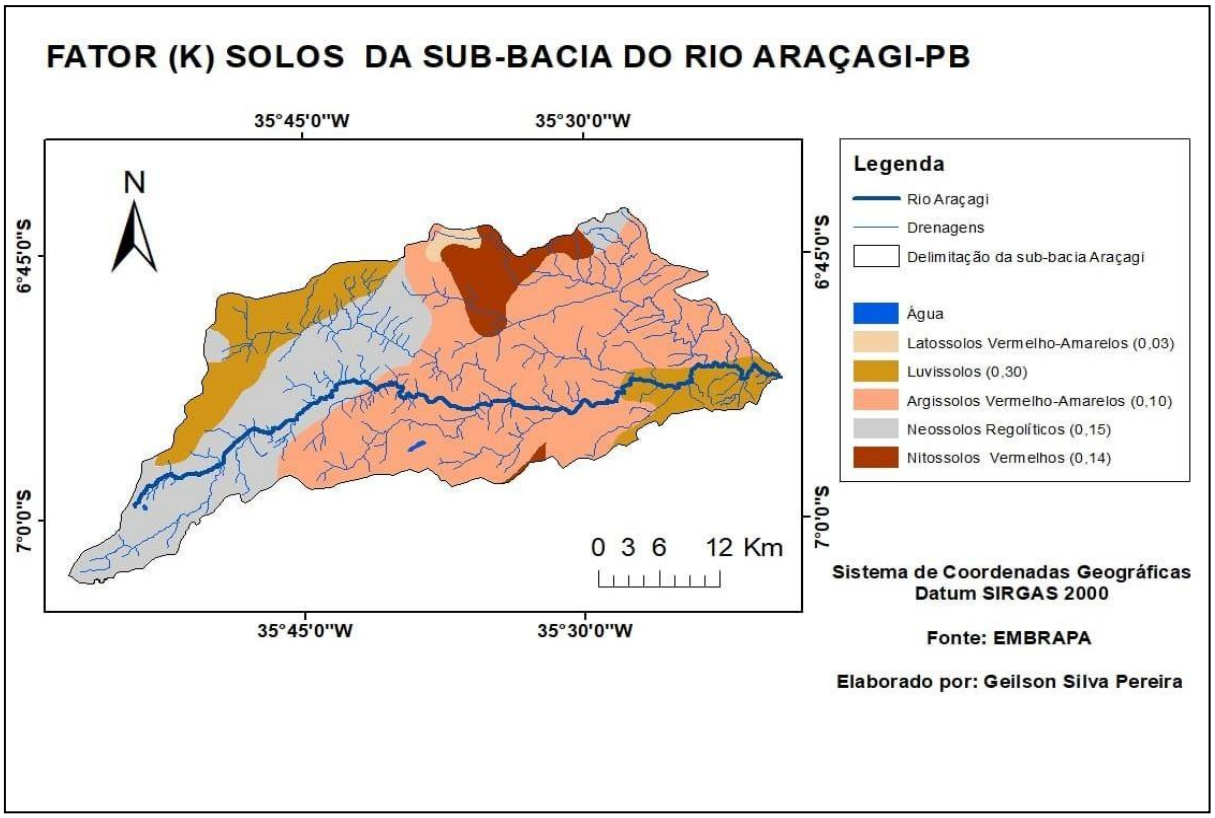


Figura 45: Mapa dos valores de Erodibilidade dos tipos de solos da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Segundo Wischmeier e Smith (1978) dentre as propriedades dos solos que influenciam na erodibilidade, pode-se destacar: teor de areia, silte e argila, a densidade aparente e real, a porosidade, a presença e a estabilidade dos agregados e a presença de matéria orgânica.

Com base nos dados de erodibilidade da figura 45, foram estabelecidos intervalos de valores, que permitiram gerar o mapa da **figura 46,** onde são observados níveis de erodibilidade.

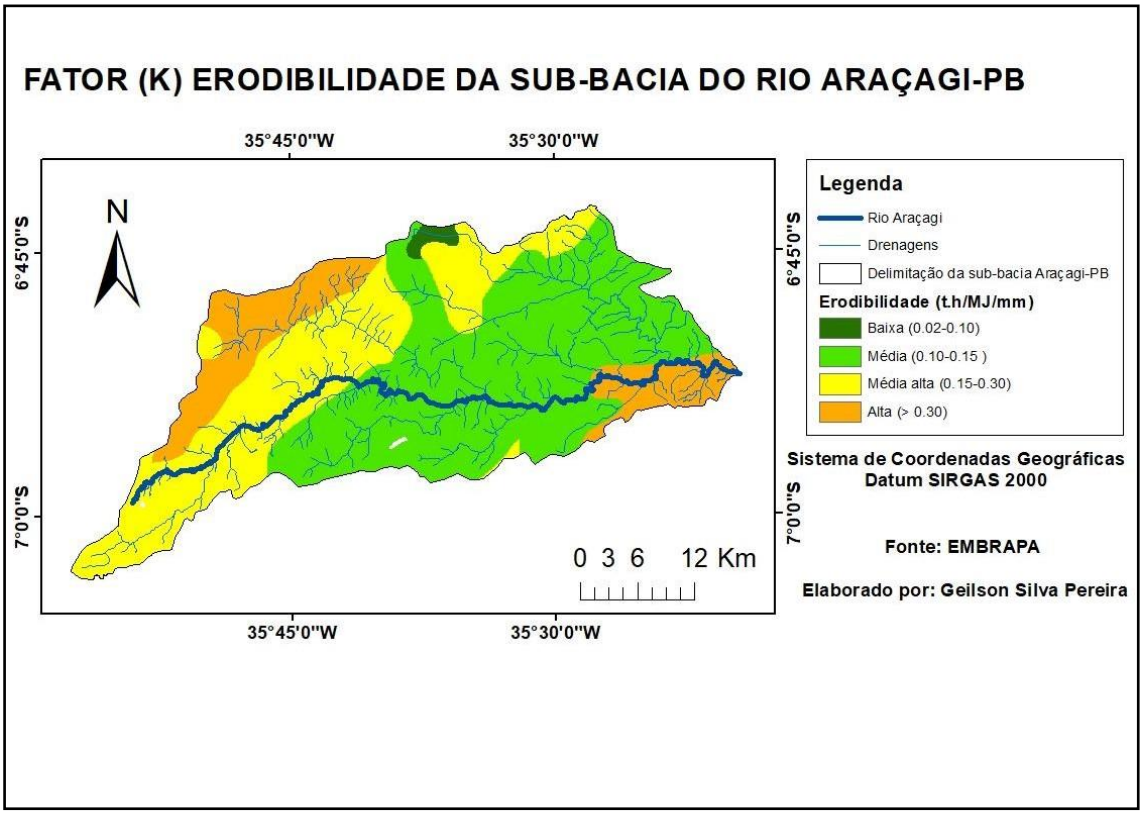


Figura 46: Mapa de erodibilidade da sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Lal (1990) afirma que é fundamental entender que a erodibilidade se refere à fragilidade do solo em sofrer erosão, que por sua vez recebe influência das propriedades físico/hidrológicas, químicas/mineralógicas, biológicas e bioquímicas, assim como são influenciadas pelas características de seu perfil.

A erodibilidade dos solos consiste em algo muito complexo, pois os processosde desgaste e transporte sofrem influência de diferentes fatores de suas propriedades como textura, estabilidade estrutural, teor de matéria orgânica, mineralogia das argilas e componentes químicos.

Observa-se que a sub-bacia tem solos que proporcionam de média a alta erodibilidade. Essas características estão relacionadas principalmente aos Luvissolos, Argissolos e Neossolos. Esse é um fator preocupante, notadamente para a porção central da área, visto que é nesse trecho que se encontram os trechos com relevo mais acidentado.

9.3 FATOR TOPOGRÁFICO (LS)

O relevo é um elemento de grande significância quando se analisa a erosão hídricade uma determinada região, sendo ele um potencializador dos processos erosivos. Dessemodo, as características do terreno têm papel fundamental sobre a erosão, tais como declividade (grau), comprimento de vertente (lançante) e a sua geometria (concavidade e convexidade).

A declividade é um fator relevante na erosão, pois exerce total influência sobre o volume e a velocidade da enxurrada. Já o comprimento de vertente (encosta) é um fator significativo no aspecto do terreno, sendo ele um grande influenciador no processo de erosão hídrica, pois a extensão das vertentes conduz a um aumento, tanto no volume quanto na velocidade da enxurrada, que em contrapartida gera um maior poder deerosão.

