



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

VINICIUS FERREIRA DE LIMA

**ESTUDO NEOTECTÔNICO E GEOMORFOLÓGICO EM MARGEM
CONTINENTAL PASSIVA: um estudo de caso na carta topográfica Rio Mamuaba
1:25.000**

**JOÃO PESSOA
2016**

VINICIUS FERREIRA DE LIMA

**ESTUDO NEOTECTÔNICO E GEOMORFOLÓGICO EM MARGEM
CONTINENTAL PASSIVA: um estudo de caso na carta topográfica Rio Mamuaba
1:25.000**

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

Orientador: Prof. Dr. Max Furrier.

**JOÃO PESSOA
2016**

L732e Lima, Vinicius Ferreira de.
 Estudo neotectônico e geomorfológico em margem
 continental passiva: um estudo de caso na carta topográfica
 Rio Mamuaba 1:25.000 / Vinicius Ferreira de Lima.- João
 Pessoa, 2016.
 117f. : il.
 Orientador: Max Furrier
 Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN
 1. Geografia. 2. Formação barreiras. 3. Geomorfologia.
 4. Hidrografia. 5. Geologia. 6. Tectônica.

UFPB/BC

CDU: 911(043)

**ESTUDO NEOTECTÔNICO E GEOMORFOLÓGICO EM MARGEM
CONTINENTAL PASSIVA: um estudo de caso na carta topográfica Rio Mamuaba
1:25.000**

Por

VINICIUS FERREIRA DE LIMA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Aprovada em: 12/08/2016

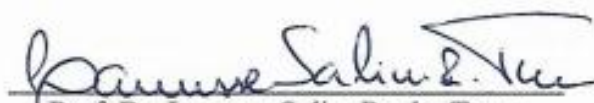
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Max Furrier
Orientador – UFPB



Prof. Dr. Jonas Otaviano Praça de Souza
Examinador Interno – UFPB



Prof. Dr. Lanusse Salim Rocha Tuma
Examinador Externo - UEPB

**JOÃO PESSOA – PB
2016**

Com carinho, dedico este trabalho a todas as pessoas que contribuíram direto ou indiretamente na construção dessa pesquisa, em especial dedico a Deus e a minha família, principalmente meus pais José Divaldo e Delma Maria às duas pessoas mais importantes da minha vida: Agradeço por sempre estarem ao meu lado, sem exceção, em todos os dias da minha vida. Muito obrigado!

AGRADECIMENTOS

A única certeza que tenho é que na vida não fazemos nada sozinhos, sempre precisamos da orientação apoio ou ajuda de alguém. Sendo assim, de coração, quero agradecer a todas as pessoas que fizeram parte da minha vida acadêmica e pessoas que contribuíram positivamente na minha formação enquanto cidadão, principalmente às que me ajudaram de alguma maneira na elaboração dessa dissertação.

Agradeço primeiramente a toda minha família, em especial aos meus pais José Divaldo e Delma Maria, e aos irmãos Vanessa e José Vitor, que foram os maiores incentivadores para que eu sempre desse o meu melhor nos estudos e na vida, me dando muitas vezes apoio financeiro, tentando me ajudar de todas as formas que puderam. Agradeço também a minha companheira Cynthia Cavalcante que vem me dando muita força na reta final dessa pesquisa. À minha Tia Josefa pelo abrigo de moradia, pois foi em sua casa que vivi boa parte da minha graduação podendo chegar a onde estou hoje. Agradeço a minha avó Almina e ao meu avô Jesus (*in memoriam*), pelas orações e cuidados. Aos meus tios Erika e Ivan, de quem tive a inspiração de ser Geógrafo.

Quero apontar a significativa contribuição do povo brasileiro que de forma consciente ou inconsciente financiou minha pesquisa, por ter me dado à oportunidade de realizar meu mestrado em uma Universidade pública, gratuita e de qualidade, recebendo também uma ajuda financeira da CAPES e do CNPq possibilitando a realização do sonho de cursar uma pós-graduação.

Desejo agradecer às pessoas que foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho: ao meu Professor e orientador Dr. Max Furrier; à minhas colegas Larissa, Thamires e aos meus colegas Alexandre, Ivanildo e Diego que sanaram muitas das minhas dúvidas, estando sempre prontos pra me ajudar, agradeço também ao meu professor e amigo Dr. Jonas Souza, pelo acompanhamento dessa pesquisa desde o início.

De forma muito especial quero agradecer a todos os meus amigos e amigas, agradecendo em destaque as pessoas que além de amigos se tornaram irmãos ao longo de nossa convivência, entre eles gostaria de destacar a fundamental importância em minha vida das seguintes pessoas: Larissa de Lavôr, Rodrigo Brito, Hícaro Dias, Kayo Lima, Irailson Silva, Anderson Lucio, Fernando Antônio, Walison, Diego Monteiro, Raquel Alves, Andressa Lacerda e demais amigos de Conceição. Quero agradecer também a todos os meus primos destacando: Elionildo, Antônio Filho e Valdeilson Santos. Quero agradecer pela ajuda na parte acadêmica, financeira e pessoal.

E por último, mas de certa forma mais importante, ao Deus Vivo, Senhor, que com grande misericórdia, graça e amor, concedeu sabedoria a indivíduos pequenos como eu, permitindo, assim, a oportunidade de desvendar e compreender uma parcela das maravilhas de Sua criação por intermédio da ciência.

“Os filósofos até hoje limitaram-se a interpretar o mundo de diversas maneiras, a questão porém é transforma-lo.”
(Karl Marx)

RESUMO

O presente estudo tem por objetivo compreender o quadro geomorfológico e os aspectos morfotectônicos da área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000, considerando como embasamento analítico as inter-relações existentes entre a geologia, o relevo e a hidrografia da área. Procurou-se apontar evidências de neotectônica na área compreendida pela carta, através da análise morfotectônica e morfométrica aplicada em seguimentos da rede de drenagem. A carta topográfica investigada está situada na borda oriental do estado da Paraíba, Nordeste do Brasil. Para a análise da morfotectônica foram aplicados índices fluvio-morfométricos, no sentido de averiguar anomalias nos padrões de redes de drenagem, relacionadas à tectônica recente. Os índices Relação Declividade/Extensão (RDE) e Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV) foram empregados nesse estudo, com a intenção de indicar possíveis mudanças no curso de rios ao longo do tempo geológico, e averiguar a largura e profundidade das vertentes. Os resultados permitiram reconhecer padrões anômalos na rede de drenagem tanto nos aspectos qualitativos como quantitativos, e nas formas de relevo, que provavelmente encontram correspondência direta com eventos tectônicos recentes, de caráter regional, que abrange toda a borda oriental do Nordeste do Brasil. A área está inserida entre o embasamento cristalino do Pré-Cambriano e a Bacia Sedimentar da Paraíba, mais especificamente na Sub-Bacia de Alhandra. Em superfície, a referida área está representada, na sua maior parte, pela Formação Barreiras (Mioceno), que recobre, em partes, a Bacia da Paraíba e o embasamento cristalino de forma discordante. Para a análise morfoestrutural e morfotectônica, elaboraram-se cartas: hipsométrica, clinográfica e geomorfológica, além de ajustes substanciais na carta geológica para adequar a escala de 1:25.000, análise da rugosidade, perfis topográficos e modelos em 3D. As cartas temáticas e o MDE foram gerados em *softwares* especializados, com base em dados extraídos da carta Rio Mamuaba por meio de vetorização manual, como: curvas de nível com equidistância de 10 metros, pontos cotados e outros elementos, a exemplo da hidrografia, rodovias e estradas. A elaboração da carta geomorfológica foi fundamentada na metodologia proposta por Ross (1992), que tem como base as unidades taxonômicas do relevo. Dentro da geomorfologia da região, apresentaram-se dois padrões principais de deformação: a sucessão de grabens e horsts e domos topográficos, que podem estar associados às estruturas de inversão tectônica. Os resultados obtidos comprovam que não se pode negar a influência da tectônica pós-miocênica na configuração do relevo nas adjacências de uma Margem Continental Passiva.

Palavras-chave: Formação Barreiras. Geomorfologia. Hidrografia. Geologia. Tectônica.

