



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



Pós-Graduação em  
Geografia, Natureza  
e Dinâmica do Espaço

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO – UEMA  
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS - CECEN  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO – PPG  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA, NATUREZA E DINÂMICA DO  
ESPAÇO – PPGeo

**GABRIEL IRVINE FERREIRA ALVES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO PINDARÉ – MA**

São Luís

2024



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DO  
MARANHÃO



Pós-Graduação em  
Geografia, Natureza  
e Dinâmica do Espaço

**GABRIEL IRVINE FERREIRA ALVES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO PINDARÉ – MA**

**DINÂMICA DA NATUREZA E CONSERVAÇÃO**

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão – Campus Paulo VI, como parte das exigências, para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra.

São Luís

2024

Santos, Gabriel Irvine Ferreira Alves dos.

Análise dos parâmetros morfométricos na bacia hidrográfica do Rio Pindaré - MA/ Gabriel Irvine Ferreira Alves dos Santos. – São Luís (MA), 2024.

126p.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço. Universidade Estadual do Maranhão, 2024.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra.

1.Geomorfologia. 2.Maranhão. 3. Morfometria. 4. Paisagem. 5. Rio Pindaré. I.Título.

CDU: 551.4(812.1)

**GABRIEL IRVINE FERREIRA ALVES DOS SANTOS**

**ANÁLISE DOS PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO PINDARÉ – MA**

Dissertação apresentada à banca examinadora do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão – Campus Paulo VI, como parte das exigências, para obtenção do título de Mestre em Geografia.

**Linha de pesquisa:** Dinâmica da Natureza e Conservação

Aprovado em: 11/04/2024

**BANCA EXAMINADORA**



---

**Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra (Orientador)**  
Universidade Estadual do Maranhão



---

**Prof. Dr. Antônio Cordeiro Feitosa**  
Universidade Federal do Maranhão



---

**Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos**  
Universidade Estadual do Maranhão

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conceder força, sabedoria e orientação durante toda essa jornada. Sem Ele, nada seria possível.

À minha mãe, Helen Silva Ferreira, pelo amor incondicional, pelo apoio em cada momento, e por me ensinar, com seu exemplo, o verdadeiro significado de perseverança e resiliência. Sua presença constante é minha maior fonte de força.

À minha namorada, Delony de Queiroz Ribeiro, pela paciência, compreensão e incentivo inabalável, especialmente nos momentos mais desafiadores. Sua parceria foi fundamental para que eu mantivesse o foco e a determinação até o fim.

Aos meus queridos avós, Wilmar Raimundo Vieira Ferreira (*in memoriam*) e Isaelma Silva Ferreira, que com seu carinho, valores e apoio me guiaram desde cedo, construindo a base que me trouxe até aqui. A memória do meu avô estará sempre presente em cada conquista e sua lembrança permanecerá viva.

À minha tia querida, Maria Raimunda Silva (*in memoriam*), que com seu carinho e apoio constante sempre foi uma fonte de amor e inspiração.

Um agradecimento especial ao meu orientador, Prof. Dr. José Fernando Rodrigues Bezerra, cuja dedicação, encorajamento e confiança em meu trabalho foram essenciais para que eu pudesse trilhar este caminho com segurança e aprendizado. Sua orientação foi muito além das expectativas, sempre me motivando a superar os desafios com sabedoria.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Antônio Cordeiro Feitosa e Prof. Dr. Luiz Carlos Araújo dos Santos, agradeço a compreensão, pelas valiosas considerações e contribuições, que enriqueceram este trabalho e minha trajetória acadêmica.

Agradeço também a todos os colegas da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) que participaram direta ou indiretamente da elaboração deste trabalho.

Por fim, sou grato a todos do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que me proporcionou as ferramentas e o ambiente necessários para o desenvolvimento deste trabalho, além de contribuir de maneira significativa para minha formação acadêmica.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

A todos vocês, meu mais sincero e profundo agradecimento.

**Em memória (*In memoriam*) de Wilmar  
Raimundo Viera Ferreira e Maria  
Raimunda Silva.**

## RESUMO

Os rios desempenham uma função essencial na manutenção da vida e no equilíbrio dos geossistemas. Dentro do campo da geomorfologia fluvial, a análise morfométrica é responsável pela determinação e avaliação dos componentes de redes de drenagem de bacias hidrográficas. Essa especialidade se fundamenta no método analítico, que considera e caracteriza o conjunto das vertentes e canais pertencentes ao relevo. Nesta perspectiva, as medidas dessas variáveis constituem a base para a composição dos parâmetros morfométricos. O objetivo desta pesquisa é analisar as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Pindaré, localizada na porção centro-oeste do estado do Maranhão. Para isso, o caminho metodológico trilhado para alcançar os objetivos consistiu em: levantamento e análise de material bibliográfico; elaboração de base cartográfica em ambiente Sistema de Informação Geográfica (SIG), *ArcGIS®*, versão 10.2.2 da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), e trabalhos de campo. Assim, os parâmetros adotados foram baseados nas literaturas clássicas de Horton (1945), Strahler (1952), Miller (1953), Schumm (1956), Christofolletti (1980), Alves e Castro (2003), tais como: área, perímetro, rede de drenagem, número de canais, comprimento total dos canais, altitude máxima da bacia, amplitude altimétrica da bacia, comprimento do canal principal, distância axial do canal principal, declividade, densidade de drenagem, densidade hidrográfica, coeficiente de manutenção e índice de forma. À vista disso, os resultados alcançados indicam que as nascentes principais do rio Pindaré estão localizadas nas cidades de Montes Altos e Amarante do Maranhão, em terra indígena *Krikati*. A uma altitude de 371 m, sua drenagem apresenta um padrão dendrítico de 6ª ordem de hierarquia, segundo a classificação de Strahler (1952), com uma densidade de drenagem regular de 0,53 km/km<sup>2</sup> e uma densidade hidrográfica de 0,114 km/km<sup>2</sup>. Além disso, a bacia hidrográfica do Pindaré demonstrou uma forte influência do controle estrutural, onde os rios fluem pelos elementos estruturais e falhas geológicas. A despeito disso, seu canal principal mostrou-se predominantemente retilíneo, com um índice de sinuosidade de 1,57 e a presença de meandros bem definidos restritos ao baixo curso. Foi constatado que o rio principal percorre cerca de 466,3 km até sua foz, possuindo uma área total de drenagem de 40.280 km<sup>2</sup>. Ademais, o índice de circularidade de 0,39 e o fator de forma de 0,21 reforçam a baixa suscetibilidade a inundações em condições normais de chuva. A área de estudo é predominantemente caracterizada pela unidade geológica do Grupo Itapecuru. Quanto à classe geomorfológica em destaque, são os Platôs Dissecados, e em relação às características pedológicas, predomina o Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Este trabalho busca incentivar a implementação de medidas futuras para preservar e manter as matas ciliares e os recursos hídricos superficiais.

**Palavras-chave:** Geomorfologia. Maranhão. Morfometria. Paisagem. Rio Pindaré.

## ABSTRACT

Rivers play an essential role in maintaining life and the balance of geosystems. Within the field of fluvial geomorphology, morphometric analysis is responsible for determining and evaluating the components of drainage networks in river basins. This specialty is based on the analytical method, which considers and characterizes the set of slopes and channels belonging to the relief. From this perspective, the measurements of these variables form the basis for the composition of morphometric parameters. The objective of this research is to analyze the morphometric characteristics of the Pindaré River basin, located in the central-western portion of the state of Maranhão. To achieve this, the methodological path followed consisted of: survey and analysis of bibliographic material; preparation of a cartographic base in a Geographic Information System (GIS) environment, ArcGIS®, version 10.2.2 by the Environmental Systems Research Institute (ESRI), and fieldwork. Thus, the parameters adopted were based on the classic literature of Horton (1945), Strahler (1952), Miller (1953), Schumm (1956), Christofolletti (1980), Alves and Castro (2003), such as: area, perimeter, drainage network, number of channels, total length of channels, maximum basin altitude, basin altimetric amplitude, main channel length, axial distance of the main channel, slope, drainage density, hydrographic density, maintenance coefficient, and shape index. In view of this, the results indicate that the main springs of the Pindaré River are located in the cities of Montes Altos and Amarante do Maranhão, in the Krikati indigenous land. At an altitude of 371 m, its drainage presents a dendritic pattern of 6th order hierarchy, according to Strahler's classification (1952), with a regular drainage density of 0.53 km/km<sup>2</sup> and a hydrographic density of 0.114 km/km<sup>2</sup>. Additionally, the Pindaré River basin demonstrated a strong influence of structural control, where rivers flow through structural elements and geological faults. Despite this, its main channel proved to be predominantly straight, with a sinuosity index of 1.57 and the presence of well-defined meanders restricted to the lower course. It was found that the main river runs about 466.3 km to its mouth, with a total drainage area of 40,280 km<sup>2</sup>. Furthermore, the circularity index of 0.39 and the form factor of 0.21 reinforce the low susceptibility to flooding under normal rainfall conditions. The study area is predominantly characterized by the geological unit of the Itapecuru Group. Regarding the highlighted geomorphological class, they are the Dissected Plateaus, and in relation to pedological characteristics, the Dystrophic Red-Yellow Argisol predominates. This work aims to encourage the implementation of future measures to preserve and maintain riparian forests and surface water resources.

**Keywords:** Geomorphology. Maranhão. Morphometry. Landscape. Pindaré River

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia do rio Pindaré – MA. ....	20
Figura 2 – Fases de desenvolvimento da paisagem. ....	29
Figura 3 – Fases de desenvolvimento da paisagem. ....	33
Figura 4 – Padrão de canais de rios. ....	36
Figura 5 – Descrição do processo de tratamento das imagens SRTM. ....	44
Figura 6 – Preenchimento da lacuna da drenagem no extremo sul da bacia do rio Pindaré, utilizando a rede de drenagem do IBGE (1989), destacado em vermelho. ....	45
Figura 7 – Diferentes tipos de drenagem utilizadas no trabalho. ....	46
Figura 8 – Garmin GPSMAP 65. ....	47
Figura 9 – Foto realizada por VANT do operador em campo. ....	48
Figura 10 – Mapa de pontos observados em campo. ....	49
Figura 11 – Municípios “Mater” – Maranhão. ....	54
Figura 12 – Municípios desmembrados de Alcântara. ....	56
Figura 13 – Municípios desmembrados de Pastos Bons. ....	57
Figura 14 – Municípios desmembrados de Imperatriz. ....	58
Figura 15 – Unidades litoestratigráficas presentes na bacia hidrográfica do rio Pindaré. ....	61
Figura 16 – Perfis geológicos simplificados de lateritas maduras autóctones na Amazônia. ...	65
Figura 17 – Representação das superfícies superior e inferior associadas à laterita maduras do Paleógeno e do Neógeno. ....	65
Figura 18 – Mapa Hipsométrico da bacia do rio Pindaré. ....	68
Figura 19 – Declividade da bacia do Pindaré. ....	69
Figura 20 – Compartimentos Geomorfológicos da bacia hidrográfica do Pindaré. ....	71
Figura 21 – Vista parcial dos Platôs Dissecados do rio Zutuia. ....	72
Figura 22 – Área de pastagem caracterizada pela planície da Baixada Maranhense. ....	73
Figura 23 – Vista caracterizada por conter morros e morrotes característicos das colinas dissecadas, onduladas a fortemente onduladas, em Santa Luiza, drenado pelo rio Bonito. ....	74
Figura 24 – Vista da “Serra” do Gurupi na unidade geomorfológica de superfícies com colinas, no alto curso da bacia do Pindaré. ....	77
Figura 25 – Planície Fluvial do rio Buriticupu, próximo a Buritizinho. ....	78
Figura 26 – Vista parcial área do lago Zutuia. ....	79
Figura 27 – Continuação da drenagem do lago Zutuia com a presença de ilhas fluviais. ....	79
Figura 28 – Mapa de Solos da bacia do rio Pindaré. ....	82

Figura 29 – Argissolo Vermelho em Bom Jesus das Selvas. ....	83
Figura 30 – Ocorrência de Latossolo Amarelo em Santa Luzia. ....	84
Figura 31 – Possível ocorrência de Latossolo Amarelo em propriedade rural, entre Santa luzia e Buriticupu. ....	85
Figura 32 – Exemplo de ocorrência do Plintossolo Argilúvico na Amazônia Maranhense; a) Perfil do Solo; b) Área de cultivo de eucalipto. ....	86
Figura 33 – Presença do Plintossolo Háptico Distrófico recoberto por matéria orgânica, próximo a foz do rio Zutiuá. ....	87
Figura 34 – Gleissolo encontrado na Amazônia Maranhense. ....	88
Figura 35 – Exemplo de Neossolo Flúvico na Amazônia Maranhense. ....	89
Figura 36 – Precipitação Total, (Série 2009 a 2022), Estação de Buriticupu – MA. ....	91
Figura 37 – Precipitação Média Mensal, (Série 2009 a 2022), Estação de Buriticupu – MA. ....	92
Figura 38 – Precipitação Média Anual, (Série de 2009 a 2022), Estação de Buriticupu – MA. ....	92
Figura 39 – Hidrografia da bacia do rio Pindaré. ....	94
Figura 40 – Estado de conservação da vegetação nativa nas nascentes do Pindaré. ....	96
Figura 41 – Canal de primeira ordem do Pindaré protegido pela vegetação nativa. ....	96
Figura 42 – Canal principal do rio Zutiuá em Araribóia. ....	97
Figura 43 – Rio Zutiuá em seu leito vazante. ....	98
Figura 44 – Rio Zutiuá em seu leito vazante. ....	99
Figura 45 – Vista do rio Buriticupu próximo ao povoado de Buritizinho. ....	100
Figura 46 – Drenagem altamente complexa da bacia do rio Pindaré. ....	102
Figura 47 – Mapa de hierarquia de Drenagem, conforme Strahler (1952). ....	104
Figura 48 – Identificação e localização dos Perfis Topográficos. ....	106
Figura 49 – Perfil topográfico A-B. ....	106
Figura 50 – Perfil topográfico C-D. ....	107
Figura 51 – Perfil topográfico E-F. ....	107
Figura 52 – Perfil topográfico G-H. ....	108

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas ambientais aplicáveis em bacias hidrográficas no território federal. ....	34
Quadro 2 – Bases de dados utilizados na pesquisa.....	47
Quadro 3 – Parâmetros morfométricos calculados inicialmente. ....	50
Quadro 4 – Parâmetros Morfométricos da bacia hidrográfica do Pindaré. ....	51
Quadro 5 – Coluna litoestratigráfica da Bacia do Parnaíba.....	62
Quadro 6 – Formas de relevo localizados na área de estudo e suas áreas. ....	70
Quadro 7 – Classe de solos encontrados na Bacia do Pindaré e suas respectivas áreas. ....	81
Quadro 8 – Principais rios da bacia hidrográfica do Pindaré. ....	93
Quadro 9 – Parâmetros Morfométricos da bacia do rio Pindaré. ....	101
Quadro 10 – Características morfométricas da bacia hidrográfica do Itacaiúna. ....	103
Quadro 11 – Número de canais por ordem hierárquico.....	105
Quadro 12 – Classificação de densidade de drenagem.....	109

## LISTA DE ABREVIATURAS

AMB – Altitude Máxima da Bacia  
AAB – Amplitude Altimétrica Máxima  
AAM – Amplitude Altimétrica Mínima  
APP – Área de Preservação Permanentes  
A – Área da Bacia  
V% - Baixa Saturação por Bases Trocáveis  
°C – Celsius  
Cm – Coeficiente de Manutenção  
L – Comprimento do Canal Principal  
S – Declividade  
Dr – Densidade de Drenagem  
Dh – Densidade Hidrográfica  
Eps – Extensão do Percurso Superficial  
Form – Fórmula  
Gc – Gradiente de Canais  
O – Hierarquia dos Canais  
Ic – Índice de Circularidade  
K – Índice de Forma  
Kf – Fator de Forma  
Is – Índice de Sinuosidade  
Bw – Latossólico  
ENE – Leste–nordeste  
MA – Maranhão  
m – Metros  
m/s – Metros por Segundo  
mm – Milímetro  
NE – Nordeste  
NO – Noroeste  
NNW – Nor-noroeste  
N – Norte  
NC – Número de canais  
N – Número total de canais

NC – Números de canais

P – Perímetro

km – Quilômetro

Rd – Rede de Drenagem

Rr – Relação de Relevo

SE – Sudeste

SO – Sudoeste

S – Sul

Tt – Textura Topográfica

3D – Tridimensional

## LISTA DE SIGLAS

TOPODATA - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil  
BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa  
CTC – Comprimento Total de Canais  
CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior  
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
*ESRI – Environmental Systems Research Institute*  
GEOMAP/UEMA – Grupo de Pesquisas em Geomorfologia e Mapeamento da Universidade Estadual do Maranhão  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
IMESC – Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos  
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia  
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais  
MDE – Modelo digital de elevação  
PPGBAS – Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Ambiente e Saúde  
PPGGEO – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço  
PDPG – Projeto do Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação  
*SRTM – Shuttle Radar Topography Mission*  
SIBCS – Sistema Brasileiro de Classificação de Solos  
SIG – Sistema de Informação Geográfica  
GPS – Sistema de Posicionamento Global  
SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos  
TGS – Teoria Geral dos Sistemas  
UEMA – Universidade Estadual do Maranhão  
UFMA – Universidade Federal do Maranhão  
VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado  
ZEE-MA – Zoneamento Ecológico-Econômico Maranhense

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 DA PAISAGEM A MORFOMETRIA: UM OLHAR SISTEMÁTICO.....	22
<b>2.1 Geografia e Paisagem .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Geossistema .....</b>	<b>24</b>
<b>2.3 Noções de equilíbrio na Geomorfologia.....</b>	<b>26</b>
2.3.1 A visão de Grove Karl Gilbert.....	26
2.3.2 A visão de William Morris Davis.....	28
2.3.3 A visão de John Hack.....	31
<b>2.4 Bacia Hidrográfica .....</b>	<b>32</b>
<b>2.5 Geomorfologia Fluvial.....</b>	<b>35</b>
<b>2.6 Morfometria .....</b>	<b>37</b>
2.6.1 Hierarquia dos Canais (O).....	38
2.6.2 Densidade de Drenagem (Dd) .....	39
2.6.3 Densidade Hidrográfica (Dh) .....	39
2.6.4 Coeficiente de Manutenção (Cm).....	39
2.6.5 Índice de Forma (K) .....	40
2.6.6 Gradiente de Canais (Gc) .....	40
2.6.7 Relação de Relevo (Rr) .....	41
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS .....	42
<b>3.1 Levantamento Bibliográfico .....</b>	<b>43</b>
<b>3.2 Mapeamento Temático.....</b>	<b>43</b>
3.2.1 Obtenção e tratamento de Imagens (SRTM).....	43
3.2.2 Delimitação dos Divisores Hídricos da Bacia.....	44
3.2.3 Base de dados Utilizada.....	45
<b>3.3 Atividade de Campo .....</b>	<b>47</b>
<b>3.4 Parâmetros Morfométricos.....</b>	<b>50</b>

<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>52</b>
<b>4.1 Características Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré .....</b>	<b>52</b>
4.1.1 Histórico da Ocupação da Bacia.....	52
4.1.2 Geologia .....	59
4.1.2.1 Formação Codó .....	59
4.1.2.2 Grupo Itapecuru.....	63
4.1.2.3 Formação Ipixuna.....	63
4.1.2.4 Cobertura Laterítica Matura .....	63
4.1.2.5 Depósitos Aluvionares.....	66
4.1.2.6 Depósitos Flúvio-lagunares .....	66
4.1.2.7 Formação Açuí .....	66
4.1.3 Geomorfologia.....	66
4.1.3.1 Platôs Dissecados .....	72
4.1.3.2 Planície da Baixada Maranhense .....	72
4.1.3.3 Superfícies com Colinas Dissecadas, Onduladas a Fortemente Onduladas .....	73
4.1.3.4 Planaltos Tabulares.....	74
4.1.3.5 Superfícies com Colinas Dissecadas, Morros e Morrotes .....	75
4.1.3.6 Baixos Platôs .....	75
4.1.3.7 Superfícies com Colinas Dissecadas e Morros Baixos.....	76
4.1.3.8 Vales Encaixados.....	76
4.1.3.9 Superfícies com Colinas .....	76
4.1.3.10 Planícies Fluviais .....	77
4.1.3.11 Planície Fluviomarinha.....	78
4.1.3.12 Planície Fluviolacustre .....	78
4.1.3.13 Morros Isolados do alto curso .....	79
4.1.3.14 Mesas e Mesetas .....	80
4.1.4 Pedologia.....	80

4.1.4.1 Argissolos .....	83
4.1.4.2 Latossolos .....	84
4.1.4.3 Plintossolos .....	86
4.1.4.4 Gleissolos .....	87
4.1.4.5 Neossolos .....	88
4.1.4.6 Luvisolos .....	90
4.1.5 Clima .....	90
4.1.6 Hidrografia .....	93
4.1.6.1 Rio Pindaré .....	95
4.1.6.2 Rio Zutiua .....	97
4.1.6.3 Rio Caru .....	98
4.1.6.4 Rio Buriticupu .....	99
<b>4.2 Caracterização dos Parâmetros Morfométricos .....</b>	<b>100</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>114</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é imprescindível para o desenvolvimento e sobrevivência de toda a vida na Terra. Sua presença é crucial para um estado equilibrado no geossistema, resultando em uma dinâmica contínua que pode levar aos estados de estabilidade ou instabilidade, a depender da estrutura da paisagem.

Essa molécula, com dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, é versátil e participa de vários ciclos naturais. Esses ciclos incluem o do Oxigênio, Carbono, Fósforo, Cálcio, Erosivo e da Água, essenciais para a vida. Esta característica a torna ativa nos processos que moldam a paisagem, especialmente na rede hidrográfica dos rios. Assim, pode elucidar diversas questões geomorfológicas (CHRISTOFOLETTI, 1969).

Nesse sentido, o ramo responsável por analisar a relação entre o relevo e rios é a morfometria fluvial. Ela é classificada como uma área de estudo na geomorfologia fluvial que se dedica à análise quantitativa das características geométricas e topográficas do relevo e seus rios nas respectivas bacias hidrográficas. A conexão intrínseca entre a morfometria fluvial e as bacias hidrográficas é crucial para compreensão do funcionamento e evolução dos sistemas hídricos superficiais, ou seja, a morfometria fluvial é um método analítico que abrange e caracteriza o conjunto de vertentes e canais que formam o relevo. As medidas resultantes dessas variáveis fornecem a base para a formulação dos parâmetros morfométricos.

As pesquisas morfométricas de rios se fundamentam na análise das características físicas e das formas dos cursos d'água, incluindo largura, profundidade, comprimento, inclinação e outros fatores relevantes. Esses parâmetros são de grande importância, já que proporcionam informações sobre a influência dos processos geomorfológicos e hidrológicos na configuração dos rios e, portanto, do relevo.

No Brasil, a abordagem morfométrica tem sido amplamente aplicada para compreender a dinâmica fluvial de diversas bacias hidrográficas, como a do Rio Grande, Rio das Velhas, São Francisco e Paraíba do Sul. Tais estudos têm possibilitado uma compreensão mais aprofundada dos processos geomorfológicos e hidrológicos que atuam sobre os rios e o relevo dessas regiões. Além disso, essas avaliações têm contribuído para uma melhor compreensão dos impactos das intervenções humanas nos cursos d'água e como tais impactos podem ser mitigados. Trata-se de um conhecimento fundamental para a gestão sustentável dos recursos hídricos e para preservar a saúde dos ecossistemas fluviais.

Dentre as bacias hidrográficas do Maranhão – Ararandéua; Grajaú; Gurupi; Itapecuru; Maracaçumé; Mearim; Munim; Parnaíba; Peria; Pindaré; Preguiças; Tocantins; e Turiaçu – foi selecionada, para fins desta pesquisa, a bacia do rio Pindaré (Figura 1).

Localizada na porção centro-oeste do estado, esta bacia é tradicionalmente considerada um afluente do Mearim, o que também motivou sua escolha. A bacia do rio Pindaré se destaca por sua rica diversidade e complexidade ambiental, incluindo a presença de terras indígenas que protegem suas nascentes e áreas de recargas, sendo integrante da Amazônia Maranhense.

Diversos estudos já foram realizados na temática da bacia hidrográfica, dos quais destacamos: “Vulnerabilidade socioambiental na evolução temporal do uso do solo da bacia hidrográfica do Rio Pindaré – MA”, de Santos (2002), “Planejamento Ambiental da Sub-Bacia Zutiua, Pindaré, Região Pré-Amazônica, Maranhão”, de Tannús (2012), “Estudos hidrológicos da bacia do rio Pindaré–Mirim”, de Abreu (2013), “Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Buriticupu, Maranhão – Brasil: o Relevo como Elemento Chave”, de Medeiros *et al* (2023), “Análise Multitemporal do Uso e Cobertura da Terra e as Pressões Exercidas sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré-MA”, de Ferreira (2023).

Entretanto, na temática da morfometria de bacias hidrográficas, esta pesquisa aponta os estudos realizados pelos seguintes pesquisadores como sendo de extrema importância: Horton (1945), Christofletti (1974, 1980), Leopold e Wolman (1957), Schumm (1963, 1977, 1981 e 1985), assim como Stevaux e Latrubesse (2017).

O objetivo geral deste trabalho é analisar as características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Pindaré em perspectiva Geossistêmica, baseada na categoria geográfica de paisagem. Deste modo, essa abordagem considera que existem na natureza trocas de energia e matéria que ocorrem de acordo com o equilíbrio dinâmico entre os componentes da paisagem. Contudo, este equilíbrio pode ser alterado pelas intervenções humanas nos diversos sistemas da natureza.

A pesquisa ainda traz como objetivos secundários: levantar e analisar a influência das variáveis geoambientais; identificar os principais aspectos morfológicos da bacia hidrográfica; estabelecer correlações entre estes aspectos e a dinâmica fluvial da bacia hidrográfica do Rio Pindaré.

Um dos propósitos desta pesquisa é fornecer dados essenciais para orientar futuras iniciativas de preservação ambiental e mitigação de conflitos relacionados ao uso da terra na bacia hidrográfica do rio Pindaré, a qual engloba diversos territórios indígenas.



Os resultados obtidos serão empregados no embasamento de decisões do comitê da bacia, visando a implementação de uma gestão mais eficaz e sustentável dos recursos hídricos nessa significativa região do Maranhão. Porém, a existência de interesses conflitantes e a falta de monitoramento adequado surgem como os maiores problemas com relação a esta pesquisa.

A bacia do Pindaré engloba várias jurisdições, o que resulta em divergências de interesses entre diferentes atores, como o governo do estado, as diversas prefeituras, comunidades locais, seis Terras Indígenas (Araribóia, Awa, Caru, Governador, Krikati, Rio Pindaré), Reserva Biológica do Gurupi, agricultores, indústrias e organizações ambientais. Estes atores apresentam prioridades e necessidades diversas no que diz respeito à paisagem e aos recursos hídricos, criando um cenário de potenciais conflitos. Além disso, a gestão adequada da água requer informações precisas e atualizadas para a tomada de decisões.

Por fim, a presente dissertação está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo é introdutório, com os objetivos e apresentação inicial do trabalho, discorrendo sobre os estudos morfométricos. O segundo é o referencial teórico-metodológico estrutural da pesquisa, onde será descrita a epistemologia da paisagem geográfica, categoria adotada neste trabalho, relacionando-a à teoria do Geossistema, noções de Equilíbrio na Geomorfologia, bacias hidrográficas, águas subterrâneas, geomorfologia fluvial, além de uma contextualização da morfometria.

No terceiro capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos da dissertação, que vão desde o levantamento bibliográfico à etapa de mapeamento temático, às atividades de campo e a análise dos parâmetros morfométricos usados na pesquisa. No quarto capítulo são apresentados os resultados e discussões para que, no quinto, sejam feitas as considerações finais.

Além disso, o estudo aqui apresentado é parte de um projeto de pesquisa mais amplo, o Projeto do Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG Amazônia – Legal), Edital nº 13/2020 da UEMA, que tem como objetivo geral integrar e consolidar o Programa de pós-graduação em Biodiversidade, Ambiente e Saúde (PPGBAS), assim como o Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGGEO), através do estudo multidisciplinar da biodiversidade e vulnerabilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Pindaré – MA, com foco nos serviços ecossistêmicos.

## 2 DA PAISAGEM A MORFOMETRIA: UM OLHAR SISTEMÁTICO

Neste capítulo, será discutida a relação entre Geografia e paisagem como categorial de análise, a Teoria Geossistêmica e como ela se relaciona ao Equilíbrio na Geomorfologia e aos demais assuntos, bem como ciclo da água, bacias hidrográficas vistas como unidades de planejamento ambiental e parâmetros morfométricos, sendo essa última a proposta metodológica escolhida para analisar a bacia hidrográfica do rio Pindaré.

### 2.1 Geografia e Paisagem

A caracterização da paisagem é fundamental na Geografia, especialmente quando pensamos na Geografia Física, tornando-a objeto de reflexões há várias décadas. O tópico adquire importância a partir da segunda metade do século XX, pois estudos propostos desde esta época consideravam a paisagem como categoria de análise fundamental dos estudos da Geografia Física (DINIZ; OLIVEIRA; e MEDEIROS, 2015).

A concepção de paisagem sempre norteou a existência humana desde a antiguidade, onde a probabilidade de sobrevivência de um povo estava diretamente subordinada a suas relações com a natureza. De acordo com Troll (1997), o termo paisagem era empregado há mais de mil anos, por meio da palavra alemã *landschaft*, evoluindo gradativamente com o passar do tempo, não só em termos linguísticos, mas como categoria que, posteriormente, ganhou significado científico. Já para Venturi (2004), esse conceito histórico-linguístico surge em meados do século XV, junto da separação homem-natureza proporcionada pelo domínio técnico, pela capacidade dos seres humanos de manipular e transformar os espaços naturais conforme a sua necessidade.

No século XIX, naturalistas alemães deram propuseram uma nova explicação científica para o conceito de paisagem, inaugurando o termo geográfico (*landschaft*). Isso resultou nas variações terminológicas de paisagem natural (*naturlandschaft*) e paisagem cultural (*kulturlandschaft*). No entanto, um conceito como esse nunca recebeu uma explicação definitiva, mudando de acordo com diferentes escolas geográficas.

Segundo Schier (2003) a França tratou o conceito de forma mais processual e significativa, demonstrando o comportamento de cada paisagem, colocando as escolas francesa e alemã como espécies de faces materiais do mundo. Foi apenas no surgimento do Renascimento em que a paisagem pôde se reaproximar do sentido original da palavra *landschaft*, contemplando os arredores e utilizando-se de sua espacialidade como forma de delimitação.

Consequentemente, no mesmo período (mais próximo do século XVI, porém) o termo supracitado começou a ser associado à paisagem estética, caracterizada pela união entre aspectos naturais e representação artística de uma paisagem. Neste sentido, os jardins franceses da Idade Média expressavam estética, proporcionando a ideia de ordem, unidade, grandeza e de uma minuciosa organização. Afastando, assim, concepções da época de natureza hostil, por serem ambientes fechados, controlados, utilizados para lazer, plantio e competições (MAXIMIANO, 2004).

No início do século XX, o conceito supracitado pendeu para a descrição específica dos elementos físicos das paisagens, com destaque para o estudo da morfologia, relacionando paisagens com a interdependência complexa de fatores físicos e culturais. Ou seja, a paisagem é complexa e não se limita a simples adição de componentes geográficos, sendo na verdade o resultado de uma combinação dinâmica e instável dos elementos físicos, biológicos e antrópicos que interagem dialeticamente entre si, resultando em um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 1972).