Com os estudos de Checchia e Massato (2005), foi identificado que o aumento do comprimento da vertente (L) provoca um aumento na perda de solo total, consequentemente na perda de solo por unidade de área, por meio do acúmulo progressivo do escoamento superficial na direção onde existem as menores declividades do terreno. Portanto, com o aumento do gradiente de declividade da vertente, obviamente aumentará também a velocidade e o poder erosivo.

Na sub-bacia do rio Araçagi as maiores declividades e as encostas mais extensas vão acontecer nas áreas escarpadas do planalto da Borborema, sendo o fator topográfico nessas áreas muito significativo, fazendo com que ocorram nessas áreas processos degradacionais relevantes.

Nos demais setores da sub-bacia, devido ao relevo menos movimentado, os valores do fator topográfico são mais baixos. A forma de encosta também tem um papel de extrema relevância no que se refere a degradação. Na área de estudo predominam encostas na sua maioria com geometria côncava, favorecendo um fluxo de água de grande velocidade à montante.

Na **figura 47** é possível visualizar o mapa do fator topográfico (LS) da sub-bacia do rio Araçagi.

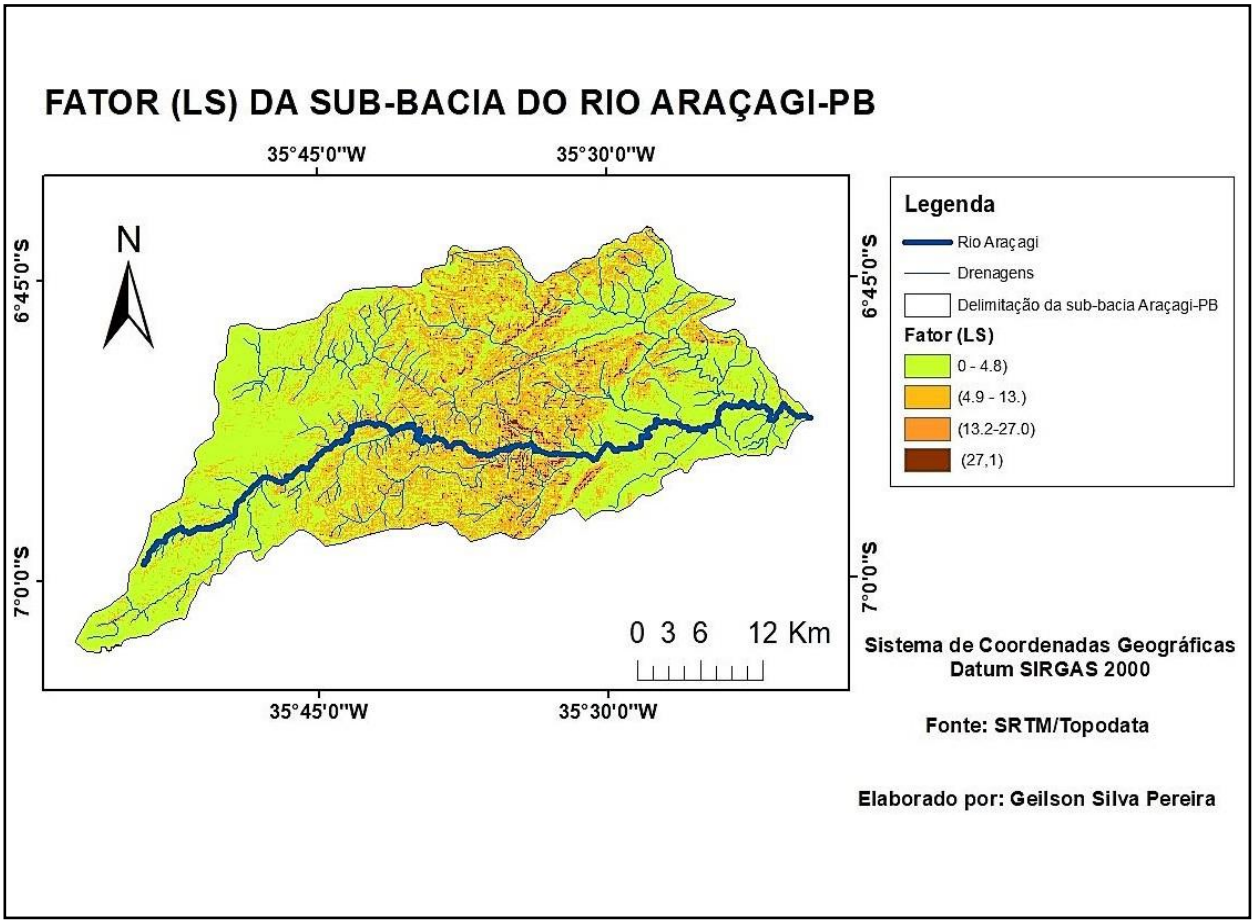


Figura 47: Mapa do fator LS da Sub-bacia Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na **figura 48 é** possível observar tipos de encostas que ocorrem na sub-bacia do rio Araçagi.

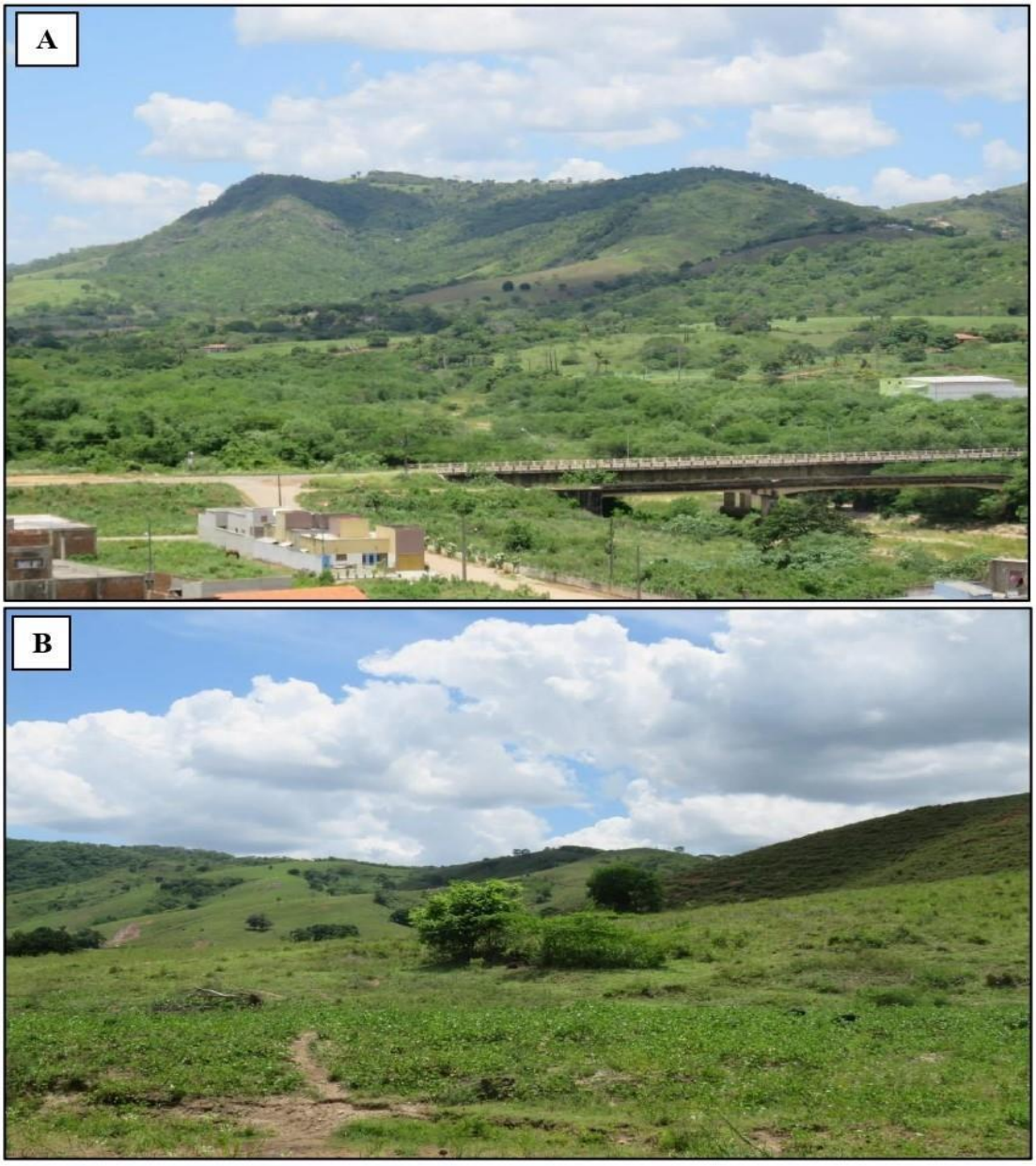


Figura 48: Encostas concavas e convexas. Encosta A: Encosta concava no município de Cuitegi. Encosta B: Encosta convexa no município de Araçagi.
Fonte: Autor, 2024.