**NEOTECTONIC AND GEOMORPHOLOGIC SURVEY IN PASSIVE
CONTINENTAL BORDER: a study of case of the Rio Mamuaba topographic chart
1:25.000**

ABSTRACT

This current study aims to understand the geomorphological framework and morphotectonic aspects from area of the topographic chart Rio Mamuaba 1: 25.000, considering as an analytical basis the existing interrelationships between geology, topography and hydrography of the area. It sought to point out neotectonic evidences in the area including the chart by morphotectonic and morphometric analysis applied to segments of the drainage network. The investigated topographic chart is located on the eastern edge of the Paraíba state, north-eastern Brazil. To provide the analysis of morphotectonic were applied fluvio-morphometric indices, to investigate anomalies in patterns of drainage networks, related to recent tectonics. The Indexes Slope / Extension Relation (SER) and Bottom/ Valley Height Rate (BVHR) were used in this study, with the intention to indicate possible changes in the course of the rivers over the geological time, and find out the width and depth of the slopes. The results allowed to recognize anomalous patterns in the drainage network both in qualitative and quantitative aspects, and also in the landforms, which likely are direct related to recent tectonic events of regional character, which covers the eastern edge of the Brazilian northeast. The area of the current study is inserted between the Precambrian crystalline basement and the Sedimentary Basin of Paraíba, specifically in Alhandra Sub-Basin. On the surface, the cited area is represented mostly by Barreiras formation (Miocene) which covers, in part, the Paraíba basin and crystalline base in a discordant way. For morphostructural and morphotectonic analysis, was produced thematic maps: hipsometric, declivity and geomorphological, beyond substantial adjustments in the geological chart to suit the scale of 1: 25.000, roughness analysis, topographic profiles and 3D models. The thematic maps and Elevation Digital Model (EDM) were generated in specialized softwares, based on data extracted from Rio Mamuaba chart by manual vectorization, such as contour lines with equidistance of 10 meters, measured points and other elements, such as hydrography, highways and roads. The confection of the geomorphological chart was based on the methodology proposed by Ross (1992), which is based on the taxonomic units of relief. Within the geomorphology of the area showed up two main patterns of deformation: the succession of grabens and horsts and topographical domes that may be associated with tectonic inversion structures. The results show that it can not deny the influence of post-Miocene tectonics in relief configuration on an edge of a Continental Passive Border.

Keywords: Barreiras Formation. Geomorphology. Hidrography. Geology. Tectonic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo.....	20
Figura 2 – Geologia e compartimentação tectonoestratigráfica da Paraíba	22
Figura 3 - Carta geológica da área de estudo.....	24
Figura 4 - Sub-Bacia de Miriri, Alhandra e Olinda, que compõem a Bacia da Paraíba.....	26
Figura 5 - Coluna estratigráfica da Sub-Bacia de Alhandra.....	27
Figura 6 – Relevo característico dos Baixos Planaltos no médio curso do rio Mamuaba.....	32
Figura 7 – Relevo característico da Depressão Sublitorânea no alto curso do rio Gramame...	34
Figura 8 – Inter-relação da Geomorfologia com a Geografia e a Geologia	39
Figura 9 – Esquema representativo dos processos genéticos de formação do relevo	41
Figura 10 – Modelo indicador de anomalias neotectônicas relacionadas à escarpa de falha e lineamentos.....	51
Figura 11 – (a) Configuração do canal a partir da dinâmica dos blocos; (b) Modelo esquemático para a representação dos blocos soerguidos e rebaixados	52
Figura 12 – Esquema representativo de bacias hidrográficas.....	53
Figura 13 – Padrões básicos de drenagem.....	54
Figura 14 – Padrões básicos modificados de drenagem	56
Figura 15 – Principais propriedades de drenagem.....	57
Figura 16 – Padrões de drenagem anômalos	58
Figura 17 – Parâmetros utilizados no cálculo do índice RDE para segmento de drenagem	60
Figura 18 – Fórmula matemática e procedimento de medida para encontrar os valores do índice morfométrico RFAV	61
Figura 19 – Imagem de nível cinza e grade regular da carta topográfica Rio Mamuaba.....	66
Figura 20 – Unidades taxonômicas de classificação do relevo segundo Ross (1992)	70
Figura 21 – Modelo Digital de Elevação (MDE) da área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000	77
Figura 22 – Carta hipsométrica da área da carta topográfica Rio Mamuaba	79
Figura 23 – Carta hipsométrica destacando o padrão do relevo em 3D	82
Figura 24 – Carta clinográfica da área da carta topográfica Rio Mamuaba	84
Figura 25 – Relevo com topo Tabular e baixo grau de dissecação	86
Figura 26 – Carta Geomorfológica da área da carta topográfica Rio Mamuaba.....	87
Figura 27 – Formação de facetas triangulares na área do táxon Dt 41.....	88
Figura 28 – Relevo com superfície circular dômica.....	89

Figura 29 – Localização dos Perfis topográficos elaborados	90
Figura 30 – Perfis topográficos elaborados a partir da carta Rio Mamuaba 1:25.000	92
Figura 31 – Vales de linhas de falha dos rios do Grilo e Mundo Novo	95
Figura 32 – Principais anomalias nos canais fluviais da carta Rio Mamuaba.....	96
Figura 33 – Trechos de drenagem escolhidos para os cálculos de RDE na carta topográfica Rio Mamuaba.....	99
Figura 34 – Perfis selecionados para o RFAV	104

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Uso e ocupação do solo e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Mamuaba e alto curso do rio Gramame.....	36
Quadro 2 - Representação esquemática das unidades taxonômicas de Ross	43
Quadro 3 - Padrões de formas do relevo	43
Quadro 4 - Significado dos padrões de drenagem do tipo básico e os seus respectivos padrões modificados.....	55
Quadro 5 - Subdivisões dos táxons estabelecidos para carta geomorfológica na área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas das classes de geologia em km ² e porcentagem.....	25
Tabela 2 - Matriz dos índices de dissecação das formas de relevo	44
Tabela 3 - Medida das classes de hipsometria em km ² e % da área da carta topográfica Rio Mamuaba.	80
Tabela 4 - Medida das classes de declividade em km ² , porcentagem e graus.....	83
Tabela 5 - Tipos de anomalia de drenagem presentes na área e suas possíveis causas.....	97
Tabela 6 - Variáveis morfométricas da aplicação do cálculo RDE_{total}	100
Tabela 7 - Variáveis morfométricas da aplicação do cálculo RDE_{trecho}	101
Tabela 8 - Valores considerados para efetivação do cálculo RFAV	105
Tabela 9 - Comparação entre as variáveis morfométricas da aplicação dos cálculos de RDE e RFAV	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Acumulação (Deposição)
Ad	Formas de Campos de Dunas
Add	Altura do Divisor Direito do Vale
Ade	Altura do Divisor Esquerdo do Vale
Aesa	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
Apf	Formas de Planície Fluvial
Api	Formas de Planície Interdial (Mangue)
Apl	Formas de Planície Lacustre
Apm	Formas de Planície Marinha
Atf	Formas de Terraços Fluviais
Atm	Formas de Terraços Marinhos
Atpf	Formas de Terraços e Planícies Fluviais
C	Celsius
Capes	Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior
D	Denudação (erosão)
Da	Formas com Topo Aguçado
Dc	Formas com Topo Convexo
De	Formas de Escarpa
Dd	Formas Dômicas
Dp	Formas de Superfície Plana
Dt	Formas com Topo Tabular
Dv	Forma de Vertentes
E	Leste
Edd	Elevação do Divisor do Setor Direito do Vale
Ede	Elevação do Divisor do Setor Esquerdo do Vale
Efv	Elevação do Fundo do Vale
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	<i>Global Position System</i>
km	Quilômetro
Legam	Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais
Lfv	Largura do Fundo do Vale
m	Metro

MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital do Terreno
mm	Milímetro
MNT	Modelos Numéricos do Terreno
N	Norte
NE	Nordeste
NNE	Norte-nordeste
PPGG	Programa de Pós-Graduação em Geografia
RDE	Relação Declividade/Extensão
RFAV	Razão Fundo/Altura de Vale
S	Sul
SRTM	<i>Shuttle Radar Topographic Mission</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SL	<i>Slope vs. Length</i>
Spring	Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas
SSW	Sul-sudoeste
Sudene	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SW	Sudoeste
TAM	Terreno Alto Moxotó
TAP	Terreno Alto Pajeú
TRC	Terreno Rio Capibaribe
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
Upem	Unidade Pedoestratigráfica Engenho Novo
VF	<i>Valley Floor</i>
W	Oeste

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	20
3.1 LOCALIZAÇÃO	20
3.2 GEOLOGIA	21
3.2.1 Geológica regional	21
3.2.2 Geologia da área de estudo	23
3.2.2.1 Formação Beberibe/Itamaracá	28
3.2.2.2 Formação Barreiras	29
3.2.2.3 Cobertura aluvial	30
3.3 RELEVO	30
3.3.1 Baixos Planaltos Costeiros	31
3.3.2 Depressão Sublitorânea	33
3.4 SÍNTESE CLIMÁTICA	34
3.5 VEGETAÇÃO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO	35
4. GEOMORFOLOGIA, NEOTECTÔNICA E HIDROGRAFIA	38
4.1 GEOMORFOLOGIA E CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA	38
4.2 NEOTECTÔNICA E BACIAS HIDROGRÁFICAS	45
4.2.1 Análise qualitativa	49
4.2.1.1 Possíveis indícios da atuação de eventos neotectônicos na configuração do relevo	49
4.2.1.2 Padrões de drenagem no estudo qualitativo da neotectônica	52
4.2.2 Análise quantitativa	58
4.2.2.1 Índice Relação Declividade/Extensão (RDE)	59
4.2.2.2 Índice Razão Fundo/Altura do Vale (RFAV)	60
5 MATERIAIS E MÉTODO	63
5.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)	64
5.1.1 Elaboração das cartas temáticas (hipsometria e declividade)	67
5.2 ELABORAÇÃO DA CARTA GEOLÓGICA	69
5.3 ELABORAÇÃO DA CARTA GEOMORFOLÓGICA	69
5.4 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	72
5.4.1 Índice Relação Declividade/Extensão (RDE)	72
5.4.2 Índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV)	73
5.5 TRABALHO DE CAMPO	74
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
6.1 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS	76
6.1.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)	76
6.1.2 Carta hipsométrica	78
6.1.3 Carta clinográfica	83