Por sua vez, Guerra (2006) destaca as escolas germânica, francesa, russa e americana no amadurecimento e aplicação do conceito de paisagem, sobretudo por possuírem métodos de abordagem diferenciados, que foram capazes de ampliar o leque de interpretações disponível para este conceito. Cada escola apresenta diferentes concepções sobre a paisagem:

- **Escola germânica:** Responsáveis pela incorporação de novas abordagens sobre paisagem, essa escola trabalhava o conceito com uma visão geográfica, através da utilização da cartografia e geomorfologia. Os germânicos trouxeram outras inovações a partir da introdução do conceito de paisagem como categoria científica, compreendendo-a até os anos de 1940 como a junção de elementos naturais e humanos.
- **Escola Francesa:** O principal precursor desta escola foi La Blache, que segundo Christofletti (1999) utilizou-se de elementos considerado básicos na elaboração e desenvolvimento de seus estudos geográficos. Considerando as características das regiões dos *pays* franceses, o geógrafo traçou um paralelo entre a composição original da natureza e os resultados das interações das atividades humanas (isso no século XX). Ainda sobre os franceses, Guerra (2006) descreve que o foco da escola, durante muito tempo, esteve voltado à concepção do termo região, sendo este o pilar da geografia francesa, sua aplicação aparecendo em conjuntos físicos, estruturais, climáticos e aos domínios caracterizados pela vegetação;

- **Escola Soviética:** É descrita como a mais fechada cientificamente dentre as outras escolas mencionadas. Dokoutchaev trouxe uma abordagem inovadora em 1912, relacionando elementos da natureza e criando o Complexo Natural Territorial (CNT), que incluía os processos físicos, químicos e bióticos, agregando a vegetação no papel de principal diferenciadora das tipologias das unidades de paisagens, e o solo, como resultado da interação entre relevo, clima e vegetação;
- **Escola Anglo-Americana:** Teve como destaque os estudos de William Morris Davis (1899) e Grove Karl (1880). Sob uma forte influência de Carl Sauer (pertencente a escola alemã), a escola anglo-americana foi responsável pela alteração da palavra *landschaft* para o termo *landscape* (tradução do termo para o inglês). Outra ideia de região ainda foi proposta por Richard Hartshorne, como sendo um conjunto de variáveis de característica abstrata, deduzidas da realidade da paisagem e sobre a ótica da ação humana (SCHIER, 2003). Em suma, a paisagem era analisada por essa escola sob a perspectiva da evolução do relevo.

Enquanto isso, no Brasil, o estudo “[...] sobre paisagem é resultado das relações históricas do Velho e Novo Mundo que compartilham raízes comuns de História, cosmovisão e cultura” (MAXIMIANO, 2004, p. 85). Atualmente há um consenso (entre os geógrafos) de que a paisagem, embora tenha sido estudada sob ênfases diferenciadas, não é apenas um fato natural, mas inclui em si a existência humana (MAXIMIANO, 2004). Bertrand (1972) explica que a paisagem “[...] é em uma determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”.

Por fim, a análise desse tema permite ao pesquisador fazer variadas abordagens não apenas no campo teórico, mas também na prática, utilizando os diferentes entendimentos acerca das paisagens na construção de uma análise concreta.

## 2.2 Geossistema

No século XX, com o desenvolvimento dos estudos de mecânica quântica e o denominado “novo pensar” – responsável por criar um contraponto ao paradigma newtoniano-cartesiano – pensadores passaram a buscar novas formas de compreender o planeta, pautados em novos métodos de estudo científico, integrados a outros ramos do conhecimento. É importante que ocorra um diálogo entre as noções complementares dos saberes, sejam elas

concorrentes e/ou antagônicas. Dentre os novos métodos de pesquisa que surgem com a época, podemos destacar: Teoria da Complexidade, Teoria do Caos, Teoria das Estruturas Dissipativas e a Teoria Geral dos Sistemas.

A Teoria Geral dos Sistemas (TGS) criada por meio do biólogo Ludwig von Bertalanffy, pode ser aplicada em diversos tipos de sistemas, principalmente para examinar soluções de problemas, visto que os sistemas citados pelo pesquisador buscam eficiência. Originalmente, sistema é o conjunto de organismos vivos que buscam atingir um objetivo em comum (BERTALANFFY, 2009).

Ficou evidente, conforme o avanço da física moderna e da medicina na compreensão do funcionamento do corpo humano (considerado como a nossa primeira casa), que a natureza apresenta padrões de semelhança e está subordinada a leis básicas do Universo, em sua essência e funcionalidade. Nosso corpo é composto por vários subsistemas interdependentes, que resultam em um complexo e harmônico sistema aberto, dotado de características como entrada (*input*) e saída (*Output*), além das infinitas variáveis que determinarão a perfeição da sua operação. A partir dos avanços, nos é permitido traçar análises e abordagens mais efetivas sobre o funcionamento da natureza e do nosso planeta - ou nossa grande casa.

Na área da Geografia, a TGS pode ajudar a compreender as complexas correlações entre o sistema humano e o sistema natural, humano e físico. Uma abordagem geossistêmica prevê uma interpretação integrada desses sistemas, que “[...] embora sejam considerados ‘fenômenos naturais’, devem ser estudados à luz dos fatores econômicos e sociais que influenciam sua estrutura” (RODRIGUES, 2001, p. 73).

Quando se discute a análise morfométrica de bacias de hidrográficas, o conceito de Geossistema pode ser apresentado como uma unidade de paisagem na proposta apresentada por Monteiro (2001): “Na perspectiva de Monteiro, é imprescindível o tratamento conjunto da estrutura e dos processos. A estrutura expressa morfologicamente o estado das partes enquanto o processo revela a dinâmica da organização funcional geossistêmica” (FERREIRA, 2010, p. 199). Monteiro, para o autor, “reconhece as dificuldades acerca do estabelecimento de uma ordem de grandeza espacial e do entendimento da dinâmica interna das unidades geossistêmicas devido ao envolvimento de correlações complexas, advindas, principalmente, da incorporação das implicações socioeconômicas” (FERREIRA, 2010, p. 198-199).

O uso da visão geossistêmica como metodologia de abordagem da paisagem segue constante. Mesmo tendo sido taxado por críticos como neopositivista, além de

permanecer sob uma interminável discussão acerca de sua aplicabilidade, não se conseguiu desenvolver outro método que viesse a substituir este como forma de adequação metodológica, principalmente como unidade sistemática para descrever a paisagem (NASCIMENTO; SAMPAIO, 2004). A visão geossistêmica também se mostrou especialmente positiva quando utilizada para observar bacias hidrográficas e análises morfométricas.

### **2.3 Noções de equilíbrio na Geomorfologia**

A palavra equilíbrio tem sua origem no latim. Na acepção física, pode referir-se a várias situações, incluindo a condição de um sistema no qual forças atuantes se compensam (HOUAISS; VILLAR, 2001). No contexto geomorfológico, o termo mantém ligações com sua definição física, embora seja aplicado de acordo com os fenômenos próprios das geociências.

Desde o século XVII, quando Domenico Guglielmini observou o ajuste dos canais fluviais até alcançarem um equilíbrio, o conceito foi se desenvolvendo através do trabalho de diversos estudiosos, como Surell, Gilbert e Davis (ABREU, 1980). Surell, por exemplo, concebia o equilíbrio como uma harmonia entre as formas do relevo e os processos que operam sobre ele, visando a uma estabilidade morfológica. Contudo, a interpretação tradicional do equilíbrio em geomorfologia promovida por Hack (1960) sugere que os sistemas geomorfológicos alcançam um estado dinamicamente estável, mantido pelo ajuste entre processos de construção e degradação do relevo (GILBERT, 1877; HACK, 1960).

Essa visão foi criticada por Thorn e Welford (1994), assim como outros autores, que questionam a aplicação do conceito de equilíbrio dinâmico como um princípio regulativo na interpretação geomorfológica. Assim, surgiram diferentes terminologias para descrever o estado de equilíbrio geomorfológico, refletindo um debate teórico-conceitual em curso. Esclarecer e explicitar o uso desse conceito é essencial para sua efetividade como ferramenta de investigação geocientífica, contribuindo para uma compreensão mais precisa da evolução do relevo (BRACKEN; WAINWRIGHT, 2006; GREGORY; LEWIN, 2018).

#### *2.3.1 A visão de Grove Karl Gilbert*

Descreve o equilíbrio como subordinado a aspectos dos trabalhos fluviais em paisagens continentais. Por conseguinte, no ano de 1877, Gilbert afirmava que a noção de equilíbrio é equivalente a uma igualdade de forças que podem anular-se, ou uma igualdade de

equilíbrio em ação. “E a propensão à igualdade de ação é denominada de equilíbrio dinâmico” (GILBERT, 1877, P.123). Neste contexto, o autor discorre que “(...) a capacidade de corrosão é, por toda parte, proporcional à resistência até que haja um equilíbrio de ação. Em geral, nós podemos dizer que um rio tende a equalizar seu trabalho em todas as partes do seu curso” (GILBERT, 1877, p.113).

A capacidade erosiva dos rios é proporcional à resistência dos materiais que encontra. Ou seja, quanto mais resistente a litologia, mais difícil será para erodi-la. Com o tempo, porém, o rio equilibra esta ação ao longo de seu curso, distribuindo a erosão uniformemente. Dessa forma, mesmo que encontre materiais de diferentes resistências, ele ajustará sua capacidade de erosão para equilibrar o trabalho, em todas as regiões que atravessa (BERTOLINI, 2019).

Ainda no entendimento de equilíbrio dinâmico, para Gilbert (1909), uma topografia madura apresenta taxas de degradação uniformes em todas as partes das vertentes e a sua evolução adotaria perfil constante. Ou seja, uma vez alcançado um estado de equilíbrio, a configuração da vertente não sofreria mudanças significativas, mantendo um perfil estável e constante. O estudo de Gilbert foca indicadores morfométricos em terrenos continentais. Ele ressalta que bacias hidrográficas com materiais de resistência semelhante são capazes de atingir estabilidade. Ademais, tributários menores possuem declives mais acentuados que os rios principais (GILBERT, 1877).

Isso nos indica que, onde a resistência dos materiais é homogênea, o sistema hídrico alcançou estabilidade. Tributários menores tendem a ter inclinação mais acentuada devido à menor resistência geológica, ampliando a capacidade de modelação da água no relevo, já que

as variações topográficas decorrentes das diferenças de resistências oferecidas ao trabalho erosivo progridem até que um equilíbrio seja alcançado através da lei das declividades. Quando a razão da ação erosiva – entendida como algo dependente da declividade – se torna igual à razão das resistências – oriundas da natureza litológica – haverá uma igualdade de ação (GILBERT, 1877, p.116).

A ação erosiva é influenciada pela inclinação da superfície (declividade) e pela resistência dos materiais. Quando a taxa de erosão se iguala à resistência dos materiais, o resultado é um equilíbrio, onde a paisagem não sofre mudanças significativas ao longo do tempo. Partindo deste pressuposto, Gilbert associa que a estabilidade dos divisores de drenagem é maior que o efeito de transporte da água da chuva, mantendo-se as suas

configurações ao longo do tempo, como áreas de maior elevação topográfica (GILBERT, 1877).

Para abordar processos relacionados a instabilidades dos divisores, ou de transformação do relevo, há sistemas de drenagem chamados de ponding, planation e alluviation. Eles são ligados aos processos endógenos de soerguimento e rebaixamento da superfície, à movimentação lateral de canais e a construção de cones aluvias e deltas (GILBERT, 1877).

### 2.3.2 A visão de William Morris Davis

A noção de processos geomorfológicos foi consolidada durante anos por várias teorias, em escolas distintas como a francesa, a anglo-americana e a soviética. A anglo-americana, representada principalmente por William Morris Davis, obteve grande relevância através da sistematização do estudo do relevo e de sua estrutura, seus processos e modificações, impostas pelo tempo na teoria denominada de “O Ciclo Geográfico”. Essa, sem dúvida, é a variável mais importante na organização da modelação do relevo.

Como o próprio Davis aponta: “processos não podem completar seu trabalho instantaneamente, e o conjunto de mudanças a partir de uma forma inicial é, portanto, uma função do tempo” (DAVIS, 1899, p.482).

Em contrapartida, as formas de relevo resultantes não são responsáveis apenas pelo tempo, mas pela estrutura geológica e altitude na evolução do modelado. Sendo assim, as mudanças de nível de base são responsáveis pelas variações na paisagem. Ou ainda, “as forças destrutivas não podem, ao longo do tempo, erodir as paisagens continentais abaixo do último nível de base de sua ação” (DAVIS, 1899, p.483). Abordando a velocidade da evolução das paisagens, Davis ressalta que a “taxa de mudança sob condições processuais normais (...) é, em princípio, relativamente moderada; então avança rapidamente até um máximo e, posteriormente, decresce indefinidamente até um mínimo” (DAVIS, 1899, p.483).

Em relação ao desenvolvimento e evolução das paisagens continentais, Davis usou o termo *grade* para se referir ao equilíbrio entre a capacidade de realizar trabalho executado por um rio no seu vale fluvial, que é alcançado gradualmente da foz para as cabeceiras e da base para o topo. E esse equilíbrio, ou condição, é alcançado na fase de senilidade da paisagem (BERTOLINI, 2019).

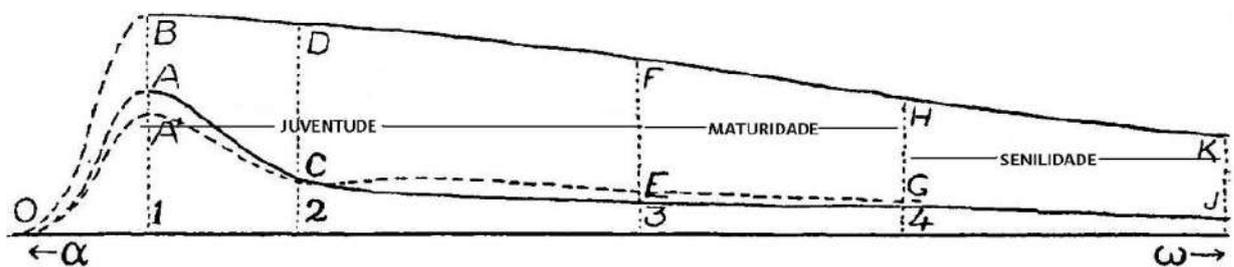
A função do trabalho fluvial é explicada por Davis de maneira distinta conforme cada fase de desenvolvimento das paisagens. Elas seriam caracterizadas por duração, assim

como o vigor altimétrico e as formas do relevo, considerados de acordo com a velocidade com que os processos são desencadeados.

Este desenvolvimento Figura (02) é caracterizado por Davis (1899) como:

- Primeira Fase (Juventude): caracterizada pelo evento de soerguimento e expressivo aprofundamento dos principais vales, marcado assim por um aumento do vigor altimétrico máximo;
- Segunda Fase (Juventude): inicia-se com o soerguimento de várias formas de relevo, em razão do recuo das cabeceiras de drenagem;
- Terceira Fase (Maturidade): é caracterizada pelo decréscimo repentino do vigor altimétrico, as vertentes tornam-se suáveis gradativamente;
- Quarta Fase (Senilidade): o relevo é gradualmente reduzido a medidas inferiores e vertentes suáveis, até se transformar em uma extensa planura ou em um pé de plano.

Figura 2 – Fases de desenvolvimento da paisagem.



Fonte: Adaptado de Davis (1899) por Bertolini (2019).

Em relação à ocorrência de processos erosivos durante a fase de soerguimento, Davis considerou a atuação concomitante dessas forças, o que divergia de autores mais cautelosos. Ele afirmava não haver implicação exata de que não ocorram mudanças destrutivas rapidamente durante a operação de forças de soerguimento ou deformação (DAVIS, 1899). Ao comparar estes apontamentos ao Ciclo da vida, Davis ainda enfatiza que:

Haverá uma breve juventude com um aumento do vigor altimétrico, uma maturidade em que há um máximo de vigor ou desnível altimétrico com uma grande variedade de formas, um período de transição em que mais rapidamente se processa o rebaixamento do relevo e uma senilidade indefinidamente longa quando um relevo plano passa por mudanças excessivamente lentas (DAVIS, 1899, p. 487).

Existe uma característica definida pelo autor em cada fase, sendo distinguidas por suas variações na textura e quantidades de detritos transportados pela carga fluvial:

A carga é pequena no início, e rapidamente aumenta em quantidade e granulometria durante a juventude quando a região tem seus vales escavados; a carga continua a aumentar em quantidade, mas provavelmente não na sua granulometria durante o início da maturidade, quando a ramificação dos vales acontece por erosão remontante, aumentando-se então a área de exposição aos processos erosivos; após a completa maturidade, a carga continuamente decresce em quantidade e granulometria; e durante a senilidade a baixa quantidade de carga que é transportada deve ser de textura muito fina ou mesmo ser somente carga em solução (DAVIS, 1899, p. 488).

À medida que os processos vão se instaurando e a declividade diminuindo, a capacidade do rio realizar trabalho (competência) também decresce. Quando existir uma igualdade entre a capacidade de realizar trabalho e o trabalho executado, a condição de grade é alcançada pelo rio. Este termo é empregado para a condição de balanço entre erosão e deposição de um rio maduro ou senil (DAVIS, 1954).

De acordo com Davis (1899) existem dois modos de rios alcançarem a condição de equilíbrio (*graded river*): pela incisão (degradação) e pela sedimentação (agração). O primeiro ocorre no baixo curso fluvial e regride em direção ao médio e alto curso, influenciada pela litologia que dificultará o processo em caso de rochas mais resistentes. No segundo caso, o autor nos traz o seguinte:

Por qualquer motivo um rio é incompetente para transportar a carga que chega até ele, não conseguirá aprofundar seu leito mas, ao contrário, irá preenchê-lo (agração). Assim um rio desse tipo deposita a parte mais grossa da sua carga formando um alargamento da sua várzea e aumentando seu declive até ganhar velocidade suficiente para prosseguir com seu trabalho (DAVIS, 1899, p. 489).

No contexto das bacias hidrográficas, os rios com maiores amplitudes alcançaram a condição de equilíbrio. Em seguida, a condição se espalhará progressivamente para rios menores, indo da foz até as cabeceiras:

Quando a condição de grade é atingida pelo rio, a incisão na porção jusante praticamente cessa, mas a incisão a montante continua; uma planície de inundação é então formada quando o canal se distancia e vagueia a partir da vertente mais suave do vale (DAVIS, 1899, p.493).

O aumento do comprimento do rio, causado pela esculturação do seu vale, e a diminuição de trechos com corredeiras e encachoeiramentos resultam numa diminuição da competência. Esse processo é acompanhado da migração dos divisores de drenagem, fruto do

trabalho da erosão fluvial e outros atuantes nas vertentes (DAVIS, 1899). No que diz respeito ao material transportado por ação dos agentes intempéricos nas vertentes, o termo *waste-sheet* é equivalente a um manto de intemperismo. Davis afirma que o movimento do lençol de intemperismo também é afetado, movendo-se mais rapidamente na superfície e menos em profundidade (BERTOLINI, 2019).

Nesse sentido, a ideia de grade é utilizada para descrever o equilíbrio nos mantos de intemperismo, condição “(...) no qual a habilidade das forças de transporte em realizar o seu trabalho é igual ao trabalho que elas têm a fazer” (DAVIS, 1899, p.495). Essa característica proporciona vertentes em ângulo de repouso, visivelmente estáveis do manto de intemperismo. O equilíbrio (grade) pode ser alcançado nas vertentes, assim como nos cursos fluviais, o que ocorre gradativamente, podendo ser alcançados no sentido de base para o topo e do baixo vale para o alto vale. Morros testemunhos e esporões conseguem permanecer fora destes limites:

Assim como os rios em grade degradam lentamente seus cursos após o período de máxima carga, os lençóis de intemperismo adotam declividades cada vez mais suaves quando as porções mais altas da superfície são consumidas e o material grosseiro não é mais perdido para as vertentes abaixo. Uma mudança das mais delicadas no ajuste aparece. Inicialmente, quando as vertentes *graded* se desenvolvem, elas são íngremes, e o lençol de intemperismo que as recobre é de material grosseiro e espessura moderada; (...). Em uma fase mais avançada do ciclo, as vertentes *graded* são moderadas e o material de recobrimento torna-se mais fino texturalmente e com maior espessura do que antes; nessa fase, os fracos agentes de remoção são favorecidos por um menor intemperismo das rochas sob o manto de intemperismo e pela redução a uma fina textura do material perdido durante sua lenta jornada. Em uma fase senil, quando todas as vertentes são muito suaves, os agentes de remoção devem ser fracos por toda parte e sua igualdade com os processos de fornecimento de material podem ser mantidos somente pela redução desses processos a baixos valores (DAVIS, 1899, p.497).

Quando os topos, vertentes e fundos de vales estão em condição de grade, a condição de senilidade é instalada e feições não apareceram mais, restando apenas uma superfície plana denominada peneplano (BERTOLINI, 2019). A superfície é controlada somente pelo nível de base, sendo essa a penúltima fase de um ciclo ininterrupto, ou ideal. A última fase, então, seria um plano sem relevo (DAVIS, 1899, p.497).

### 2.3.3 A visão de John Hack

Segundo Bertolini (2019), um dos grandes expoentes no desenvolvimento do conceito de equilíbrio em geomorfologia foi John Hack, que estudou o relevo do vale do Rio Shenandoah na região dos Apalaches nos Estados Unidos.

Para Hack (1960, apud BERTOLINI 2019, p. 8), “o estudo do equilíbrio dinâmico do relevo é o estudo das relações areais, ou seja, como ocorrem no espaço, entre processos e formas para a interpretação da sua história passada”. Hack afirmou que a concepção de equilíbrio dinâmico postula o alcance da estabilidade de uma paisagem quando forças opostas se equilibram, permitindo a constante entrada e saída de energia do sistema, um processo que pode se manifestar em diferentes cenários topográficos.

Quando o sistema geomorfológico atinge este equilíbrio dinâmico, ocorre um ajuste nas formas do relevo com a entrada e saída de energia e matéria do sistema. Hack nos apresenta uma noção de equilíbrio diferente daquela apresentada por Davis em 1899, argumentando que o equilíbrio no contexto do sistema de drenagem não está associado a uma fase específica na evolução do canal. Ele conclui que formas em equilíbrio dinâmico não necessitam de uma explicação vinculada a determinadas fases temporais (BERTOLINI, 2019).

## **2.4 Bacia Hidrográfica**

Uma bacia hidrográfica é resultante de uma complexa interação entre o clima, vegetação e agentes hidrogeomorfológicos. Estes agentes são caracterizados pelos topos e fundos de vales, encostas, canais fluviais e subterrâneos, além, é claro, das intensas modificações decorrentes das atividades humanas como a construção de edificações, obras de engenharia e outros elementos da urbanização.

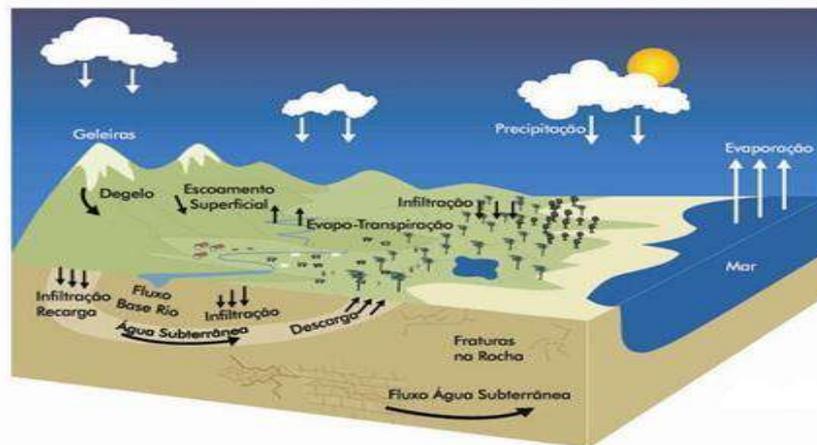
Podemos então definir a bacia como uma área limitada por um divisor de águas, que a separa das bacias adjacentes e serve como captação natural da água de precipitação através de superfícies vertentes. Por meio de uma rede de drenagem, formada por cursos d'água, ela faz convergir os escoamentos para a seção de exultório, seu único ponto de saída (LINSLEY; FRANZINI, 1978).

Diante disto, elas podem ser consideradas um sistema aberto, pela existência de fluxo contínuo de entrada (*input*) e saída (*output*) de energia. Esta energia de entrada, segundo Coelho Netto (2005), é proveniente de fatores climáticos atuantes locais e forças tectônicas subjacentes. A saída do sistema é possibilitada pela lixiviação de sedimentos perdidos para o oceano. O Ciclo da Água é o movimento, permanente e contínuo, presente nos três estados físicos da matéria (sólido, líquido e gasoso).

Este ciclo se dá na hidrosfera, entre oceanos, calotas de gelo, mananciais superficiais, subterrâneos e na atmosfera (Figura 3), sendo essencial para a manutenção da vida na Terra e vários outros ciclos de elementos. Isto só é possível pela incidência (ou

irradiação) dos raios solares, que fornecem a energia necessária para a evaporação das águas superficiais, que é então transportada como vapor d'água na atmosfera. A depender de fatores como temperatura, pressão e umidade do ar, esse vapor pode condensar e se precipitar (em forma de chuva, granizo, orvalho e neve) sobre os oceanos e os continentes. Dessa maneira, quando a precipitação atinge o continente, pode promover o escoamento superficial abastecendo rios, lagos e lagunas ou carregar o aquífero por meio da infiltração. Essa água penetra na rocha ou substrato pelos espaços disponíveis, pequenos poros que estão entre as partículas.

Figura 3 – Fases de desenvolvimento da paisagem.



Fonte: Ferreira *et al.*, 2007.

Vitte e Guerra (2007) são enfáticos ao afirmar que as bacias hidrográficas são entendidas como uma célula básica de análise ambiental, pois permite conhecer e avaliar seus diversos componentes, os processos e interações que nela ocorrem. Neste sentido, as bacias hidrográficas são excelentes unidades delimitadoras, ocupando uma posição estratégica para a tomada de decisões de gestão e planejamento ambiental estratégico.

Cabe a esta pesquisa trazer um breve entendimento da legislação nacional referente aos recursos hídricos (Quadro 1). Com a promulgação da Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, deu-se um importante passo para a proteção dos mananciais hídricos. A lei instituiu as bacias hidrográficas como unidade de planejamento, permitindo a implantação de políticas públicas pelo Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Esse sistema possui a atribuição de planejar, regular e controlar o uso, preservação e a recuperação dos recursos hídricos, de forma descentralizada, com a participação do poder público, usuários e comunidades. Fazem parte do Sistema Nacional de Gerenciamento de

Recursos Hídricos o conselho nacional de recursos hídricos (ANA), conselhos de recursos hídricos dos estados, comitês de cada bacia, órgãos dos poderes públicos e a Agência de águas. Os comitês de bacias hidrográficas são parte essencial deste sistema, pois representa a participação da sociedade civil organizada na tomada de decisões (ANA, 2012).

Quadro 1 – Normas ambientais aplicáveis em bacias hidrográficas no território federal.

<b>BASE LEGAL</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997.	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012.	Código Florestal Brasileiro, dispõe sobre a proteção da vegetação nativa.
Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 303/2002	Definição de Área de Preservação Permanentes (APPs).
Resolução do CONAMA Nº01/2006.	Dispõe sobre os casos excepcionais de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental, que possibilitam a intervenção ou supressão de vegetação em APP.
Resolução do CONAMA Nº396/2008.	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, além de outras providências.
Resolução CONAMA Nº357/2005.	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências.
Portaria do Ministério da Saúde Nº2914, de dezembro de 2011.	Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, assim como define seu padrão de potabilidade.
Lei Nº8.149 de 15 de junho de 2004 (Política Estadual de Recursos Hídricos do Maranhão)	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, o Sistema de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos e dá providências relacionadas.
Decreto Nº34847 DE 14/05/2019 (Governo do estado do Maranhão)	Regulamenta a Lei nº 8.149 de 15 de junho de 2004, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e sobre o Sistema Estadual de Gerenciamento Integrado de Recursos Hídricos, junto de outras providências.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## 2.5 Geomorfologia Fluvial

É o ramo que estuda os processos e formas resultantes dos escoamentos dos rios como processos fluviais de erosão, sedimentação, transporte e deposição. Ela estuda sobretudo as bacias hidrográficas, observando a ação dos canais fluviais, as formas deposicionais, os movimentos de massa e sua influência na modelação e evolução do relevo ao longo do tempo.

Os eventos erosivos são o aspecto mais importante da dinâmica fluvial. O fluxo de água pode erodir o solo e as rochas, criando vales profundos e alargando o canal. Quando isso ocorre nas margens dos rios, é causada a erosão lateral e vertical. Elorza (2008) descreve o processo mais detalhadamente:

A erosão vertical, no fundo do canal fluvial, ocorre com a movimentação de partículas de areia e cascalho. A erosão vertical acontece quando a carga desgasta o leito. A erosão lateral manifesta-se quando as paredes do canal se desgastam, normalmente pela escavação que sofrem, o que provoca deslizamentos em blocos das paredes dos canais. Ocorrendo de forma contínua, a erosão lateral provoca o alargamento do canal, e a erosão vertical, o aumento da incisão/entalhamento do leito (ELORZA, 2008, p. 288).

Outro aspecto importante é o transporte de sedimentos, que pode ser feito por arrasto e/ou rolamento, saltação e suspensão, de acordo com o tamanho e forma das partículas. Através destes mecanismos é que são realizados os processos fluviais de uma área. O transporte de sedimentos pode afetar a profundidade e a largura do canal, bem como a deposição em outras feições como diques marginais, planícies de inundação ou até mesmo com a formação de deltas na foz do rio.

A dinâmica fluvial também inclui a análise da vazão fluvial, que pode variar ao longo do tempo devido às variações climáticas, à evaporação, à infiltração e ao uso humano da água. Já comportamento hidrológico dos rios é influenciado por fatores como a topografia da bacia hidrográfica, a vegetação, a presença de barragens e a qualidade da água. Compreensão da dinâmica fluvial se torna, assim, crucial para a gestão de recursos hídricos e para a prevenção de desastres naturais como inundações, tendo também implicações significativas para a agricultura, pesca, a geração de energia elétrica e a preservação da biodiversidade.

Os estudos referentes a drenagens fluviais sempre tiveram destaques na Geomorfologia, pois através deles é possível compreender o processo natural de modificação do relevo, que segundo Christofolletti (1969) é um dos morfogenéticos mais ativos na esculturação das paisagens terrestres.

Este estudo utiliza a metodologia Geossistêmica e ecodinâmica (TRICART, 1977), além do Sistema Caótico (especificamente a Teoria do Caos) para explicar a complexidade dos sistemas, onde uma mínima alteração em qualquer variável operacional pode mudar o resultado previsto.

De maneira geral, um rio pode ser definido como uma corrente contínua de água, dotada por certa grandeza e ordem, que deságua em uma corrente maior, um lago ou mar. Esses cursos podem ser caracterizados como efêmeros, quando são secos durante um longo período, se tornando ativos em eventos chuvosos. Canais ativos por boa parte do ano que se tornam inativos em alguns períodos são denominados intermitentes, e aqueles que conseguem drenar água por todo ano são chamados perenes. No tocante aos acontecimentos ocorridos na bacia de drenagem, estes repercutindo diretamente em rios, fatores climáticos, cobertura vegetal e litologia. Conclui-se então que os acontecimentos são controladores das morfogêneses das vertentes.

Esse ramo se interessa principalmente pelos processos/formas relacionados aos rios e bacias hidrográficas. Os rios são agentes ativos e importantes no transporte de materiais, sendo essencial levantar suas características. Em seus percursos, eles podem apresentar diferentes padrões de canais. À medida que um canal fluvial abre seu caminho no vale, um rio pode correr reto em alguns trechos e assumir uma trajetória tortuosa e irregular (PRESS *et al.*, 2006). Existem quatro tipos de padrões fluviais; reto, entrelaçado, anastomosado e meandrante (Figura 4).

Figura 4 – Padrão de canais de rios.



Fonte: Miall (1977).

Os rios que apresentam meandros possuem curvas em formato de laços e ocorrem em declives suaves de planícies, onde modelam e cortam sedimentos de areia fina, silte, argila ou qualquer tipo de substrato rochoso favorável ao intemperismo, promovendo assim a erosão. A situação pode ocorrer também em áreas mais íngremes, com rochas e sedimentos mais resistentes, onde os segmentos meandantes podem alternar-se como segmentos longos e relativamente retos. Os canais entrelaçados são caracterizados pela presença de uma rede encruzada de canais, semelhante a tranças de cabelo. Podem ser encontrados em vários tipos de terreno e sua origem está ligada a uma grande variação no volume de água, combinado com uma grande carga sedimentar (PRESS *et al.*, 2006).

De acordo com Press *et al.* (2006), os canais de rios anastomosados são formados por múltiplos canais que se conectam e se separam ao longo do curso do rio. Esse fenômeno ocorre devido ao transporte e deposição de grandes quantidades de sedimentos no leito do rio, criando ilhas e barras que dividem o fluxo de água. Esses canais são frequentemente encontrados em áreas com alta carga sedimentar e um gradiente de relevo reduzido, como regiões deltaicas ou áreas sujeitas a chuvas intensas. A um rio anastomosado é resultado de um sistema fluvial complexo e dinâmico, com múltiplos caminhos para o fluxo de água.

No país, há diversos autores clássicos que discutem a Geomorfologia Fluvial: Christofolletti (1980), Cunha (1994), Cunha (1998), Guerra (1997), Coelho Neto (2005), Guerra (2006), dentre outros. No Maranhão, temos autores como Pereira (2006), Santos (2008), Silva (2012), Jesus (2021), além de outros que discorrem sobre a temática.

Em suma, o resultado da obtenção desses dados primários possibilita a interpretação de problemas ambientais, que podem ser utilizados como instrumentos ao planejamento e, posteriormente, à gestão da paisagem. Um dos principais estudos da Geomorfologia Fluvial é a análise morfométrica de bacias hidrográficas.