A geometria da encosta tem papel fundamental nos processos de perda de solos, pois nas encostas côncavas, os processos erosivos atuam de forma mais intensa. Desse modo, na encosta A, com geometria côncava, é possível observar que a perda de solo será maior, pois nessa parte da bacia o canal fluvial é mais escavado, o que proporciona uma perda de solo mais considerável.

Na encosta B, os processos erosivos ocorrem de forma mais lenta devido a declividade ser menor, pois nesse tipo de encosta com geometria convexa, a atuação da água não tem um poder considerável para gerar uma perda de solo elevada. Portanto, tanto em encostas côncavas quanto convexas ocorrem processos de perda de solos, porém uma com maior intensidade devido um alto grau de declive e a outra com menor intensidade com menor grau de declividade.

9.4 FATOR (C) USO E COBERTURA DA TERRA

A cobertura vegetal que não foi alterada pelo ser humano constitui-se como grande agente na proteção do solo contra as ações erosionais. A vegetação exerce as seguintes funções na proteção do solo: proteção contra o impacto das gotas de chuva; dispersão da água; interceptação e evaporação antes que ela atinja as raízes dos vegetais; forma microcanais no solo, aumentando consideravelmente a infiltração da água, o que contribui no melhoramento da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica.

Os valores do fator C, da forma que os valores do fator K, foram obtidos da literatura. Na **figura 49** pode-se visualizar o mapa do uso e cobertura da terra da área de estudo, com os respectivos valores do fator C.

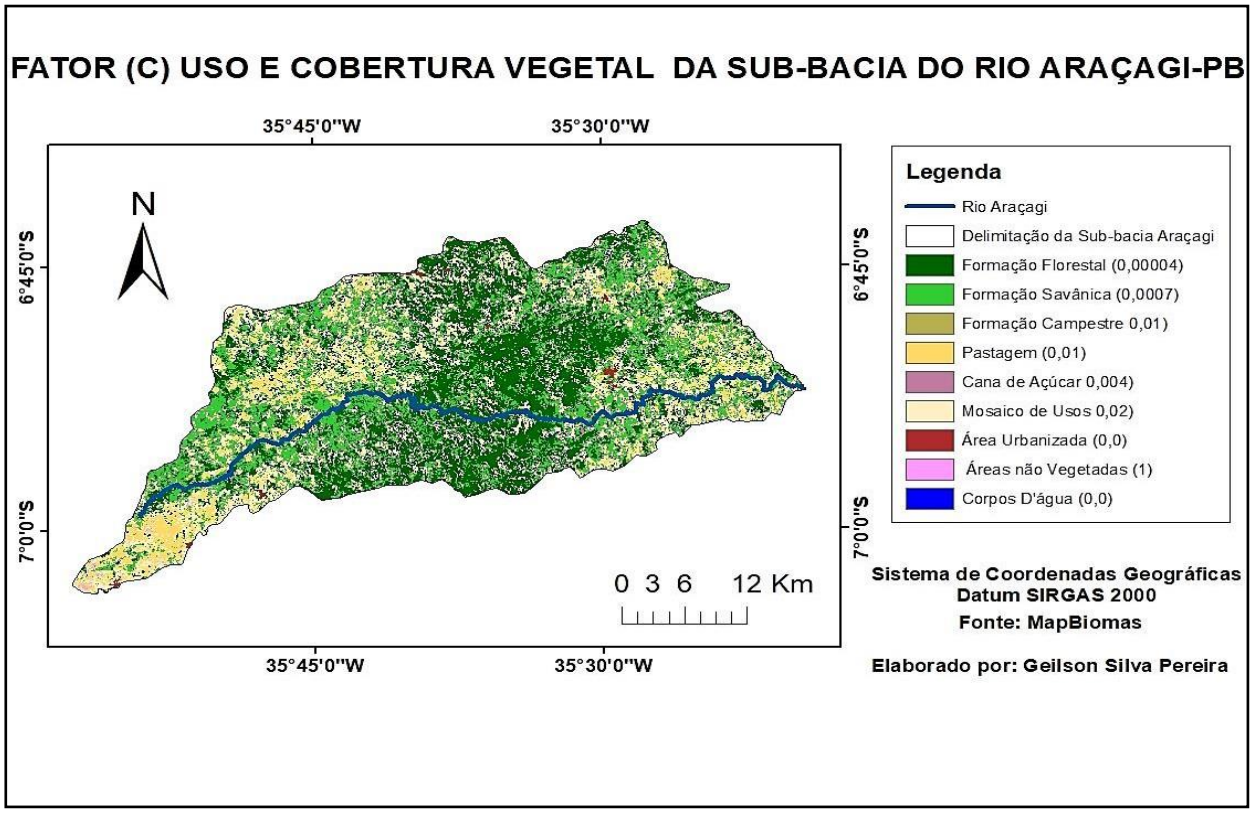


Figura 49: Mapa do fator (C) - uso e cobertura da terra da sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Na área de estudo foram identificados vários usos, tais como de culturas temporárias, formações vegetais e pastagens. Entre as culturas, estão principalmente as da cana-de- açúcar e de um mosaico de outras, tais como feijão, milho e mandioca. Entre as formações vegetais estão as de florestas, savanas e campestres.

Dentre os tipos de uso encontrados na área de estudo, as pastagens, as formações campestres e algumas culturas temporárias são os responsáveis pela menor proteção do solo e por isso, por possibilitar a ocorrência dos processos erosivos. Esses usos são encontrados, principalmente no alto e baixo curso da sub-bacia.

Na **figura 50** pode-se observar alguns tipos de uso na sub-bacia.

Figura 50: Usos da terra. Uso A: Cana de açúcar no município de Cuitegi. Uso B: Pastagem para a criação de gado bovino no município de Remígio.
Fonte: Autor, 2024.

Na foto A é possível observar o cultivo de cana-de-açúcar no médio curso da bacia, próximo do rio Araçagi na superfície Pré-litorânea. Nessa parte da área de estudo, tem aumentado as áreas com culturas temporárias e com isso os riscos de erosão.

Na foto B, no alto curso do rio Araçagi, observam-se pastagens, tipo de uso que também apresenta riscos para os processos erosivos. Na **figura 51** são mostradas duas encostas vegetadas no município de Pilões, áreas representativas da realidade de boa parte da porção central da bacia, onde ocorre relevo acidentado com uma cobertura vegetal com árvores e arbustos, que protege bem o solo dos processos erosivos.

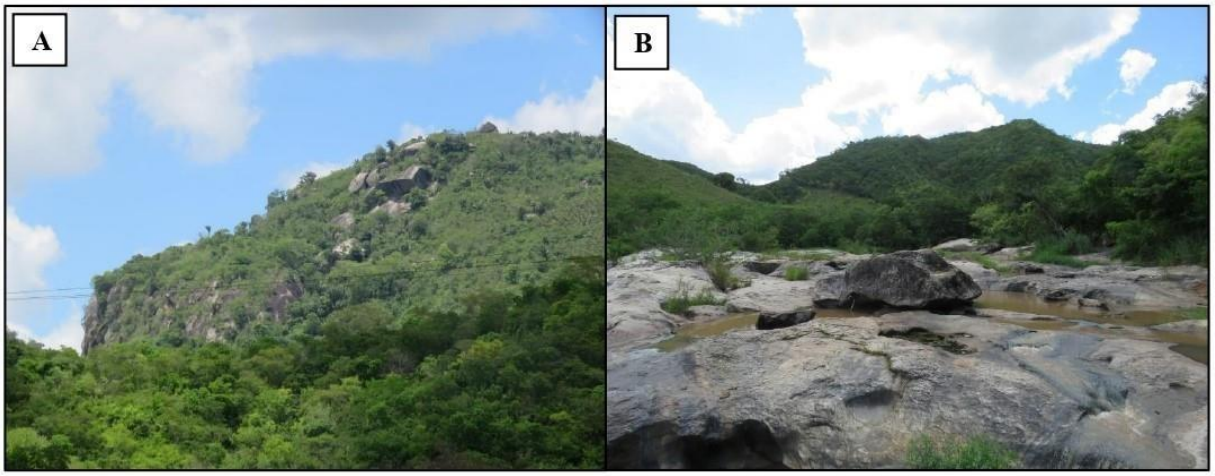


Figura 51: Encostas vegetadas. Encosta A: Encosta vegetada com alto grau de declividade com afloramentos de granitos. Encosta B: Encosta vegetada com grau de declividade média sem presença de afloramentos graníticos.
Fonte: Autor, 2022.