6.1.4 Carta Geomorfológica.....	85
6.2 MORFOMETRIA FLUVIAL E PRINCIPAIS INDÍCIOS DE NEOTECTÔNICA NA	
ÁREA	93
6.2.1 Análise qualitativa da rede de drenagem	93
6.2.2 Índices morfométricos.....	97
6.2.2.1 Índice Relação Declividade/Extensão (RDE).....	98
6.2.2.2 Índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV)	103
 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	 109
 REFERÊNCIAS	 111

1 INTRODUÇÃO

As mudanças, transformações ou, até mesmo, mutações que se processam nos mais diversos elementos da natureza, em sua complexidade, a exemplo do clima, solo, vegetação, geomorfologia, geologia, hidrografia, entre outros, são desenvolvidas de forma que cada etapa desses processos podem ficar registradas na morfologia da paisagem e são decorrentes dos eventos que os deram origem ao longo do tempo, sobretudo nas formas do relevo e nas rochas que constituem formas que se modificam lentamente, chegando a ser imperceptível aos olhos humanos.

De acordo com Martinez (2005), as formas que constituem as paisagens atuais, a exemplo do relevo, refletem os processos de milhões de anos de trabalho de agentes que lentamente foram modelando a superfície terrestre. Dessa forma, pode-se ressaltar, também, que cada rocha possui sua própria história, sendo importante que se aprenda a lê-las, pois no passado geológico não havia alguém para observar os eventos e documentar o que via (EICHER, 1996, p. 36).

A caracterização geomorfológica, geológica, hidrográfica e morfométrica de uma área possibilita conhecer com maior nível de detalhe o relevo e a geometria dos padrões de drenagem da região, proporcionando conhecer os potenciais naturais existentes, facilitando a identificação de áreas de risco de ocupação, ambientes frágeis, impactos ambientais ocorridos, interferência antrópica e a dinâmica da evolução natural da paisagem. Esse tipo de análise qualitativa e quantitativa permite que se conheça a influência da geologia (tipo de rocha e lineamentos) e da possível atuação da tectônica recente no desenvolvimento da morfologia do relevo e da rede de drenagem da área.

A escolha da carta topográfica nessa pesquisa se justifica pela ótima quantidade e qualidade de detalhes que ela fornece da área pesquisada, por se tratar de uma carta com grande escala 1:25.000 e equidistância das curvas de nível de 10 metros. Para testar a confiabilidade das informações foram plotados pontos georreferenciados em campo com GPS e também no *Google Earth*, além disso, foram realizadas comparações com modelos de SRTM para a área em questão.

A área proposta para pesquisa abrange a região da carta topográfica Rio Mamuaba, na escala de 1:25.000, onde estão inseridos parte dos municípios de Alhandra, Pedras de Fogo e Santa Rita. Nessa pesquisa, foram escolhidas as bacias hidrográficas e sub-bacias dos rios Mamuaba e Gramame de maior extensão, sendo elas: rio Vermelho, rio do Buraco, rio Fundo, rio Jangada, rio Mundo Novo, rio do Grilo, riacho Santa Cruz, riacho do Quizada, riacho do

Bezerro, riacho do Angelim, riacho Botamonte, riacho Pitauga e riacho Ibuíra, para aplicação dos índices morfométricos e estudos de morfologia em seus canais e afluentes.

Do mesmo modo, a observação das características dos padrões de drenagem das bacias, conforme Soares e Fiori (1976) apontam, é, também, uma das formas de análise de cunho qualitativo das redes de drenagem, que se refere à forma do traçado estabelecido pelo conjunto de canais. Esse traçado permite inferir sobre o condicionamento topográfico, litológico e estrutural da área onde se assentam os canais.

Parte-se da hipótese que a configuração geomorfológica e da rede de drenagem atual dessa área são resultado da atuação de eventos tectônicos e neotectônicos. Dessa forma, aplicaram-se as análises morfológicas e morfométricas procurando-se detectar áreas afetadas por atividades de tectônica recente, por isso se propuseram essas bacias, porque possuem evidências morfológicas da ocorrência de possíveis movimentos neotectônicos, como, por exemplo: padrão de drenagem assimétrico, paralelismo de drenagem e forte inflexão de alguns canais fluviais. Essas características morfológicas podem ser interpretadas como fortes indícios de atividades neotectônicas (ANDRADES FILHO, 2010).

Selecionou-se essa fração do território paraibano para realização da pesquisa por possuir aspectos geológicos, geomorfológicos e ambientais de grande relevância, pois se trata, em grande parte, de uma área em franco processo de especulação imobiliária e de expansão da cultura da cana-de-açúcar, além de se tratar de uma área que abrange as cabeceiras de duas bacias hidrográficas de extrema importância para a região, que são as bacias dos rios Gramame e Mamuaba, sendo este último rio afluente do primeiro. Várias cidades, comunidades e agricultores da região fazem a captação de água dessas bacias, inclusive a região metropolitana de João Pessoa.

A presente pesquisa procurou averiguar a relação da morfologia e do arranjo da rede de drenagem atual da área de estudo, com possíveis movimentos neotectônicos presentes na borda oriental do estado da Paraíba. Movimentos estes que seriam explicados pelas reativações das falhas do Pré-Cambriano que a abertura dos continentes africano e sul-americano provocou e pelo atual estado de compressão E/W por qual a América do Sul vem sofrendo devido ao contínuo afastamento do continente africano (BEZERRA *et al.*, 2001).

Para essa investigação, aplicaram-se índices morfométricos e foram efetuadas análises qualitativas nos padrões de drenagem da área. Com esta pesquisa, espera-se ser possível perceber relações entre as feições geomorfológicas atuais, os padrões da rede de drenagem e a tectônica cenozoica regional nos Baixos Planaltos Costeiros presentes na área selecionada.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Compreender o quadro geomorfológico e os aspectos morfotectônicos da área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000, considerando como embasamento analítico as inter-relações existentes entre a geologia, o relevo e a hidrografia da área.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Classificar e diferenciar cartograficamente as unidades geológicas e geomorfológicas da área de estudo.
2. Descrever a morfometria fluvial das bacias hidrográficas, sub-bacias e canais fluviais, que compõe a área delimitada pela carta topográfica Rio Mamuaba.
3. Identificar, de forma quantitativa e qualitativa, possíveis anomalias na modelagem do relevo e na disposição da rede de drenagem.
4. Analisar a atuação de movimentos neotectônicos e sua relação com o padrão de drenagem, direção dos cursos de água e feições morfológicas desenvolvidas.

Botamonte, riacho Pitauga e riacho Ibuíra e demais córregos secundários que não possuem denominações, por sua menor expressividade dentro das bacias. Todas as bacias e sub-bacias de maior expressividade dentro da área da carta foram submetidas à avaliação morfométrica. Para que se fosse possível aplicar os índices no rio Mamuaba foi considerado o seu curso a jusante até a área de represamento, onde se verifica o nível de base dessa bacia.

3.2 GEOLOGIA

3.2.1 Geologia regional

O substrato geológico paraibano é formado, em sua grande parte, por rochas pré-cambrianas, as quais ocupam mais de 80% do seu território, sendo complementado por bacias sedimentares, rochas vulcânicas cretáceas, coberturas plataformais paleógenas/neógenas e formações superficiais quaternárias (BRASIL, 2002).

Almeida *et al.* (1977) afirmam que o contexto geológico regional está definido de acordo com o conceito de províncias estruturais brasileiras. Nesse contexto, a Província Borborema simboliza importante domínio geotectônico situado na região Nordeste do Brasil.