## **2.6 Morfometria**

A morfometria é uma área vinculada a geomorfologia fluvial que se dedica ao estudo e análise das formas e características das bacias hidrográficas. Estudiosos como Alexander von Humboldt (2005), William Morris Davis (1889) e Grove Karl Gilbert (1877) foram fundamentais na sistematização dos padrões de drenagem e das características geomorfológicas dos sistemas. Entretanto, os percursores dessa técnica são Horton (1945) e Strahler (1952a, 1952b), que criaram relações quantitativas entre os componentes fluviais, baseados na hierarquização dos canais de bacias hidrográficas. Com isso, são referências

clássicas consolidadas sobre esse tipo de análise: Schumm (1956), Christofolletti (1969, 1974, 1980) e Smith (1950).

Atualmente, a morfometria é uma das metodologias mais utilizadas em avaliações hidrológicas e ambientais, objetivando um melhor entendimento da dinâmica local e regional da bacia. Relacionando-a com estudos de parâmetros físicos, é possível conhecer o formato da bacia, e indicar características geométricas, da rede de drenagem e do relevo (Sousa, 2016).

A morfometria consiste em um método analítico de medições/observações matemáticas das vertentes e canais que pertencem ao relevo nas bacias hidrográficas. Estudos morfométricos classificam as redes de drenagem, as áreas, perímetros, largura, densidade de bacias hidrográficas, comprimento dos rios, sinuosidade do curso principal e outros índices físicos desses ambientes.

Esses indicadores são ferramentas eficientes para a análise do ambiente. Segundo Costa (2015), a morfometria visa compreender a conformação geomorfológica e a configuração da paisagem, sobretudo na quantificação das partes físicas da bacia hidrográfica, que refletem na hidrologia formada sob condições geográficas e climáticas similares. Para ele, “o uso da morfometria em diagnóstico de bacias hidrográficas possibilita explicar interações que ocorrem entre os elementos da paisagem (COSTA, 2015, p. 5)”. A metodologia permite a quantificação de valores adotados para os atributos geomorfológicos e a definição das características e das unidades homogêneas de trabalho (CHRISTOFOLETTI, 1974; FERREIRA; BEZERRA, 2015).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é vital para determinar parâmetros físicos. Ele auxilia na formulação de indicadores ambientais, essenciais para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. A seguir, serão abordados os principais parâmetros empregados na literatura analisada ao longo das aulas.

### *2.6.1 Hierarquia dos Canais (O)*

O ordenamento dos canais está relacionado a hierarquização de bacias hidrográficas. De acordo com Christofolletti (1969), a classificação de Strahler (1952a) descreve que canais menores sem tributários são considerados de primeira ordem, estendendo desde a nascente à confluência; enquanto isso os canais de segunda ordem são resultados da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo receber apenas canais de primeira ordem; já um canal de terceira ordem se origina da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de primeira e segunda ordem; e assim sucessivamente.

### 2.6.2 Densidade de Drenagem (Dd)

Conforme Christofolletti (1980), a densidade de drenagem relaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica. Esse parâmetro é essencial para a determinação e identificação de áreas mais susceptíveis a processos erosivos, como é descrito por Horton (1945). O comportamento hidrogeológico é controlado principalmente pelas variáveis climáticas e geológicas, que podem potencializar ou minimizar os efeitos do escoamento superficial. Para calcular o comprimento, é importante medir tanto os rios perenes quanto os rios temporários, e o resultado será obtido a partir da utilização da form.(01):

$$Dd = \frac{L}{A} \quad (01)$$

**Onde:**

Dd: Densidade de drenagem (km, km<sup>2</sup>);

L: Comprimento total dos rios ou canais (km);

A: Área de drenagem (km<sup>2</sup>).

### 2.6.3 Densidade Hidrográfica (Dh)

A densidade de rede de drenagem também é conhecida como frequência de canais, sendo citada por Horton (1945) como o número total de canais pela área da bacia (form.02). A partir dessa densidade é possível determinar o comportamento hidrográfico da área em um de seus aspectos fundamentais: a capacidade de gerar novos cursos de água (CHRISTOFOLETTI, 1980).

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (02)$$

**Onde:**

Dh = Densidade hidrográfica;

N = Número total de canais;

A = Área da bacia (km<sup>2</sup>).

### 2.6.4 Coeficiente de Manutenção (Cm)

É considerado uma medida de textura semelhante à densidade de drenagem. Sua função é calcular a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento permanente (SCHUMM, 1956). Dessa forma, o índice é utilizado em canais de

primeira ordem, onde, para calcular (form.03) é necessário multiplicar por 1000 a densidade de drenagem, para transformar os resultados em m<sup>2</sup>/m.

$$Cm = \frac{1}{Dd} \times 1000 \quad (03)$$

**Onde:**

Cm = Coeficiente de manutenção, expresso em km<sup>2</sup>/km;

Dd = Densidade da drenagem expressa em metros.

### 2.6.5 Índice de Forma (K)

Este índice expressa o formato da bacia hidrográfica. A base para o cálculo é a relação entre o perímetro da bacia e a área, e quanto mais próximo o valor de 1, a bacia tende a ser mais circular (CHRISTOFOLETTI, 1969).

$$K = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (04)$$

**Onde:**

K = índice de forma;

P = Perímetro da bacia;

A = Área da bacia (km<sup>2</sup>).

### 2.6.6 Gradiente de Canais (Gc)

Refere-se à inclinação do canal do rio ou córrego e é representado pela razão entre a queda vertical do curso d'água e a distância horizontal percorrida por ele (form.05).

O gradiente de canais é uma medida importante da energia disponível para o transporte de sedimentos e água na bacia. Este índice foi proposto por Horton (1945).

$$Gc = \frac{Amax}{Lc} \quad (05)$$

**Onde:**

Gc = Gradiente de canais em m/km;

Amax = altitude máxima da bacia em m;

Lc = comprimento do canal principal em km.

### 2.6.7 Relação de Relevo ( $R_r$ )

É a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento do canal principal. De acordo com Schumm (1956), quanto maior o valor de  $R_r$ , maior será o desnível entre a cabeceira e o exutório, resultando em uma maior declividade média da bacia.

$$R_r = \frac{H_m}{L_c} \quad (06)$$

**Onde:**

$R_r$  = Relação de relevo em m/km;

$H_m$  = amplitude altimétrica em m;

$L_c$  = comprimento do canal principal em km.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A abordagem metodológica desta pesquisa é baseada no método quantitativo e é centrada na análise de dados relacionados aos parâmetros morfométricos, obtidos por meio de cálculos matemáticos e sensoriamento remoto.

A metodologia escolhida para compor a pesquisa é a geossistêmica pautada em estudos integrados, baseada nas análises de Sotchava (1973a), Bertrand (1971) e Monteiro (2001), tendo como primícias o suporte para medidas de planejamento ambiental e auxiliar a tomada de decisão de órgãos ambientais competentes. Já os parâmetros morfométricos são baseados em: Horton (1945); Strahler (1952); Miller (1953); Schumm (1956); Alves e Castro (2003); Christofolletti (1969, 1980); assim como autores de estudos mais recentes, como Cardoso *et al.* (2020).

O presente estudo foi estruturado em quatro etapas. A primeira foi um levantamento bibliográfico sobre a temática, enfatizando os referenciais teórico-metodológicos relacionados à Geografia e ao estudo das paisagens, geossistemas, bacias hidrográficas e parâmetros morfométricos dos canais fluviais. Já a segunda passou pela elaboração da base cartográfica referente às características geoambientais da bacia hidrográfica do rio Pindaré (Localização, Geologia, Pedologia, Hidrografia). Esta etapa se sucedeu em dois passos: obtenção dos parâmetros morfométricos (Hierarquia Fluvial, Densidade de Drenagem e Coeficiente de Manutenção), levantados na própria pesquisa; e obtenção de fontes secundárias, como o que é apontado pelo CPRM (2012), IMESC (2019) e IBGE (2021), em diferentes escalas de mapeamento e compatibilizadas para a escala de trabalho (1:250.000).

A terceira etapa da pesquisa foi uma atividade de campo às margens do rio Pindaré. Com o intuito de observar as características geoambientais e fluviométricas *in loco*, assim como o preenchimento da ficha de campo, sobrevoo com drone e registro fotográfico dos elementos da paisagem. Por fim, a quarta etapa compreendeu a determinação de parâmetros morfométricos como: área; perímetro; rede de drenagem; números de canais; comprimento total dos canais; altitude máxima da bacia; amplitude altimétrica da bacia; comprimento do canal principal; distância vetorial do canal principal e declividade; densidade de drenagem; densidade hidrográfica; coeficiente de manutenção; e índice de forma, com a finalidade de compreender a dinâmica fluvial da bacia do rio Pindaré.

### 3.1 Levantamento Bibliográfico

O referencial teórico-metodológico que trata sobre a análise dos parâmetros morfométricos e suas temáticas correlatas foi levantado nas mais diversas fontes. Por exemplo, nas dependências físicas e virtuais das bibliotecas centrais da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA – <https://www.biblioteca.uema.br>) e da Universidade Federal do Maranhão (UFMA – <https://portais.ufma.br/PortalUfma/paginas/biblioteca.jsf>), abrangendo acervos variados sobre a temática abordada – o que passou por livros, monografias, dissertações, teses e *e-books*. O site dos periódicos Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior da CAPES (<https://www-periodicos-capes-gov-br.ez1.periodicos.capes.gov.br/index.php>) também se mostrou uma importante fonte, juntamente do catálogo de teses da CAPES (<https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses>).

Ainda foram analisados periódicos *on-line* especializados, como a Revista Brasileira de Geomorfologia (<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg>). O ato de buscar os referenciais supracitados mostrou-se crucial no apoio ao desenvolvimento deste texto, assim como nos resultados obtidos.

### 3.2 Mapeamento Temático

A base cartográfica foi elaborada no Sistema de Informação Geográfica (SIG), com a utilização do *software ArcGIS*<sup>®</sup> versão 10.2.2, propriedade da *Environmental Systems Research Institute* (ESRI), licença EFL999703439, adquirida com recurso de fomento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo Grupo de Pesquisas em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP/UEMA). Esse sistema tem sido muito utilizado para fins de planejamento e manejo de recurso natural a nível urbano, regional, estadual e nacional de órgãos governamentais (Lima, 1996).

#### 3.2.1 Obtenção e tratamento de Imagens (SRTM)

A construção dos dados para material temático e parâmetros morfométricos iniciou-se por meio da obtenção das imagens de radar da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que possuem 30 m de resolução espacial, obtidas através do projeto do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA, 2011), sob responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e objetivo de gerar um modelo digital de elevação (MDE). As imagens foram baixadas e separadas para a aplicação do tratamento (Figura 5) necessário para compatibilidade e confiabilidade dos resultados obtidos.

Figura 5 – Descrição do processo de tratamento das imagens SRTM.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

### 3.2.2 Delimitação dos Divisores Hídricos da Bacia

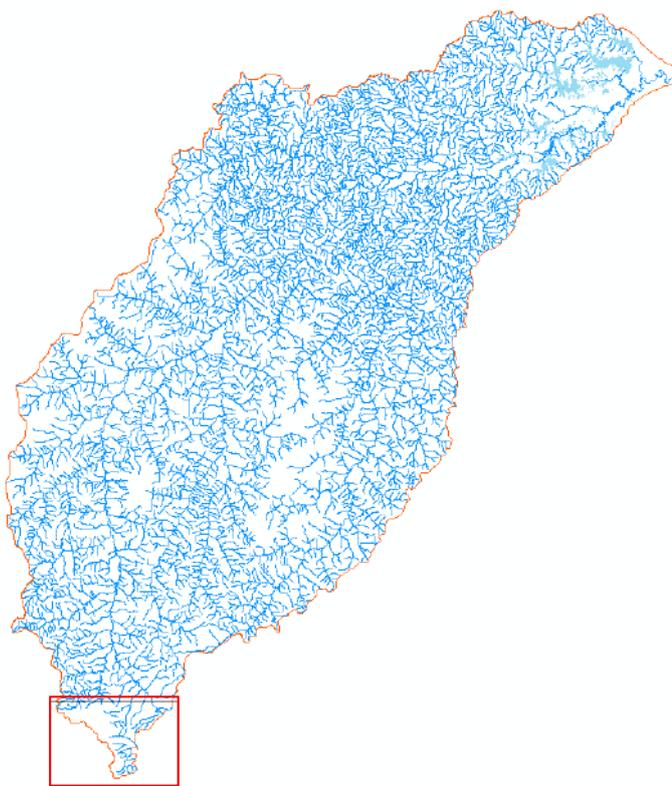
A delimitação dos divisores topográficos da bacia hidrográfica do rio Pindaré foi realizada por meio da vetorização, utilizando o Modelo Digital de Elevação (MDE) e as curvas de nível de 30 m que abrangem a totalidade da área de estudo. As imagens são provenientes do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), criadas com o auxílio da extensão Tridimensional (3D) do *ARCGIS* versão 10.0, seguindo o caminho: *Analyst Tools > Raster surface > Contour*. A delimitação dos divisores de águas foi feita com a utilização das imagens Rapideye (2011 e 2014), bem como das cartas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e da Diretoria de Serviço Geográfico – DSG (1978 e 1986).

### 3.2.3 Base de dados Utilizada

Para a composição da drenagem da bacia do rio Pindaré, utilizou-se o banco de dados vetorizados do Zoneamento Ecológico-Econômico Maranhense (ZEE-MA, 2019) na escala de 1:250.000, disponibilizado ao público no site oficial do órgão ([http://zee.ma.gov.br/bd\\_amazonico/](http://zee.ma.gov.br/bd_amazonico/)). Este banco de dados foi construído por meio de processos de interpretação do Modelo Digital de Elevação (MDE), resultados das análises das imagens de satélite *Rapideye* (2011) e das cartas do DSG e IBGE (1978 e 1989).

Entretanto, o banco de dados vetoriais descrito acima não cobriu a totalidade da bacia do rio Pindaré, mais precisamente, a sua porção sul (Figura 6), sendo necessária a vetorização adicional da drenagem disponível na carta topográfica do DSG (1986), folha SB-23-V-C, na escala de 1:250.000.

Figura 6 – Preenchimento da lacuna da drenagem no extremo sul da bacia do rio Pindaré, utilizando a rede de drenagem do IBGE (1989), destacado em vermelho.

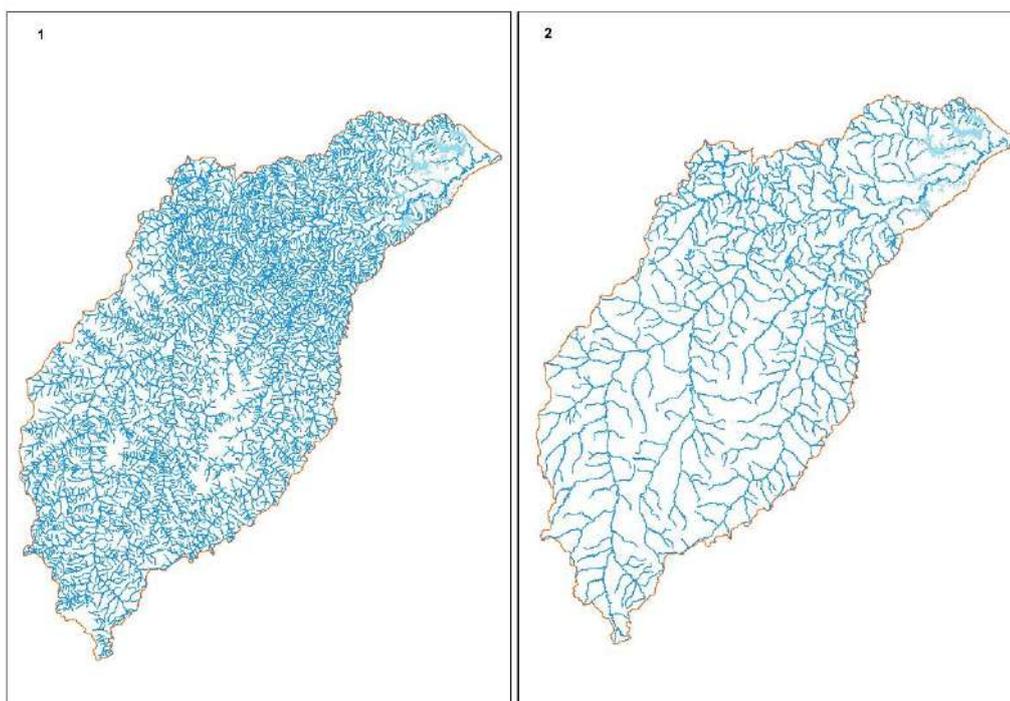


Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Depois de adicionar os canais que não estavam representados nos dados vetoriais da bacia, foi descoberto que a base produzida pelo ZEE-MA (2019), apresentava uma alta densidade de drenagem e uma qualidade de detalhamento excepcional.

Desta maneira, para evitar problemas na visualização da composição cartográfica dos mapas, foi necessário duplicar a representação da drenagem (Figura 7). A primeira preservou todas as características originais e foi empregada para determinar os parâmetros morfométricos. A segunda passou por um retrabalho, visando remover os exageros causados pelas drenagens dos canais menores. Isso permitiu a visualização adequada dos produtos cartográficos em folhas, com os formatos A4 e A3. Essa representação foi utilizada na composição dos mapas da presente dissertação e na hierarquização dos canais fluviais com a metodologia de Strahler (1952), na bacia hidrográfica do rio Pindaré.

Figura 7 – Diferentes tipos de drenagem utilizadas no trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A partir deste ponto, iniciou-se a busca das bases de dados disponíveis, como a geologia, geomorfologia e pedologia da bacia do rio Pindaré, para subsidiar os estudos geoambientais no qual resultaram o Quadro 2.

Quadro 2 – Bases de dados utilizados na pesquisa.

Mapa temático	Escala original	Escala de Trabalho	Escala Final para Publicação (A3)
Hidrografia (IMESC, 2019)	1:250.000	1:250.000	1:1.000.000
Geologia (CPRM, 2012) modificado por (IMESC, 2019)	1:750.000	1:250.000	1:1.000.000
Geomorfologia (IMESC, 2019)	1:250.000	-	1:1.000.000
Pedologia (IMESC, 2019)	1:250.000	-	1:1.000.000

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Com relação à escala de visualização dos mapas produzidos, aqueles em modo retrato (vertical) foram fixados em 1:1.000.000, enquanto para a apresentação em formato paisagem (horizontal) foram fixados em 1:1.400.000.

### 3.3 Atividade de Campo

Uma etapa crucial para qualquer estudo de prospecção geográfica são as visitas de campo, em que o pesquisador poderá constatar a realidade da área *in loco*, colher dados e utilizar equipamentos com o intuito de subsidiar e melhorar o produto da pesquisa, bem como colocar em prática todo o conhecimento adquirido durante a etapa de revisão bibliográfica e a formação enquanto pesquisador.

Durante a atividade de campo, foi utilizada uma miríade de equipamentos e instrumentos, como fichas de campo, o Sistema de Posicionamento Global (GPS) *GPSMAP 65* (Figura 8) para coleta de coordenadas, e um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) *DJI Mavic air 2* (Figura 9) para a obtenção de vídeos e fotografias aéreas. O registro fotográfico foi realizado com a utilização de um celular *Samsung A7 2018*.

Figura 8 – Garmin GPSMAP 65.



Fonte: Acervo da Pesquisa, 2024.

Figura 9 – Foto realizada por VANT do operador em campo.



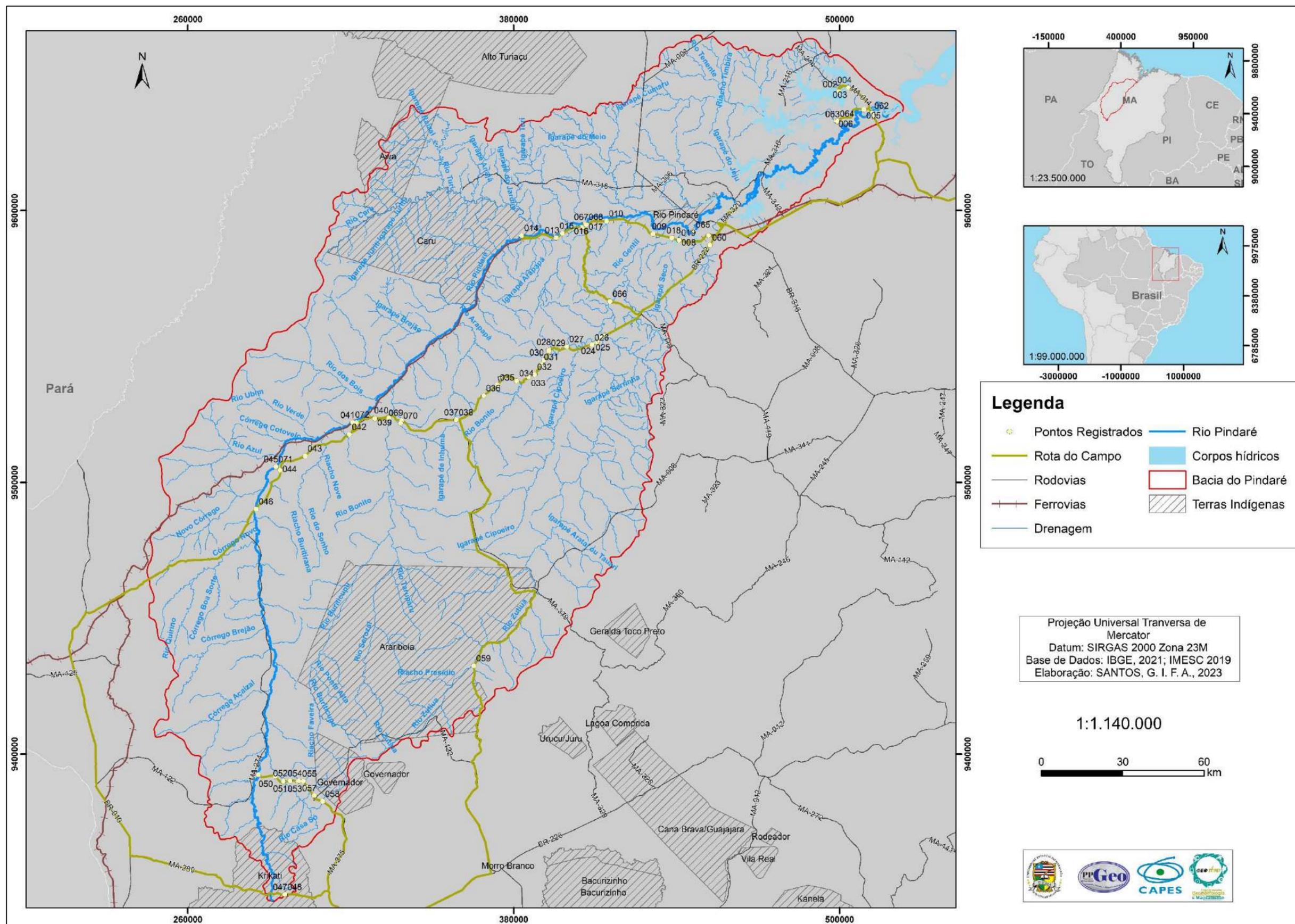
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A primeira atividade de campo foi realizada no período entre os dias 25 a 30 de setembro de 2021, envolvendo os municípios que compõem o baixo, médio e alto curso do rio Pindaré – a saber: Viana, Cajari, Pindaré-mirim, Buriticupu, Santa Luzia, Arame, Bom Jesus da Selava, Alto Alegre do Maranhão e Montes Altos. A atividade de campo foi realizada em 6 dias, totalizando mais de 1.601,39 km percorridos na bacia hidrográfica do rio Pindaré.

Já a segunda atividade de campo exploratória ocorreu no período de 24 a 29 de outubro de 2023, nos mesmos municípios mencionados anteriormente. Essa etapa teve o propósito de comparar o estado de conservação na área de estudo, bem como os atributos dos seus rios e solos. Nela, foram adicionados mais dois equipamentos para auxiliar a limpeza da área e proporcionar medição adequada e escala para as fotos com o Martelo Geológico e Trena. Dessa forma, algumas áreas foram revisitadas e descobertas, com o resultado dessas atividades de campo sendo compilados no mapa da Figura 10.

As fichas de campo (Apêndice A) são adaptadas de Paz (2013) e foram importantes no diagnóstico geoambiental da bacia do rio Pindaré, bem como no ponto de controle dos mapeamentos temáticos, principalmente geologia, hidrografia e geomorfologia.

Figura 10 – Mapa de pontos observados em campo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2022.

### 3.4 Parâmetros Morfométricos

Devido à grande dimensão geográfica da bacia do rio Pindaré, os padrões morfométricos inicialmente calculados foram Área (A), Perímetro (P), Rede de Drenagem (Rd), Números de Canais (NC), Comprimento Total de Canais (CTC), Altitude Máxima da Bacia (AMB), Amplitude Altimétrica Máxima (AAM), Amplitude Altimétrica Mínima, Comprimento do Canal Principal (CP), Comprimento Axial (La), Declividade (S) e Ordem da Bacia. Os principais conceitos dos padrões morfométricos constam no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros morfométricos calculados inicialmente.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Siglas</b>	<b>Descrição</b>
Área	Km	<b>A</b>	Se caracteriza por todo o conjunto drenado da área do sistema fluvial.
Perímetro	Km	<b>P</b>	Extensão do contorno da linha imaginária ao longo dos divisores de águas.
Rede de drenagem	Km	<b>Rd</b>	Constituída pelo rio principal e seus afluentes
Número de Canais	-	<b>NC</b>	Somatório de todos os canais da bacia
Comprimento Total dos Canais	Km	<b>CTC</b>	São obtidos através de cálculos realizados nas bases de dados do <i>ArcGIS</i> ® versão 10.2.2
Altitude Máxima da Bacia	M	<b>AM</b>	Paramento extraído a partir do modelo digital de elevação (MDE)
Amplitude Altimétrica da Bacia	M	<b>AA</b>	Diferença entre a maior e menor altitude da bacia.
Comprimento do Canal Principal	Km	<b>CP</b>	Comprimento do canal principal da bacia desde sua nascente até o exultório da bacia hidrográfica
Comprimento axial	-	<b>La</b>	Foi considerado o canal principal sem a sinuosidade
Declividade ( <i>slope</i> )	%	<b>S</b>	Elaborada a partir de MDE
Hierarquia dos Canais (Strahler, 1952)	-	<b>O</b>	Definida com base na classificação de Strahler (1952)

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Após a obtenção dos parâmetros acima indicados, foi possível prosseguir com os do Quadro 4, cuja produção nos exigiu levantar os seguintes: Densidade de Drenagem (Dd), Densidade Hidrográfica (Dh), Índice de Forma (Kf), Índice de circularidade (Ic), Índice de Sinuosidade (Is), Coeficiente de Manutenção (Cm), Extensão do Percurso Superficial (Eps), Textura Topográfica (Tt), Gradiente de Canais (Gc) e Relação de Relevo (Rr).

Quadro 4 – Parâmetros Morfométricos da bacia hidrográfica do Pindaré.

Parâmetros	Fórmulas	Explicação da Fórmula	Sigla	Descrição
Densidade de Drenagem	$Dd = Lt / A$	Lt = Comprimento total dos canais; A = Área da bacia.	<b>Dd</b>	Relaciona o comprimento total dos canais ou rios com a área da bacia hidrográfica (HORTON, 1945).
Densidade Hidrográfica	$Dh = N / A$	Dh = Densidade hidrográfica; N = Número de rios ou canais; A = Área da bacia em km <sup>2</sup> .	<b>Dh</b>	Ela é conhecida como frequência de canais. Esse fator é citado por Horton (1945) como o número total de canais pela área da bacia.
Índice de Forma	$Kf = \frac{A}{L^2}$	A = Área da bacia; L = Comprimento do eixo axial da bacia.	<b>Kf</b>	Razão entre a área da bacia e o quadrado do seu comprimento axial (BARBOSA JR, [s.d.]).
Índice de Circularidade	$IC = 12,57 \times A / P^2$	IC = Índice de Circularidade, adimensional; A = Área da bacia em km <sup>2</sup> ; P = Perímetro da bacia em km.	<b>IC</b>	Relação existente entre a área da bacia e a área do círculo de mesmo perímetro (MILLER, 1953).
Índice de Sinuosidade	$Is = L / Dv$	Is = Índice de sinuosidade, adimensional; Lc = Comprimento do canal principal em km; Lv = comprimento vetorial do canal principal em km.	<b>Is</b>	Relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os extremos do canal (ALVES; CASTRO, 2003).
Coefficiente de Manutenção	$1/Dd \times 1.000$	Dd = Densidade de drenagem.	<b>Cm</b>	Calcula a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento permanente (SCHUMM, 1956).
Extensão do Percurso Superficial	$Eps = 1 / 2Dd$	EPS = Extensão do Percurso Superficial; Dd = Densidade de drenagem.	<b>Eps</b>	Distância média que um fluxo hídrico percorre até chegar ao leito do rio (CHRISTOFOLETTI 1980).
Gradiente de canais	$Gc = Amax / L$	Gc = Gradiente de canais em m/km; Amax = altitude máxima da bacia em m; Lc = comprimento do canal principal em km.	<b>Gc</b>	Relação entre a altitude máxima e o comprimento do canal principal (HORTON, 1945).
Relação de Relevô	$Rr = Hm / Lc$	Rr = Relação de relevo em m/km; Hm = amplitude altimétrica em m; Lc = comprimento do canal principal em km.	<b>Rr</b>	Relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento do canal principal (SCHUMM, 1956).

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Após a descrição da metodologia aplicada por esta pesquisa e da fundamentação teórica que a embasa, o presente capítulo existe para apontar os principais dados, resultados e discussões da pesquisa proposta, sob o intuito de caracterizar os parâmetros morfométricos da bacia do rio Pindaré. A partir do levantamento e do cruzamento de todos os dados mencionados, é possível compreender as transformações da paisagem da área de estudo, e com isso, dar suporte para ações futuras, relacionadas ao planejamento ambiental, consequentemente identificando possíveis impactos do ambiente e pesquisando formas de minimizá-los, a fim de garantir um meio ambiente sustentável para as gerações futuras.

Os parâmetros morfométricos levantados ao longo desta pesquisa serão disponibilizados aos órgãos competentes, a saber: responsáveis pelo comitê de bacia do Pindaré, líderes indígenas e da população, entre outros órgãos.

Ressalta-se que, atualmente, o geoprocessamento possibilita novos meios de identificar e organizar dados morfométricos e ambientais, o que nos permite realizar uma espacialização detalhada dessas informações e uma melhor visualização dos resultados. De agora em diante, disserta-se sobre as características Geoambientais na análise de uma bacia hidrográfica, elucidando questões relacionadas aos processos morfológicos naturais e de ocupação humana.

### **4.1 Características Geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré**

#### *4.1.1 Histórico da Ocupação da Bacia*

A dinâmica ocupacional de uma bacia hidrográfica interfere em uma série de processos hidrológicos do ambiente, o que altera o equilíbrio do meio e torna o estudo de sua ocupação um fator de extrema importância. Nesse contexto, é interessante apontar o quanto o relevo pode ser um facilitador ou complicador da ocupação humana, podendo ser observado no processo histórico de uma bacia. Neste cenário, o relevo do Maranhão, bem como da bacia hidrográfica do rio Pindaré, se caracteriza por uma amplitude variável, favorecendo, a princípio, a ocupação humana nas partes baixas, migrando gradativamente para as altas e, assim, transformando a paisagem.

O processo de ocupação do Maranhão se deu a partir de três correntes: a corrente do litoral, dos criadores de gado e dos migrantes da seca (FEITOSA; TROVÃO, 2006). Dentre essas correntes, na bacia hidrográfica do rio Pindaré ocorreu a predominância da corrente do litoral e da seca. Mas antes, “as terras planas e levemente onduladas do oeste do

Maranhão abrigaram por quase mil anos um povo nativo da América do Sul que vivia ao redor das águas (PESQUISA FAPESP, 2019)”.

Para observar a corrente do litoral, precisamos saber que a área costeira do Brasil, desde o início da colonização do país, foi palco de disputa entre povos europeus, piratas e comerciantes. No Maranhão, a região permitiu o transporte de produtos tropicais para a Europa, o que trouxe a primeira onda ocupacional. De forma similar à dos primeiros ocupantes, a onda dos criadores de gado visava desenvolver a pesca, pecuária, agricultura e o extrativismo na região. Já a terceira frente de ocupação parte dos migrantes da seca, que encontraram no Maranhão terras úmidas e chuvas regulares para se instalarem (FEITOSA; TROVÃO, 2006). Baseando-nos nessas frentes de ocupação, podemos observar como:

a entrada em direção aos vales úmidos dos rios Mearim e Pindaré não se interiorizou tanto quanto a que se desenvolveu no vale do Itapecuru. O grande adensamento da floresta, assim como o excesso de umidade, não possibilitou a utilização do solo para o tipo de agricultura recomendando na época; pelo vale do Mearim conseguiram avançar só até Pedreiras, surgindo antes Bacabal e Ipixuna (atual São Luiz Gonzaga) e Baixo Mearim (Vitória do Mearim), enquanto pelo vale do Pindaré avançou até o lugar onde foi instalado o Engenho Central de São Pedro, onde se desenvolveu a cidade de Pindaré-Mirim, tendo antes possibilitado o surgimento do núcleo que deu origem a Monção, um dos mais antigos e menos desenvolvidos municípios do Maranhão (FEITOSA; TROVÃO, 2006, p. 41).