9.5 PERDAS DE SOLOS NA SUB-BACIA DO RIO ARAÇAGI-PB

No mapa da **figura 52** é possível visualizar as perdas estimadas de solos na sub-bacia do rio Araçagi, obtidas através da EUPS.

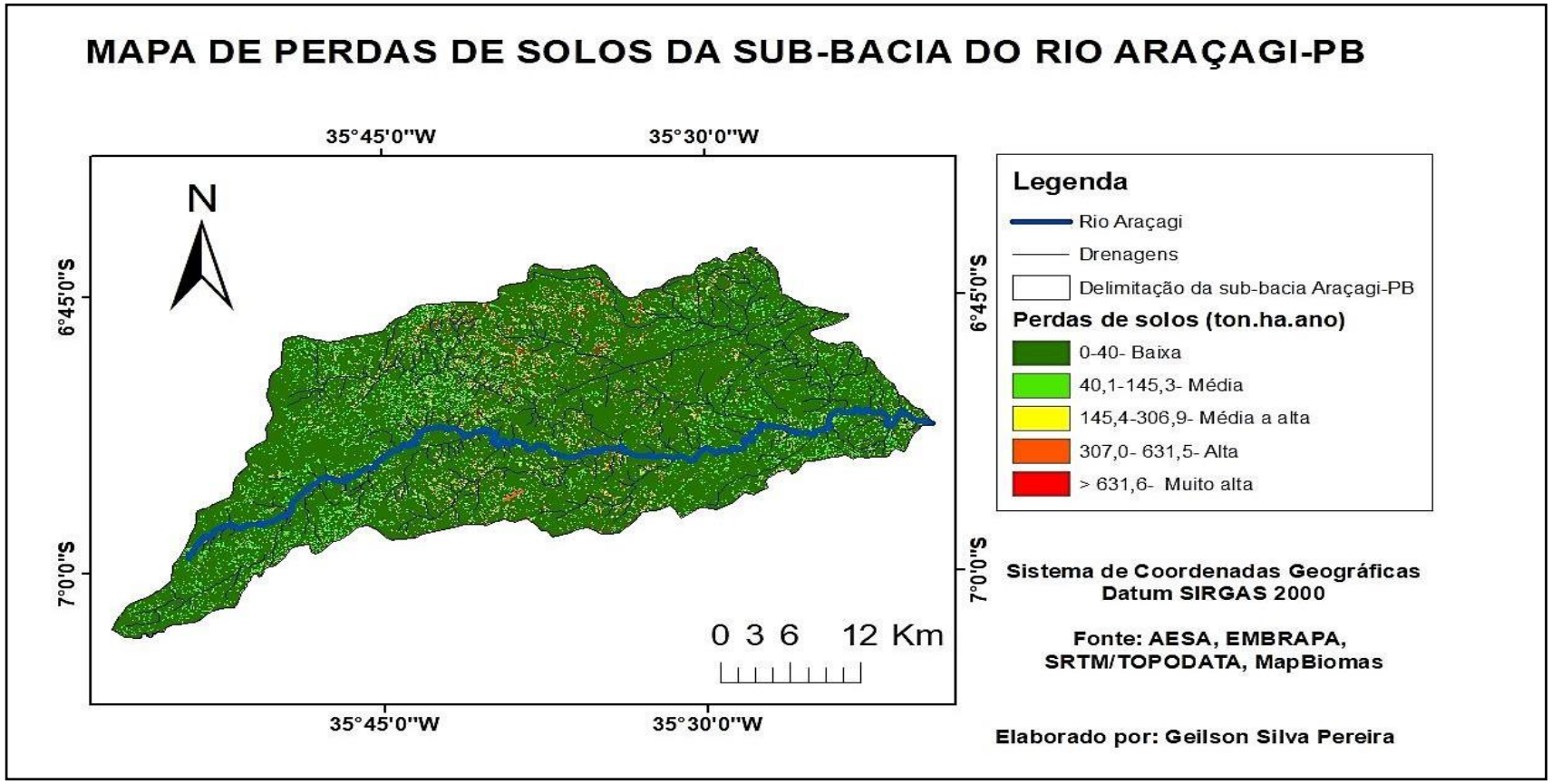


Figura 52: Mapa de perdas de solos na sub-bacia do rio Araçagi.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

Com as classes de perdas de solo utilizadas, percebe-se, nitidamente, que há uma minimização nas estimativas da sub-bacia, mesmo nas áreas de relevo mais movimentado, com maiores declividades e vertentes mais extensas.

Com esse resultado, as áreas com maior perda são muito localizadas, que podem estar relacionadas com a declividade ou mesmo com formas de uso da terra.

Sugere-se que em estudos futuros na área de estudo, sejam utilizados outros intervalos de classe, para que seja possível detectar as variações de perdas de solos de acordo com os principais condicionantes dessa realidade, que são o relevo e as formas de uso da terra.

De qualquer forma, a seguir são feitos alguns comentários sobre situações onde ocorrem perdas de solo, possivelmente registradas no mapa de forma localizada.

Na **figura 53** é possível observar pontos com perdas significativas de solos ao longo da sub-bacia do rio Araçagi.

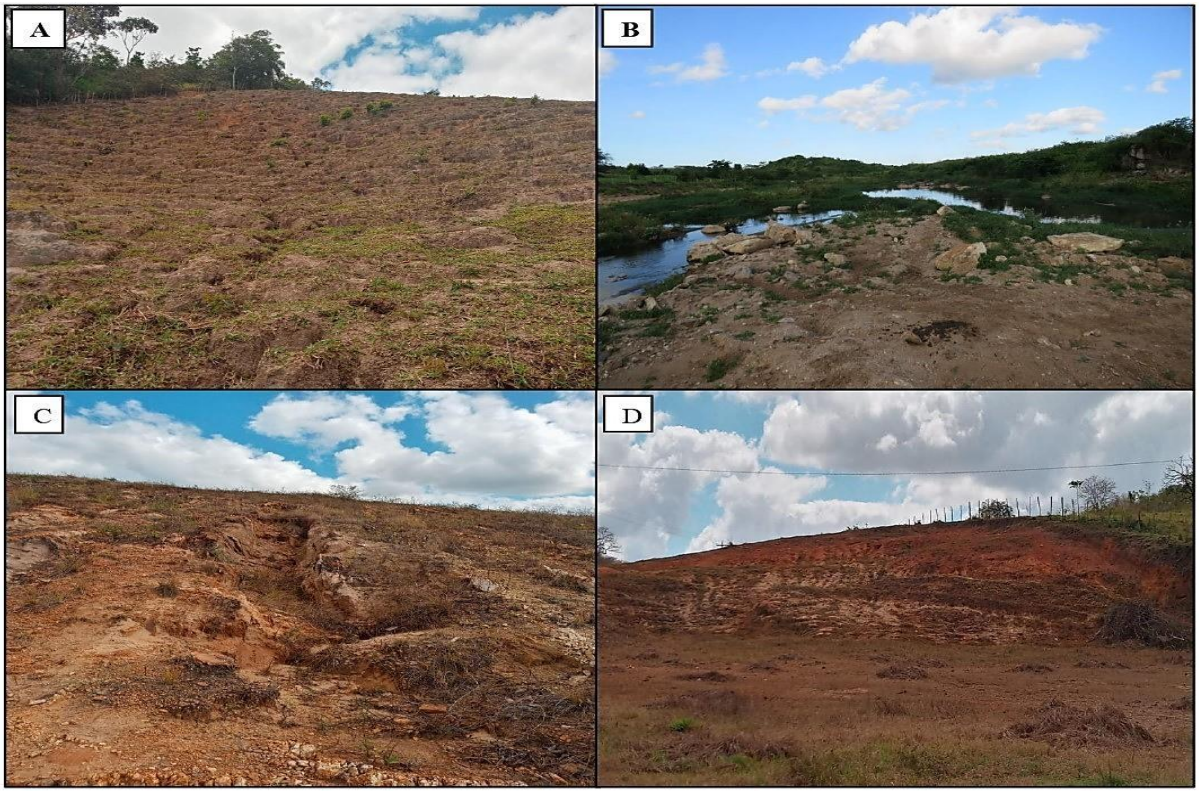


Figura 53: Perdas de solos por processos erosivos na sub-bacia do rio Araçagi. Perda A: Perdas de solos em uma encosta por meio do pisoteio do gado bovino no município de Areia. Perda B: Depósito de sedimento no município de Guarabira. Perda C: Ravina nomunicípio de Alagoinha. Perda D: Sulcos erosivos no município de Araçagi.
Fonte: Autor, 2024.