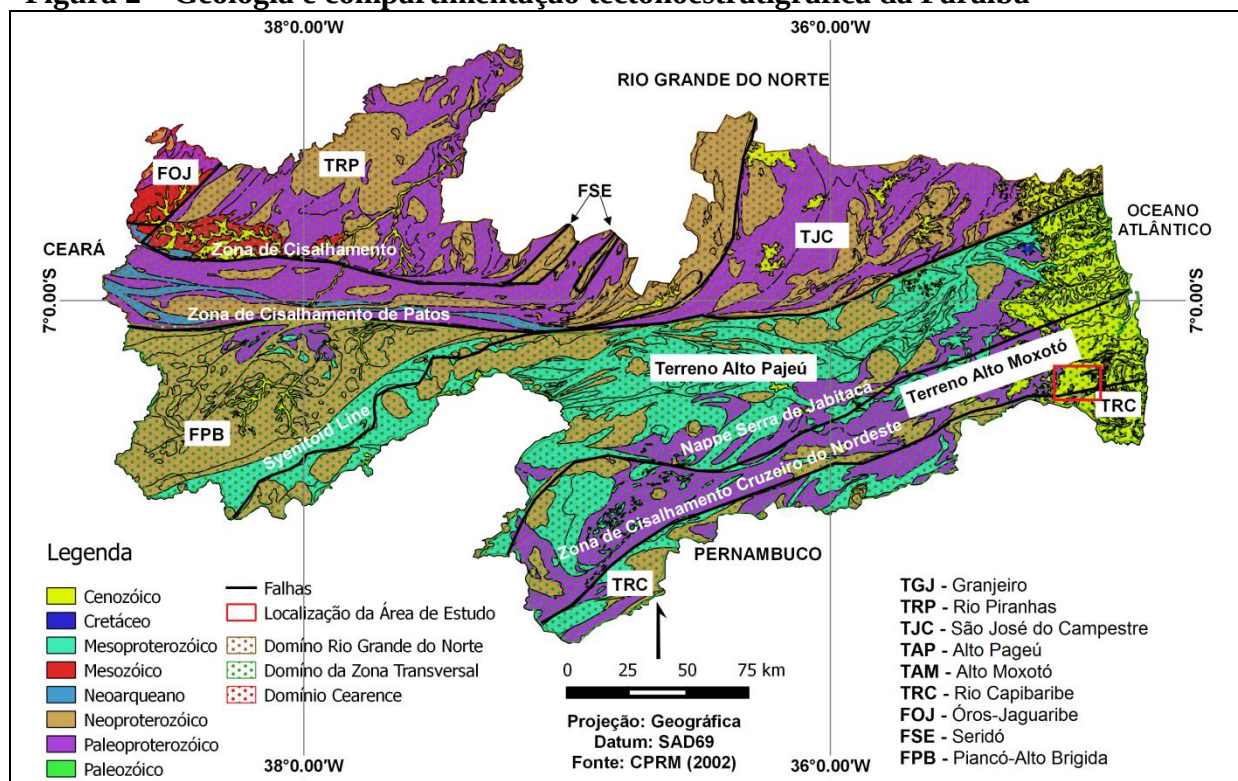
As coberturas sedimentares do estado estão preservadas, geralmente, em sítios extensionais cretáceos relacionados com a abertura do oceano Atlântico (bacias restritas e um pulso vulcânico), em sequências sedimentares e vulcanossedimentares continentais paleógenas/neógenas e em formações superficiais quaternárias (BRASIL, 2002). Ainda de acordo com Brasil (2002), as principais diferenças entre os domínios e terrenos do território paraibano envolvem, sobretudo, a diversidade dos episódios de acreção, sedimentação, vulcanismo e plutonismo brasileiro; portanto, a deformação e o plutonismo granítico brasileiro afetaram todos os segmentos, domínios e terrenos da Paraíba em escalas regionais.

As rochas pré-cambrianas relacionadas à Província Borborema, estão compartimentadas em grandes domínios geotectônicos, assim como definiram vários autores, a exemplo de Brito Neves (1975). Apresentam-se esses domínios como: Domínio Médio Coreaú, Domínio Ceará Central, Domínio Rio Grande do Norte, Domínio Central ou da Zona Transversal e Domínio Sul.

Uma das feições geológicas mais marcantes da compartimentação crustal do território paraibano é a Zona de Cisalhamento de Patos, que se apresenta como um extenso bloco de embasamento fortemente retrabalhado no ciclo Brasileiro (BRITO NEVES, 1975). A Zona de

Cisalhamento de Patos praticamente divide o estado da Paraíba em dois grandes compartimentos, como se pode observar na Figura 2.

Figura 2 – Geologia e compartimentação tectonoestratigráfica da Paraíba



Fonte: Adaptado de Brasil (2002).

A área estudada pertence inteiramente ao domínio geotectônico da Zona Transversal no Terreno Alto Moxotó. Está inserida dentro da Bacia da Paraíba. Situada entre o Domínio dos Terrenos do Rio Grande do Norte, do qual é separado pela Zona de Cisalhamento Patos/Paraíba, pelo Alto Estrutural Conde/Garapu com direção E-W e o Domínio Sul, do qual é separado pelo Lineamento Pernambuco, igualmente de direção E-W. O domínio geotectônico da Zona Transversal é caracterizado por possuir outras zonas de cisalhamento, estas, por sua vez, sinistrais e com direção geral NE-SW, o Domínio da Zona Transversal é entendido como resultado de um orógeno colisional (CORDANI *et al.*, 2000).

O domínio transversal é o embasamento da Bacia Sedimentar da Paraíba. Subdivide-se, nessa área, de norte para sul, em Terreno Alto Pajeú (TAP), Terreno Alto Moxotó (TAP) e Terreno Rio Capibaribe (TRC). O Terreno Alto Pajeú é separado do Terreno Alto Moxotó pela Nappe Serra de Jabitacá. Esse terreno é separado do Terreno Rio Capibaribe pela Zona de Cisalhamento Congo-Cruzeiro do Nordeste (BRASIL, 2002).

Devido à presença de algumas falhas transversais presentes na Bacia da Paraíba, denominadas respectivamente Falha de Goiana e Falha de Itabaiana, que foram ativadas no

Proterozoico, ela vem a ser subdividida em outras três Sub-Bacias, que são as Sub-Bacias de Olinda, Alhandra e Miriri, estando a área de estudo localizada na Sub-Bacia de Alhandra (BARBOSA *et al.*, 2004).

A Bacia da Paraíba possui sua gênese e evolução diretamente relacionadas aos eventos tectônicos, que deram origem ao oceano Atlântico Sul, durante a separação dos continentes africano e sul-americano. Esse processo de separação teve início na fase inicial do Cretáceo e continua na atualidade sendo essa parte do Brasil conhecida como o último setor a se separar do continente africano (FRANÇOLIN; SZATMARI, 1987; ASMUS, 1975).

Tomando como base a análise geológica e estrutural da região estudada e suas adjacências, torna-se evidente o complexo sistema de falhas de caráter tectônico distensional pelas quais passou a região ao longo de milhares de anos, sendo possível identificar facilmente algumas feições geomórficas submetidas a processos tectônicos atuantes durante a evolução da margem continental, eventos esses que, somados também a perturbações neotectônicas, comandaram e comandam a instalação da rede hidrográfica subordinada aos principais planos de falhas.