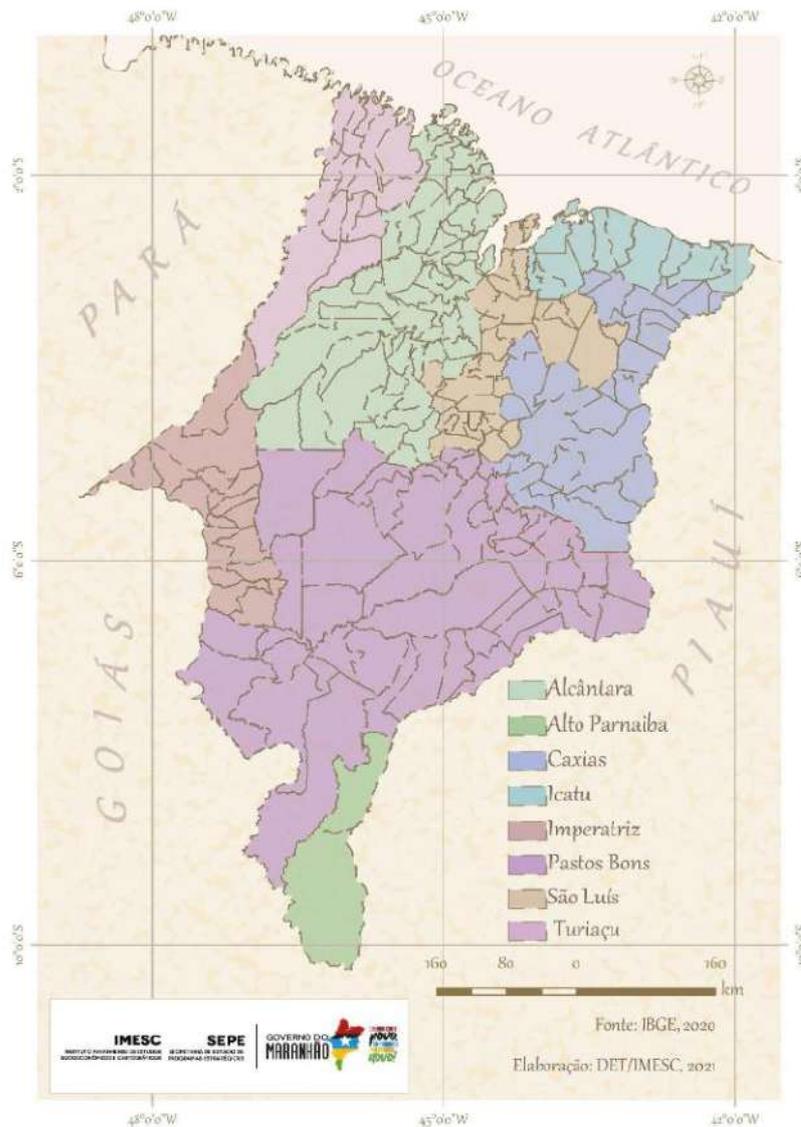
Na região que compreende os vales dos rios Itapecuru, Mearim, Pindaré e Munim, há inúmeros quilombos, assentamentos e terras indígenas, assim como visto no levantamento bibliográfico e nos trabalhos de campo. Durante as correntes de ocupação do estado, na bacia do rio Pindaré ocorreu a predominância dos migrantes da seca e do litoral. E, em razão dessas correntes, houve a consolidação da ocupação do estado e a criação de diversas cidades.

A despeito da situação Político-Administrativa do Estado do Maranhão, ao observarmos a história da formação dos municípios brasileiros, é visível a quantidade de municípios cuja origem se deu a partir de extensas áreas que, posteriormente, foram desmembradas em áreas menores. Segundo o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos – IMESC (2021), na região da bacia hidrográfica do Pindaré a situação não foi diferente, tendo surgido a partir dos seguintes municípios “*Mater*” ou “*Mãe*” (espaços originários, responsáveis pela criação da atual composição do estado), sendo: Alcântara, Imperatriz e Pastos Bons (Figura 11).

Ainda segundo o IMESC (2021), a fundação de Alcântara não pode ser precisamente datada, mas sabe-se que em 1612 já existia um conjunto de aldeias na região, denominado Tapuitapera. Logo com a chegada da expedição de *Daniel de La Touche*, senhor

de *La Ravadière*, as infiltrações de franceses tornaram-se constantes nas tribos indígenas, levando assim ao estabelecimento de relações amistosas entre esses povos. Entretanto, com a expulsão dos franceses o domínio português foi firmado e a importância da aldeia se elevou. Entre 1616 e 1618 começa a colonização portuguesa em Tapuitapera, com um pequeno presídio que foi destruído pelos índios mais tarde. Com a passagem do tempo e o aumento do domínio português, ocorre a subdivisão das capitanias do Maranhão e do Grão-Pará, o que faz com que Tapuitapera se torne a cabeça da capitania de Cumã, após ser doada por Francisco Coelho de Carvalho (primeiro Governador do Maranhão) a seu irmão, Antônio Coelho de Carvalho, em 19 de março de 1624.

Figura 11 – Municípios “Mater” – Maranhão.



Fonte: IBGE (2020); IMESC (2021).

No entanto, o donatário não promoveu o que se poderia considerar como um rápido desenvolvimento, pois, durante a invasão holandesa em 1641, a aldeia foi abandonada após um breve período de ocupação (IBGE, 1959). Seu progresso, de fato, só foi observado em 1648, quando foi elevada à categoria de vila e ganhou o nome de Alcântara, em homenagem ao apóstolo São Matias. Na época, já existia uma igreja de pedra e cal dedicada a São Bartolomeu, da mesma forma que os primeiros engenhos de açúcar já estavam erguidos.

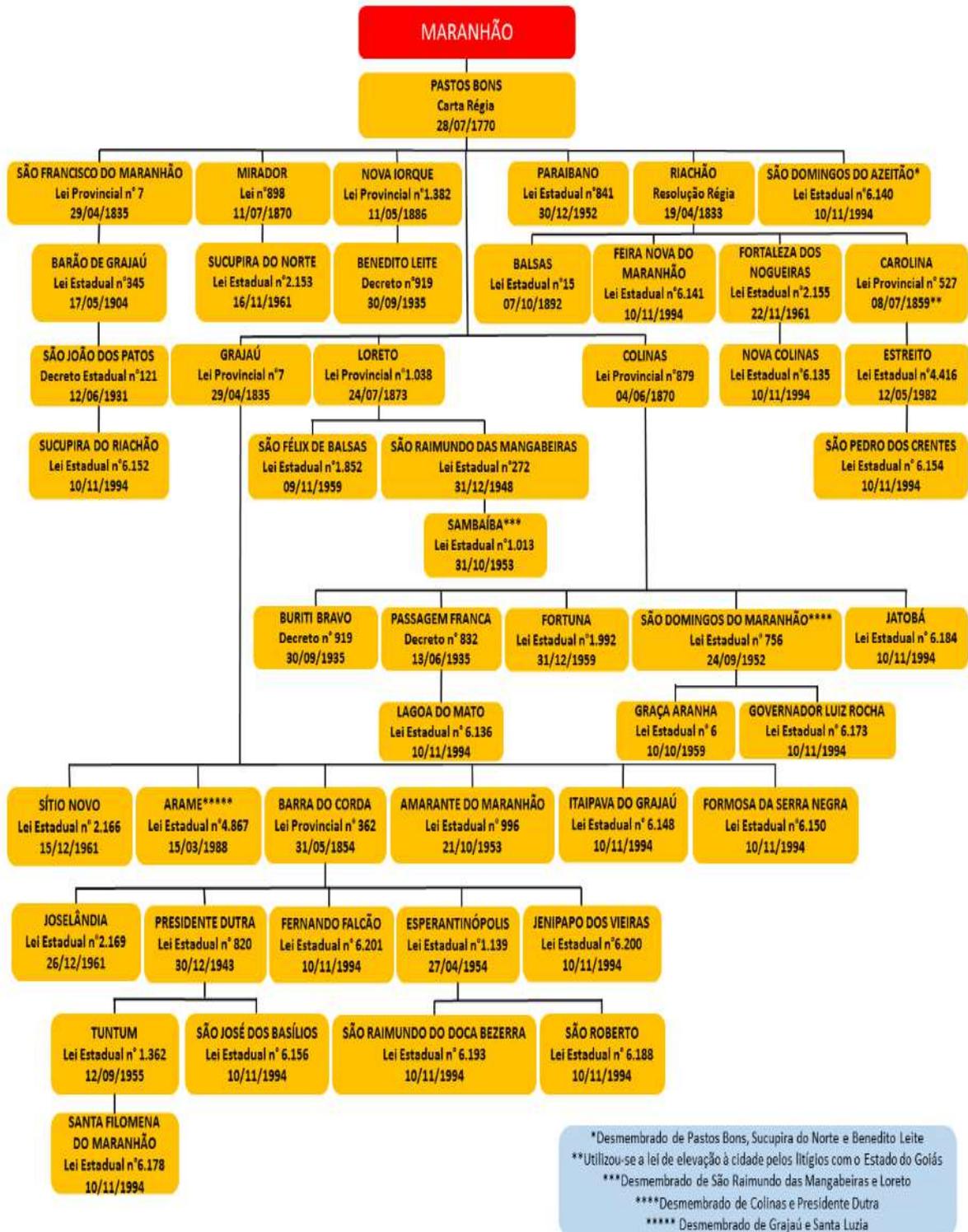
Alcântara progrediu gradualmente em todos os setores e se tornou o maior centro produtor da Província. Em 1836 foi elevada à categoria de cidade, momento em que atingiu o auge de sua grandeza. No entanto, no mesmo período de crescimento populacional, Alcântara perdeu o primado na produção maranhense, situação que refletia o declínio das atividades econômicas em sua vida social (IMESC, 2021).

O estudo do IMESC (2021) nos apresenta fatos interessantes sobre os municípios que compõem a bacia do rio Pindaré, tendo Alcântara sido um dos mais expressivos ao longo da história da sua ocupação. Alcântara englobava, em sua área de abrangência, todo o baixo, médio e uma pequena porção do alto curso da bacia. Após seu desmembramento, foram criados 54 outros municípios (Figura 12) com base na atual configuração do estado. No passado, a região de Pastos Bons foi ocupada por criadores de gado, oriundos principalmente da Bahia e de Pernambuco, e após atravessarem o rio Parnaíba eles fundaram uma vila, batizando-a como Pastos Bons.

A Freguesia de São Bento das Balsas de Pastos Bons foi criada entre 1743 e 1747. Em 28 de julho de 1770, a Carta Régia elevou Pastos Bons à categoria de Vila. Entre as décadas de 1770 e 1800, o município experimentou um relativo crescimento e estabilidade, uma vez que a cidade abrigava o principal destacamento militar do sul da Capitania do Maranhão. Mas isso não impediu a vila de ser anexada ao novo município de Caxias, criado em 1811, o que foi considerado um sinal de decadência. Em 1820, a vila de Pastos Bons recuperou sua autonomia político-administrativa, por meio do Alvará do Rei João VI, datado de 29 de janeiro (IBGE, 1959). Da vila de Pastos Bons foram desmembrados diretamente 48 municípios (Figura 13).



Figura 13 – Municípios desmembrados de Pastos Bons.

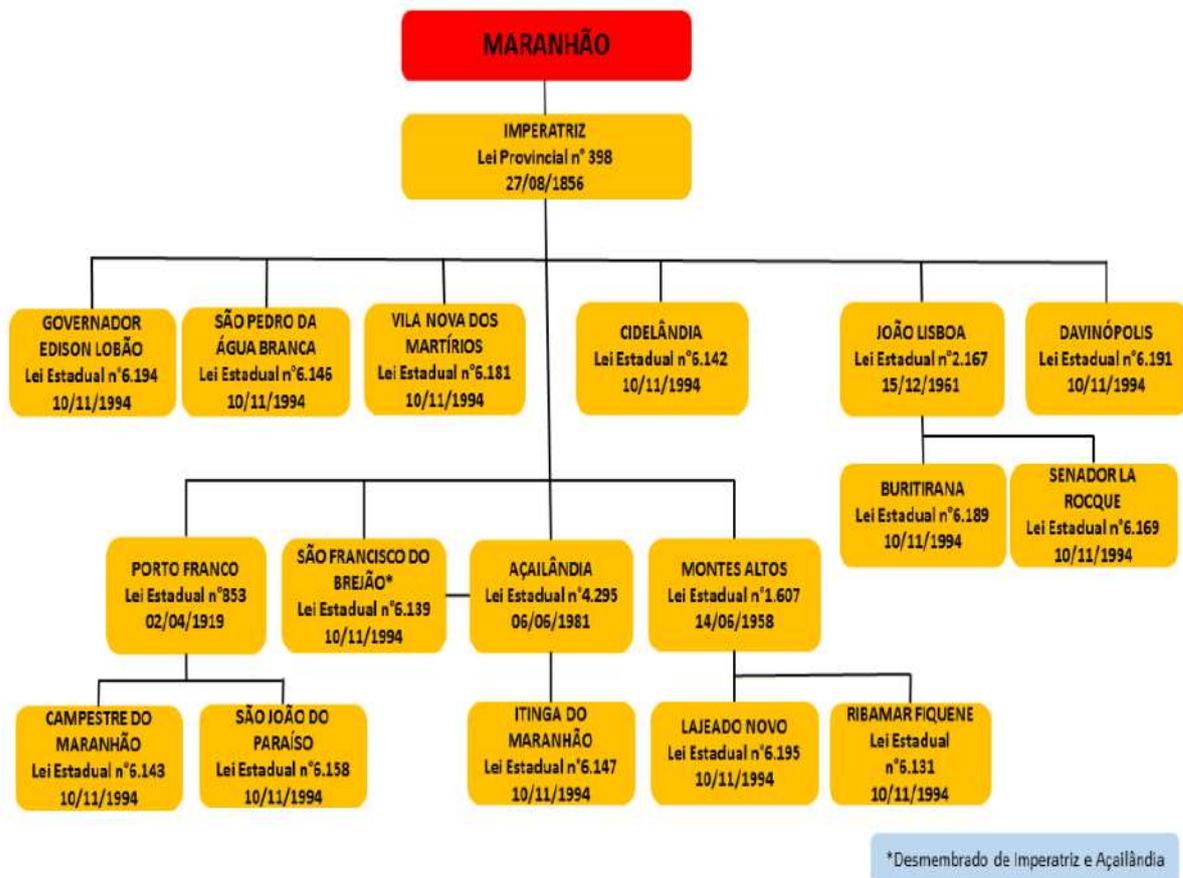


Fonte: IMESC (2021).

No dia 16 de julho de 1852 ocorreu a fundação de Imperatriz por Frei Manoel Procópio do Coração de Maria, o capelão da expedição que explorou a região do que viria a

ser o município. A povoação que ali se organizou foi chamada de Colônia Militar de Santa Tereza do Tocantins e, posteriormente (27 de agosto de 1856, por meio da Lei nº 398) a Vila de Imperatriz foi criada. Sua promoção à categoria de cidade ocorreu em 22 de abril de 1924 (IBGE, 1959) e, até o ano de 1958, a sede do município de Imperatriz viveu um período de lento crescimento econômico e populacional, ocasionado pela distância tanto geográfica quanto política da capital, São Luís. No entanto, a partir de 1960, Imperatriz experimentou um surto acelerado de desenvolvimento, em um processo que permitiu, já na década de 1970, que Imperatriz fosse considerada a cidade mais progressista do país, recebendo contingentes migratórios de diferentes origens. No tocante a reorganização de sua área original, ela teve 17 municípios criados (Figura 14) (IMESC, 2021).

Figura 14 – Municípios desmembrados de Imperatriz.



Fonte: IMESC (2021).

Hoje a bacia hidrográfica do rio Pindaré é formada por 35 municípios: Açailândia, Altamira do Maranhão, Alto Alegre do Pindaré, Amarante do Maranhão, Arame, Arari, Bela

Vista do Maranhão, Bom Jardim, Bom Jesus das Selvas, Brejo de Areia, Buriticupu, Buritirana, Cajari, Centro Novo do Maranhão, Governador Edison Lobão, Governador Newton Bello, Grajaú, Igarapé do Meio, Itinga do Maranhão, João Lisboa, Marajá do Sena, Matinha, Monção, Montes Altos, Paulo Ramos, Pedro do Rosário, Penalva, Pindaré-Mirim, Santa Inês, Santa Luzia, São Francisco do Brejão, São João do Carú, Senador La Rocque, Tufilândia, Viana, Vitória do Mearim e Zé Doca. A ocupação dessa bacia hidrográfica se dá também pela criação e ampliação das estradas e das ferrovias.

Ademais, a bacia também é marcada presença de seis Terras Indígenas em seu território. As aldeias são estratégicas para a preservação da cultura e dos modos de vida das comunidades indígenas que habitam a região, além de desempenhar um papel fundamental na conservação de recursos naturais e sustentabilidade.

#### 4.1.2 Geologia

A sequência geológica pertencente à Bacia Hidrográfica do Pindaré (Figura 15) está inserida na Bacia Sedimentar do Parnaíba (Quadro 5). Deste modo, ela contém as sequências litoestratigráficas da Era Cretácea, caracterizada pelo Grupo Itapecuru e pelas formações Codó e Ipixuna. A sequência ainda contém o Paleógeno composto pela unidade litoestratigráfica das Coberturas Laterítica Matura, o Quaternário pela Formação Açuí, Depósitos Aluvionares e Depósitos Flúvio-Lagunares.

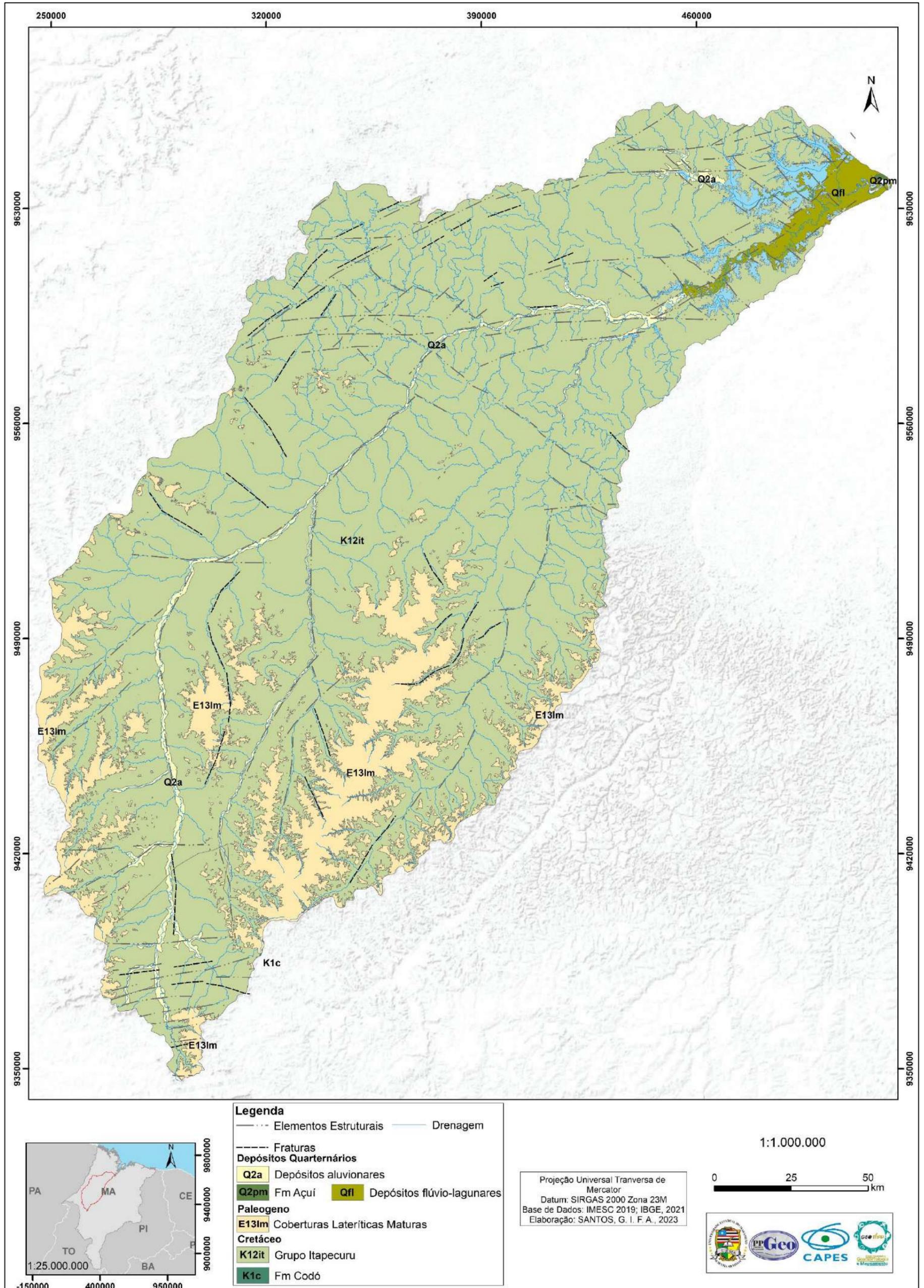
##### 4.1.2.1 Formação Codó

A formação Codó recobre as unidades geológicas mais antigas em discordância, assinalando assim o início de uma transgressão marinha na bacia. Enquanto isso, o contato superior com o Grupo Itapecuru é claramente concordante, apresentando, no entanto, algumas discordâncias localizadas (KLEIN *et al.*, 2012).

À vista disso, a formação foi subdividida em três associações de faces distintas, que indicam um ambiente de deposição predominantemente lacustre (LEITE, ABORRAGE E DAEMON, 1975; LIMA E LEITE, 1978; PAZ E ROSSETTI, 2001). A seção inferior é constituída por arenitos calcíferos, com colorações que podem variar entre cinza-claros a esbranquiçados. Sendo muito finos a médios e ocasionalmente piritosos, eles apresentam intercalações de folhelhos e siltitos argilosos. Sua seção média é dotada de gipsita e calcários, às vezes do tipo coquina de ostracoda, além de folhelhos cinza e escuros. A seção superior é

composta por arenitos finos a conglomeráticos, calcíferos, micáceos e piritosos e, culminando a sequência, folhelhos com ostracodes e turrítela.

Figura 15 – Unidades litoestratigráficas presentes na bacia hidrográfica do rio Pindaré.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Quadro 5 – Coluna litoestratigráfica da Bacia do Parnaíba.

ÉON	ERA	PERÍODO	10 <sup>6</sup> anos	Coberturas Superficiais Cenozoicas	DESCRIÇÃO
FANEROZOICO	CENOZOICO	QUATERNÁRIO	0,01	Formação Açuí	Sedimentos lamosos (argila e silte) de coloração cinza, plásticos, não adensados, maciços e bioturbados.
				Depósitos Aluvionares	Sedimentos clásticos inconsolidados, relacionados as planícies aluvionares.
		NEÓGENO	2,59	Depósitos Flúvio-Lagunares	São constituídos por argilas adensadas com areia fina disseminada, maciça, localmente bioturbada, de coloração cinza e plástica.
		MIOCENO	23		
	MESOZOICO	PALEÓGENO	65,5	Coberturas Laterítica Madura	Rochas que apresentam um perfil laterítico completo, da base para o topo, existe a ocorrência de horizontes pálido ou transicional, argiloso, bauxítico e/ou fosfático e crosta ferruginosa.
		CRETÁCEO	145	Formação Ipixuna	É composta por arenitos brancos, finos, e caulíticos, com estratificação cruzada e a ritmos de argilitos.
				<b>Grupo Itapecuru</b> (indiviso)	Formada por arenitos, argilitos, siltitos e conglomerados, oriundos de deposição em diversos ambientes.
Formação Codó				Arenitos, lentes de calcarenitos e calcilitos, com pelitos intercalados. Ambiente lacustre com influência marinha.	

Fonte: Adaptado de Klein *et al.* (2012).

#### 4.1.2.2 Grupo Itapecuru

A sequência Cretácea-Paleógena é constituída pelo Grupo Itapecuru, este que teve sua categoria elevada de formação para Grupo. Com base na descrição dos depósitos da Bacia Alcântara (MA) e da Bacia de São Luís, realizados em Rossetti (1996, 1997), além de Rossetti e Truckenbrodt (1997), a sequência mencionada é constituída por uma unidade indiferenciada, a Albiano-superfície.

De maneira geral, o Grupo Itapecuru é a unidade com maior presença e distribuição espacial no estado do Maranhão e na área de estudo. Segundo Lima; Leite (1978), Gonçalves; Carvalho (1996); Anaisse Junior (1999), o grupo tem sua composição formada por arenitos, argilitos, siltitos e conglomerados, oriundos de deposição em ambientes como os fluviais, deltaicos e lagunar, possuindo variações de acordo com cada localidade de ocorrência. Na proximidade da bacia do Pindaré, este grupo nos apresenta uma variação observada nas cidades de Grajaú e Arame por Rodrigues *et al.* (1994) e por Rossetti *et al.* (2001). É composta por arenitos arcoseanos de barra de desembocadura, argilitos, pelito e camadas delgadas de arenitos finos de prodelta/barra distal e arenitos de canal distributário que entregam um depósito de delta de baía.

#### 4.1.2.3 Formação Ipixuna

A Formação Ipixuna, de idade Cretácea Superior-Paleógena Inferior, é sotoposta ao Grupo Itapecuru e possui pontos de afloramento na área de estudo. Inicialmente, a unidade foi nomeada por Francisco *et al.* (1971) para descrever camadas compostas por argilas e arenitos caulíticos com estratificação cruzada, havendo ocorrências no estado do Maranhão, à 31 km ao norte de Imperatriz.

Essa formação recebeu importantes contribuições de Góes (1981), que a dividiu em duas subsequências identificadas como A e B. A litologia A é composta por arenitos brancos, finos, caulíticos, com estratificação cruzada tangencial restritivamente constituída por siltitos e argilitos vermelhos. Já a sequência B é composta por ritmos de argilitos e arenitos brancos, finos caulínicos com estratificação cruzada e bancos de caulim.

#### 4.1.2.4 Cobertura Laterítica Matura

Em relação a Coberturas Cenozoicas, os trabalhos de Klein *et al.* (2012) apontam uma expressiva representatividade geográfica na área de estudo caracterizada pela presença da Cobertura Laterítica Matura. Embora não seja considerada uma formação geológica, a sua

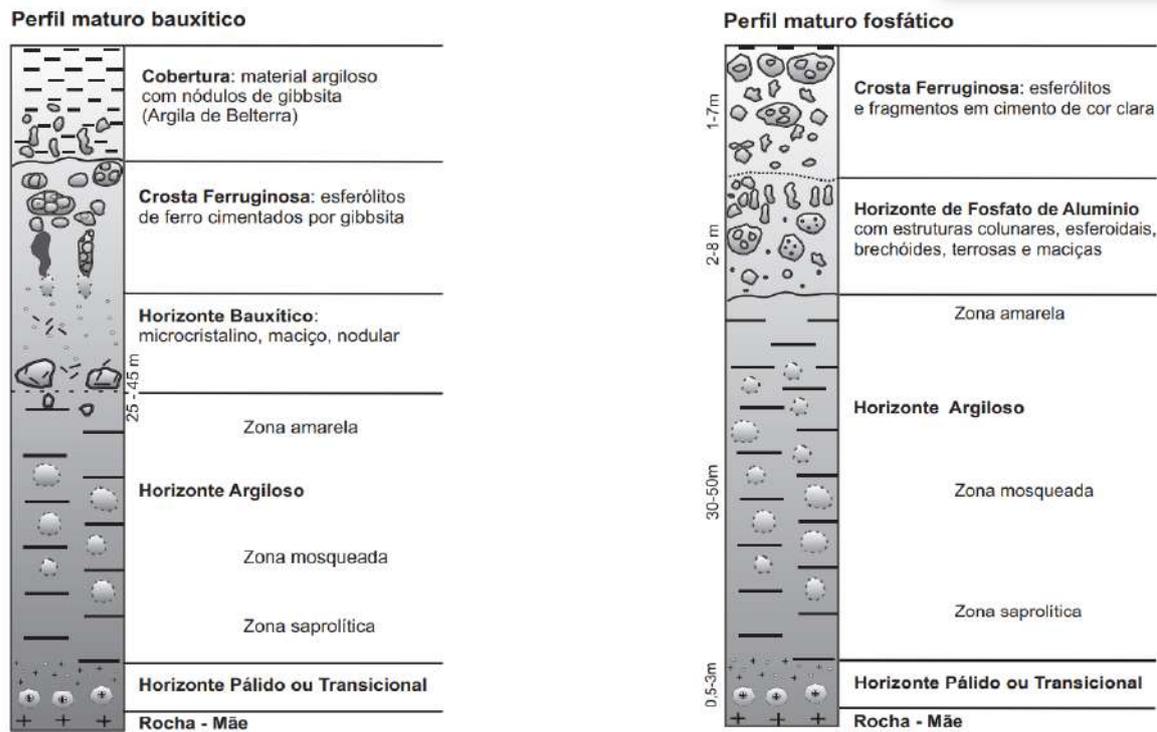
ocorrência em área de tabuleiros e morros encaixados evidenciam a resistência aos agentes externos intempéricos, o que se dá essencialmente por sua constituição.

Segundo Costa (1991), os lateritos maduros são aqueles que apresentam um perfil laterítico completo, constituído da base para o topo pelos horizontes pálido ou transicional, argiloso, bauxítico e/ou fosfático e crosta ferruginosa (Figura 16). Essa unidade litoestratigráfica é recoberta por uma camada de argila Beltera de natureza alóctone ou autóctone (COSTA, 1991). Sua origem está relacionada a Superfície de Aplainamento Sul-Americana (KING, 1956).

A composição do horizonte bauxítico e fosfático é constituída mineralogicamente por hidróxido (bauxita) e fosfatos de alumínio. A composição ainda conta com a ocorrência de estruturas singenéticas do tipo esferolítica (oólitos e pisólitos), maciça, terrosa, cavernosa, colunar e vermicular. O superior e a crosta ferruginosa são encontrados agregados de nódulos ou de fragmentos, concreções e esferólitos. Por conseguinte, são cimentados por hidróxidos e/ou fosfatos de alumínio pisólitos, compostos por fragmentos de hidróxido de ferro interligados por um fino córtex microcristalino alumínio (KLEIN *et al.*, 2012).

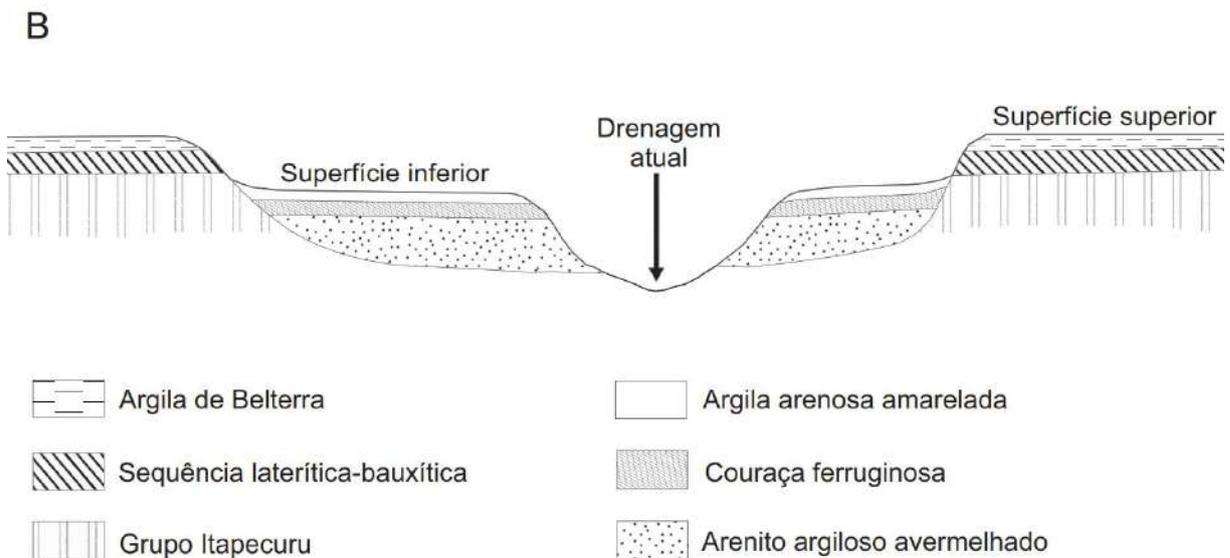
Kotschoubey *et al.* (2005) descrevem dois tipos de perfis lateríticos dominantes, separados por uma inconformidade maior. A sequência do Paleógeno é a mais antiga e engloba as topografias mais elevadas. Ela é essencialmente dissecada por amplos vales e pela sequência do Neógeno, que se apresenta a uma superfície de 70 m de profundidade, recobrando a mais antiga (Figura 17).