As perdas de solos ocorrem de forma mais intensa, como já mencionado, nas vertentes de maior gradiente de inclinação. A **figura 53-A** mostra uma situação no município de Areia, onde a encosta foi desmatada para dar lugar a pastagem para o gado bovino. Nessa vertente, o

pisoteio do gado contribuiu no desprendimento do solo, tornando mais fácil de sererodido, pois o pisoteio favorece a desagregação das partículas do solo.

O processo erosivo ocorre nessa área também pelo fato do pisoteio bovino gerara compactação do solo que ao pressionar o solo resulta na diminuição da porosidade, impedindo a retenção de água, e prejudicando o desenvolvimento da vegetação. Desse modo, com pouca infiltração da água no solo, o escoamento superficial ocorre com mais intensidade, gerando perdas de solos ao longo da encosta.

Segundo Thomaz e Dias (2009), o rebanho bovino é um agente modelador do relevo terrestre e causador de bioerosão. Alguns estudiosos sobre essa temática de bioerosão apresentaram resultados sobre a dimensão e a profundidade do impacto da pegada do boi. De acordo com Trein *et al.* (1991), a compactação do solo por meio das pisadas do bovino pode atingir a camada superficial do solo em média 7,5 cm de profundidade.

Tendo toda área da pastagem na encosta afetada pelo pisoteio do gado, os locais em que ocorrem maior degradação são as trilhas por onde ocorre a passagem contínua dos animais, pois nesses trechos o pisoteio acaba gerando depressões que variam de poucos centímetros, como sulcos, até pequenas ravinas que podem chegar até os 50 cm de profundidade (THOMAZ e DIAS, 2009; SELIGER et al., 2018). No entanto, é importante destacar que a profundidade que existe nas trilhas é resultado da dimensão e extensão do impacto da força exercida sobre o solo em função do pisoteio bovino e de seu peso sobre o solo.

Na **figura 53-B** retrata uma área próxima da foz do rio Araçagi onde o gradiente das encostas é bem inferior, em comparação com a realidade encontrada a montante. Nesse trecho da bacia o escoamento superficial perde energia e ocorrem as áreas agradacionais, ou seja, deposiçãode sedimentos, que ao longo do tempo vão sendo transportados de forma lenta. Nessa parte da bacia, a erosão é bem menor, mas não significa dizer que as perdas de solos não acontecem, porém, com menor intensidade.

Na **figura 53-C** pode-se visualizar a existência de ravinamento, sendo esse trecho de uma encosta mais côncava, que proporciona uma maior energia de deslocamento da água sobre o solo, provocando a desagregação de material encosta abaixo, e criando incisões lineares, formando sulcos e ravinas. As ravinas nessa parte da sub-bacia, de acordo com as medições com régua métrica, já chegam a mais 50 cm, o que pode no futuro evoluir para a formação de voçorocas.

Na **figura 53- D,** são visíveis os sulcos erosivos que se apresentam comocicatrizes ou estrias lineares que são os primeiros estágios de erosão. Nessa parte da áreade estudo, a erosão se apresenta em uma encosta pouco íngreme, com forma convexa, o que leva a entender que

nessas áreas o potencialerosivo é menor, porém não se pode descartar a possibilidade desses sulcos evoluírem para uma possível ravina no futuro, visto que os processos erosivos podem ocorrer de forma constante, pois podem se intensificar ao longodo tempo.

9.6 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE A FRAGILIDADE AMBIENTAL DE ROSS E A ESTIMATIVA DE PERDAS DE SOLOS DE WISCHMEIER E SMITH.

A **figura 54** apresenta os dois produtos finais gerados com as metodologias de Ross – Fragilidade Ambiental (1994) e de Wischmeier e Smith – Estimativa de Perdas de Solos (1978).

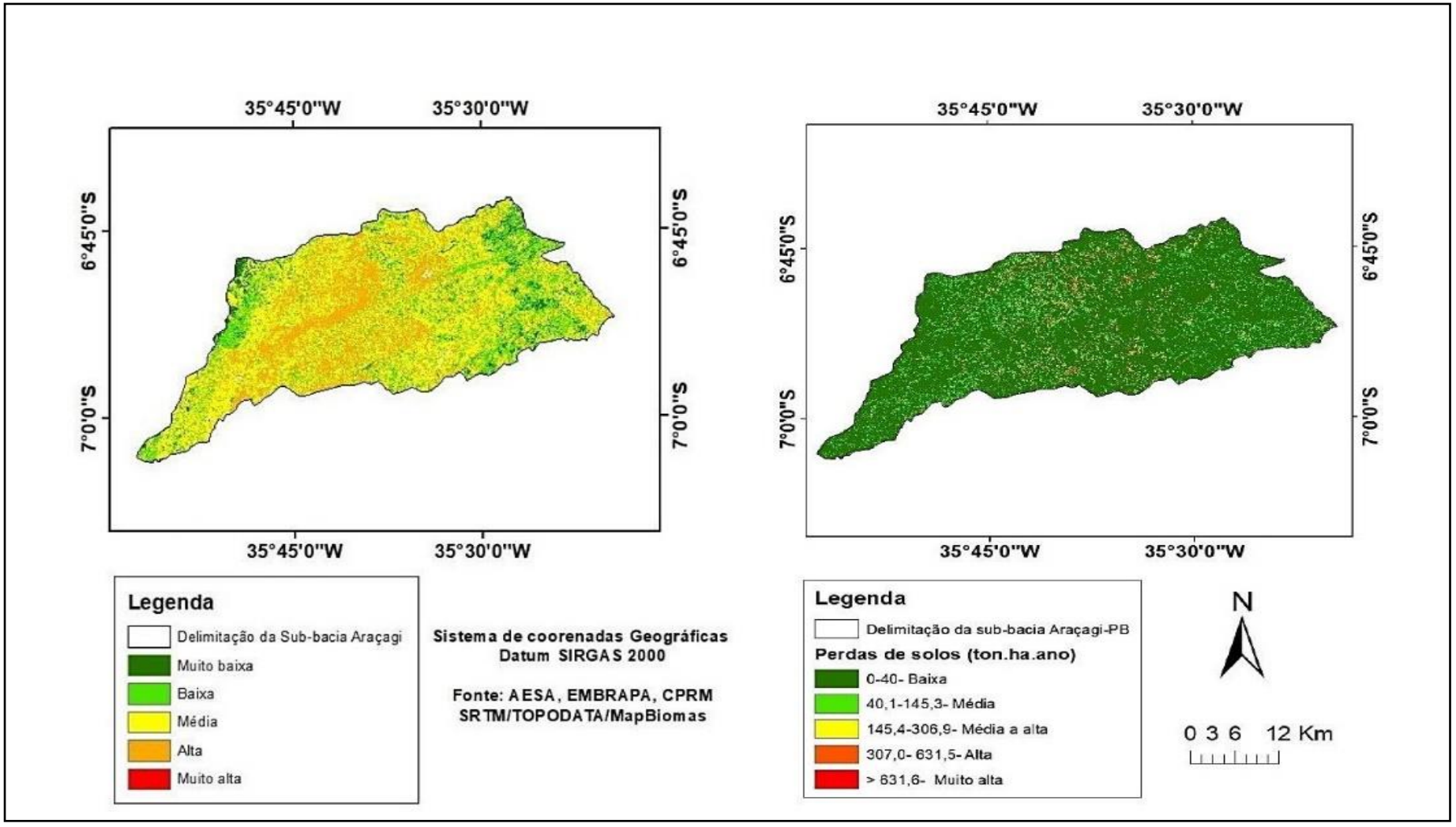


Figura 54: Mapas gerados com a metodologia de Ross e de Wischmeier e Smith.
Fonte: Elaborado pelo autor, 2024.

São percebidas diferenças significativas entre ambos. O mapa de fragilidade ambiental demonstra estar mais próximo do comportamento geral da área de estudo, considerando que aponta maior fragilidade em áreas com relevo movimentado e com formas de uso da terra que não exercem proteção significativa dos solos. O mapa da estimativa de perdas de solos não apresenta resultado que seja compatível com a fragilidade identificada no primeiro produto.

Diante dos produtos apresentados, e da forma como foram gerados, e considerando que para geração de ambos são utilizados praticamente os mesmos fatores, pode-se considerar que a proposta metodológica de Ross (1994) foi mais eficiente.

Sugere-se avaliar com cuidado os procedimentos usados para gerar o mapa de estimativa de perdas de solos, com a proposta metodológica de Wischmeier e Smith (1978). Caso não sejam identificados problemas nos procedimentos, a indicação é de que venha a ser utilizado com as finalidades definidas neste trabalho.

Sugere-se ainda que as duas metodologias utilizadas venham a ser aplicadas em outras realidades ambientais, para avaliar se as diferenças identificadas permanecem.

10- CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais deste trabalho são feitas com base em dois aspectos, a qualidade dos produtos cartográficos gerados e a fidedignidade das representações.