3.2.2 Geologia da área de estudo

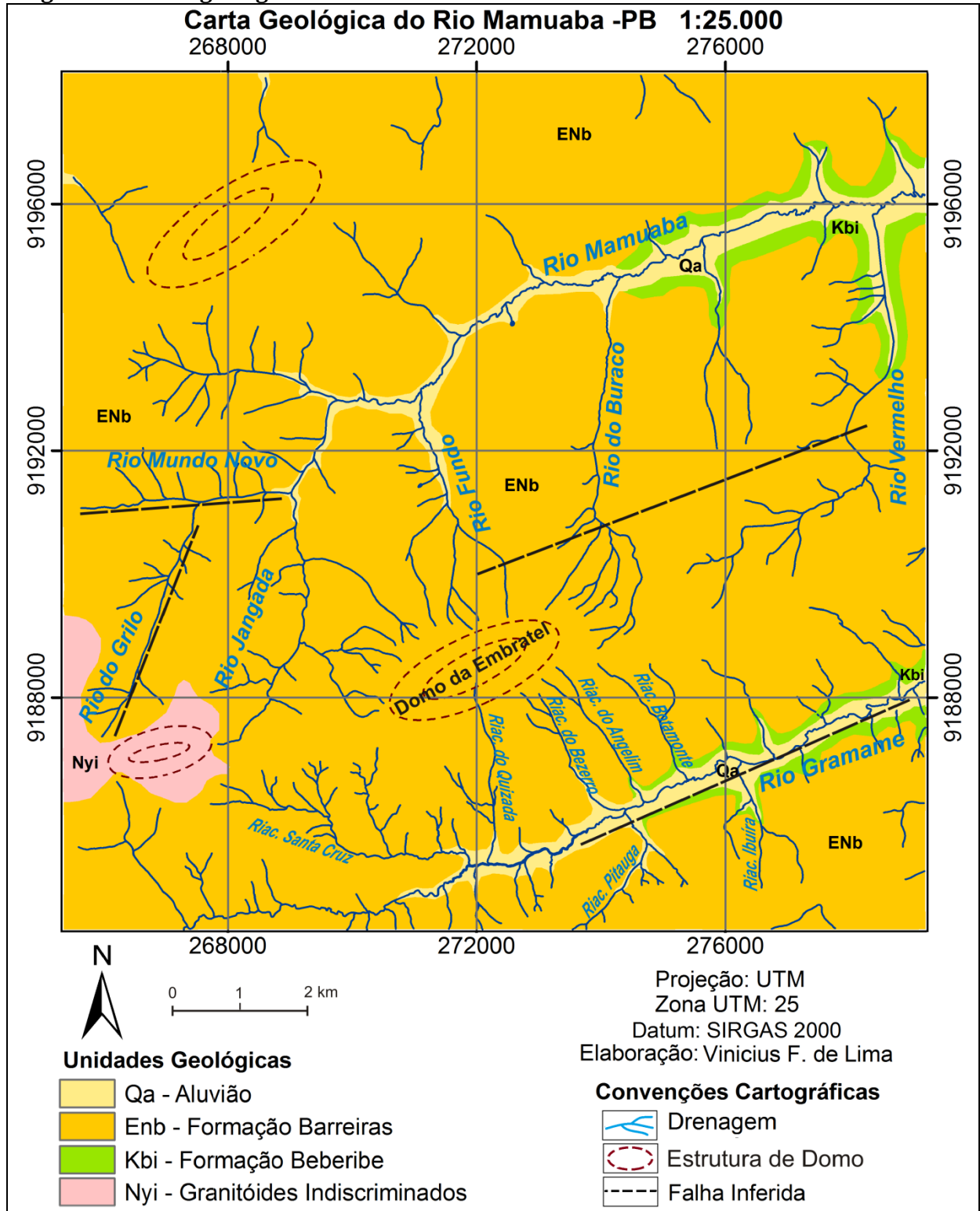
A região que corresponde à área da carta topográfica Rio Mamuaba encontra-se inserida na Bacia Sedimentar da Paraíba, Sub-Bacia de Alhandra, correspondendo em quase toda sua totalidade por sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras. A Bacia da Paraíba é preenchida por sedimentos de fácies continentais e marinhas, reunidas sob a denominação de Grupo Paraíba, que, por sua vez, é subdividido em três Formações: Beberibe, Gramame e Maria Farinha (BRASIL, 2002), sendo a primeira clástica e as outras duas carbonáticas. Capeando o Grupo Paraíba, porém não fazendo parte dele, está a Formação Barreiras.

A área estudada é composta em menor proporção pelas rochas pré-cambrianas que compõem o complexo cristalino (Província Borborema). Essas rochas encontram-se parcialmente expostas no oeste da área, mais precisamente entre as nascentes dos rios Gramame e Mamuaba. Os demais terrenos sedimentares são representados pelas rochas da Bacia Sedimentar da Paraíba do Cretáceo e principalmente pela Formação Barreiras.

Observando-se a carta geológica da área de estudo (Figura 3), identificam-se basicamente quatro unidades geológicas presentes, que são: os Aluviões, a Formação Barreiras, a Formação Beberibe e os Granitóides Indiscriminados, sendo que estas duas últimas unidades aparecem apenas em uma pequena porção da área, predominando a ocorrência da Formação

Barreiras. Nos vales fluviais, ocorre o aparecimento da Formação Beberibe, devido ao processo de incisão fluvial intenso e sedimentos aluviais formando planícies e terraços fluviais encaixados.

Figura 3 - Carta geológica da área de estudo



Fonte: Elaboração Própria (2015). Bases cartográficas: Carta Topográfica Rio Mamuaba 1: 25.000 (SUDENE, 1974), Brasil (2002) e Brito Neves *et al.* (2009).

Para uma melhor caracterização geológica da área, a distribuição geográfica das formações geológicas foi sintetizada em uma tabela da seguinte forma: (Tabela 1).

Tabela 1 - Medidas das classes de geologia em km² e porcentagem

Classes	Área em km ²	Área em %
Aluviões	10,22	5%
Formação Barreiras	173,19	90%
Formação Beberibe	5,36	3%
Granitoides	3,63	2%

Fonte: Elaboração Própria (2015).

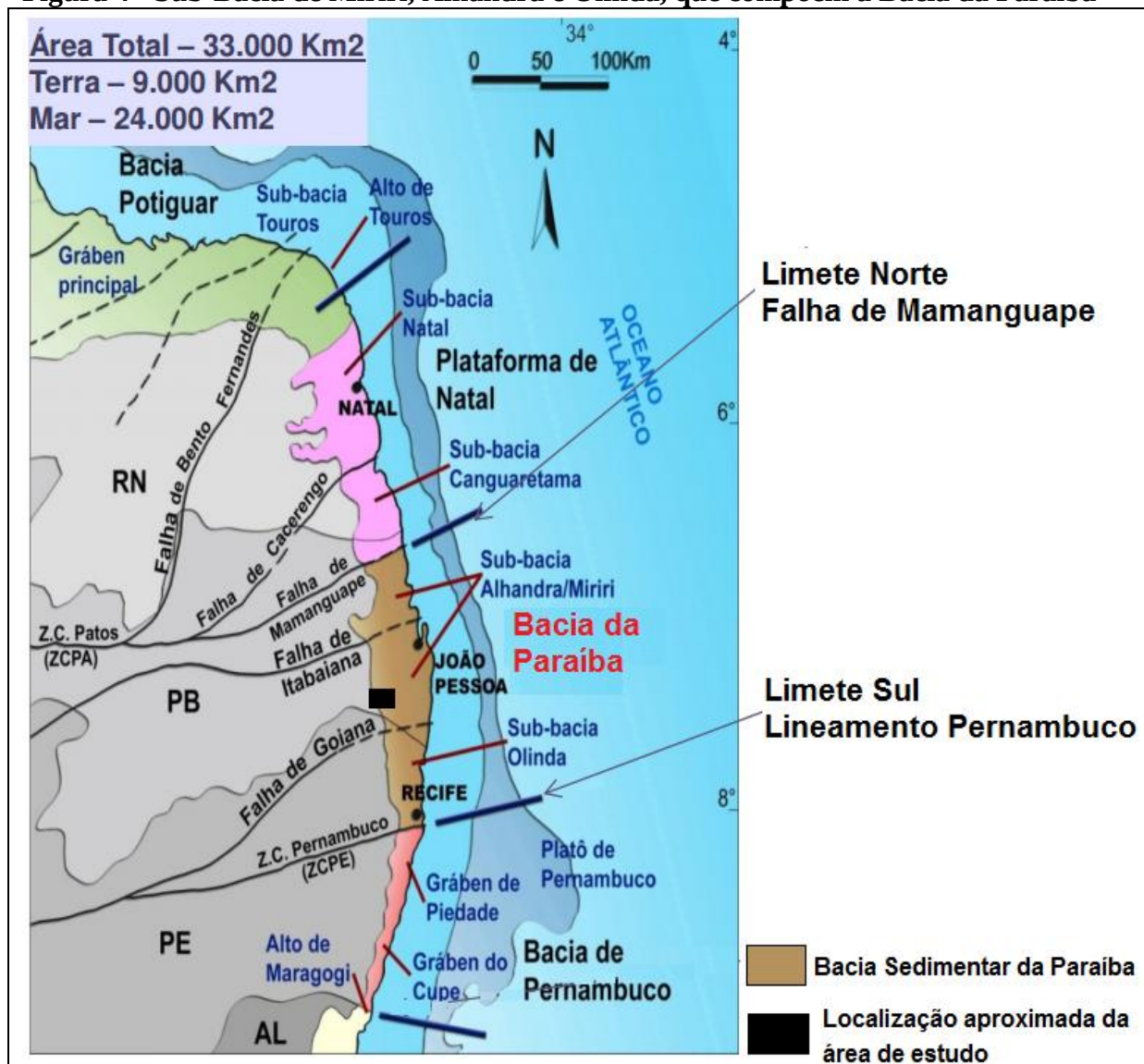
A unidade litoestratigráfica denominada de Formação Barreiras é composta por um conjunto de sedimentos arenoargilosos mal consolidados de idade miocênica, que repousam de forma discordante, respectivamente de W-E, sobre o embasamento cristalino pré-cambriano e sobre os sedimentos da Bacia Marginal da Paraíba. Essa unidade litoestratigráfica ocorre desde o estado do Amapá até o norte do estado do Rio de Janeiro (ARAI, 2006). No sentido E-W, a Formação Barreiras alcança extensões variáveis entre 30 a 50 km no estado da Paraíba (BRASIL, 2002).

Na porção que corresponde ao baixo curso do rio Mamuaba, segundo Brito Neves *et al.* (2009), é possível verificar o afloramento da Formação Beberibe em toda a extensão do canal fluvial. Essa formação sedimentar difere-se da Formação Barreiras devido à composição mineralógica (ROSSETTI *et al.*, 2012).