Figura 16 – Perfis geológicos simplificados de lateritas maduras autóctones na Amazônia.



Fonte: Klein *et al.* (2012).

Figura 17 – Representação das superfícies superior e inferior associadas à laterita maduras do Paleógeno e do Neógeno.



Fonte: Klein *et al.* (2012).

#### 4.1.2.5 Depósitos Aluvionares

Datados do Holoceno, são constituídos por sedimentos clásticos inconsolidados, relacionados às planícies aluvionares tais como rios de grande porte e igarapés de pequeno porte, bem como depósitos de canais e as extensas planícies de inundação. Sua composição granulométrica é composta por sedimentos clásticos arenosos e argilosos inconsolidados, com raros níveis de cascalho e matéria orgânica (KLEIN *et al.*, 2012).

#### 4.1.2.6 Depósitos Flúvio-lagunares

Apresentam-se no extremo norte do Estado do Maranhão, na região do Golfão Maranhense (BARBOSA; PINTO, 1973). Ela é marcada por indicar áreas rebaixadas e alagadas dos estuários afogados dos rios Pindaré, Mearim, Itapecuru e Munim. Essa zona rebaixada e logo acima da cota de preamar é caracterizada pela presença de numerosas lagoas fluviais, áreas colmatadas, extensas várzeas inundadas e/ou sujeitas a inundações sazonais.

Segundo Rodrigues *et al.* (1994a) os depósitos são constituídos por argilas adensadas com areia fina disseminada, maciça, localmente bioturbada, de coloração cinza e plástica. Por isso, são associados ao assoreamento do sistema de golfo, por decantação de carga suspensa, a partir de um evento transgressivo que ocorreu no final do Pleistoceno, que provocou o afogamento dos baixos cursos dos rios da região.

#### 4.1.2.7 Formação Açuí

No tocante às formações do Quaternário na bacia do Rio Pindaré, optou-se por adotar o termo Formação Açuí em substituição aos Depósitos de Pântanos e mangues na pesquisa, dada a controvérsia do termo supra. A Formação Açuí é caracterizada por um ambiente transicional de estuarinos controlados por macromarés, recoberta por uma extensa vegetação composta por mangues, além de extensa biota, resistente a variações da salinidade.

De acordo com Rodrigues *et al.* (1994a), a Formação Açuí é composta predominantemente por sedimentos lamosos (argila e silte) de coloração cinza, plásticos, não adensados, maciços e bioturbados.

### 4.1.3 Geomorfologia

O relevo da bacia hidrográfica do rio Pindaré apresenta diversas características morfológicas e altimétricas, com suas maiores altitudes localizadas na porção sul, chegando à 500 metros na Serra do Gurupi, município de Montes Altos (Figura 18).

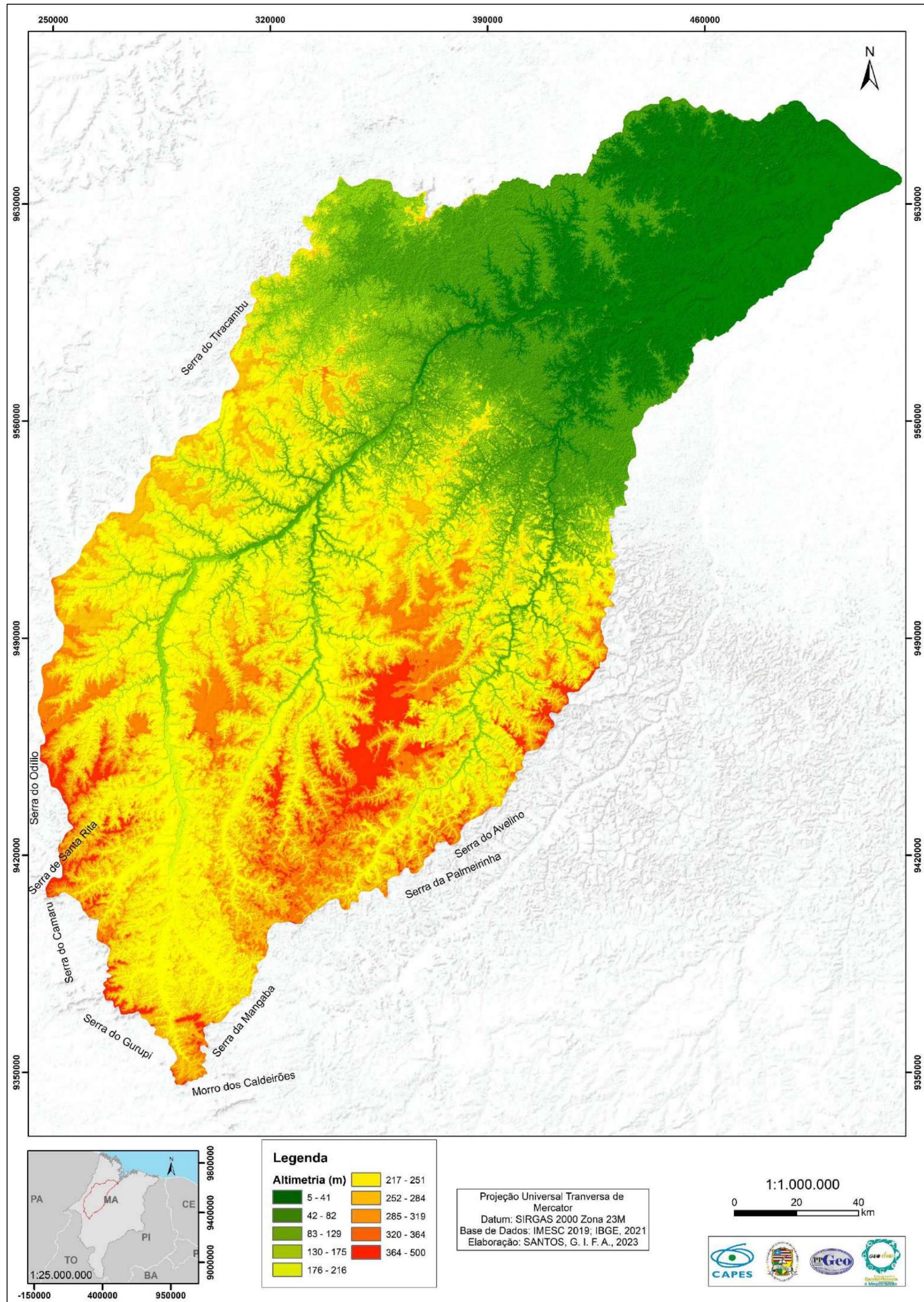
Os principais divisores topográficos que delimitam o rio Pindaré são: Serra do Gurupi, ao sul, que se limita com a bacia hidrográfica do Tocantins; Serras da Mangaba, Palmeirinha e Avelino, ao leste, limitando-se com a bacia hidrográfica do Mearim; serras do Gurupi, Camaru, Santa Rita e Odílio, ao oeste, limite com a bacia hidrográfica do Gurupi; e, por fim, a serra do Tiracambu, ao norte, que faz o seu limite com a bacia hidrográfica do Turiaçu. Observando o baixo curso da bacia do rio Pindaré, seu relevo é resultado da interação de processos geológicos e geomorfológicos ao longo do tempo, que vieram a moldar a paisagem atual da região:

“A convergência dos baixos cursos dos rios Mearim, Pindaré e Grajaú, associada a movimentos transgressivos e regressivos do mar, modelou o ambiente sedimentar deposicional da Baixada Maranhense, que é preenchido pelo excedente de água dos rios durante o período chuvoso, dando origem a extensas superfícies lacustres que condicionam a vida das comunidades residentes da região” (FEITOSA; TROVÃO, 2006, p. 70).

Ainda na interação destes processos, nota-se que nas maiores altimetrias registradas na bacia, principalmente na porção centro-sul na terra indígena de Araribóia, há uma resistência litológica ao intemperismo e aos processos modeladores do relevo, podendo ser atribuída a variável geológica/litológica com a presença das coberturas lateríticas maduras, associadas a uma extensa área de vegetação nativa preservada.

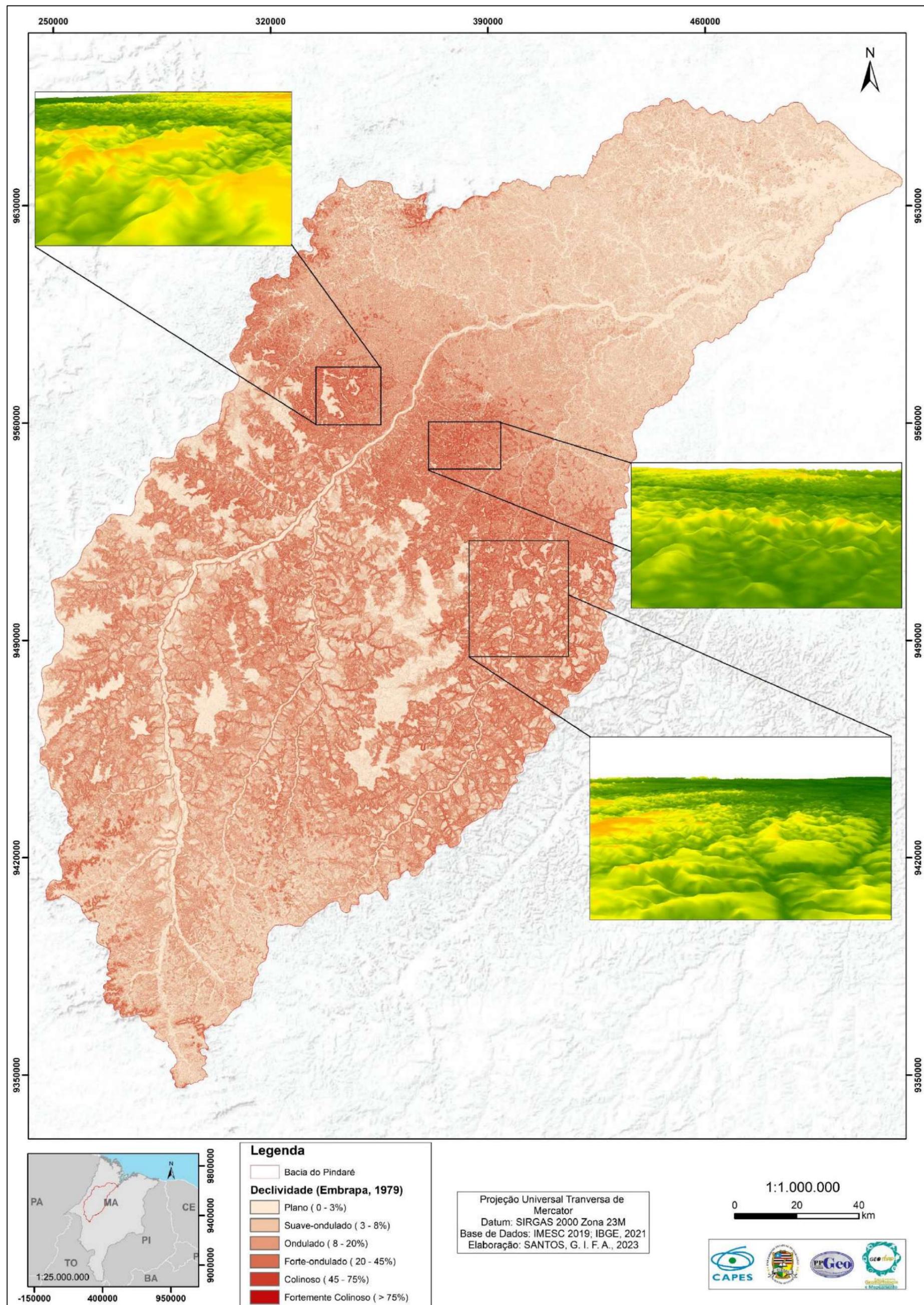
A declividade na área da bacia é caracterizada pelas classes: Plano (0 a 3%), Suave Ondulado (3 a 8%), Ondulado (8 a 20%), Forte Ondulado (20 a 45%), Colinoso (45 a 75%) e Fortemente Colinoso (> 75%). Conforme a metodologia de classificação criada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1979), adaptada à realidade do estado do Maranhão, temos a presença de todas as classes, com destaque ao Fortemente Colinoso, que se faz presente de forma especial no médio curso da bacia. Porém, a nível computacional, a mancha desta classe se espalha por uma vasta área no sentido noroeste-sudeste (NW-SE). As estruturas podem, ainda, estar relacionadas a falhas geológicas, decorrentes de uma ruptura abrupta das camadas das rochas, o que ocasiona nas “rugosidades do relevo” (Figura 19).

Figura 18 – Mapa Hipsométrico da bacia do rio Pindaré.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 19 – Declividade da bacia do Pindaré.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No tocante aos compartimentos do relevo, o IMESC (2019) adaptou estudos anteriores de Venturieri *et al.* (2017); Embrapa (1982 e 1986) e Brasil (1973), caracterizando a bacia hidrográfica do Pindaré como uma combinação de Baixos Platôs, Mesas, Mesetas, Morros, Serras (alterado para “Morros Isolados do alto curso”), Planaltos Tabulares, Planície Flúvio-lacustre, Planície flúvio-marinha, Planície da baixada maranhense, Planícies fluviais, Platôs dissecados, Superfícies com colinas amplas e suaves, Superfícies com colinas dissecadas e Morros baixos, Superfícies com colinas dissecadas, morros e morrotes e, finalmente, Superfícies com colinas dissecadas, onduladas a fortemente onduladas.

Baseando-nos nestes dados, foi possível identificar e calcular a extensão territorial das formas de relevo presentes na bacia do rio Pindaré (Figura 20), os quais estão detalhados abaixo:

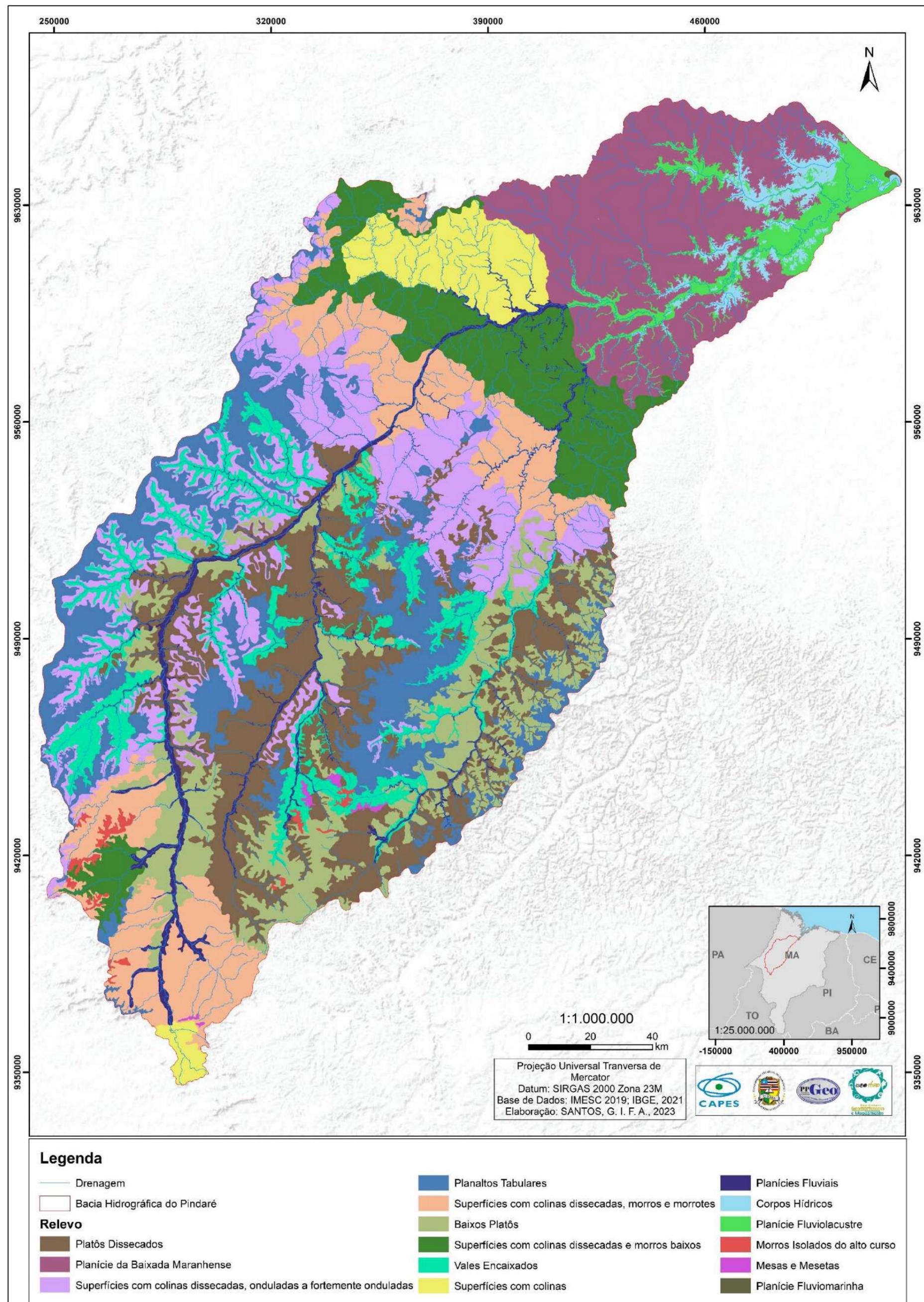
Quadro 6 – Formas de relevo localizados na área de estudo e suas áreas.

<b>TIPOS DE RELEVO</b>	<b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>ÁREA (%)</b>
Platôs Dissecados	5.859,22	14,55%
Planície da Baixada Maranhense	5.105,33	12,67%
Superfícies com colinas dissecadas, onduladas a fortemente onduladas	4.985,71	12,38%
Planaltos Tabulares	4.607,69	11,44%
Superfícies com colinas dissecadas, morros e morrotes	4.291,02	10,65%
Baixos Platôs	4.143,85	10,29%
Superfícies com colinas dissecadas e morros baixos	3.324,08	8,25%
Vales Encaixados	2.948,86	7,32%
Superfícies com colinas	1.666,46	4,14%
Planícies Fluviais	1.321,30	3,28%
Planície Fluviomarina	1.184,47	2,94%
Corpos Hídricos*	612,04	1,52%
Planície Fluvio-lacustre	167,65	0,42%
Morros Isolados do alto curso	54,71	0,14%
Mesas e Mesetas	7,61	0,02%
<b>Total</b>	<b>40.280,00</b>	

\*Obs.: Os corpos hídricos foram incluídos apenas para fins estatísticos, pois estão presentes no mapa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 20 – Compartimentos Geomorfológicos da bacia hidrográfica do Pindaré.

Fonte: Adaptado de IMESC (2019) por Medeiros *et al.*, (2023).

#### 4.1.3.1 Platôs Dissecados

De acordo com Bessa *et al.* (2012), os platôs dissecados são caracterizados por uma superfície elevada e relativamente plana, erodida e fragmentada em diversas partes que se separam por vales profundos e estreitos (Figura 21). No caso da bacia do rio Pindaré, os Platôs Dissecados foram originados a partir dos processos fluviais dos rios Buriticupu e Zutiua ao longo do tempo geológico.

Figura 21 – Vista parcial dos Platôs Dissecados do rio Zutiua.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os platôs dissecados são caracterizados, na área de estudo, como patamares com altimetria de até 280 m de altitude, embutidos entre os planaltos tabulares, baixo platô e superfícies com colinas dissecadas. A declividade é mais acentuada no talude dessa morfologia, chegando até 45%, enquanto no topo é plano suave, variando de 0 a 3%.

#### 4.1.3.2 Planície da Baixada Maranhense

Caracterizada por relevo bastante uniforme, com vastas áreas planas ou levemente onduladas, possuindo amplitude altimétrica de 5 a 80 m, intercaladas por colinas baixas e suaves (Figura 22). Além disso, é possível identificar vales amplos que apresentam baixa a moderada densidade de drenagem, com um padrão dendrítico.

Durante o período chuvoso, ocorre o extravasamento dos cursos d'água e dos lagos existentes, que ocupam o leito maior dos rios. Esse processo ocorre nas áreas ao entorno dos lagos e ao longo dos rios, denominadas planícies de inundação. Essa característica hidrológica é importante para a manutenção do ecossistema local, caracterizada por relevo bastante uniforme, com vastas áreas planas ou levemente onduladas e uma amplitude altimétrica de 5 a 80 m, intercaladas por colinas baixas e suaves. Além disso, é possível identificar vales amplos, que apresentam baixa a moderada densidade de drenagem, com um padrão dendrítico.

Figura 22 – Área de pastagem caracterizada pela planície da Baixada Maranhense.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

#### 4.1.3.3 Superfícies com Colinas Dissecadas, Onduladas a Fortemente Onduladas

O IMESC (2017) identifica esta configuração de relevo como “colinas amplas e suaves”. O terreno é caracterizado pela presença de colinas moderadamente dissecadas, cujas vertentes exibem formatos convexos ou convexo-côncavos, cujos topos são amplos, apresentando morfologia tanto alongada quanto arredondada. As vertentes possuem um gradiente suave e as amplitudes de relevo são baixas em relação ao planalto tabular, que recobre a unidade (Figura 23).

Figura 23 – Vista caracterizada por conter morros e morrotes característicos das colinas dissecadas, onduladas a fortemente onduladas, em Santa Luiza, drenado pelo rio Bonito.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Nesse tipo de relevo, a pedogênese é o principal processo geológico que ocorre, o que leva à formação de solos profundos e bem drenados, com baixa a moderada suscetibilidade à erosão. O sistema de drenagem principal se caracteriza pela deposição de planícies aluviais relativamente amplas, com ocorrências esporádicas restritas a processos de erosão laminar. Em termos de amplitude de relevo, varia entre 200 e 380 metros, enquanto a inclinação das vertentes oscila entre 45 a 75%.

#### 4.1.3.4 Planaltos Tabulares

São regiões elevadas, com altitude aproximada superior a 270 metros, que apresentam uma superfície aplainada pouco dissecada, com vales profundos e estreitos que cortam sua extensão. Essa unidade de relevo é bem expressiva na região do Tabuleiro de Buriticupu e Araribóia, o que evidencia a resistência estrutural imposta pela variável geológica a estas superfícies e aos processos erosivos contínuos aplicados pelos rios Buriticupu e Zutua ao relevo, esculpindo o vale fluvial. Essa compartimentação não é restrita apenas a esses, mas pode ser observada na porção oeste da bacia, abrangendo também os rios Azul, Novo Córrego, Verde, dos Bois e Caru.

#### 4.1.3.5 Superfícies com Colinas Dissecadas, Morros e Morrotes

O IMESC (2019) designa essa unidade como “colinas dissecadas e de morros baixos”. Entretanto, optou-se por adotar um conceito mais apropriado para superfícies que englobam colinas dissecadas, morros e morrotes. Os morros são uma elevação de terreno com topo arredondado, declives relativamente acentuados e altitude inferior a 300 metros.

Segundo Cunha e Guerra (1998), os morros residuais são aqueles que se formam a partir de processos de erosão diferencial, nos quais a rocha ou o solo é erodido de forma mais intensa em algumas áreas enquanto outras áreas são preservadas. Desta forma, os morros residuais surgem como remanescentes de um relevo mais antigo que foi erodido ao longo do tempo.

Em contraste, os morrotes são um termo utilizado para se referir a elevações de terreno com altura menor que a dos morros. São formas de relevo residuais, caracterizados por elevações com topo arredondado e encostas menos íngremes do que as dos morros. Eles também se formam a partir de processos de erosão diferencial, sendo considerados como remanescentes de um relevo mais antigo, erodido ao longo do tempo. Na bacia, essa classe de relevo é observada no sul-sudoeste (S-SO) e norte-nordeste (N-NE), todas com características diferentes.

Aquelas que se localizam na porção S-SO, especificamente, apresentam elevações máximas de 300 m. Já aquela localizada no alto curso tem declividades mais suaves, com o máximo observado de 50%. Enquanto isso, a porção N-NE apresenta-se com altitude máxima observada de 282 m, e as maiores declividades detectadas na bacia hidrográfica extrapolam os 75%.

#### 4.1.3.6 Baixos Platôs

As superfícies nesta região apresentam elevação sutil em relação aos terrenos adjacentes e são notavelmente desgastadas, assumindo a forma de colinas tabulares. A rede de canais de drenagem possui densidade moderada a alta, o que gera um relevo dissecado com vertentes retilíneas e declives acentuados em vales encaixados. Essas características são resultados de processos de dissecação fluvial tanto recentes quanto passados. A amplitude máxima observada é de 380 m, enquanto a inclinação das vertentes varia de topo plano a suavemente ondulado, com declividades variando entre 3 e 8%. Essa feição pode ser claramente observada em duas regiões geomorfológicas específicas: os Baixos Platôs de Barra do Corda e o Planalto Dissecado Gurupi-Grajaú (IMESC, 2019).

#### 4.1.3.7 Superfícies com Colinas Dissecadas e Morros Baixos

O IMESC (2019) classifica estas formações como relevo de degradação e elas apresentam-se com relevo moderadamente ondulado, tendo ainda a presença de morrotes e morros dissecados com vertentes íngremes de gradiente moderado convexo-côncavas e topos arredondados com amplitude de 20 a 100 m. As superfícies ainda exibem moderada densidade de drenagem com padrão dendrítico.

#### 4.1.3.8 Vales Encaixados

Para o IMESC (2019), os vales encaixados são características geomorfológicas presentes em áreas de controle litológico, com predomínio de vertentes com gradientes elevados, especialmente na área dos baixos platôs, tabuleiros e planaltos no setor sul do bioma amazônico. O sistema de drenagem principal nessa região encontra-se em franco processo de entalhamento, o que significa que os vales estão sendo cada vez mais aprofundados pela ação dos rios. Além disso, a densidade de drenagem na região vai de moderada à alta, com um padrão dendrítico, treliça e retangular.

É importante notar que os vales encaixados apresentam moderado a forte controle estrutural, o que significa que a sua formação está relacionada às características geológicas e estruturais da região. Em outras palavras, a configuração dos vales é influenciada pela natureza das rochas e pela presença de falhas geológicas e outras estruturas que afetam o fluxo dos rios.

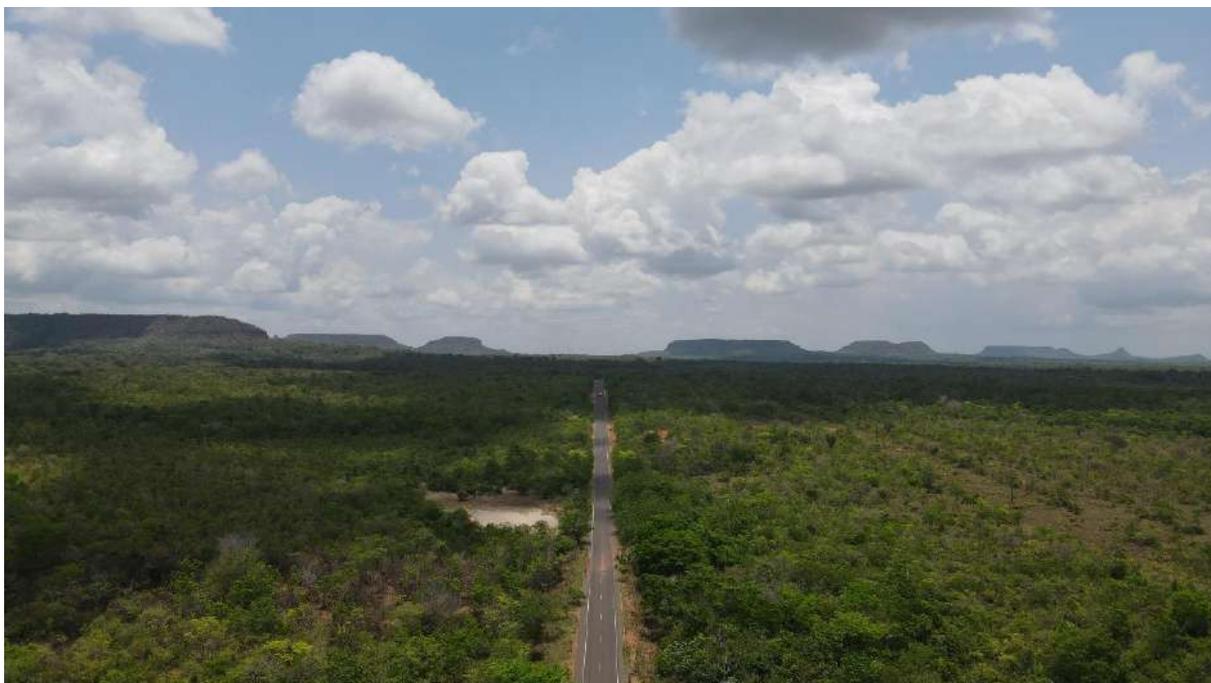
#### 4.1.3.9 Superfícies com Colinas

A definição do IMESC (2019) quanto a esta unidade as considera “superfícies aplainadas retocadas ou degradadas”. São compostas por colinas com formas arredondadas, que possuem vertentes que podem ser curvas para fora ou para dentro.

Além disso, os topos dessas colinas são amplos e podem ter formas alongadas ou arredondadas. As inclinações das vertentes são suaves e as elevações não ultrapassam 94 metros. Nesse relevo, os processos de formação de solo são os mais importantes e resultam em solos profundos e bem drenados, com baixo risco de erosão.

O sistema de drenagem é composto por planícies aluviais relativamente amplas e as ocorrências de erosão são raras e localizadas. Em média, a amplitude do relevo varia de 40 a 90 metros e as inclinações das vertentes variam entre 1 e 36% (Figura 24).

Figura 24 – Vista da “Serra” do Gurupi na unidade geomorfológica de superfícies com colinas, no alto curso da bacia do Pindaré.



Fonte: Acervo do autor, 2021.

#### 4.1.3.10 Planícies Fluviais

A região em questão apresenta superfícies planas que fazem a interface entre sistemas fluviais e lacustres, sendo compostas por depósitos argilo-arenosos a argilosos. Estas áreas possuem drenagem insuficiente e sofrem com prolongadas inundações.

Nas superfícies planas ou em baixos interflúvios, é possível observar abaciamentos, ou seja, suaves depressões em solos areno-argilosos. Essas áreas foram denominadas áreas de acumulação inundáveis, são frequentes na região amazônica e fazem parte da unidade de relevo das Planícies Fluviais.

Os terrenos dessa região possuem baixa capacidade de suporte e uma amplitude de relevo que varia de 0 a 3 metros. As vertentes são predominantemente planas com declividade de baixa inclinação (Figura 25). Essas características morfológicas são observadas em várias regiões do Maranhão, como o Litoral das Reentrâncias Maranhenses, Lençóis Maranhenses, Golfão e Baixada Maranhense.

Figura 25 – Planície Fluvial do rio Buriticupu, próximo a Buritizinho.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

#### 4.1.3.11 Planície Fluviomarinha

Elas compreendem extensas áreas de terras baixas, sujeitas a inundação e cobertas por formações pioneiras que delimitam a transição entre os ambientes continental e marinho. Ainda por cima, a vegetação predominante são os manguezais, presentes na Planície Fluviomarinha do Pindaré.

Estes, por sua vez, são ecossistemas de grande importância ecológica, pois abrigam uma rica diversidade de fauna e flora, além de servirem como berçários naturais para diversas espécies marinhas.

#### 4.1.3.12 Planície Fluviolacustre

Trata-se de um ambiente do baixo curso do rio Pindaré, com predomínio de baixa altimetria e declividade, aliada a uma rede de drenagem que se desenvolve a partir da interação entre uma complexa rede hidrográfica, composta por diversos rios e riachos. O processo resulta em uma paisagem caracterizada pela presença de lagos, lagoas e ilhas fluviais (Figura 26 e 27) que drenam uma grande quantidade de água.

Figura 26 – Vista parcial área do lago Zutiua.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Figura 27 – Continuação da drenagem do lago Zutiua com a presença de ilhas fluviais.



Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

#### 4.1.3.13 Morros Isolados do alto curso

Segundo Florenzano (2008), morros e serras são elevações do terreno que surgem em decorrência do movimento das placas tectônicas que, ao colidirem entre si, provocam

deformações na crosta terrestre. As deformações podem dar origem a montanhas, colinas e vales, formando paisagens únicas e diversificadas.