Em re1lação à qualidade, ficou patente que o mapa de fragilidade ambiental elaborado com a proposta metodológica de Ross (1994) apresentou melhor resultado do que o mapa de estimativa de perdas de solo elaborado com a proposta metodológica de Wischmeier e Smith (1978), pelo menos com os procedimentos usados neste trabalho.

Quanto a representação da realidade existente na área de estudo, e de acordo com os dados observados em campo, verificou-se que o mapa de fragilidade ambiental conseguiu retratar melhor a realidade. Isso pode ser afirmado, considerando que diversos tipos de degradação identificados em campo, apresentaram algum tipo de relação com os níveis de fragilidade encontrados no mapa.

Dessa forma, considera-se que o mapa de fragilidade é um bom produto para identificação de problemas existentes ou de problemas que poderão ocorrer, servindo como base para ser usado como norteador de ações corretivas ou preventivas que venham a ser adotadas por gestores.

Sugere-se que novas comparações entre os produtos gerados neste trabalho venham a ser

feitas em outras realidades ambientais, para confirmar se realmente são incompatíveis ou se o verificado neste trabalho foi devido a problemas decorrentes dos dados ou de alguns procedimentos utilizados.

Quanto à realidade da área de estudo, sugere-se o acompanhamento através de novos estudos, para que problemas identificados venham a ser confirmados e corrigidos, por meio de ações de planejamento e gestão ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, Aziz Nacib. **Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.** São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AGUIAR, F.P. et al Silvino, Silva, da Gutemberg. Pereira.S, Maria Cristina & Aragão. de R. **Uso de Geotecnologia na caracterização morfométrica da bacia do rio do canto Areia-PB**-Simpósio de Recursos Hidricos do Nordeste. Novembro2014 Natal-RN.

ALMEIDA, Ruth Trindade de (1979). **A arte rupestre nos cariris velhos.** [S.l.]: Editora Universitária (UFPB). 125 páginas.

ANDRADE, M. C. A terra e o homem no Nordeste: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste. 5ª edição, São Paulo: Atlas, 1986.

ANDRADE, Manoel Correia de. **A Terra e o Homem no Nordeste: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste.** - 6. ed. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1998.

ARCHANJO, C. J.; FETTER, A. H. Emplacement setting of the granite sheeted plutonof Esperança (Brasilian Orogen, Northeastern Brazil). Precambrian Research, v.135, p.193-215, 2004.

ARRUDA, L.V.; OLIVEIRA, F.H.T; SILVEIRA, J.P.A; PEDROSA, E.C.T.

Ientificação de Vulnerabilidades Ambientais na Microbacia do Rio Guarabira-PB.

Revista: Caminhos da Geografia, 2010.

ASSIS, A. D. Contribuição ao estudo da evolução geomorfológica da Paraíba. Boletimde Geociências da UFPB, [S.l.], n. 6, p. 13-27, 1985.

BARBOSA, M. E. F. **Geomorfologia e tectônica da Folha Jacumã 1:25.000**. 2010. 117 f.Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

BARBOSA, M. E. F. **Geomorfologia e tectônica da Folha Jacumã 1:25.000**. 2010. 117 f.Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

BARBOSA. Maria Emanuela F. FURRIER, Max: **Caracterização Geológica do município de Areia-PB:** Segundo Simpósio de Geografia Física do Nordeste- Sustentabilidade e Meio Ambiente no Nordeste Brasileiro. Júlio de 2008.

BARROS, Maria J. V. **Estudo da cobertura vegetal do município de Areia-PB: subsídios para a Gestão Ambiental.** Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservaçãodo Solo e Água) Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia- PB, 2005. 82p.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTONI, J & LOMBARDI NETO, F. (1993) conservação do solo. São Paulo, Ícone. 3a. Edição.

BERTONI, J; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo, SP: Ícone,2012. 355p.

BIGARELLA, J. J. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.**

Florianópolis, SC: ed.UFSC, 2007.

BOLETIM CLIMÁTICO DA AESA- **Agência executiva de gestão das águas doestado da Paraíba** – gerência de monitoramento e hidrometria- solo de situação – janeiro á agosto de 2020.

BORBOREMA – Seminário de Planejamento Ecorregional. **Tipos de Vegetação.**

Disponível em: Acessado em setembro de 2006.

BORDONI, Orlando (1991). **A longa marcha dos índios tupis.** [S.l.]: Gráfica Muto. 344 páginas.

BRASIL. **Lei Federal 9.433/97.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, criao 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. Governo do Estado deSão Paulo.

BRASIL. Ministério da Agricultura. I**. Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II**. **Interpretação para uso agrícola de Estado da Paraíba**. Rio de Janeiro: MA/CONTAP/USAID/SUDENE. (Boletim Técnico, 15. SériePedologia, 8). 1972. 670p.

BRASIL. Ministério da Agricultura. I. **Levantamento exploratório - Reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. II. Interpretação para uso agrícola de Estado da Paraíba.** Rio de Janeiro: MA/CONTAP/USAID/SUDENE. (Boletim Técnico, 15. SériePedologia, 8). 1972. 670p.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. **Departamento Nacional de Produção Mineral Mapa Geológico da Paraíba.** Recife: CPRM, 2002. 1 mapa, color., 100 cm x 110 cm. Escala1:500.000.

CAMPOS, M. C. C.; QUEIROZ, S. B. **Reclassificação dos perfis descritos no Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado da Paraíba.** Revista de Biologia e Ciências da Terra, v. 3, n 1, 1º semestre, p. 45-50, 2006.

CANÇADO, C. J.; LORANDI, R. Parâmetros físicos para gerenciamento de bacias hidrográficas. In: SCHIAVETTI, A; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos debacias hidrográficas: teorias e aplicações.** Ilhéus: Editus, 2002, p.37-65.

CARDOSO, J.S; ALMEIDA, E.B; SANTOS, E.F; ARRUDA; L.V. **Turismo Rural e**

Lazer Apartir do Potencial Natural nas Comunidades Poço Escuro e Veneza Pilões-PB como Vetor de Desenvolvimento Sustentável. AAGB e a Geografia brasileira no contexto das lutas sociais frente aos projetos hegermônicos. Agosto de 2014, Vitória/ES.

CARDOSO, O. R.; ROCHA, N. S. Da; XAVIER, R. A.; VALDUGA, E. T.;

DISCONZI, G. S.; RADTKE, L.; CRUZ, R. C. **Análise de fragilidade ambiental na bacia do rio Pardo - RS**, frente à instalação de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs). RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 2, p. 507–522, 2015.

CARPI JÚNIOR, S. **Processos erosivos, riscos ambientais e recursos hídricos na Bacia do Rio Mogi-Guaçu.** 2001. 188 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio

Ambiente) – **Instituto de Geociências e Ciências Exatas:** Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, 2001. Disponível em: Acesso em: 22/10/2007.

CARVALHO, Alfredo de (1929). **Aventuras e aventureiros no Brasil.** [S.l.]: Empresa Graphica Editora. 390 páginas.

CARVALHO, M. G. R. F. **Estado da Paraíba: classificação geomorfológica.**

João Pessoa:Universitária/UFPB, 1982.

CAVALCANTE, S.O. **Rio Tauá: Um Recurso Hidrico para o Município de Alagoinha-PB.** Monografia apresentada ao curso de Licenciatura Plena em Geografia pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), 2004.

CAVALCANTI, I.F.A., 1982. **Um estudo Sobre Interações Entre Sistemas de Circulação de Escala Sinótica e Circulações Locais.** Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 121 págs.

CESTARO et al. **Proposta de um sistema de unidades geoambientais para o Rio Grande do Norte.** XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada: Natureza, Geotecnologia,Ética e Gestão do Território. Natal, 2007.

CHECCHIA, T.M**: Discretização espacial e temporal da erosividade da chuva no município de Alfredo Wagner e região adjacente Santa Catarina.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa. (2005).

CHORLEY, R. J. (1962) **Geomorphology and general systems theory.** Geological survey professional paper 500 b. Washington: United States Government Printing Office, 11p.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial.** São Paulo: Edgard Blucher, 1981.

COELHO NETTO, A.L. & FERNANDES, N.F. (1990) **Hillslope erosion-**

sedimentation and relief inversions in SE Brazil: Bananal,SP. IAHS Publ. 192: 174-182. Proceedings of the Intern. Symp. on "Research Needs and Aplications to Reduce Erosion & Sedimentation in Tropical Steeplands", Suva, Fiji.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Comitê Coordenador do Plano e do Sistema Estadual de Recursos Hídricos.** Grupo Técnico do Plano Estadualde Recursos Hídricos.