A Bacia da Paraíba ocupa o litoral norte do estado de Pernambuco, estende-se desde a cidade de Recife, onde é limitada pelo Lineamento Pernambuco, até o vale do rio Camaratuba, ao norte de João Pessoa, limitado pela Falha de Mamanguape (Figura 4). Conforme Almeida e Carneiro (2004), a área emersa da Bacia da Paraíba faz parte, em seu trecho norte, de soerguimento do embasamento da última ligação continental com a África.

Pode-se descrever a estrutura da Bacia da Paraíba como um homoclinal com mergulho suave em direção ao mar, o qual é subdividido pelas falhas transversais de Goiana e Itabaiana. A largura média da faixa sedimentar é de aproximadamente 25 km e sua espessura máxima pode atingir até 400 m (MARINHO, 2011).

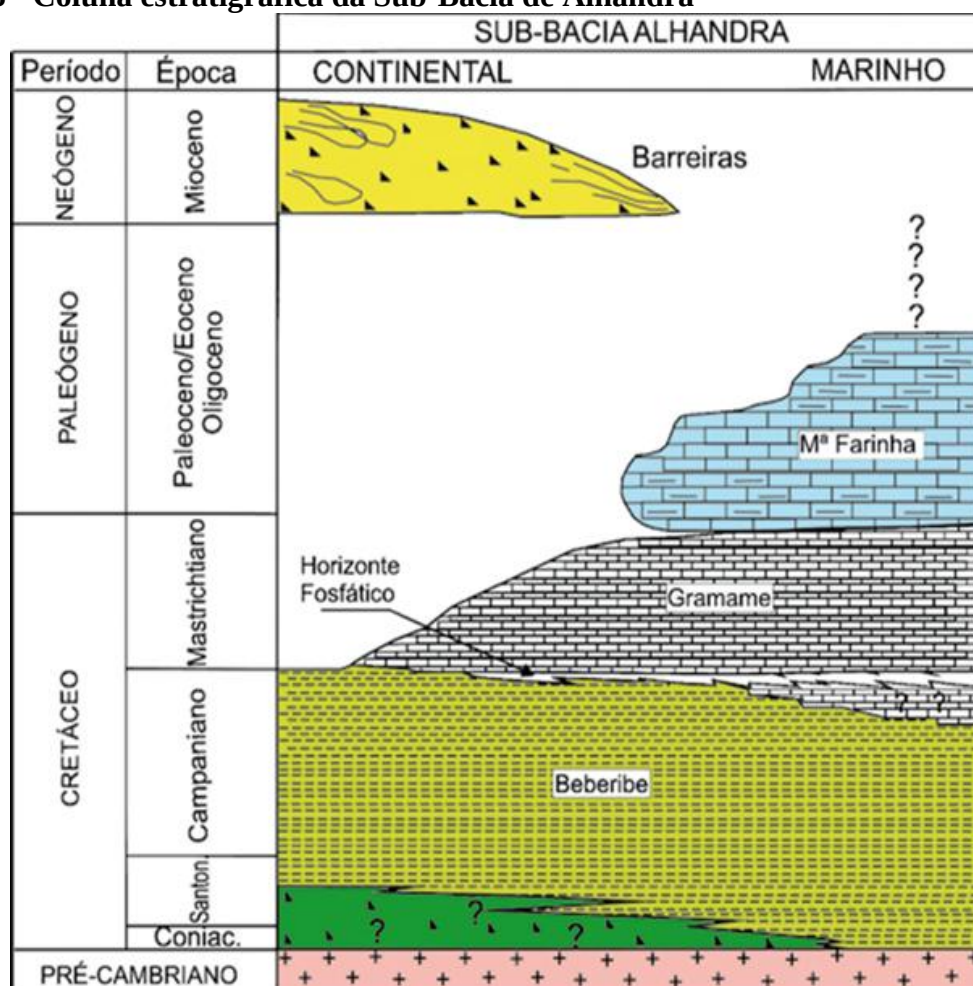
Figura 4 - Sub-Bacia de Miriri, Alhandra e Olinda, que compõem a Bacia da Paraíba



Fonte: Adaptado de Barbosa *et al.* (2004).

Como representado na Figura 4, a Bacia da Paraíba é subdividida em outras três Sub-Bacias, que são as Sub-Bacias de Olinda, Alhandra e Miriri. É importante destacar que a área selecionada para o estudo está localizada na Sub-Bacia de Alhandra. Barbosa *et al.* (2004) estabeleceram, por meio de estudos pormenorizados, a coluna estratigráfica da Sub-Bacia de Alhandra (Figura 5).

Figura 5 - Coluna estratigráfica da Sub-Bacia de Alhandra



Fonte: Adaptado de Barbosa *et al.* (2004).

Segundo Brito Neves *et al.* (2009), é possível verificar que a porção mais ocidental da Sub-Bacia de Alhandra apresenta um comportamento regional amplo de alto estrutural (incluindo “altos” e “baixos” estruturais de segunda ordem). Com relação ao embasamento cristalino da Sub-Bacia de Alhandra, Brito Neves *et al.* (2009, p. 65) afirmam que:

Com referência ao substrato cristalino, desta porção mais a leste da Zona Transversal da Província Borborema [...] Devemos destacar, na zona mais ao norte uma pequena parcela do Terreno Rio Grande do Norte (RGN, do Paleoproterozoico, ortognaisses e migmatitos), separado do Terreno Alto Pajeú (TAP, Eoneoproterozoico, ortognaisses e metagrauvas) pelo importante Lineamento Patos. Ao sul do TAP (no paralelo de Mari) há o contato por empurrão do Terreno Alto Moxotó (TAM, do Paleoproterozoico, retrabalhado, ortognaisses, migmatitos, supracrustais aluminosas de alto grau) sobre o TAP. Ao sul da sub-bacia (paralelo de Juripiranga-Ibiranga) ocorre outro lineamento importante (Coxixola-Congo) que apresenta feições complexas (terminação fasciculada que tem sido utilizado para separar o TAM (para o norte) da faixa neoproterozoica (supracrustais diversas, granitos de arco) do Rio Capibaribe (RC, mais para o sul). Sobre todas estas unidades pré-cambrianas, que são terrenos diversos da Província Borborema, foram encontrados remanescentes mais e menos preservados da Unidade Pedoestratigráfica Engenho Novo (Upem), sempre em cotas próximas ao intervalo de 90 – 100 m.

Conforme Furrier, Araújo e Meneses (2006), esses terrenos são delimitados por grandes lineamentos e zonas de cisalhamento com direção predominantemente E-W. Provavelmente, essas estruturas estendem-se sob a Formação Barreiras e sob os sedimentos da Bacia da Paraíba, adentrando pela margem continental adjacente.

Brito Neves *et al.* (2009) deixaram importantes contribuições acerca da estrutura geológica da região que compreende o rio Mamuaba. O autor aponta a existência de falhas gravitacionais N-S, que influenciam diretamente na disposição do rio do Grilo e do rio Jangada, e condicionam o espessamento da Formação Beberibe no sentido do litoral.

3.2.2.1 Formação Beberibe

A porção inferior da Formação Beberibe repousa diretamente, e de forma discordante, sobre as rochas ígneas e metamórficas do embasamento cristalino pré-cambriano. Essa formação trata-se de uma sequência fundamentalmente arenosa, com uma espessura média de 200 m, constituída de arenitos friáveis, cinzentos a cremes, mal selecionados, com componente argiloso (BRASIL, 2002).

Em estudos realizados em fósseis das camadas sedimentares localizadas no vale do rio Beberibe, definiu-se uma idade santoniano-campaniana, podendo estender-se até o Maastrichtiano. A Formação Beberibe é recoberta concordantemente pela Formação Gramame.

Furrier (2007), Brito Neves *et al.* (2009) e Marinho (2011) destacam muito bem que as formações Beberibe e Barreiras, quando expostas em superfície, mostram-se difíceis de serem distinguidas, causando grandes dificuldades para serem mapeadas, pois, além de os processos genéticos serem similares, os sedimentos apresentam grande semelhança granulométrica e textural, com grãos subangulosos a subarredondados e seleção variando de moderada a fraca.

Segundo Rossetti *et al.* (2012), a Formação Beberibe difere-se da Formação Barreiras principalmente devido à composição mineralógica. Complementando, Alheiros, Ferreira e Lima Filho (1993) afirmam que, confrontando mineralogicamente a Formação Beberibe e a Formação Barreiras, tem-se que a primeira é mais quartzosa (>95% de quartzo), raramente feldspática e, com certa constância, observam-se grãos carbonáticos, enquanto a Formação Barreiras apresenta composição média de 85% de quartzo, com até 15% de feldspatos e ausência de grãos carbonáticos.