As serras são caracterizadas por uma sequência de montanhas ou elevações que se estendem por uma região, enquanto os morros são elevações isoladas e de menor altitude em relação às serras. Por essa razão, a terminologia de serra não pode se adequar à área no contexto regional. Mesmo Ainda assim, a toponímia utilizada pela população permaneceu nas cartas do IBGE e DSG.

De maneira geral a classe, localizada na porção sudoeste, apresenta as maiores elevações da bacia, chegando a até 500 metros na serra do Gurupi. Apresentam também declividades elevadas, chegando em alguns pontos da encosta a 60%, enquanto o topo apresenta características convexas com a declividade aproximada de 0 a 26%.

#### 4.1.3.14 Mesas e Mesetas

Florenzano (2008) define as mesas e mesetas como superfícies de topo plano e levemente inclinado. Essas formas de relevo são resultantes do processo de erosão, que pode desgastar as áreas mais elevadas do terreno, deixando planícies elevadas ou topos planos com bordas íngremes. Elas são comuns em áreas de rochas sedimentares, que podem apresentar camadas de diferentes resistências à erosão, formando assim sua característica topográfica.

Mesas e mesetas são formas de relevo que se caracterizam por planaltos elevados e extensos com topos planos e superfícies quase horizontais. A diferença principal entre elas é o tamanho: as mesas são menores e mais restritas, enquanto as mesetas são maiores e mais amplas. Dessa maneira, tanto mesas quanto mesetas são compostas por processos geológicos complexos, que envolvem a ação de forças tectônicas e erosivas ao longo de milhões de anos.

A formação das mesas e mesetas geralmente ocorre em áreas de rochas resistentes e duras, que resistem à erosão enquanto as áreas ao seu redor são desgastadas, o que resulta em topos planos e superfícies horizontais.

#### 4.1.4 Pedologia

Os solos desempenham um papel fundamental em análises de estudos morfométricos. Uma vez que as interações entre os elementos resultam em variações, essas dependendo das características específicas de cada mineral presente, assim como do seu grau de maturidade, capacidade de drenagem e resistência à erosão. As propriedades do solo também estão intrinsecamente ligadas aos processos de infiltração e escoamento, sendo essenciais para o ciclo da água e para o funcionamento das bacias hidrográficas.

Através de estudos conduzidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2017), adaptados pelo IMESC (2019), se tornou possível apresentar os dados que compõem a

Figura 28. Foram identificados os seguintes tipos de solos na bacia do rio Pindaré: Latossolos, Plintossolos, Gleissolos, Luvisolos, Argissolos e Neossolos. O Quadro 7, fornece uma quantificação das respectivas áreas ocupadas por tipo de solo.

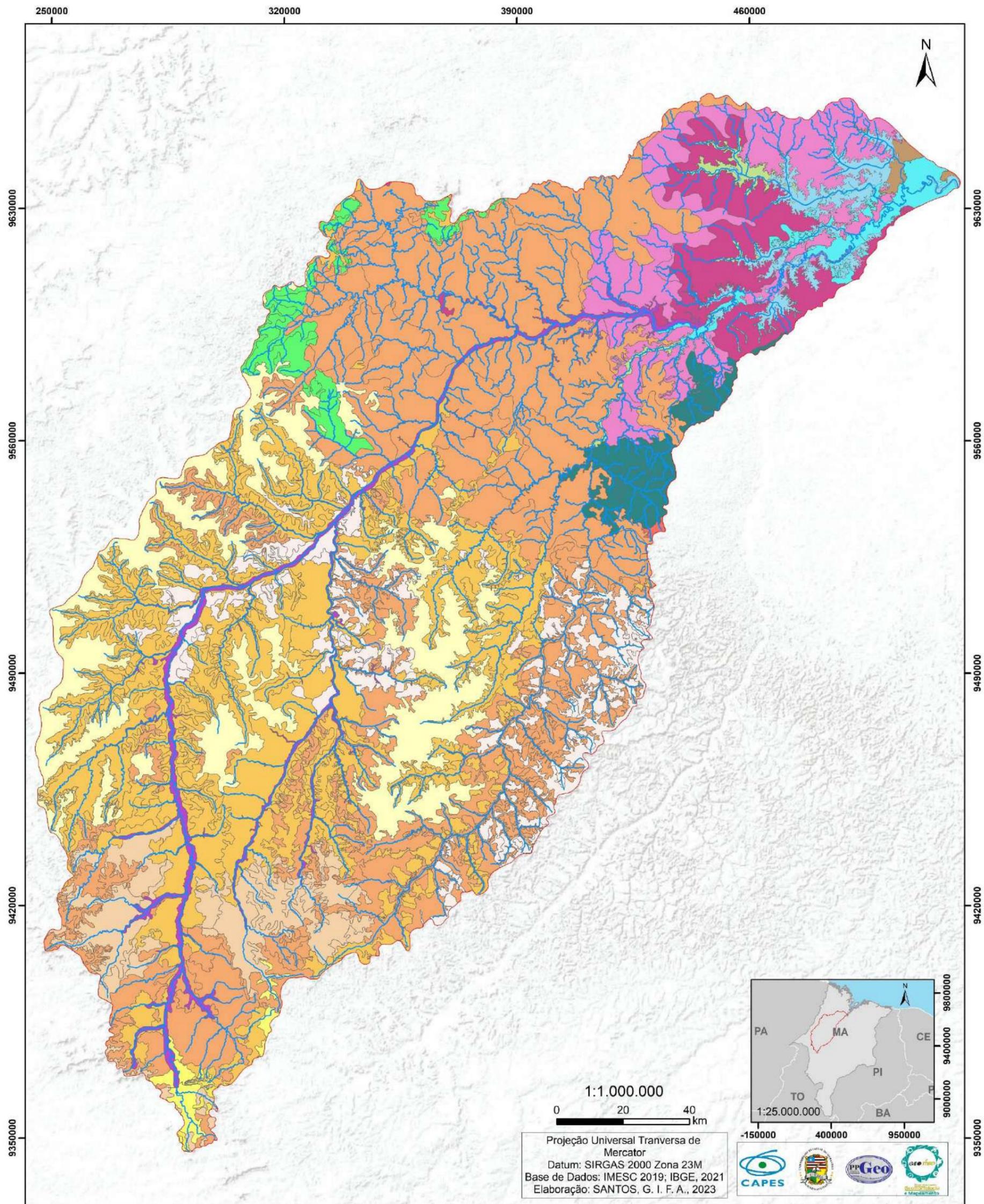
Quadro 7 – Classe de solos encontrados na Bacia do Pindaré e suas respectivas áreas.

<b>Solos</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	14339,46	35,60%
Latossolo Amarelo Distrófico	9222,89	22,90%
Latossolo Amarelo Distrocoeso	3775,75	9,37%
Plintossolo Argilúvico Distrófico	2555,34	6,34%
Argissolo Amarelo Distrófico	2310,97	5,74%
Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	1888,14	4,69%
Plintossolo Argilúvico Eutrófico	1638,49	4,07%
Gleissolo Háptico Tb Distrófico	1173,04	2,91%
Plintossolo Háptico Distrófico	822,39	2,04%
Plintossolo Pétrico Concrecionário	747,31	1,86%
Corpos Hídricos	612,04	1,52%
Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	544,01	1,35%
Gleissolo Háptico Ta Eutrófico	247,86	0,62%
Neossolo Quartzarênico Órtico	216,00	0,54%
Gleissolo Tiomórfico Órtico	96,09	0,24%
Neossolo Litólico Distrófico	48,63	0,12%
Gleissolo Melânico Alítico	23,01	0,06%
Luvisolo Háptico Órtico	18,58	0,05%
<b>Total</b>	<b>40280,00</b>	

\*Obs.: Os corpos hídricos foram incluídos apenas para fins estatísticos e estéticos, pois estão presentes no mapa.

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 28 – Mapa de Solos da bacia do rio Pindaré.



Legenda			
Drenagem	Latossolo Amarelo Distrocoeso	Gleissolo Háptico Tb Distrófico	Gleissolo Háptico Ta Eutrófico
Bacia Hidrográfica do Pindaré	Plintossolo Argilúvico Distrófico	Plintossolo Háptico Distrófico	Neossolo Quartzarênico Órtico
Solos			
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Argissolo Amarelo Distrófico	Plintossolo Pétrico Concrecionário	Gleissolo Tiomórfico Órtico
Latossolo Amarelo Distrófico	Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	Corpos Hídricos	Neossolo Litólico Distrófico
	Plintossolo Argilúvico Eutrófico	Neossolo Flúvico Ta Eutrófico	Gleissolo Melânico Alítico
		Luvisolo Háptico Órtico	

Fonte: Adaptado de IMESC, 2019 por Medeiros *et al.*, 2023.

#### 4.1.4.1 Argissolos

São agrupamentos de solos minerais que possuem grande profundidade e boa drenagem. Sua principal característica é o aumento significativo do teor de argila do horizonte superficial "A" para o subsuperficial "B", evidenciando o horizonte diagnóstico B textural (Bt). Esses solos podem apresentar ou não cerosidade e são nomeados de acordo com as classes de textura binárias: arenosa/média, média/argilosa ou argilosa/muito argilosa. Quando há uma diferença acentuada de argila entre os horizontes A e B, a nomenclatura é arenosa/argilosa ou média/muito argilosa (IMESC, 2019) (Figura 29).

Com relação à distribuição espacial, a classe do argissolo é encontrada em todas as orientações da bacia com abundância no Sul, mais precisamente nas proximidades dos municípios de Santa Luzia, Alto Alegre do Pindaré e Governador Newton Bello. Assim, suas variações foram mapeadas em duas classes: Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico e Argissolo Amarelo Distrófico. Em geral, esses solos possuem baixo nível de fertilidade química natural (distróficos), com baixa saturação por bases trocáveis (V%), alta acidez e teores muito baixos de fósforo assimilável (IMESC, 2019).

Figura 29 – Argissolo Vermelho em Bom Jesus das Selvas.



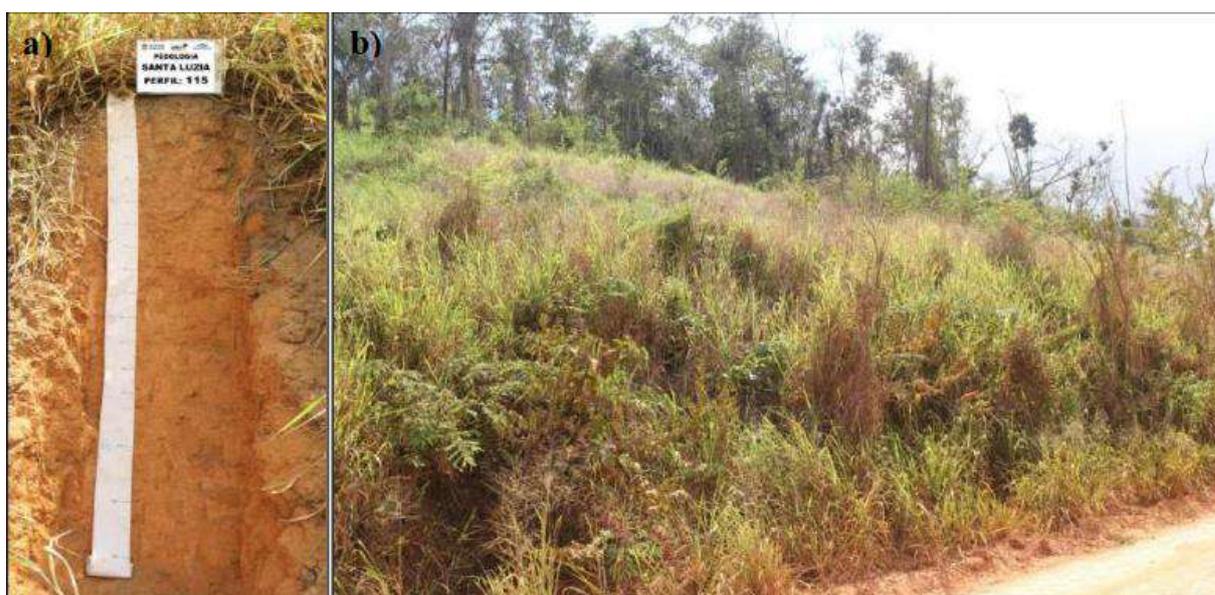
Estes solos podem ser encontrados em áreas com relevo plano, suavemente ondulado, ondulado ou até fortemente ondulado, o que pode influenciar a definição de sua classe de aptidão agrícola. Além disso, eles apresentam adensamento de partículas na profundidade de 30 a 70 cm da superfície do solo, o que é verificado pela resistência à penetração da faca pedológica, caracterizando o caráter coeso (SANTOS *et al.*, 2018).

#### 4.1.4.2 Latossolos

Segundo a Embrapa (2021), os latossolos amarelos são desenvolvidos de materiais argilosos ou areno-argilosos sedimentares do grupo barreiras, na região litorânea do Brasil, ou nos baixos platôs da região amazônica, relacionados à formação Alter-do-Chão no Pindaré. A ocorrência desse solo está associada ao ambiente sedimentar do grupo Itapecuru e atende aos requisitos de cor definidos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SIBCS). A cor amarelada é considerada uniforme em profundidade (figura 30) e o mesmo comportamento ocorre em relação ao teor de argila. A textura mais frequente é argilosa ou muito argilosa.

Outra característica marcante é a elevada coesão dos agregados estruturais. Além da coesão, os agregados apresentam boas condições físicas como retenção de umidade e boa permeabilidade, sendo utilizados na agricultura e pastagens, associados a uma ocorrência em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado (EMBRAPA, 2021).

Figura 30 – Ocorrência de Latossolo Amarelo em Santa Luzia.



Latossolos são solos que possuem uma profundidade significativa e são bem drenados. Sua principal característica é a presença do horizonte diagnóstico subsuperficial “B” latossólico (Bw), esse horizonte apresenta um estágio avançado de intemperização, com completa alteração dos minerais primários menos resistentes ao intemperismo. Ele é composto principalmente por óxidos de ferro e alumínio, argila 1:1 (caulinita), quartzo e outros minerais mais resistentes, com predominância de qualquer um deles (IMESC, 2019).

Os Latossolos (Figura 31) apresentam horizontes genéticos dispostos na sequência A, Bw (B latossólico) e C. Em geral, possuem baixo nível de fertilidade química natural, além do pH fortemente ácido, elevados teores de alumínio trocável, elevada saturação com alumínio, baixa saturação por bases trocáveis, baixa capacidade de troca de cátions e baixíssimos teores de fósforo assimilável. Esses solos são encontrados em áreas de relevo predominantemente plano e suavemente ondulado, o que afeta a definição de sua classe de aptidão agrícola.

Na bacia do Pindaré, existem três variações mapeadas de latossolos, sendo as seguintes classes: Latossolo Amarelo Distrófico, Latossolo Amarelo Distrocoeso e Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. Sua área de ocorrência é restrita ao alto e médio curso da bacia, com destaques para os municípios de Amarante do Maranhão, Açailândia, Bom Jesus das Selvas, Santa Luzia e próximos.

Figura 31 – Possível ocorrência de Latossolo Amarelo em propriedade rural, entre Santa luzia e Buriticupu.



Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

#### 4.1.4.3 Plintossolos

Os Plintossolos (Figura 32) são definidos como solos constituídos por material mineral, apresentando horizonte plíntico, litoplíntico ou concrecionário. São todos provenientes da segregação localizada de ferro, que atua como agente de cimentação. Além disso, são também fortemente ácidos, podendo apresentar saturação por bases baixa (distróficos) ou alta (eutróficos), predominando os de baixa saturação. Verificam-se ainda solos com propriedades solódica e sódica (EMBRAPA, 2021).

Figura 32 – Exemplo de ocorrência do Plintossolo Argilúvico na Amazônia Maranhense; a) Perfil do Solo; b) Área de cultivo de eucalipto.



Fonte: IMESC, 2019.

De maneira geral, apresentam restrição à percolação da água, estando sujeitos ao efeito temporário de excesso de umidade e mal drenados. Parte dos solos desta classe (solos com horizonte plíntico) tem ocorrência relacionada a terrenos de várzeas, áreas com relevo plano ou suavemente ondulado e, menos frequentemente, em ondulado, assim como em zonas geomórficas de baixada.

Na área de estudo são observadas as seguintes variações: Plintossolo Argilúvico Distrófico, Plintossolo Argilúvico Eutrófico, Plintossolo Háptico Distrófico (Figura 33) e Plintossolo Pétrico Concrecionário. Eles estão restritos as áreas mais baixas, com destaque para sua variação Argilúvico, e apresentam uma grande concentração geográfica no baixo curso da bacia ao redor das planícies de inundações, nos municípios de Penalva, Monção, Pedro do Rosário, Viana e outros próximos, enquanto Pétrico Concrecionário é identificado

no médio curso da bacia nos municípios de São João do Carú, Centro Novo do Maranhão e Bom Jardim.

Figura 33 – Presença do Plintossolo Háplico Distrófico recoberto por matéria orgânica, próximo a foz do rio Zutiua.



Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

#### 4.1.4.4 Gleissolos

Os Gleissolos (Figura 34) são classificados pelo SIBCS como solos hidromórficos, constituídos por material mineral, com a manifestação de horizonte glei, que pode ser um horizonte subsuperficial (C, B ou E) ou superficial A. O horizonte superficial apresenta cores desde cinzentas até pretas, espessura normalmente entre 10 e 50 cm e teores médios a altos de carbono orgânico (SANTOS, 2018).

Na bacia foram identificados quatro tipos desses solos: o Gleissolo Háplico Tb Distrófico, Gleissolo Háplico Ta Eutrófico, Gleissolo Tiomórfico Órtico e Gleissolo Melânico Alítico. Essa classe de solos é caracterizada desta maneira por estar sempre em contato com água (saturado), localizada na porção nordeste da bacia. São encontrados próximo ao lago Zutiua, Viana (Figura 32), Aquari, nos municípios da baixada maranhense (Penalva, Monção, Pedra do Rosário, Viana e outros) e próximo à planície de inundação dos rios, que são periodicamente inundados.

Figura 34 – Gleissolo encontrado na Amazônia Maranhense.



Fonte: IMESC, 2019.

#### 4.1.4.5 Neossolos

Neossolos são solos pouco desenvolvidos e rasos, por não possuírem o horizonte B diagnóstico. Este grupo inclui solos com características físico-químicas distintas, devido à natureza do material que os originou. Na área da bacia estudada, foram identificadas quatro classes: Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, Neossolo Quartzarênico Órtico e Neossolo Litólico Distrófico. Apesar de sua localização, os Neossolos Litólicos Distróficos e Neossolos Quartzarênicos Órticos são predominantes na porção sul, no alto curso da bacia, nos municípios de Montes Altos e Amarante do Maranhão.

Já na região nordeste, no baixo curso da bacia, é encontrado o Neossolo Flúvico Ta Eutrófico, próximo às planícies de inundação do rio Pindaré. Os Neossolos Flúvicos (Figura 35) são desenvolvidos sob a forte influência do lençol freático próximo à superfície, sendo formados por sedimentos aluviais com composições muito diversas. Esses solos apresentam textura variável, geralmente dominada por silte, são hidromórficos e pouco profundos, com baixo ou alto nível de fertilidade natural. Eles ocorrem em relevo plano,

margeando os cursos d'água e possuem vegetação de floresta de várzea, associados aos Gleissolos (IMESC, 2019).

Figura 35 – Exemplo de Neossolo Flúvico na Amazônia Maranhense.



Fonte: IMESC, 2019.

Os Neossolos Litólicos possuem uma camada superficial, denominada como horizonte A, que tem menos de 40 cm de espessura e está em contato direto com a rocha, com um horizonte C ou Cr, ou com um material que contém mais de 90% da sua massa em fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2 mm. Tais fragmentos apresentam um contato com o solo, chamado de contato lítico, que pode ser típico ou fragmentário, e está localizado a 50 cm da superfície do solo. (SANTOS *et al*, 2018).

Os Neossolos Quartzarênicos são solos que consistem principalmente de areia e uma pequena quantidade de outros minerais, como quartzo. Eles podem ser profundos ou

rasos, e podem ser hidromórficos (ou seja, que possuem um alto teor de água) ou não hidromórficos. Esses solos apresentam uma sequência de horizontes A e C. No entanto, eles possuem limitações físico-químicas muito fortes, o que acaba por torná-los praticamente inutilizáveis para fins agrícolas ou pecuários.

#### 4.1.4.6 Luvisolos

Segundo ZEE-MA (2017), os Luvisolos são solos minerais que possuem um horizonte B textural com alta atividade de argila e alta saturação por bases, localizado imediatamente abaixo do horizonte A ou E. Eles são geralmente pouco profundos e variam de bem a imperfeitamente drenados, possuindo uma sequência de horizontes genéticos do tipo A, Bt e C, com uma clara diferenciação entre os horizontes A e Bt, devido as diferenças de textura, cor e/ou estrutura entre eles. A transição para o horizonte B textural é clara ou abrupta, e grande parte dos solos desta classe dispõem de mudanças texturais abruptas. Eles podem ou não apresentar pedregosidade na parte superficial e ter um caráter solódico ou sódico na parte subsuperficial (SANTOS *et al*, 2018).

Estes solos possuem valores moderadamente ácidos a ligeiramente alcalinos, com teores de alumínio extraível baixo ou nulo, assim como valores elevados para a relação molecular Ki no horizonte Bt, normalmente entre 2,4 e 4,0. Dessa forma, denota a presença em quantidade variável, mas expressiva, de argilominerais do tipo 2:1 (SANTOS *et al*, 2018). Na área de estudo em questão, foi identificada a classe Luvisolo Háptico Órtico, restrito na região leste na bacia, no município de Brejo de Areia.

#### 4.1.5 Clima

O clima desempenha um papel fundamental na formação e na evolução dos parâmetros morfológicos de uma bacia hidrográfica. A bacia do rio Pindaré é caracterizada por um regime de chuvas sazonal, com períodos distintos de seca e cheias regulares.

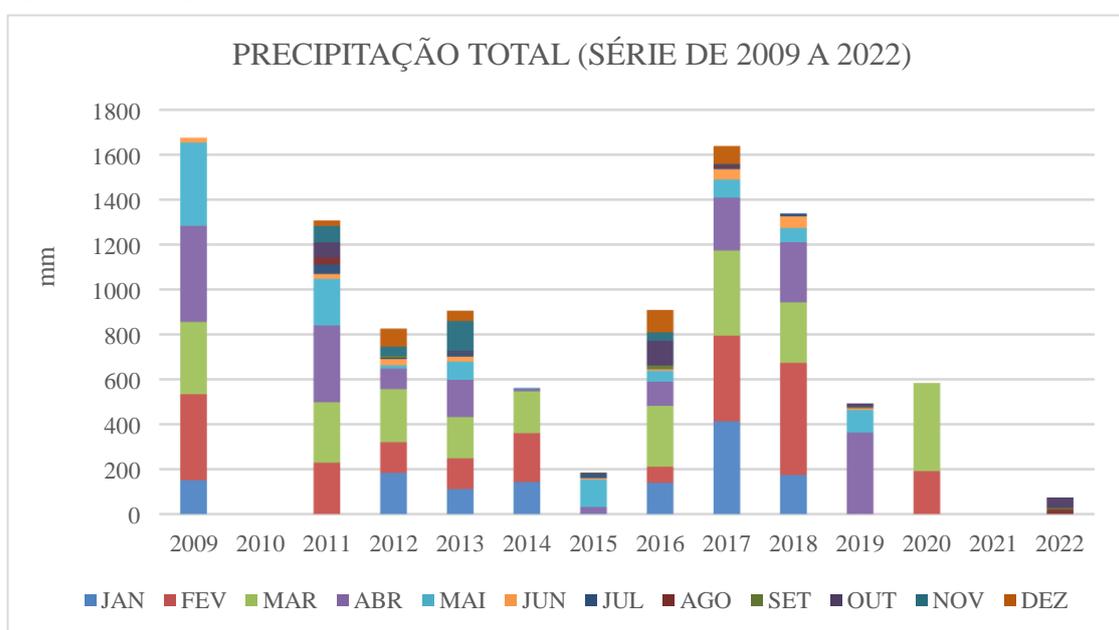
Esse padrão hidrológico é semelhante ao observado em outras bacias hidrográficas do estado do Maranhão. E conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, explicada por Abreu (2013), a bacia está localizada em uma região de clima Tropical, com estação seca no inverno. A bacia apresenta predominantemente dois climas: Equatorial Quente Úmido, caracterizado por 3 meses secos, e Tropical Zona Equatorial Quente, semiúmido, com 4 a 5 meses secos, conforme o IBGE (1978).

A avaliação da pluviosidade na bacia hidrográfica do rio Pindaré usou dados da estação de Buriticupu, codificada como A238. Localizada na Latitude -4.32055554 e

Longitude -46.44944444, com altitude de 174,91 m. A estação está operacional desde setembro de 2008. Os aspectos climatológicos, entre o período entre 2009 e 2022 (conforme representado na Figura 35).

Assim, os dados supracitados foram analisados através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023). Durante a análise, uma das dificuldades enfrentadas foi a qualidade dos dados provenientes das estações na bacia hidrográfica. De acordo com os dados do INMET (2023), da série histórica em análise (Figura 36), os anos de maior precipitação pluviométrica foram 2009, 2011, 2017 e 2018.

Figura 36 – Precipitação Total, (Série 2009 a 2022), Estação de Buriticupu – MA.

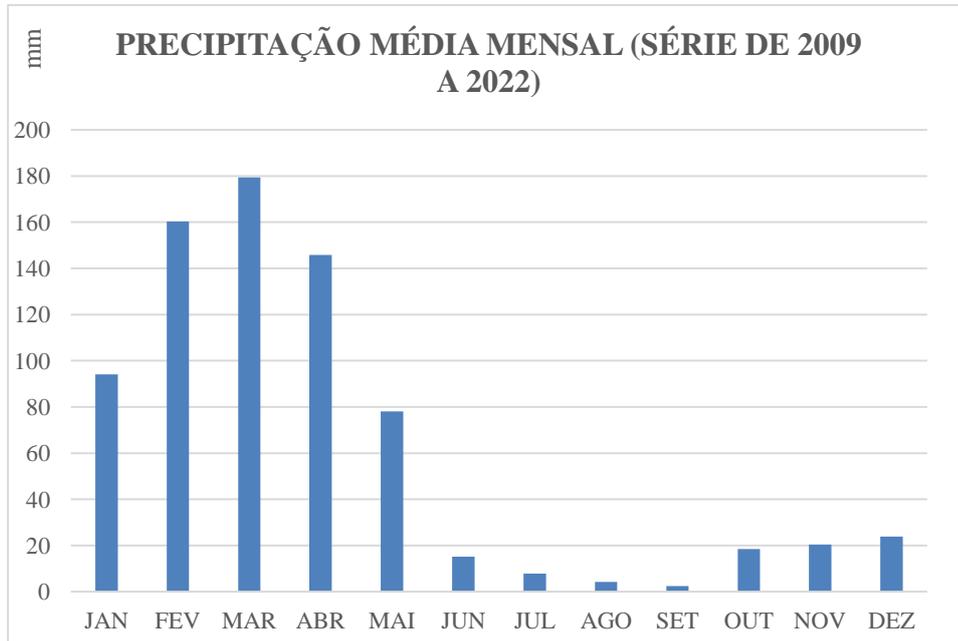


Fonte: INMET (2023). Elaborado pelo autor (2023).

No entanto, é importante ressaltar que há várias lacunas de dados da estação meteorológica de Buriticupu. Além disso, constatou-se que os meses mais chuvosos abrangem o período de janeiro a junho.

Na série de dados de 2009 a 2022, foi observado que o valor da precipitação média mensal oscilou entre 23,80 a 179,35 milímetros de água (mm), conforme apresentado na Figura 37 (INMET, 2023). Além disso, o valor da precipitação média anual variou de 0 (provavelmente devido à ausência de dados) a 139,63 mm, conforme evidenciado na Figura 38 (INMET, 2023).

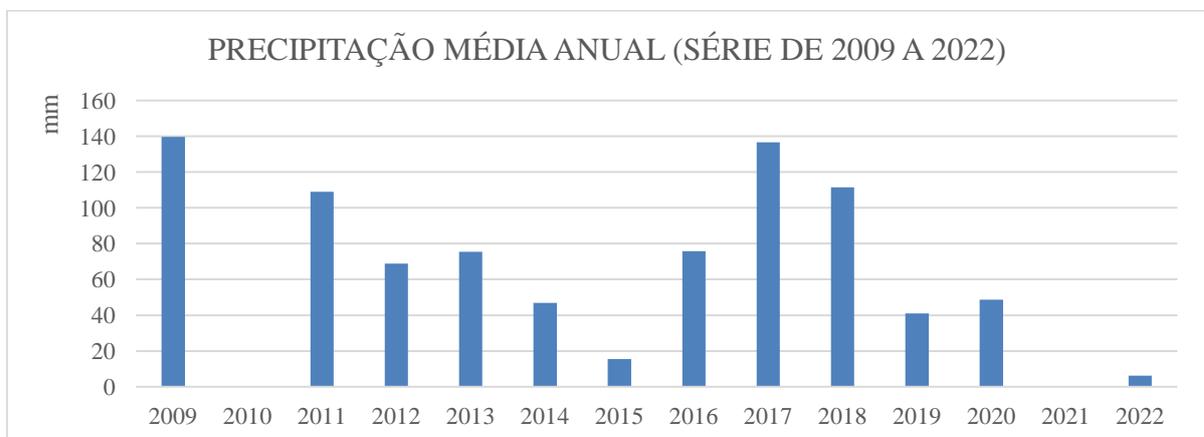
Figura 37 – Precipitação Média Mensal, (Série 2009 a 2022), Estação de Buriticupu – MA.



Fonte: INMET (2023). Elaborado pelo autor (2023).

Além disso, quanto à temperatura nesse período, houve uma variação de 0 (provavelmente, também, devido à ausência de dados) a 29,28 °C (Celsius). Em relação aos ventos, observou-se uma variação na velocidade média mensal de 1,54 a 3,29 metros por segundo (m/s) (INMET, 2023).

Figura 38 – Precipitação Média Anual, (Série de 2009 a 2022), Estação de Buriticupu – MA.



Fonte: INMET (2023). Elaborado pelo autor (2023).

A relação entre o clima e a morfometria diz respeito à influência das características climáticas de uma região específica sobre sua morfologia ou estrutura física. É importante enfatizar que a água da chuva e o vento são dois dos principais agentes naturais que influenciam no processo erosivo da superfície terrestre.

#### 4.1.6 Hidrografia

No contexto da hidrografia, dada a vasta extensão da bacia do rio Pindaré, torna-se essencial caracterizar os principais afluentes, identificados como áreas de significativa contribuição hidrológica e preservação dos ecossistemas, tanto os naturais quanto os influenciados pela ação humana.

Embora a bacia hidrográfica contenha diversos rios tributários do Pindaré (Figura 39), quatro rios se destacam devido à sua extensão notável: o principal Pindaré, e seus maiores afluentes, Zutiua, Buriticupu e Caru (Quadro 8).

Quadro 8 – Principais rios da bacia hidrográfica do Pindaré.

<b>Nome do Rio</b>	<b>Comprimento (km)</b>	<b>Localização da Nascente</b>	<b>Localização da Foz</b>
Rio Pindaré	695	Montes Altos	Viana
Rio Zutiua	310	Amarante do Maranhão	Pindaré-Mirim
Rio Buriticupu	179	Amarante do Maranhão	Buriticupu
Rio Caru	172	Bom Jardim	Bom Jardim

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).



A ocupação desordenada das margens, desmatamento, poluição das águas por resíduos sólidos e efluentes, bem como o assoreamento, são questões que comprometem seriamente a qualidade e a sustentabilidade dos rios que compõem essa bacia hidrográfica. Tais problemas representam uma ameaça direta ao equilíbrio ecológico, afetando não apenas os recursos naturais, mas também a vida das comunidades indígenas e a biodiversidade da região.

É imprescindível implementar medidas efetivas para enfrentar essas questões, promovendo o desenvolvimento sustentável, o manejo adequado dos recursos naturais e a conscientização sobre a importância da preservação ambiental nessa área. Somente assim será possível garantir a proteção dos rios, a conservação da biodiversidade e a qualidade de vida das comunidades locais.

#### 4.1.6.1 Rio Pindaré

A nascente principal do rio Pindaré, conforme abordado na seção de geomorfologia, está localizada no município de Montes Altos, na terra indígena Krikati. Essa característica distingue o rio Pindaré dos outros rios discutidos em seções anteriores e é destacada para reforçar a amplitude espacial dessas águas genuinamente maranhenses.

Percebe-se que, na região alta da bacia, a vegetação nativa é amplamente conservada, mantida quase em sua totalidade original, o que difere das áreas fora das T.I. As únicas exceções são as áreas de segurança para linhas de transmissão de energia e a rodovia estadual, que afetam diretamente as nascentes do rio (Figura 39). Na Figura 40 é possível observar um canal de primeira ordem do Pindaré protegido pela vegetação nativa.