CORDEIRO, J.M.P, Almeida, E.M, Araújo, J.P, Souza, B.I, & Félix, L.P. 2015. **Levantamento préliminar da caatinga sublitorânea na Paraíba Nordeste do Brasil.**

Geografia, Rio Claro 40(2):241-267.

CORRÊA, A. C. B.; FONSÊCA D. N. **Lineamentos de drenagem e de relevo como subsídio para a caracterização morfoestrutural e reativações neotectônicas da área da bacia do rio Preto, serra do Espinhaço Meridional –** MG. **Revista de Geografia**. Recife, v. especial VIII SINAGEO, n. 1, p. 72-83, set. 2010.

CORREA, A. C. B.; TAVARES, B. DE A. C.; MONTEIRO, K. A.; CAVALCANTI, L.

C. S.; LIRA, D. R. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. Revista do Instituto Geológico, v. 31, p. 35-52, 2010.

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

CRPM- **Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba**-2002.

CRUZ, J. C.; NUMMER, A. V.; ELTZ, F. L. F.; SILVA, J. L. S. da; ARAUJO, T. A.

(2013). **Avaliação Ambiental Integrada: Construção Metodológica de Modelo para Bloco do Meio Físico.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18

n.1. 223-233–Jan/ Mar.

CUNHA, T. J. F.; GIONGO, V.; SILVA, D. J. ; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. **Principais solos**

do Semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; Silva, P. C. G. Seminário brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação. Petrolina, PE: Embrapa Semiárido. 2010. p. 49-87.

DIAS, L. G. S. M**apeamento geológico de centros vulcânicos das regiões de Cubati,Boa Vista e Queimadas, Centro Leste da Paraíba**. Relatório de Graduação. Natal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Ciências Exatas e da Terra, 2004. 132p.

DOMINGUES, A. J. P. **Aspectos físicos do Meio-Norte e do Nordeste.** In: IBGE. ConselhoNacional de Geografia (Org.). Paisagens do Brasil**.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1962. p. 171-182.

DUARTE, Simone M. A. **Diagnóstico ambiental da microbacia hidrográfica Timbaúda no brejo paraibano, através de técnicas de fotointerpretação e sistema de informação geográfica.** Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água) Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia-PB, 2003. 104p.

DUQUE, José Guimarães. **Perspectivas Nordestinas.** 2ª ed. Fortaleza: Banco doNordeste do Brasil, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de**

Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006.

FERNANDES, Afrânio. **Conexões florísticas do Brasil**. Fortaleza: Banco do Nordeste,2003.

Gan, M.A e Kousky, V.E., 1982. **Um Estudo Observacional sobre as Baixas Frias da Alta Troposfera nas Latitudes Subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil.** INPE, São José dos Campos, SP. 25 págs.

GONÇALVES, G.G.G.; DANIEL, O; COMUNELLO, E.; VITORINO, A.C.T.; ARAI,

F.K. **Determinação da fragilidade ambiental de bacias hidrográficas. Floresta.**

Curitiba, PR, v.41, n.4, p.797-808, out/dez 2011.

GONDIM, A. W. de. A. **Geoeconomia e Agricultura do Brejo Paraibano – Análise de avaliação.** 1ª Edição. João Pessoa: editora Universitária/UFPB, 1999. 206 pg.

GUERRA, Antônio Teixeira. Dicionário Geológico-Geomorfológico. 8ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M. (Orgs). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 17-55 p.

GUERRA, A. J. T. **Processos Erosivos nas encostas.** In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA,

S. B. (Org.). Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos. 8ª ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, p. 149-209, 2008.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 6.ed. Riode Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GUERRA, A.J.T. E CUNHA, S.B. **Geomorfologia e meio ambiente** (Orgs.). 4ª ed. Riode Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

GUIMARÃES, F. S, BUENO, G.T, CORDEIRO, C. M, CARVALHO, V.L.M. **Uma**

proposta para a automatização do Índice de dissecação do relevo. Revista brasileirade geomorfologia -março de 2017.

GUIMARÃES, I. P; BRITO NEVES, B. B. **Geoquímica e significado tectônico do plutonismo estenianotoniano no limite norte do domínio estrutural central da Província Borborema.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 21., 2005,

Recife. Boletim... Recife: [s.n.], p. 68-70, 2005.

HALL, A. D.; FAGEN, R. E. **Definition of systems general systems yearbook.** 1956.p. 18-26.

HILU, Andrey (2003). **Erosão hídrica na bacia hidrográfica do rio Marumbi no estado do Paraná.**UFPA. 119p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de**

pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.

JARDIM DE SÁ, E. F. et al. **Terrenos proterozóicos na Província Borborema e amargem norte do Cráton São Francisco.** Revista Brasileira de Geociências, São Paulo, v.22, n.4, p.472-480, dez. 1992.

KAWAKUBO, F. S. MORATO, R. G. CAMPOS, K. C. LUCHIARI, A. ROSS, J. L. S.

Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento.

In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. Goiânia.

Anais..., Goiânia: INPE, 2005.

LAL, RATTAN. **Soil Erosion In The Tropics: Principles e Management.**

McGrawHill, United States of America, 1990. 580p.

LEAL, J. P. **Estudo Geoambiental e Evolução Paleogeográfica da Lagoa OlhoD'Água, Jaboatão dos Guararapes-PE**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federalde Pernambuco, Geociências, 2002. Disponível no site: http://servicos.capes.gov.br.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos.** São Paulo: Oficinas de Textos, 2010.

LIMA, Paulo José de; HECKENDORFF, W. D. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa: Governo do Estado/SEC/UFPB, 2003.

LIMA, Paulo José de; HECKENDORFF, W. D. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. João Pessoa: Governo do Estado/SEC/UFPB, 2003.

LIMA, Valmir de. **Avaliação das terras da sub-bacia hidrográfica do Riacho do Cunha nos municípios de Areia e Remígio, Estado da Paraíba.** Dissertação (Mestrado em Manejo e Conservação do Solo). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia-PB, 2003. 66p.

LIMA, E.R.V: Erosão do solo: **Fatores Condicionantes e Modelagem Matemática.**

Caderno do LOGEPA, série pesquisa. No. 01-Ano 2003.

MABESOONE, J. M. **Relief of northeast Brazil and its correlated sediments.**

Zeitschrift fur Geomorphologie, Berlin, v. 10, p. 419-459, 1966.

MABESOONE, J.M. 1966. **Relief of Northeastern Brazil and its correlated sediments. Zeitschrift-fur Geomorphologie.** 10(4): 419- 553.

MACEDO, R. K. A importância da avaliação ambiental. In: TAUK, S. M. (Org.)**Análise ambiental:** uma visão multidisciplinar. São Paulo: Editora da Universidade Estadual Paulista. 1991. p.11-26.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos:realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

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

MATTOS, S. H. V. L.; PEREZ FILHO, A. **Complexidade e estabilidade em sistemas geomorfológicos: uma introdução ao tema.** Revista Brasileira deGeomorfologia, v. 5 n.1, p. 11-18, 2004.

MEIS, M. R. M.; MOURA, J. R. S. **Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution:** Southeastern Brazilian Plateau. American Journal of Science, n. 284, p.241- 254, 1984.

MENDES, K; Gomes, P.& Alves, M. 2010. Floristic Inventory of a Zone ecological tension In the Atlantic Forest of Northeastern Brazil. Rodriguésia, 61(4): 669-676.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia noções básicas eclimas doBrasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climasdo Brasil.** São Paulo: Oficina de Texto, 2007.

Minerais do Estado da Paraíba. Recife-PE: Ministério das Minas e Energia;CPRM, 2002,142 p. il. 2 mapas. Escala 1:500.000.

MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas noNordeste Brasileiro.** Revista Brasileira Meteorologia, 17(1)1-10, 2002.

MORAIS NETO, J. M. **As coberturas sedimentares terciárias do interior da Paraíba e Rio Grande do Norte e a gênese da antéclise da Borborema.** 1999. 251 f.Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 1999.

MOREIRA, Ruy. **Teses para uma Geografia do trabalho.** Ciência Geográfica Bauru-VIII-Vol.II. Maio/agosto-2002.

NASCIMENTO, M. A. L. **Petrologia do magmatismo tardi-brasiliano no maciço São José do Campestre - RN/PB com ênfase no Plúton Alcalino Caxexa.** 2000. 141

f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande Norte, 2000.

ODUM, E.P. 1988. Ecologia. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro. 1988. 448p. OLIVEIRA, A.; FERREIRA, E. **Caracterização de sub-bacias hidrográficas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

OLIVEIRA, P.C. A. **Cenários ambientais e diagnose da Bacia Hidrográfica doCórrego Guaribas, Uberlândia - MG**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2009.