Na base da Formação Beberibe, depositou-se uma camada argilosa, enquanto rios procedentes do interior transportavam para o litoral material mais grosso, areia e seixos,

formando uma grande planície aluvial. Sendo assim, pode-se concluir que: a Formação Beberibe é de origem fluvial ou estuarina; na planície aluvial ocorreriam lagunas onde se depositavam siltitos; esse ambiente é caracterizado por águas muito rasas, com salinidade bem reduzida; seria lagoa mais ou menos fechada, de água salobra; o mar, portanto, deveria estar próximo (BARBOSA, 2010).

Na área pesquisada, os afloramentos da Formação Beberibe quase sempre estão associados aos vales fluviais que dissecam os tabuleiros pré-litorâneos e cujos processos morfogenéticos e morfodinâmicos contribuem para a exumação dessa importante unidade litoestratigráfica.

3.2.2.2 Formação Barreiras

Comumente, utiliza-se o termo Barreiras para designar depósitos sedimentares mal consolidados de origem continental. A utilização indiscriminada dessa denominação tem dado origem a uma grande variedade de terminologias e subdivisões estratigráficas, sem que tenha sido elucidada a completa evolução cenozoica desses depósitos na região Nordeste do Brasil.

A Formação Barreiras apresenta estratificação quase que totalmente horizontal, constituída por sedimentos de diversas naturezas, desde areias até argilas de coloração das mais variadas, incluindo, por vezes, leitos de seixos rolados. Em camadas inferiores encontram-se argilas de coloração arroxeadas e cinzentas, e sob as camadas superiores comumente se verifica a presença de concreções de ferro.

Essa formação é a unidade estratigráfica mais contínua da margem continental do Brasil e tem sido associada comumente aos Baixos Planaltos Costeiros, uma feição geomorfológica aparentemente não deformada. No entanto, algumas pesquisas têm demonstrado com clareza que essa unidade exhibe deformação em todas as escalas de observação (FURRIER *et al.*, 2006; FURRIER, 2007; ANDRADES FILHO, 2010; BEZERRA, 2011; BARBOSA *et al.*, 2011; ROSSETTI *et al.*, 2012).

Notam-se progressos no conhecimento dessa unidade, devido ao crescente número de dados de superfície, como novos sensores remotos, e dados de subsuperfície, como perfis litológicos de poços, levantamentos aeromagnéticos, gravimétricos e sondagens elétricas (BEZERRA, 2011).

Em relação à origem da Formação Barreiras, existem várias teorias, e esse tema ainda é caso de discussão na comunidade científica, dividindo opiniões entre diversos pesquisadores. Segundo Alheiros *et al.* (1988), a deposição dos sedimentos da Formação

Barreiras se deu fundamentalmente por meio da deposição de rios em sistemas entrelaçados desenvolvidos sobre leques aluviais, acreditando o autor que essa formação representa a evolução de um sistema fluvial construído em fortes gradientes e sob clima predominantemente árido, sujeito a oscilações. Para Gopinath, Costa e Sousa Júnior (1993), as partículas sedimentares que fazem parte da Formação Barreiras têm origem nos produtos resultantes do forte intemperismo sobre o embasamento cristalino, localizado no interior do continente, no estado da Paraíba, sendo esse embasamento arqueado composto pelas rochas cristalinas do Planalto da Borborema. Já Arai (2006) coloca que a Formação Barreiras possui forte influência das oscilações marinhas no seu processo de deposição.

A ausência de fósseis na Formação Barreiras impede uma datação precisa, de modo que os autores também divergem entre si. Na maioria das vezes, atribui-se a idade dessa formação a um intervalo de sedimentação entre o Paleógeno (Oligoceno) e o Neógeno, chegando até o Pleistoceno (MARINHO, 2011).

3.2.2.3 Cobertura aluvial

Litologicamente são constituídas por sedimentos clásticos grosseiros, representados por areias inconsolidadas esbranquiçadas ou cremes, mal selecionadas, de granulometria fina a grossa, com grãos de quartzo subangulosos, feldspatos não decompostos, palhetas de micas e concentrações de minerais pesados. Sotopostos às areias, ocorrem níveis mais heterogêneos e consolidados, de coloração amarelo-avermelhada, contendo intercalações de argila e horizontes conglomeráticos, na base do contato com o embasamento. Todo o conjunto apresenta espessura variando entre 10 m e 15 m (BRASIL, 2002).

Esses sedimentos estão depositados na área de estudo nas planícies de inundação e margens dos rios que compõem a rede de drenagem da área da carta topográfica, principalmente nas margens dos rios Mamuaba e Gramame e no baixo curso dos seus principais tributários.

3.3 RELEVO

O relevo é resultante da ação combinada dos processos exógenos (clima, intemperismo, erosão, sedimentação etc.) e endógenos (tectonismo, vulcanismo resistência litológica etc.). Desse modo, os principais fatores que contribuíram para configuração geral do relevo dessa área foram, segundo Teódulo (2014): as variações do nível relativo do mar

(transgressões/regressões marinhas), associadas às glaciações quaternárias, o regime tectônico a litologia e os aspectos climáticos.

Com relação aos aspectos geomorfológicos, pode-se subdividir o estado da Paraíba, partindo-se do litoral e seguindo-se no sentido do interior, no sentido E-W, nas seguintes unidades geomorfológicas generalizadas: Planícies Litorâneas e Fluviais, Baixos Planaltos Costeiros ou Tabuleiros, Depressão Sublitorânea, Planalto da Borborema, Depressão do Curimataú e Depressão Sertaneja (BARBOSA, 2013).

Em relação à morfotectônica regional, com o auxílio da carta topográfica, da carta geológica da área e dos resultados e mapeamentos realizados por Brito Neves *et al.* (2009), foi possível inferir, na área de estudo e adjacências, uma disposição marcante de altos e baixos estruturais.

Sobre a Formação Barreiras são desenvolvidos os Baixos Planaltos Costeiros, geralmente com topos aplainados, ora soerguidos, ora rebaixados ou basculados por evidente atuação da tectônica recente (FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006; FURRIER, 2007). Esses tabuleiros, ora soerguidos, rebaixados e basculados, deram origem ao sistema de grábens e *horsts* do rio Mamuaba de direção NNE-SSW, seguindo para a confluência Mamuaba-Gramame (BRITO NEVES *et al.*, 2009).

Quanto à geomorfologia local, predominam na região as estruturas dômicas características da área em análise, os Baixos Planaltos Costeiros e a Depressão Sublitorânea. Cada um desses domínios abriga uma grande variedade de tipos de modelados. Uma das estruturas mais marcantes e característica do relevo local é o Domo da Embratel, que se encontra mais ou menos no centro da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000, e é um divisor topográfico importantíssimo separando as redes de drenagem no alto curso dos rios Mamuaba e Gramame.

3.3.1 Baixos Planaltos Costeiros

De acordo com os estudos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1994), os Baixos Planaltos Costeiros são superfícies de idade terciárias, que seguem todo o litoral do Nordeste do Brasil, em extensão aproximada de 8,42 milhões de hectares. Eles estão esculpidos em grande parte sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras, apresentando como características uma topografia plana a suavemente ondulada, material sedimentar e de baixa altitude, com declividade média inferior a 10%, os

solos são profundos, mas apresentam baixa fertilidade natural devido à lixiviação aliada à erosão.

Guerra e Guerra (1997) definem Baixos Planaltos Costeiros como sendo uma forma topográfica de terreno que se assemelha a planaltos, terminando geralmente de forma abrupta. No Nordeste brasileiro, os tabuleiros aparecem geralmente em toda a costa, com paisagem de topografia plana, sedimentar e de baixa altitude. Furrier (2007) complementa a definição comparando os Baixos Planaltos Costeiros a uma ampla superfície plana ou suavemente ondulada, com altitudes que variam entre 10 e 200 m e com morfologia afetada pelos cursos fluviais que o cortam. O autor relaciona a morfologia atual da área de estudo com esforços tectônicos regionais distensionais, gerados pelo afastamento da Plataforma Sul-Americana em relação ao continente africano.

Na área estudada, os Baixos Planaltos Costeiros constituem relevos compostos por suaves elevações, que possuem topos planos semitabulares, formando pequenas mesetas com mergulho suave na direção da costa (Figura 6). As altitudes são geralmente inferiores a 100 m na direção leste, e aumentam suavemente em direção oeste, chegando a alcançar, em alguns pontos, até um pouco mais de 200 m.

Figura 6 – Relevo característico dos Baixos Planaltos no médio curso do rio Mamuaba



Fonte: Vinicius Lima (2014).

A rede de drenagem da área recorta os Baixos Planaltos Costeiros no sentido preferencial W-E paralelos à linha de costa. A erosão nessas áreas tem sido relacionada à fase regressiva do nível marinho e/ou ao soerguimento pleistocênico da margem continental que provocou o aumento dos canais de drenagem e o retorno da erosão (FURRIER, 2007).