Figura 40 – Estado de conservação da vegetação nativa nas nascentes do Pindaré.



Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

Figura 41 – Canal de primeira ordem do Pindaré protegido pela vegetação nativa.



Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

#### 4.1.6.2 Rio Zutiua

O rio Zutiua (Figura 42) é um importante curso d'água na bacia hidrográfica do Pindaré. A sub-bacia limite-se a Leste com a do Mearim e a oeste com sub-bacia do rio Buriticupu, localizado na porção central do Estado do Maranhão, seguindo em direção nordeste até se encontrar com o canal principal do Pindaré, no limite municipal de Tufilândia e Pindaré-Mirim.

Com relação ao comprimento total de 310 km, o rio Zutiua atravessa uma região de relevo bastante variado, com planaltos, “serras” e vales profundos. Sua sub-bacia hidrográfica abrange uma área de aproximadamente 9.978 km<sup>2</sup>, englobando diversos municípios do Maranhão.

Ao longo de seu percurso, o rio Zutiua recebe vários afluentes importantes, como os rios Bonito, Igarapé Cipoeiro, Olho D'água e Água Limpa. Além disso, a hidrografia do rio Zutiua é bastante influenciada pelo clima da região, com chuvas concentradas em poucos meses do ano. Isso faz com que fique no leito vazante nos períodos de estiagem, principalmente em canais com ordem baixa.

Figura 42 – Canal principal do rio Zutiua em Araribóia.



Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

O Zutiua estabelece uma conexão com as comunidades indígenas da reserva de Araribóia, devido à sua abrangência total da área, desempenhando uma função essencial como fonte primária de água para a população e para as práticas agrícolas na região. Essa relação íntima das comunidades indígenas com os rios está frequentemente entrelaçada com aspectos culturais, sociais e econômicos.

A hidrografia do rio Zutiua (Figura 43) é marcada por um curso d'água sinuoso e irregular de padrão Meandrate, que atravessa uma região de grande diversidade geográfica e climática. Ele desempenha um papel fundamental na vida das comunidades locais, sobretudo na população indígena de Araribóia, sendo uma importante fonte de recursos naturais e meio de subsistência.

Figura 43 – Rio Zutiua em seu leito vazante.

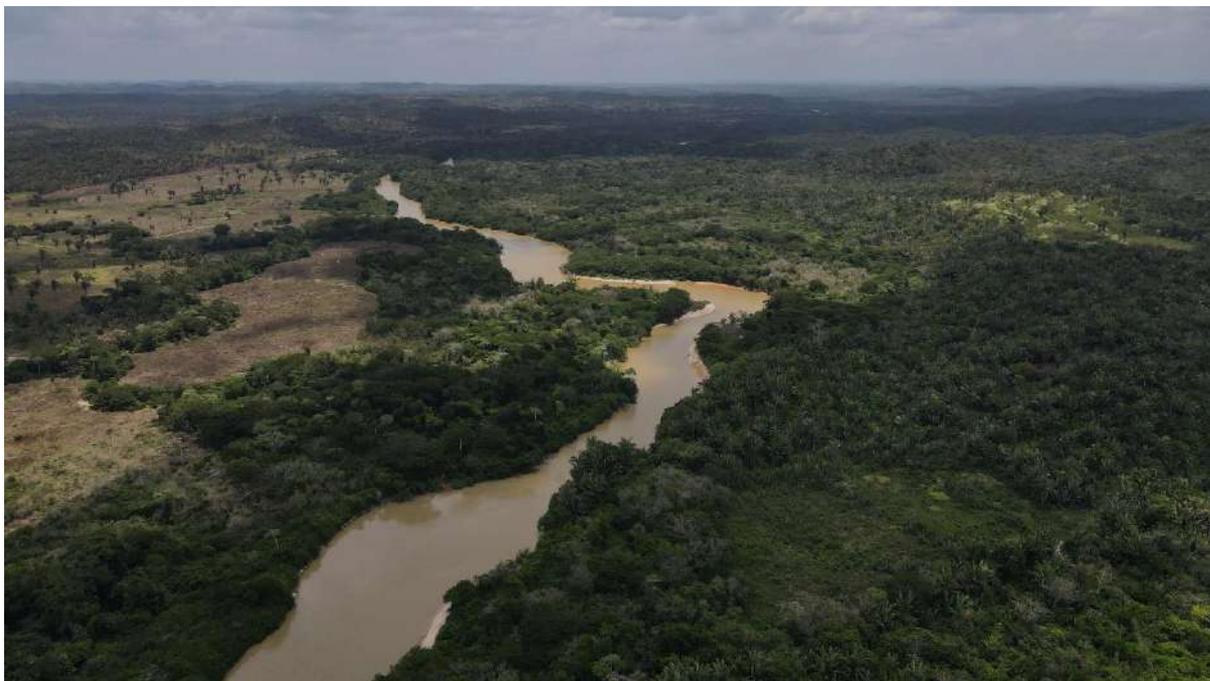


Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

#### 4.1.6.3 Rio Caru

O rio Caru (Figura 44) é também um importante curso d'água pertencente a bacia, localizado na porção Oeste. Ele nasce na Serra do Tiracambu, no município de Bom Jardim, e segue em direção nordeste da bacia, até desaguar no canal principal do Pindaré, entre os limites municipais de Alto Alegre do Pindaré e Bom Jardim.

Figura 44 – Rio Zutiua em seu leito vazante.



Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

Com um comprimento total de 172,71 km, o rio Caru atravessa uma região de relevo com a presença de Planaltos Tabulares, Superfícies com colinas dissecadas, morros e morrotes e colinas amplas e suaves. Sua sub-bacia hidrográfica abrange uma área de aproximadamente 2.983,89 km<sup>2</sup>, englobando os municípios de Bom Jardim, São João do Carú, Centro Novo do Maranhão, Governador Newton Bello e Zé Doca.

Ao longo de seu percurso, o rio Caru recebe vários afluentes importantes, como o Igarapé Juriti, Raizal, Anajá, Rio Turi, além de diversos córregos e riachos, tornando-o navegável pela maior parte de seu trajeto. O seu curso principal desemborca entre os municípios de Bom Jardim e Alto Alegre do Pindaré.

#### 4.1.6.4 Rio Buriticupu

O rio Buriticupu (Figura 45) nasce no município de Amarante do Maranhão, dentro da Terra Indígena Governador, onde o seu nome é Riacho Faveira e percorre uma extensão de aproximadamente 188,47 km em direção ao nordeste, desaguardo no rio Pindaré, nos limites de Bom Jesus das Selvas e Buriticupu.

Figura 45 – Vista do rio Buriticupu próximo ao povoado de Buritizinho.



Fonte: Acervo da pesquisa, 2021.

A sub-bacia hidrográfica abrange uma área de cerca de 5.344,50 km<sup>2</sup>. O rio Buriticupu atravessa uma região caracterizada pela presença de vales encaixados e declives bastante acentuados. Sua área de drenagem engloba diversos municípios, incluindo Buriticupu, Bom Jesus das Selvas e Santa Luzia. Ao longo do curso, o rio recebe contribuições de afluentes importantes, como os rios Serozal, Taruparu e Igarapé de Inhuma, além de inúmeros outros córregos e riachos. Sua hidrografia é marcada por trechos de águas calmas, em que se formam lagoas e áreas alagadas, assim como trechos com corredeiras e pequenas quedas d'água.

#### **4.2 Caracterização dos Parâmetros Morfométricos**

A bacia do rio Pindaré possui uma área de 40.280 km<sup>2</sup> e um perímetro de 1.146,86 km. Em relação a sua rede de drenagem, o padrão predominante é dendrítico, cujo canal principal apresenta um comprimento de 695,64 km. De forma descritiva, a análise de hierarquia fluvial identificou uma extensa predominância nos rios de primeira ordem, representando 50% do total de canais, na qual a distribuição de canais presentes na bacia resultaram em uma complexa rede de drenagem (Figura 46), onde somados, os 6322 canais fluviais retornaram um valor de 21.237,68 km.

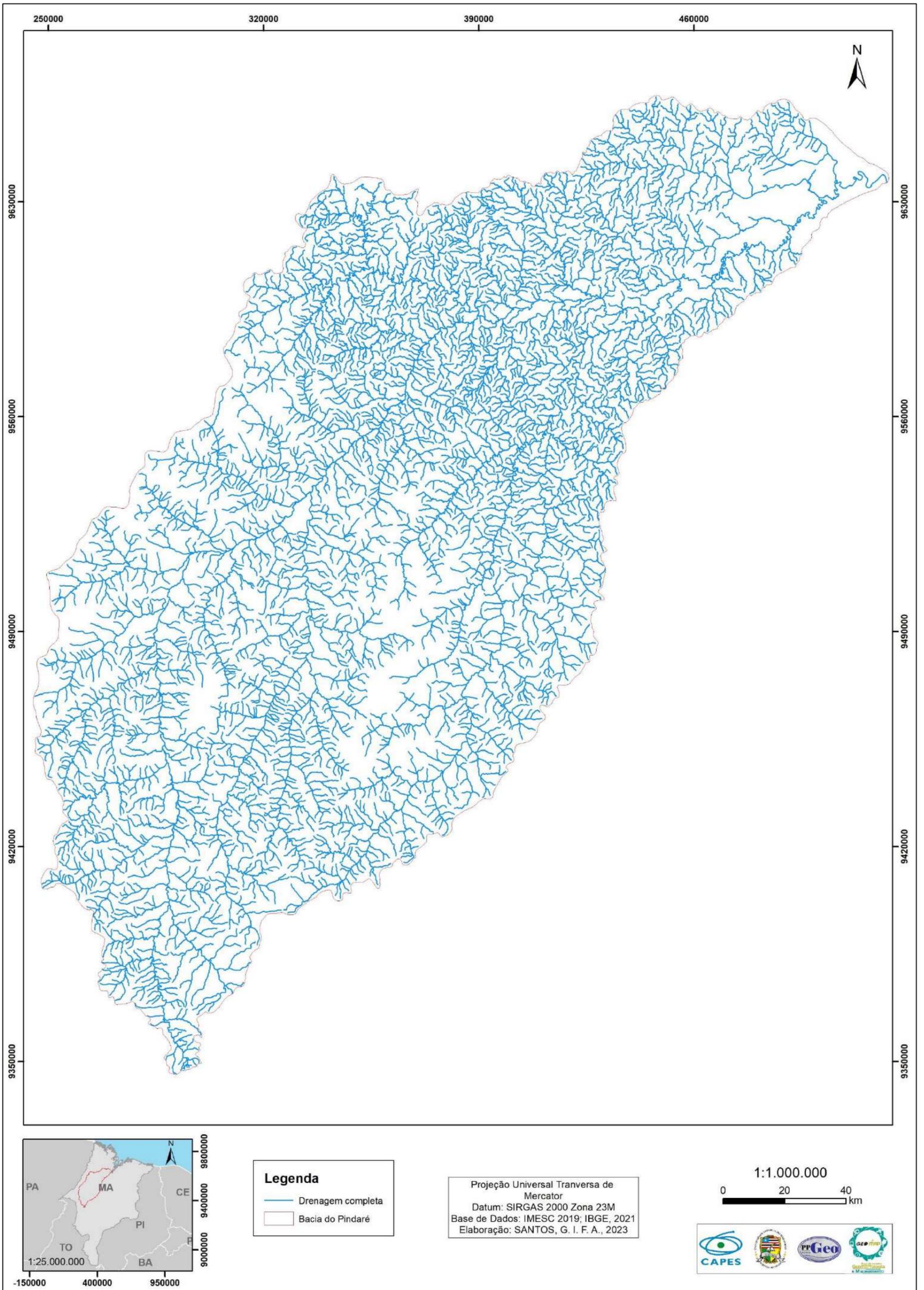
Ademais, o Quadro 9 apresenta uma síntese dos principais resultados dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Pindaré.

Quadro 9 – Parâmetros Morfométricos da bacia do rio Pindaré.

<b>Parâmetros Morfométricos</b>	<b>Unidades / Fórmula</b>	<b>Sigla</b>	<b>Resultado</b>
Área	km <sup>2</sup>	<b>A</b>	40.280 km <sup>2</sup>
Perímetro	km	<b>P</b>	1.146,86 km
Rede de drenagem	km	<b>Rd</b>	Dendrítico
Número de Canais	-	<b>NC</b>	6322
Comprimento Total dos Canais	km	<b>CTC</b>	21.237,68 km
Altitude Máxima da Bacia	m	<b>AMB</b>	500 m
Amplitude Altimétrica Máxima	m	<b>AAB</b>	495 m
Amplitude Altimétrica Mínima	m	<b>AAM</b>	5 m
Comprimento do Canal Principal	km	<b>L</b>	695,64 km
Distância Vetorial do Canal Principal	km	<b>DVCP</b>	442,86 km
Declividade ( <i>slope</i> )	%	<b>S</b>	0 – 147 %
Ordem dos canais (Strahler, 1952)	-	<b>O</b>	6 <sup>a</sup> Ordem
Densidade de Drenagem	$Dd = Lt / A$	<b>Dd</b>	0,53 km/km <sup>2</sup>
Densidade Hidrográfica	$Dh = N / A$	<b>Dh</b>	0,114 km <sup>2</sup>
Fator de Forma	$Kf = A / L^2$	<b>Kf</b>	0,21
Índice de Circularidade	$IC = 12,57 \times A / P^2$	<b>IC</b>	0,39
Índice de Sinuosidade	$Is = L / Dv$	<b>Is</b>	1,57
Coefficiente de Manutenção	$1/Dd \times 1.000$	<b>Cm</b>	1884,84 m <sup>2</sup> /m
Extensão do Percurso Superficial	$Eps = 1 / 2Dd$	<b>Eps</b>	265,27 m
Gradiente de Canais	$Gc = Amax / L$	<b>Gc</b>	0,72 m/km
Relação de Relevo	$Rr = Hm / Lc$	<b>Rr</b>	0,71 m/km

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Figura 46 – Drenagem altamente complexa da bacia do rio Pindaré.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

A análise hidrográfica foi realizada utilizando a metodologia proposta por Strahler (1952), mas pela grande complexidade hidrográfica e pela falta de algoritmos que utilizem um método de cálculo baseado em *shapefiles* do tipo linha de caráter automatizada, foi necessário realizar o processo de simplificação das drenagens, excluindo os canais não visíveis a uma escala fixada em 1:250.000, considerando as imagens de satélite *Rapideye* (2011 a 2014).

A hidrográfica do rio Pindaré apresentou uma hierarquia de 6ª ordem. Não tão distante, Silva *et al.* (2022) descreve em seu estudo a bacia hidrográfica do rio Itacaiúna (amazônico). Ela apresenta uma extensa ramificação de 5ª ordem, com área de drenagem de 41.732 km<sup>2</sup>, bem como características semelhantes ao Pindaré, divergindo apenas no formato achatado da bacia, em relação os parâmetros morfométricos que se demonstram aproximados conforme o quadro (10).

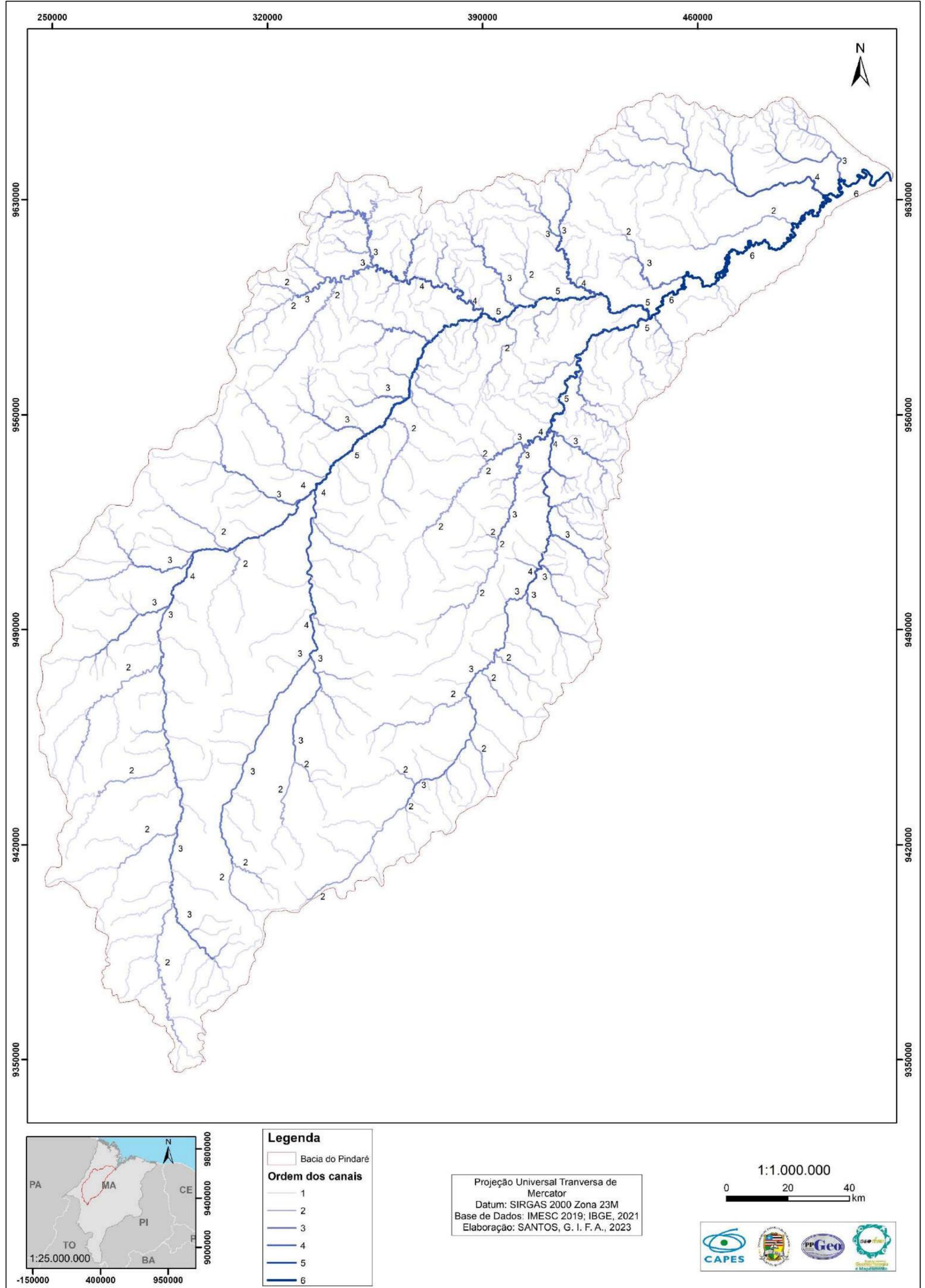
Quadro 10 – Características morfométricas da bacia hidrográfica do Itacaiúna.

<b>Características Geométricas</b>				
Variável	Símbolos	Unid.	Fórmula	Resultado
Área da Bacia	A	Km <sup>2</sup>		41.732,00
Perímetro da bacia	P	Km		1.782,13
Densidade hidrológica	Dh	Canais/km <sup>2</sup>	$Dh = N/A$	7,67
Índice de circularidade	Ic		$Ic = 12,57 \times A/P^2$	0,29
Fator de forma	Kf		$Kf = A / Ev$	0,63
Coeficiente de compacidade	Kc		$Kc = 0,28 \times P / \sqrt{A}$	0,64
<b>Características de Rede de Drenagem</b>				
Comprimento total dos canais	Lt	Km		6.639,70
Comprimento do canal principal	L	Km		479,90
Comprimento vetorial do canal principal	Ev	Km		255,97
Densidade de drenagem	Dd	Km/km <sup>2</sup>	$Dd = Lt / A$	0,16

Fonte: Silva *et al.*, (2022).

O rio principal atinge no alto curso a 4ª ordem, com os seguintes afluentes: rio Casa Só (3ª ordem) e Novo Córrego (4ª ordem). A partir do médio, o principal encontra-se com um dos tributários, o rio Buriticupu (5ª ordem). E continua rumando no sentido nordeste até se encontrar no baixo curso da bacia, com o rio Zutiua (6ª ordem), conforme Figura 47.

Figura 47 – Mapa de hierarquia de Drenagem, conforme Strahler (1952).



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Neste contexto, a análise da bacia revelou uma predominância de canais de primeira ordem, representando 50% do total de segmentos mapeados (conforme apresentado no Quadro 11). Os canais estão distribuídos por todas as direções da bacia, indicando a vulnerabilidade da paisagem aos processos erosivos causados pela dinâmica fluvial. Ressalta-se que os rios de primeira ordem possuem uma influência significativa na esculturação e modelagem do relevo, sugerindo possível controle estrutural, como falhas, fraturas ou dobramentos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Quadro 11 – Número de canais por ordem hierárquico.

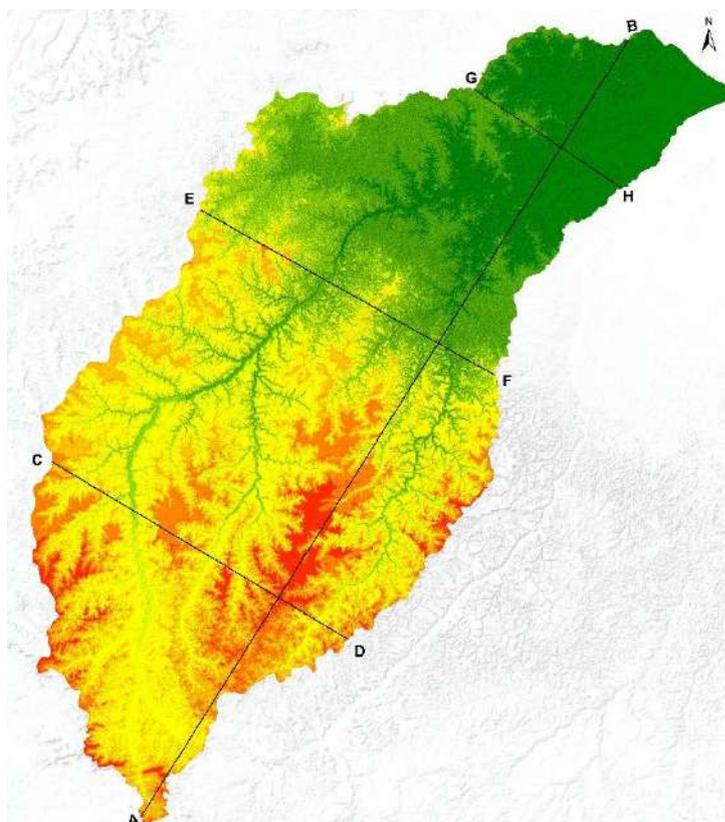
Ordem	Total de Canais	%
1 <sup>a</sup>	490	50
2 <sup>a</sup>	248	25
3 <sup>a</sup>	135	14
4 <sup>a</sup>	51	5
5 <sup>a</sup>	42	4
6 <sup>a</sup>	7	1
Total	973	

Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

No estudo conduzido por Lima (2013), que abordou a bacia hidrográfica do Pindaré pertencente a do rio Mearim, foi identificada uma hierarquia de quinta ordem. Esse resultado mais baixo pode ser atribuído à limitação de escala dos dados disponíveis naquela época. No entanto, é importante ressaltar que os avanços cartográficos realizados pelos estudos do IMESC (2019) têm contribuído para uma compreensão mais precisa e atualizada dessa hierarquia.

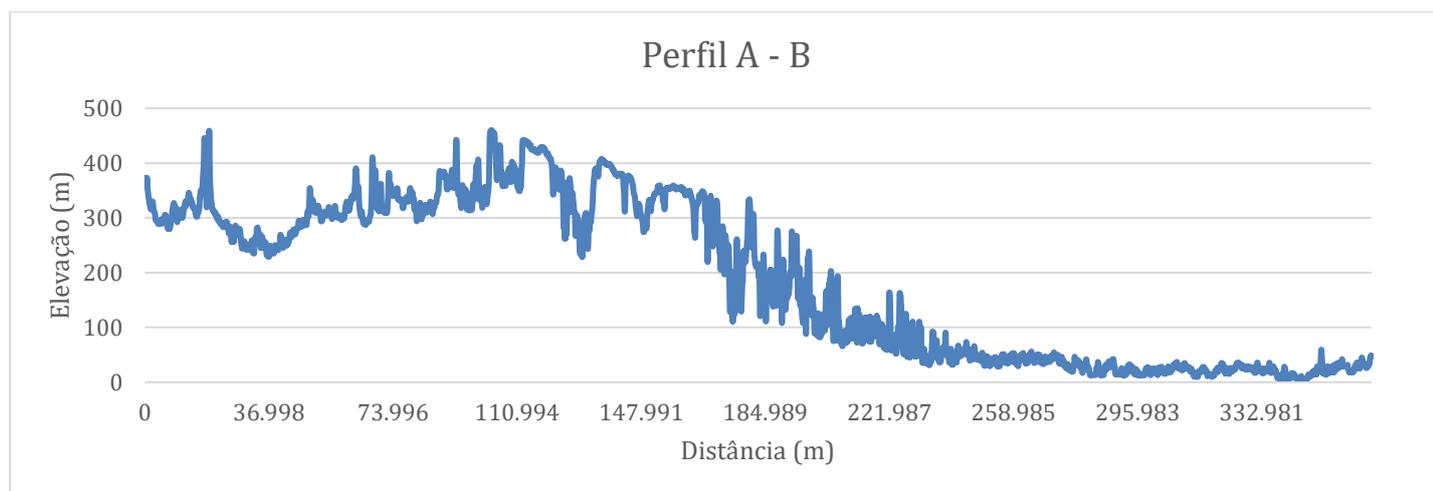
A geomorfologia presente no alto e em parte do médio curso da bacia demonstrou-se uma barreira para a criação e manutenção dos canais de drenagem. Neste sentido, foram elaborados perfis topográficos para detalhar as características que compõem o comportamento do relevo (Figura 48 a 52).

Figura 48 – Identificação e localização dos Perfis Topográficos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

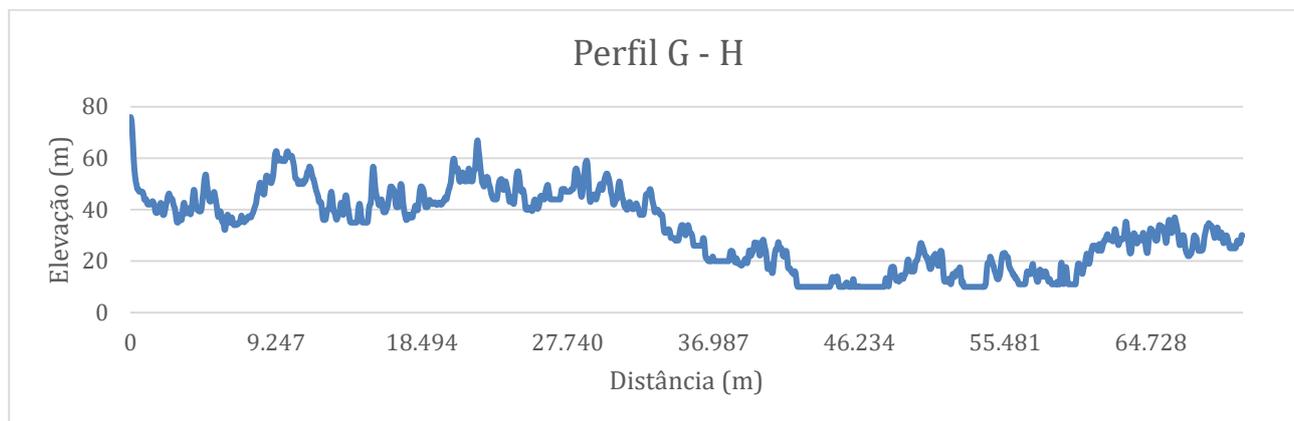
Figura 49 – Perfil topográfico A-B.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).



Figura 52 – Perfil topográfico G-H.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

Desta forma, a presença de platôs, planaltos tabulares, morros, mesas e mesetas criam obstáculos para o fluxo da água, interferindo na formação e manutenção dos canais de drenagem, influenciando de forma negativa os índices de densidade de drenagem e densidade hidrográfica. Apresentam-se valores baixos, de 0,53 km/km<sup>2</sup> e 0,114 km<sup>2</sup>. Essas formas de relevo atuam como divisores de água para sub-bacias, direcionando o escoamento superficial para os rios. Por outro lado, apenas esse fator isolado não explica completamente o resultado mínimo dos parâmetros. Sendo assim, as seguintes hipóteses podem ser consideradas ligadas a fatores climáticos, geológicos ou antrópicos; ou mesmo a baixa precisão dos parâmetros para bacias com uma grande área.

Esse controle estrutural é observado no curso principal do rio Pindaré e em todos os tributários que fluem exatamente nos elementos estruturais e fraturas sentido SSW-NE (rio Pindaré), S-N (rio Buriticupu), SE-NE (rio Zutiua) e NNW-NE (rio Caru).

Os lineamentos, de acordo com Suguio (1998), são definidos como qualquer característica linear identificável em fotografias aéreas, tais como a direção de drenagem e desenvolvimento da cobertura vegetal. Essas feições podem representar elementos geológicos, geomorfológicos, geofísicos e geoquímicos em escala regional, frequentemente associados a zonas de fraturas ou vinculados a falhas.

A bacia hidrográfica exhibe os maiores agrupamentos de canais de primeira ordem, situados entre o médio e baixo curso, nas proximidades da serra do Tiracambu, na direção NNW-ENE. Essa região, classificada por Rodrigues *et al* (1994) como uma zona de ruptura de relevo devido a uma extensa falha, foi confirmada por análises aeromagnetométricas e

gravimétricas disponibilizadas pela Petrobras. A geomorfologia local caracteriza-se por declividades acentuadas, sendo classificada como colinoso (45 – 75%) e fortemente colinoso (>75%), com a presença proeminente de morros e morrotes.

Assim, em relação às variáveis pedológicas, destaca-se a prevalência do Argilossolo Vermelho-Amarelo. Suas características, como a abundância de argila no horizonte "A", propiciam o escoamento superficial devido à declividade. Além disso, considerando a condutividade hidráulica da argila quando saturada com água, a infiltração é inviabilizada.

De acordo com os parâmetros de índice de circularidade que apresentou um valor de 0,39 associados ao fator de forma (Kf) de 0,21. Os valores corroboram para um formato alongado e com baixa propensão de enchentes em condições normais de pluviosidade. Entretanto, condições anormais, caracterizadas por chuvas excessivas no alto curso da bacia podem causar pontos de inundações e alagamento. Principalmente em canais de ordem elevada, por sua extensa área de drenagem e alto número de canais, os quais se convergem, aumentando o volume de água drenado para o exultório.

Em relação à densidade de drenagem, a bacia apresentou um resultado de 0,53 km/km<sup>2</sup>, o que, conforme a literatura, é classificada por uma bacia com drenagem regular (Quadro 12).

Quadro 12 – Classificação de densidade de drenagem.

Bacias com drenagem pobre	$Dd < 0,5 \text{ km/km}^2$
Bacias com drenagem regular	$0,5 \leq Dd < 1,5 \text{ km/km}^2$
Bacias com drenagem boa	$1,5 \leq Dd < 2,5 \text{ km/km}^2$
Bacias com drenagem muito boa	$2,5 \leq Dd < 3,5 \text{ km/km}^2$
Bacias excepcionalmente bem drenadas	$Dd \geq 3,5 \text{ km/km}^2$

Fonte: adaptado de Carvalho e Silva, 2006.

A densidade hidrográfica representa o comportamento da bacia, para determinar a capacidade de gerar novos cursos de água. Dessa forma, utilizando a proposta de Horton (1945), foram obtidos valores extremamente baixos para a bacia hidrográfica do Pindaré, de 0,1144 km<sup>2</sup>.

O índice de sinuosidade dos canais está diretamente ligado à velocidade de escoamento de água no rio, que por sua vez, influenciam na erodibilidade dos solos. De

acordo com Freitas (1952), valores de  $I_s$  próximos a 1 indicam canais retilíneos, superiores a 2 indicam sinuosos e os intermediários são formas transicionais. O resultado encontrado na bacia foi 1,57, caracterizando um canal parcialmente retilíneo. Esse valor é explicado pelo controle litológico imposto por falhas e fraturas, exercido nos rios da bacia, onde eles fluem encaixados nesses elementos estruturais.

Levando em conta as classes de solos presente na bacia hidrográfica, as mais vulneráveis a erosão hídrica são os Neossolos, Plintossolos e os Latossolos por suas características de constituição. Já os solos Hidromórficos ou que possuem argila em sua composição como Argilossolos, Gleissolos e Luviosolos tendem a resistir mais a esses processos.