PEREIRA, R,E: **Indice de Pluviosidade na Análisse da Intensidade eVariabilidade Regional da chuva no Nordeste do Brasil.** Tese de Doutorado emMeteorologia-UFCG. Agosto de 2014.

PEREIRA, V. P. Solo: **Manejo e controle de erosão hídrica.** Jaboticabal: FCAB, 1997. P

56.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. **Aplainamento e geodinâmica: revisitando um problema clássico em geomorfologia.** Mercator, ano 1, n. 1, p. 113-150, 2002.

PEULVAST, J. P.; CLAUDINO SALES, V. **Stepped surfaces and Paleolandforms in the Northern Brasilian:** Constraints on models of morfotectonic evolution. Geomorphology, v. 3: 89-122, 2004.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia**

Básica. São Paulo, Edgard Blücher; Rio de Janeiro, Fundação Nacional de Material Escolar, 1976. 278p.

PINTO, S.A.F. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização da erosão do solo no SW do Estado de São Paulo.** Dissertação de

Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos campos, INPE, abril de (1983) (INPE-2694-TDL/128).

PIRES, J. S. R; SANTOS, J. E; DEL PRETTE, M. E**. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais.** In: Conceitos deBacias Hidrográficas: teorias e aplicações. Ilhéus: Editus, 2005.

PIROLI, E. L. **Introdução ao geoprocessamento.** Ourinhos: Unesp/Campus Experimental de Ourinhos, 2010.

PIVETTA, Marcos. **A origem da montanha:** teoria alternativa propõe que planalto nordestino se formou há cerca de 30 milhões de anos. Revista/Pesquisa FAPESP, 2012.

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS – Síntese. [São Paulo]: 1990**.**

Governo do Estado de Santa Catarina. **Bacias Hidrográficas do Estado de Santa Catarina:** Diagnóstico Geral. Secretaria de Recursos Hídricos: Florianópolis, 1997.

PORTO, K. C.; CABRAL, J. J. P.; TABARELLI, M (Org.). **Brejos de altitude em Pernambuco e Paraíba:** história natural, ecologia e conservação. Brasília: Ministériodo Meio Ambiente, 2004.

PORTO, M. F. A.; PORTO R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. EstudosAvançados, São Paulo, v.22, n.63, 2012.

PORTO, Marcelo Firpo de Souza. **Uma ecologia política dos riscos: princípios para integrarmos o local e o global na promoção da saúde e da justiça ambiental.** Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2012 (270 p.), il. tab.

Prefeitura Municipal de Guarabira. **Plano de Desenvolvimento Urbano deGuarabira.** volume: 1-1987.

ROCHA, J. S. M. da. **Manual de projetos ambientais.** Brasília: MMA, 446 p. SANJAUME, M. S.; VILLANUEVA, R. J. B. (1996) Teoría y método em geografía física. España: Editorial Sintesis, p. 67-8 RODAL.M.J. N, Barbosa, M R.V.&, Thomas, (1997).

RODRIGUES, C.R. **Paisagem e diversidade na serra da caxexa em Casserengue- PB-** Monografia em Geografia e Território: Planejamento Urbano Rural e ambiental- UEPB, junho.

ROSS, J. L.S. (1994) **Análise Empirica da fragilidade dos ambientes naturais antrópizados.** IN: Revista do Departamento de Geografia nº 8, FFLCH-USP, SãoPaulo.

SAAE-**Sistema Altonomo de Água e Esgoto do Municipio de Alagoinha-**PB,2022.

SAMPAIO, M. A. F. et al. Rb-Sr and Sm-Nd: **Isotope geochemistry of granitoidsfrom the Esperança granitic complex, Paraíba state, Borborema Province, Northeast Brazil.** In: SOUTH AMERICAN SYMPOSIUM ON ISOTOPE

GEOLOGY, 4, 24-27 Aug. 2003, Salvador. Short Papers. Salvador: CPBM; IRD, 2003.p.122-123.

SANTOS R.F. **Planejamento ambiental, teoria e prática.** São Paulo: oficina de texto, 2004. 28p.

SANTOS, E. J. dos. **O Modelo e evolução pré cambriana da região de Arco Verde, Pernambuco.** In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8, 1977. Campina

Grande. Atas. Campina Grande: SBG, 1977 (Boletim SBG: Núcleo Nordeste, 6), p.225-245.

SANTOS, E. J. dos. **O complexo granítico Lagoa das Pedras: acresção e colisão na região de Floresta (Pernambuco) Província Borborema.** São Paulo, 219p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1995.

SANTOS, E. J. dos; BRITO NEVES, B. B. de; VAN SCHMUS, W. R. **O Complexo**

Granítico Lagoa das Pedras: acresção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 16, 1995, Recife. Atas do. Recife: Sociedade Brasileira de Geologia,1995. 2v (Boletim do Núcleo Nordeste da SBG, 14). v.2 p.401-406.

SANTOS, E. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA JÚNIOR, J. M. F. (Org.) **Geologia e**

recursos, 1995.

SANTOS, E. J.; FERREIRA, C.; SILVA JUNIOR, J. M. da. **Geologia e recursos minerais da Paraíba:** texto explicativo dos mapas geológico e recursos minerais do

Estado da Paraíba. Recife: CPRM, 2002. (Programa de Levantamento Geológico Básico).

SANTOS, R. F. **Planejamento Ambiental: teoria e prática.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

SELIGER, R.; SATTLER, D.; SOARES DA SILVA, A.; COSTA, G. C. P.;

HEINRICH, J. **Rehabilitation of Degraded Sloped Pastures: Lessons Learned in Itaocara, Rio de Janeiro.** In: Nehren, U.; Schlöter, S.; Raedig, C.; Sattler, D.; Hissa, H. (Orgs.). Strategies and Tools for a Sustainable Rural Rio de Janeiro. 1 ed.: Springer

International Publishing, 2018, v. 1, p. 391-404.,

SILVA, G. A.; COSTA, R. A. **Paisagem e fragilidade ambiental natural da bacia hidrográfica do Ribeirão São Lourenço, Ituiutaba/Prata –** MG. Revista Caminhosde Geografia, Uberlândia, v. 12, n. 39 p. 151 – 166, 2011.

SILVA, G.G., Lima, M.I.C., Andrade, A.R.F., Issler, R.S., and Guimarães, G. (1974). **Geologia das folhas SB-22 Araguaia e parte da SC-22 Tocantins, in Levantamento de Recursos Minerais**-Projeto Radam (Departamento Nacional da Produção MineralDNPM e Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais-CPRM.

SILVA, I.C. **Geomorfologia, hidrografia e tectônica da folha Araçagi 1: 25.000, Estado da Paraíba.** Dissertação apresentada ao programa de pós Graduação em Geografia (PPGG) UFPB- 2014.

SILVA, V.C. (2003). **Cálculo automático do fator topográfico (LS) da EUPS -**

Pesquisa Agropecuária Tropical, 29-34p.

SOUZA, E.C.N. **Poluição Ambiental e Turismo na Cachoeira do Roncador, Pirpirituba-PB.** Monografia apreserntada ao curso de Licenciatura Plena em Geografiapela Universiade Estadual da Paraíba (UEPB), 2014.

SOUZA, M. J. N. **Contexto geoambiental das bacias hidrográficas do Acaraú, Curúe Baixo Jaguaribe - Estado do Ceará.** Fortaleza, CE: Embrapa Agroindústria Tropical, 2005. 52 p.

SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. **Análise comparativa da fragilidade ambiental comaplicação de três modelos.** v. 15, p. 39–49, 2004.

STRAHLER, A. N. **Las águas de escorrentía y de saturación.** In: STRAHLER, A. N. Geografía física. Barcelona: Ediciones Omega S. A. p.449-475. (1979**).**

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico físico-ambiental para determinação da fragilidade potencial e emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária - PR**. 2008. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

THOMAZ, E. L.; DIAS, W. A. **Bioerosão: evolução do rebanho bovino brasileiro e implicações nos processos geomorfológicos.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 10, n. 2, p. 3-11, 2009.

TREIN, C. R.; COGO, N. P.; LEVIEN, R. **Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo.** R. Bras. Ci. Solo, v. 15, p. 105–111, 1991.

TRICART, J**. Ecodinâmica.** Rio de Janeiro, 1977, IBGE/SUPREN. 91p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3.ed. Porto Alegre: ABRH, 2004.943 p.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de Nascentes: Hidrologia e Conservação de Bacias Hidrográficas de Cabeceira.** Aprenda Fácil Editora Ltda., 210 p., Viçosa, MG,

2005.

W.W, 2008. **DoThe Seasonal Forests In Northeastern Brazil Represent a Single Floristic Unit?** Brazilian Journal Of Biology 68(3):467-475.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** Washington: DC USDA, 1978.