O coeficiente de manutenção ( $C_m$ ) da bacia hidrográfica foi de 1884,84 m<sup>2</sup>/m. Morais e Almeida (2010) reconhecem que esse valor é inversamente proporcional à densidade de drenagem. Esse dado representa qual é a área necessária para a manutenção de um metro de curso fluvial perene. Ou seja, na bacia hidrográfica do Pindaré são necessárias uma área de 1884,84 m<sup>2</sup>/m para manter ativo um metro (m) de canal fluvial, também indica que bacia é úmida durante o ano. Esse parâmetro pode ser relacionado à precipitação mensal/anual e solos, para identificar a propensão a inundação em eventos críticos de chuva. Sendo assim, áreas com solos argilosos, citados anteriormente, são mais propensas ao escoamento superficial. A declividade do relevo no médio curso, devido a falhas geológicas, pode aumentar o risco de enxurradas e inundações.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Levando em conta o que foi exposto, o atual estudo obteve dados dos componentes fisiográficos, geomorfológicos e morfométricos para a compreensão do comportamento da bacia hidrográfica do Pindaré. Esta iniciativa teve a meta de analisar a bacia de forma única, delineando os parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Pindaré.

Esta razão permite entender a dinâmica dos processos naturais e antrópicos, auxiliando na gestão dos recursos naturais e redução de riscos ambientais. A espacialização desses parâmetros é vital para visualizar e compreender a distribuição desses indicadores, simplificando a identificação de áreas vulneráveis, o que possibilita o desenvolvimento de estratégias específicas para cada área. O uso destas ferramentas, junto a outras técnicas de análise, é crucial para um planejamento ambiental eficaz e sustentável.

A pesquisa iniciou com a identificação de bases cartográficas sobre a área de estudo, bem como os levantamentos bibliográficos e realizações de trabalhos de campo. Espera-se que os dados possam contribuir para a realização de pesquisas futuras e subsidiar tomadas de decisões que visem a preservação e o desenvolvimento dos municípios presentes na bacia hidrográfica do Pindaré.

A base hidrográfica foi o elemento crucial e mais bem trabalhado, por meio de adaptações que permitiram a hierarquização dos canais, minimizando assim problemas cartográficos com a remoção de canais muito pequenos, que poderiam prejudicar a visualização do produto dos mapas. Em decorrência disso, a análise do padrão de drenagem resultou na coordenação colaborativa entre dois processos: os continentais e costeiros.

Sendo assim, o continental localizado no alto médio e uma porção do baixo curso da bacia são caracterizados por uma extensa rede de drenagem bem desenvolvida, com a presença de um ambiente fluviolacustre consolidada no baixo. Dada a situação, os costeiros localizam-se no final da bacia, no baixo nível, próximo ao encontro com o rio Mearim. Pode-se observar uma tímida zona de transição constituída por uma rasa vegetação de manguezais que evidenciam a influência de agentes oceanográficos.

A princípio, os parâmetros morfométricos obtidos da bacia hidrográfica do rio Pindaré demonstra-o como pouco suscetível a inundações em condições normais de chuva. Em contrapartida, com condições excepcionais correlacionadas a características geoambientais, a referida demonstra suscetibilidades locais, demandando atenção ao monitoramento no baixo e médio curso, essencialmente impostas por fatores pedológicos que

promovem o escoamento superficial. Sendo associados a fatores geológicos e geomorfológicos, percebeu-se a presença de falhas que proporcionam um relevo declivoso, propício para eventos de enxurrada a depender do tempo de concentração de chuvas.

Esse aspecto, ligado à área de captação da bacia e quantitativo de canais nessas localidades, especialmente por se tratar de uma bacia de 6.<sup>a</sup> Ordem, demanda atenção. Isso ocorre porque canais de ordens elevadas estão associados a trechos de maior volume de água. À medida que os secundários convergem e se juntam ao leito principal, o fluxo de água aumenta, podendo gerar pontos de inundações a jusante dessas áreas.

O sistema de drenagem revela o controle morfoestrutural imposto pelos lineamentos, falhas geológicas e fraturas nos rios Pindaré, Buriticupu, Caru e Zutuia. Estas características são confirmadas pela forma dos rios, evidenciadas pelos parâmetros de índice de sinuosidade com valores próximos a 1,50, e relação de relevo e gradientes de canais, com valores próximos a 0,71 e 0,72, respectivamente. O padrão dos canais se mostra sinuoso apenas no baixo curso da bacia hidrográfica, apresentando meandros e um sistema fluviolacustre bem desenvolvido.

Além disso, a hierarquia revelou informações relevantes como a predominância de canais de primeira ordem, espalhados por toda bacia. Através dessa informação, é possível inferir que os processos erosivos impostos por esses canais estão esculpindo o relevo da bacia como um todo, transportando esses sedimentos para os lagos presentes na planície de inundação no baixo curso.

Posteriormente foi detectada uma alta concentração desses canais em falhamentos, localizada na serra Tiracambu no sentido Nor–noroeste e Lés–nordeste (NNW-ENE), que atravessa toda a bacia. Nessa área encontram-se as maiores declividades da bacia, caracterizadas por um relevo fortemente colinoso >75%, as classificando como Superfícies com Colinas Dissecadas, Morros e Morrotes.

As áreas de vegetação preservada estão localizadas nas terras indígenas, o que contribui para a manutenção da recarga de aquíferos, responsáveis por abastecer os fluxos superficiais dos rios. No quesito geomorfológico, essas áreas apresentam um relevo mais preservado, com menos pontos de dissecação, e a resistência morfoestrutural pode estar relacionada a eventos de neotectônica e as coberturas lateríticas maduras, que, por sua vez, são mais resistentes e influenciam principalmente na macroporosidade do solo. Associado a presença da vegetação, isto potencializa os efeitos da percolação da água no solo.

A bacia hidrográfica do Pindaré é complexa em todos os sentidos. Ela é expressa em uma área de 40.280 km<sup>2</sup>, um desafio frente a ampla extensão territorial. Dessa forma, o levantamento e organização de materiais cartográficos frente as diferentes escalas e fontes, tornou-se uma tarefa árdua e demorada, pois a hidrografia foi retrabalhada para a compatibilização com a pesquisa, o que, de certa forma reduziu a densidade de drenagem representada em todos os mapas elaborados. Entretanto, o processo foi necessário para eliminar os canais menores, que estavam saturando o visual os mapas. Para contornar esse problema, os cálculos morfométricos foram realizados na drenagem original.

No mais, esta pesquisa expressa a ampla e complexa interação dos componentes geoambientais. Estes, por sua vez, influenciam na morfometria da bacia do Pindaré, apresentando características singulares, que devem ser estudas ainda mais, principalmente no quesito de análises geomorfológicas.

## REFERÊNCIAS

ABREU, A. A. de. Surell e as leis da morfologia fluvial. **Caderno Craton e Intracraton**, (7), p. 1-13. São José do Rio Preto: UNESP, 1980.

ABREU, B. V. **Estudos hidrológicos da bacia do Rio Pindaré-Mirim**. 2013. Projeto de Final de Curso, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Comitês de Bacias Hidrográficas**: bacias estaduais. Disponível em: < <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/fortalecimento-dos-entes-do-singreh/comites-de-bacia-hidrografica/comites-estaduais/ma> > Acesso em: 8 mar. 2012.

ALVES, J. M. P. e CASTRO, P. T. A. Influência de feições geológicas na morfologia da bacia do rio Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análises de padrões de lineamentos. **Ver. Brasileira de Geociências**, 2003, p. 117 – 1245.

ANAISSE JÚNIOR, J. **Faces costeiras dos depósitos Itapecuru (Cretáceo), região de Açailândia, bacia do Grajaú**, 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Belém, 1999.

BARBOSA J. A. R. **Apostila Hidrologia Aplicada – Bacia Hidrográfica**. [S.l.]: [s.n.], [s.d.].

Disponível em: < [https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17403/material/Cap2%20-%20Bacia%20Hidrografica\\_UFOP.pdf](https://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17403/material/Cap2%20-%20Bacia%20Hidrografica_UFOP.pdf) >. Acesso em: 29 jul. de 2023.

BARBOSA, G. V.; PINTO, M. N. Geomorfologia. *In*: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto Radam. **Folha SA.23 – São Luís e parte da folha SA.24 – Fortaleza**: geologia, geomorfologia, solos, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973. il. p. II/7-II/21. (Levantamentos de recursos naturais, 3).

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. Petrópolis: Vozes, 2009.

BERTOLINI, W. Z. **O conceito de equilíbrio em Geomorfologia**. Campinas, SP: Terrae Didat, 2019. v. 15, p. 1-17.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia física global. **Esboço metodológico**. Un. de São Paulo, Inst. de Geografia, Cadernos de Ciências da Terra, no. 18, 1971, p. 1-27.

\_\_\_\_\_. Paisagem e geografia física global: Esboço metodológico. **Cadernos de Ciências da Terra**, São Paulo: Instituto de Geografia da USP, n. 13, 1972.

BESSA, L. S. *et al.* **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 361 p.

BRACKEN, L. J.; WAINWRIGHT, J. **Geomorphological equilibrium: myth and metaphor?** *Transactions of the Institute of British Geographers*, n. 31, p. 167-178, 2006.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**, Viçosa: UFV, 2002. 98 p.

BRASIL, Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. BRASÍLIA, 2012.

\_\_\_\_\_. Departamento Nacional de Produção Mineral. **PROJETO RADAM**. Rio de Janeiro, 1973. Levantamento de Recursos Naturais vol. II e III.

\_\_\_\_\_. Lei Federal nº 9433 de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos**, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal e altera o Art. 1º da Lei nº 8.001 de 13 de março de 1990 que modificou a Lei nº 7990 de 28 de dezembro de 1989 e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, jan. 1997.

\_\_\_\_\_. LEI Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa**; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 25 mai. 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Portaria Nº 2914, de dezembro de 2011. **Estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 2011.

CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. B.; MARTINS, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v.30, n.2, p.241-248, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a11v30n2.pdf>>. Acesso em: 19 out. 2020.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B.; **Hidrologia – Cap. 3: Bacia Hidrográfica**. UFRRJ, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

CATÁLOGO DE TESES DA CAPES. **Catálogo de Teses e Dissertações**. Disponível em: <[tps://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses](https://catalogodeteses.capes.gov.br/catalogo-teses)>. Acesso em: 13 jun. 2022.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encosta na interface com a Geomorfologia. *In.*: GUERRA, A. J. T. & CUNHA S. B. da (Orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 6ª edição, 2005. Cap. 3, p 93-148.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**. Campinas, v. 9, n.18, p. 35-64, 1969

\_\_\_\_\_. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 236 p.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.

\_\_\_\_\_. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1974.

COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). **Site da CPRM**. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/>>. Acesso em: 20 mai. 2023.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 2006. **Dispõe sobre critérios para a elaboração de estudos de impacto ambiental (EIA) e respectivo relatório de impacto ambiental (RIMA)**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 fev. 2006. Seção 1, p. 58-63.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 303, de 20 de março de 2002. **Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de emissão de ruídos em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1º abr. 2002. Seção 1, p. 127-129.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Estabelece a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

\_\_\_\_\_. Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. **Estabelece a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 abr. 2008. Seção 1, p. 58-61.

COSTA, R. C. A. **Indicadores morfométricos: uma ferramenta no diagnóstico da vulnerabilidade ambiental**. 2015, 78 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2015.

COSTA, M. L. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 2, p. 146-160, jun. 1991.

CUNHA, S. B. da; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 2 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

DAVIS, W. M. *Base level, grade and peneplain*. **Journal of Geology**, v. 10, p. 77-111, 1902.

\_\_\_\_\_. *Base-level, grade and peneplain*. In: JOHNSON, D. W. (Ed.). **Geographical Essays**. Dover Publications, Inc. 1954, p. 381-411.

\_\_\_\_\_. *The Geographical Cycle*. **Geographical Journal**, v. 14, p. 481-504, 1899.

DINIZ, M. T. M. OLIVEIRA, G. P.; MEDEIROS, D. B. S. Proposta de classificação das paisagens integradas. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 1, n. 1, p. 50-65, 30 jun. 2015.

ELORZA, M. G. **Geomorfologia**. Madrid: *Pearson educación*, 2008.

EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos Rio de Janeiro. **Levantamento de Reconhecimento de Média Intensidade dos Solos e Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras da Área do Polo Pré-Amazônia Maranhense**, 1982. Boletim de Pesquisa n° 15.

\_\_\_\_\_. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos Rio de Janeiro. **Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado do Maranhão**. Volume 1, 1986. Boletim de Pesquisa n° 35.

\_\_\_\_\_. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos Rio de Janeiro. **Levantamento Exploratório – Reconhecimento de Solos do Estado do Maranhão**. Volume 2, 1986 (Boletim de Pesquisa n° 35).

\_\_\_\_\_. **Manual De Métodos De Análise De Solo**. Rio de Janeiro, 1979.

\_\_\_\_\_. **Site da Embrapa**. 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br>>. Acesso em: 15 mar. 2023.

\_\_\_\_\_. **Chave do SIBCS: Latossolos Amarelos**, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/solostropicais/sibcs/chave-do-sibcs/latossolos/latossolos-amarelos>>. Acesso em: 09 maio 2023.

FRANCISCO, B. H. R. *et al.* Contribuição à geologia da folha de São Luís (SA-23), no Estado do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, n. 17, 45 p. 1971.

FEITOSA, A. C.; TROVÃO, J. R. **Atlas escolar do Maranhão: espaço Geo-histórico e cultural**. João Pessoa: Grafset, 2006.

FERREIRA A.N.P *et al.* **Águas subterrâneas: Um recurso a ser conhecido e protegido**. Brasília: MMA, 2007.

FERREIRA, D. F. **Análise Multitemporal do Uso e Cobertura da Terra e as Pressões Exercidas sobre a Bacia Hidrográfica do Rio Pindaré - MA**. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia), Universidade Estadual do Maranhão, 2023.

FERREIRA, P. J. G.; BEZERRA, I. S. Bacia hidrográfica do riacho Engenho Velho: morfometria, uso potencial da terra e conflito do uso da terra. **Revista Ambiental**, Paraíba, v.1, n. 1, p. 59-70, 2015.

FERREIRA, V. O. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **GeoTextos**, vol. 6, n. 2, p. 187-208, dez. 2010.

LEOPOLD, L.B.; WOLMAN, M.G. *River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight*. U.S. **Geological Survey Professional Paper**. 282-B,1957. 51p.

FREITAS, R. O. Textura de drenagem e sua aplicação geomorfológica. **Boletim Paulista de Geografia**, v. 11, p. 53-57, 1952.

GILBERT, G. K. *The Geology of the Henri Mountains. United States Geographical and Geological Survey of the Territories*, Washington, 1877.

\_\_\_\_\_. *The convexity of hilltops. The Journal of Geology*, v. 17, n. 4, p. 344-350, 1909.

GÓES, A. M. **A Formação Poti (carbonífero inferior) da Bacia do Parnaíba**. 1995. 171 f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

\_\_\_\_\_. **Estudos sedimentológicos dos sedimentos Barreiras, Ipixuna e Itapecuru no nordeste do Estado do Pará e nordeste do Maranhão**. 1981. 55 f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal do Pará, Belém, 1981.

\_\_\_\_\_.; FEIJÓ, F. J. Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 57-67, jan/mar 1994.

GONÇALVES, R. A.; CARVALHO, I. S. Contribuição ao estudo da sedimentação da Formação Itapecuru – região de Itapecuru-Mirim, bacia do Parnaíba (Cretáceo Inferior) - Maranhão – Brasil. **Revista de Geologia**, v. 9, p. 75-81, 1996.

GREGORY, K. J.; LEWIN, J. *A hierarchical framework for concepts in physical geography. Progress in Physical Geography*, v. 42, n. 6, p. 721-738, 2018.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

\_\_\_\_\_.; CUNHA, Sandra Baptista da (Orgs.). **Geomorfologia: Uma Atualização de Bases e Conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.

\_\_\_\_\_. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

\_\_\_\_\_.; VITTE, A. C. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 280 p.

HACK, J. T. *Interpretation of erosional topography in humid temperate regions. American Journal of Science*, v. 258A, p. 80-97, 1960.

HORTON, R. E. *Erosional development of streams and their drainage basin: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin*, v.3, n.56, p.275-370, 1945.

HOUAISS, A.; VILLAR, M. S. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Ed. Objetiva, 2001. 2922p.

HUMBOLDT, A. von. **Kosmos: Ensaio dos princípios da geografia física**. Trad. de H. L. Alves. São Paulo: Editora Schwarcz S.A., 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Site do IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

\_\_\_\_\_. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros**. Rio de Janeiro: IBGE, 1959. v. XV.

\_\_\_\_\_. **Projeto**: Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais; Tema: Geologia; Geomorfologia; Hidrografia; Pedologia; Vegetação; Assunto: Transformação de formato e estrutura da Base de Dados; Data: março 2009/ Versão I; Nível de detalhe compatível com a escala 1:250.000, apresentados no recorte Amazônia Legal (IBGE, 2009). Disponível em: <[https://downloads.ibge.gov.br/downloads\\_geociencias.htm](https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm)>. Acesso em: 19 mar. 2021.

INSTITUTO MARANHENSE DE ESTUDOS SOCIOECONÔMICOS E CARTOGRÁFICOS (IMESC). **Evolução Político-administrativa do Estado do Maranhão**. 2<sup>a</sup> ed. – São Luís: IMESC, 2021.

\_\_\_\_\_. **SUMÁRIO EXECUTIVO DO ZONEAMENTO ECOLÓGICO ECONÔMICO DO ESTADO DO MARANHÃO (ZEE)**: etapa Bioma Amazônico. CATUNDA, Paulo Henrique de Aragão; DIAS, Luiz Jorge Bezerra da Silva (orgs.). São Luís: IMESC, 2019.

\_\_\_\_\_. **Site Oficial do IMESC**. Disponível em: <<https://imesc.ma.gov.br/portal/Home>>. Acesso em: 05 jan 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Site Oficial do INMET**. Disponível em: <[www.inmet.gov.br/](http://www.inmet.gov.br/)>. Acesso em: 28 jul. 2023.

JESUS, V. C. de. **Análise da geomorfologia fluvial da bacia do Rio Preguiças: Padrões de drenagem na região dos Lençóis Maranhenses**. 2021. 147 p. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Geografia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

KING, L. C. A geomorfologia do Brasil oriental. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 247-265, 1956.

KOTSCHOUBEY, B. *et al.* Caracterização e gênese dos depósitos de bauxita da Província Bauxitífera de Paragominas, noroeste da Bacia do Grajaú, nordeste do Pará/ noroeste do Maranhão. *In*: MARINI, O. J.; QUEIROZ, E. T.; RAMOS, B. W. (Coords.). **Caracterização em depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia**. Brasília, DF: DNPM, 2005. p. 687-776.

LEITE, J. F.; ABOARRAGE, A. M.; DAEMON, R. F. **Projeto carvão na Bacia do Parnaíba**: relatório final das etapas II e III. Recife, PE: DNPM; CPRM, 1975. 5 v.

LIMA, A. S. **Análise geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Mearim – MA a partir do quadro geológico regional**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

LIMA, E. A. M.; LEITE, J. F. **Projeto estudo global dos recursos minerais da bacia sedimentar do Parnaíba**: integração geológico-metalogenética: relatório final, etapa III. Belém: Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM); Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 1978. v. 1, 190 p.

LIMA, M. A. Planejamento urbano: utilização de Sistemas de Informação Geográfica – SIG na avaliação socioeconômica e ecológica – um estudo de caso. *In: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A. (Coord.). Economia do meio ambiente: teoria, políticas, e a gestão regional.* Campinas: UNICAMP, 1996. p. 218-239.

LIMA, M. I. C. **Análise de drenagem e seu significado geológico-geomorfológico.** Belém: UFPA, 2006, 222 p.

MEDEIROS, *et al.* Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Buriticupu, Maranhão – Brasil: o Relevo como Elemento Chave. **Sociedade e Natureza.** Uberlândia, MG: v. 35, e66679, 2023.

MORAIS, F.; ALMEIDA, L. M. de. Geomorfologia Fluvial da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Jaú, Palmas, estado do Tocantins. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium,** Uberlândia, v. 1, n. 2, p. 331-351, jul/dez 2010.

KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Maranhão:** Sistema de Informações Geográficas – SIG: texto explicativo dos mapas Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Maranhão. Escala 1:750.000. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2012.

LINSLEY, R.K. Jr.; FRANZINI, S. B. **Bacias. Engenharia de Recursos Hídricos.** Tradução e adaptação de Luiz Américo Pastorino. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978.

LOVATO, O. G. *et al.* **Barra do Corda. Folha SB.23-VD: Estado do Maranhão.** Escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1994. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil – PLGB.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **Raega – O Espaço Geográfico em Análise,** [S.l.], v. 8, dec. 2004.

MEDEIROS, R. B., SANTOS, L. C. A., BEZERRA, J. F. R., SILVA, Q. D., MELO, S. N. Vulnerabilidade Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Buriticupu, Maranhão – Brasil: o Relevo como Elemento Chave. **Revista Sociedade e Natureza.** Uberlândia, MG, v. 35. 2023

MIALL, A. D., *A Review of the Braided-River Depositional Environment.* **Earth Science Reviews,** 13. 1-62 pp. 1977.

MILLER, V. C. *A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain área.* **Technical Report, Dept. Geology. Columbia University,** 1953.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura.** São Paulo: Contexto, 2001.

NASCIMENTO, F. R. DO; SAMPAIO, J. L. F. Geografia física, geossistemas e estudos integrados da paisagem. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS),** v. 6, n. 1, 11, 2004.

NÚCLEO DE GEOPROCESSAMENTO DA UEMA – NuGeo. **Site do Núcleo de Geoprocessamento da Universidade Estadual do Maranhão**. 2009. Disponível em: <<https://www.nugeo.uema.br/>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

PEREIRA, E. D. **Vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do Aquífero do Reservatório Batatã**. Tese (Doutorado) – Instituto de Geociências e Ciências exatas. Unesp; Rio Claro, 2006.

PAZ, F. N. V. da. (2013). **Diagnóstico Físico-Conservacionista na Bacia do Ribeirão Lajes, Aragominas – TO**. Dissertação (Mestrado). Fundação Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2012.

PERIÓDICOS CAPES. **Site dos Periódicos CAPES**. Disponível em: <<https://www-periodicos-capes.gov.br.ez1.periodicos.capes.gov.br/index.php?>>. Acesso em: 10 mai. 2022.

PESQUISA FAPESP. **O povo das águas**, 2019. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/o-povo-das-aguas/>>. Acesso em: 01 nov. 2022.

PISSARRA, T. C. T. *et al.* Morfometria de microbacias do córrego Rico, afluente do rio Mogi-Guaçu, estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 34, n. 4, p. 669-676, 2010.

PRESS, F, SIEVER R., GROTZINGER, J; JORDAN, T. H. **Para entender a Terra**. 4. Ed. Porto Alegre: *Bookman*, 2006. 656 p.

REVISTA BRASILEIRA DE GEOMORFOLOGIA. **Site da Revista Brasileira de Geomorfologia**. Disponível em: <<https://rbgeomorfologia.org.br/rbg>>. Acesso em: 03 jan. 2023.

RODRIGUES, T. L. N. *et al.* (Org) **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**: São Luís, Folha SA-23-2-A, Cururupu Folha SA-23-X-C, escala 1:250.000. CPRM; Brasília, 1994.

\_\_\_\_\_. **Bacabal. Folha SA.23-X-A**: Estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília, DF: CPRM, 1994b. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil (PLGB).

RODRIGUES, V. H. *et al.* Estratigrafia física da Formação Poti na região de Floriano, Bacia do Parnaíba, oeste do estado do Piauí. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 1, 2001, Natal. **Anais...** Natal, RN: UFRN-SBQ Regional RN, 2001.

ROSSETTI, D. F. Arquitetura Depositional da Bacia de São Luís-Grajaú. *In*: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; TRUCKENBRODT, W. (Coords.). *Sequence stratigraphy and depositional evolution of Itapecuru Formation (Late Cretaceous) in the São Luís Basin, northern Brazil*. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 19, p. 111-126, 1996.

\_\_\_\_\_; TRUCKENBRODT, W. Revisão estratigráfica para os depósitos do Albiano-Terciário Inferior na Bacia de São Luís, Maranhão. *In*: **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi – Série Ciência Terra**, 9, 29-41, 1997.

\_\_\_\_\_; GOES, A. M.; SOUZA, L. S. B. Estratigrafia da sucessão sedimentar Pós-Barreiras (zona Bragantina, Pará) com base em radar de penetração no solo. **Revista Brasileira de Geofísica**, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 113-130, 2001.

SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2018.

SANTOS, J. H. S. dos. **Lençóis Maranhenses Atuais e Pretéritos: um tratamento espacial**. Tese (Doutorado). Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008.

SCHIER, R. A. **As concepções da paisagem no código florestal**. Dissertação (Mestrado em Ciências da Terra), Universidade Federal do Paraná, 2003a. 117 p.

SCHUMM, S. A. *Meander wavelength of alluvial rivers*. **Science**, v. 157, 1956.

\_\_\_\_\_; *Evolution and response of the fluvial system: sedimentological implications*. In: ETHRIDGE, F.G. & FLORES, R. (eds.) *Recent and ancient non-marine depositional environments: models for exploration*. Tulsa, SEMP. p. 19-29. **Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special Publication**, 1981.

\_\_\_\_\_; *A tentative classification of alluvial river channels*. U.S. Geological Survey Circular, 1963.

\_\_\_\_\_; *Explanation and Extrapolation in Geomorphology: seven reasons for geologic uncertainty*. **Transactions Japanese Geomorphological Union**. Nº 6 (1), 1985. p. 1-18. In: SCHUMM, S. A. *The Fluvial System*. Ed. The Blackburn Press. Colorado: Press, The Blackburn. 1977. 338 p.

SILVA, Q. D. da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012. 249 p.

SILVA, R. C. F.; PIMENTEL, M. A. S.; ARAÚJO, A. N. Caracterização Morfométrica e Geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiunas (BHRI), Amazônia Oriental, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1556-1563, 2022.

SMITH, K. G. *Standards for grading textures of erosional topography*. **American Journal of Science**, 248, 655–668, 1950.

SOTCHAVA, V. B. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre**. São Paulo: USP – FFLCH, Departamento de Geografia, 1973a.

SOUSA, F. R. C. de. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tapuio (Ceará–Brasil). **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 555-564. Ceará, 2016.

STEVAUX, J. C.; LATRUBESSE, E. M. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

STRAHLER, A. N. *Hypsometric analysis of erosional topography*. **Geological Society of America Bulletin**, n. 63, p.111-1141, 1952.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998, 1.222 p.

TANNÚS, R. M. **Planejamento Ambiental da Sub-bacia Zutiua, Pindaré, Região Pré-Amazônica, Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistemas), Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2012.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. DSR/INPE, 2008. Disponível em: <[www.dsr.inpe.br/topodata](http://www.dsr.inpe.br/topodata)>. Acesso em: 20 mai. 2022.

TRICART, J. **Ecodinâmica**: Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Diretoria Técnica. Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente (SUPREN), 1977.

TROLL, C. A paisagem geográfica e sua investigação. **Espaço e cultura**, Rio de Janeiro: UERJ, NEPEC, n. 2, p. 7, jun.1997.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO. **Proposta dos Programas de Pós-graduação em Biodiversidade, Ambiente e Saúde (PPGBAS) e Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço (PPGeo)**. - Programa de Desenvolvimento da Pós-Graduação (PDPG Amazônia Legal) - Edital nº 13/2020. São Luís – MA, 2020.

\_\_\_\_\_; **Site oficial da Biblioteca da Universidade Estadual do Maranhão**. Disponível em: <<https://www.biblioteca.uema.br>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

\_\_\_\_\_; **Site oficial da Biblioteca da Universidade Federal do Maranhão**. Disponível em: <<https://portais.ufma.br/PortalUfma/paginas/biblioteca.jsf>>. Acesso em: 10 mar. 2021.

VENTURI, L. A. B. A dimensão territorial da paisagem geográfica. **Anais do VI Congresso Brasileiro de Geógrafos – AGB**. Goiânia, 2004. 11 p.

VENTURIERI, A.; HOMMA, A. K. O; MENEZES, A. J. E. A. de; ARAÚJO, E. C. E.; NUNES, G. M. V. C.; NASCIMENTO JÚNIOR, J de; D. B. do; FRAZÃO, J. M. F.; SILVA, L. G. T.; TOLEDO, M. M.; VALENTE, M. A.; BUOSI, T. **Potencialidade Agrícola de Municípios ao Longo da Ferrovia Carajás-Itaqui, entre Santa Inês e São Luís, MA. Belém, PA**. Embrapa Amazônia Oriental, 2017. 129 p.

## ANEXO A – FICHA DE CAMPO: BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PINDARÉ

FICHA DE CAMPO	Equipe:	Data:			
Ponto Nº	Nº da foto	Lat.	Long.	Alt.	
Bacia Hidrográfica	Região Geográfica	Mesorregião Geográfica	Detalhe da Localização		
Vegetação e Flora/Tipos de Extratos	<input type="checkbox"/> Arbóreo <input type="checkbox"/> Arbustivo <input type="checkbox"/> Herbáceo	<input type="checkbox"/> Epifítico <input type="checkbox"/> Escandescente <input type="checkbox"/> Gramíneo	<input type="checkbox"/> Veg. Ombrófila Densa <input type="checkbox"/> Veg. Ombrófila Aberta	<input type="checkbox"/> Savana	<input type="checkbox"/> Restinga <input type="checkbox"/> Mangue
Localização e Acesso a Área:					
Aspectos Geológicos/Geomorfológicos/ do Solo					
Província	Litologia	Tipos de Rochas	Estrutura	Natureza da Rocha	
Formas de Relevo	<input type="checkbox"/> Colinas	<input type="checkbox"/> Morrotes <input type="checkbox"/> Morros	<input type="checkbox"/> Morros	<input type="checkbox"/> Dunas	<input type="checkbox"/> Escarpas
Tipos de Relevo	<input type="checkbox"/> Plano 0 a 3%	<input type="checkbox"/> Suave Ondulado 3 a 8%	<input type="checkbox"/> Forte Ondulado 8 a 20%	<input type="checkbox"/> Montanhoso 45 a 75%	<input type="checkbox"/> Escarpado Acima de 75%
Feição do Relevo Aparente:					

Toponímia (Relevo):					
Tipos de Declividade		( ) Acentuada			( ) Moderada
Estabilidade dos Taludes	( ) Baixa		( ) Média		( ) Alta
Forma da Vertente	Tipo de Encosta	Comportamento topográfico			
Rochas Expostas	( ) Baixa		( ) Média		( ) Alta
Tipo do Solo:					
Textura do Solo	( ) Argilosa	( ) Siltosa	( ) Arenosa	( ) Muito Pedregosa	
Cor do Solo	( ) Marrom Avermelhada	( ) Marrom Amarelada	( ) Marrom Escuro	( ) Marrom Claro	
Drenagem do Solo	( ) Solo Mal Drenado	( ) Imperfeitamente Drenado	( ) Moderadamente Drenado	( ) Muito Drenado	
Erosão	( ) Laminar	( ) Sulcos	( ) Ravinas ( ) Voçoroca	( ) Coluviões	( ) Deslizamento ( ) Desbarrancamento
Classe (Erosão)	( ) Não Aparente	( ) Ligeira	( ) Moderada	( ) Forte ( ) Muito Forte	( ) Extremamente Forte
Infraestrutura/Use e Ocupação da Terra					
População	( ) Aglomerado	( ) Área Urbana	( ) Área Rural	( ) Outros	
Adensamento da População	( ) Baixa		( ) Média	( ) Alta	
Intensidade de Uso da Terra	( ) Baixa		( ) Média	( ) Alta	

Usos	<input type="checkbox"/> Veg. Nativa	<input type="checkbox"/> Cana-de-Açúcar	<input type="checkbox"/> Soja <input type="checkbox"/> Milho	<input type="checkbox"/> Pastagem	<input type="checkbox"/> Silvicultura
Condições de Vias de Acesso:					
Solo Exposto	<input type="checkbox"/> Mineração	<input type="checkbox"/> Praias Arenosas	<input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/> Pecuária	<input type="checkbox"/> Queimada Recente	<input type="checkbox"/> Desmatamento
Intemperismo:					
Água					
Disponibilidade	<input type="checkbox"/> Baixa		<input type="checkbox"/> Média		<input type="checkbox"/> Alta
Rede de Drenagem	<input type="checkbox"/> Rios Encaixados	<input type="checkbox"/> Rios Meandrantés	<input type="checkbox"/> Planície Restrita	<input type="checkbox"/> Planície Expressiva	<input type="checkbox"/> Temporários <input type="checkbox"/> Perenes
Observações					
Áreas de inundação?	Afloramento Rochoso?	Focos de Queimadas Aparente?	Qual é a situação da Mata Ciliar?	Outras observações pertinentes?	

Fonte: Adaptado de Paz (2013), elaborado pelo autor (2021).