Atualmente pode-se verificar várias pesquisas que vêm mostrando a importância de eventos neotectônicos na configuração geral das formas do relevo na margem equatorial passiva do Nordeste brasileiro (SAADI, 1993; BEZERRA *et al.*, 2001; FURRIER, 2007; BARBOSA *et al.*, 2011;). Diante do crescente número de pesquisadores investigando a evolução geomorfológica dos Baixos Planaltos Costeiros associando os eventos tectônicos e seus efeitos nos sistemas fluviais, uma revisão geomorfológica apoiada em análises quantitativas apresenta-se bastante oportuna.

3.3.2 Depressão Sublitorânea

O perímetro do alto curso dos rios Mamuaba e Gramame é caracterizado por uma depressão interior de altitudes modestas, representada pela escarpa mais oriental do Planalto da Borborema. A Depressão Sublitorânea está alinhada em relação aos principais lineamentos estruturais, com direção geral E-W (CORRÊA; FONSÊCA, 2010). Ainda de acordo com o autor, essas encostas orientais são caracterizadas por um alinhamento diferencial, onde se distingue uma porção setentrional com direção geral N-S, e um setor meridional com direção geral NE-SW.

Entre outras características da Depressão Sublitorânea na área, é que ela se apresenta bastante dissecada, formando uma depressão semicolinosa, de topos semiarredondados e vertentes, no geral, convexas, numa feição que se assemelha às áreas mamelonares. Os vales nessas áreas são geralmente abertos e poucos profundos, percorridos por rios predominantemente temporários (CARVALHO, 1982).

Nesta pesquisa, considerou-se como área da Depressão Sublitorânea a porção mais a oeste das bacias dos rios Mamuaba e Gramame, na *interface* entre o limite dessas bacias hidrográficas e a depressão *stricto sensu*, de onde se sobressaem os relevos residuais, ou patamares rebaixados do Piemonte da Borborema e sua conexão em direção à linha de costa, com altitudes próximas ou acima dos 200 m (Figura 7).

Teódulo (2014) afirma que essa unidade morfoestrutural compõe a superfície de contato entre o embasamento cristalino e o domínio sedimentar (assim como se pode observar na área em estudo). O relevo da região sublitorânea reflete um forte controle tectônico, com os principais planos de falhas comandando a rede de drenagem, e os topos dos interflúvios seguem o mesmo alinhamento. Dessa forma, entende-se que feições de vales e elevações topográficas que apresentem morfologia e morfometria diferenciadas das expostas no texto

acima, podem representar indícios de influência de atividades tectônicas e/ou neotectônicas na morfogênese do relevo.

Figura 7 – Relevo característico da Depressão Sublitorânea no alto curso do rio Gramame



Fonte: Vinicius Lima (2014).

3.4 SÍNTESE CLIMÁTICA

O clima de uma região é em grande parte regulado pelos mecanismos da circulação geral da atmosfera e resultante dos processos que atuam na superfície da Terra, tendo como principal fonte de energia o sol. A alta incidência da radiação solar nas regiões tropicais é em grande parte consequência da influência das latitudes na quantidade de insolação que é recebida pelas zonas climáticas do globo.

A circulação atmosférica atuante sobre a área de estudo e suas adjacências é resultado, em geral, do dinamismo atmosférico superior, o qual se configura através da circulação global. Os processos físicos interativos dessa atmosfera superior estabelecem, influenciam e controlam os centros de ação, os quais determinam o comportamento da atmosfera em nível de grandeza inferior (PEREIRA *et al.*, 2012).

O regime pluviométrico no nordeste do Brasil está condicionado a sistemas atmosféricos de média escala. Embora esses sistemas comandem a dinâmica atmosférica regional, estão subordinados aos seguintes sistemas atmosféricos controladores da escala sinótica: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Vórtice Ciclônico de Ar Superior (VCAs), Massa Polar Atlântica (MPA), Massa Equatorial Continental (MEC), Massa

Equatorial Atlântica (MEA), Massa Tropical Atlântica (MTA) Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), Aglomerados Convectivos ou Ondas de Leste (OL), bem como outros sistemas que abrangem uma menor área geográfica, como, por exemplo, o fenômeno da Brisa Marinha e Terrestre (FERREIRA, *et al.*, 2005).

A compreensão da dinâmica atmosférica local desempenha um papel importante na definição dos tipos climáticos de uma determinada região. Situada na faixa tropical, em uma área de transição entre o litoral e o agreste, a carta topográfica Rio Mamuaba possui dois regimes climáticos marcados por pequenas diferenças na distribuição das precipitações e elevadas temperaturas médias anuais. O resultado dessa interação são climas quentes, úmidos e subúmidos, com temperaturas elevadas e baixa variação sazonal da temperatura do ar.

O clima atuante na área de estudo é o tropical úmido, e as médias das temperaturas anuais situam-se em torno de 25°C, apresentando índices pluviométricos que oscilam entre 1500 e 1700 mm, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano, sendo mais intensas nos meses de outono e inverno e sem apresentar meses totalmente secos (MELO, 2003).

Ainda segundo o referido autor, o período chuvoso é caracterizado pelas precipitações de outono-inverno, e tem os meses de abril a julho como os mais representativos desse período. Neste regime observam-se elevadas taxas pluviométricas associadas a altos valores térmicos, enquanto que os períodos de menores precipitações, caracterizando o período seco, correspondem aos meses de setembro a dezembro, equivalentes a primavera e ao verão no hemisfério sul. As precipitações pluviométricas sobre a área estudada possuem um padrão geral no sentido Leste-Oeste, favorecidas pela interação entre os sistemas atmosféricos de meso e macro escala que transportam a umidade do oceano Atlântico na direção do continente.

3.5 VEGETAÇÃO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A grande diversidade de espécies, e o forte endemismo são características das formações florestais da faixa tropical úmida da costa brasileira. A área de estudo está inserida na mesorregião da Zona da Mata Paraibana, e possui vegetação natural própria de uma zona de tensão ecológica entre os ecótonos de Savana Estépica e Floresta Estacional Semidecídua, considerados como domínios de Mata Atlântica, assim, como definidas no artigo 3º do decreto lei N° 750 de 10/02/1993.

O aumento da demanda por terra para fins agrícolas, mineração, indústria etc., tem exercido forte pressão antrópica sobre os ambientes naturais da área de estudo e suas adjacências, acelerando a degradação e diminuindo a qualidade ambiental da área.

Segundo Moreira e Targino (1997) o aumento da população na área, sobretudo nos anos de 1980, incrementado pela construção da barragem Gramame-Mamuaba e a instalação da usina de cana-de-açúcar GIASA, promoveram a ocupação dos vales e planícies aluviais, intensificando a substituição da vegetação natural pelas culturas agrícolas e pastoris, construção de moradias, pequenas barragens, abertura de novas vias de circulação, expansão das comunidades periurbanas e o surgimento de empreendimentos imobiliários (loteamentos) (Quadro 1).

Quadro 1 - Uso e ocupação do solo e cobertura vegetal na bacia hidrográfica do rio Mamuaba e alto curso do rio Gramame

Classes de Uso e Ocupação	Percentual (%)
Floresta estacional Semidecídua	2,33
Savana-Estépica/Cerrado	1,26
Formação Pioneira com influência fluvial	3,01
Agropecuária e Pastagem	87,03
Corpos Hídricos	1,16
Áreas de Influência Urbana	1,24
Solo Exposto	4,04
Total	100

Fonte: Teódulo (2014).

As mudanças nas atividades de uso e ocupação do solo ocorrido nas últimas décadas alteraram a estrutura e a dinâmica da paisagem em questão. As consequências já podem ser visualizadas através da contaminação dos recursos hídricos, e da diminuição da biodiversidade aquática. A destruição da vegetação natural fragmenta o habitat de muitas espécies nativas reduzindo o número de populações e comunidades de plantas e animais, aumentando o escoamento superficial e modificando o ciclo hidrológico, favorecendo a erosão o assoreamento dos rios, e ainda provocando o empobrecimento dos solos (FREITAS, 2012).

Atualmente, a agricultura juntamente com a mineração e indústria, são as atividades econômicas responsáveis pela maior parte das transformações ocorridas na paisagem. Na área em questão pode-se observar a monocultura da cana-de-açúcar e do abacaxi representando as atividades agrícolas hegemônicas, no entanto, as culturas de subsistência tais como, feijão, mandioca e milho, e a pecuária extensiva incipiente, quando presente e realizada com a

utilização de práticas agrícolas rudimentares, contribuem para a degradação dentro da área em análise reforçando a necessidade de práticas agrícolas conservacionistas e a preservação dos recursos naturais.

4 GEOMORFOLOGIA, NEOTECTÔNICA E HIDROGRAFIA

4.1 GEOMORFOLOGIA E CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA

As primeiras reflexões aplicadas na Geomorfologia tinham como princípio norteador o fato de que qualquer processo de interpretação resultava necessariamente de uma síntese constante, sendo fundamental o papel desempenhado pelas percepções (VITTE, 2004).

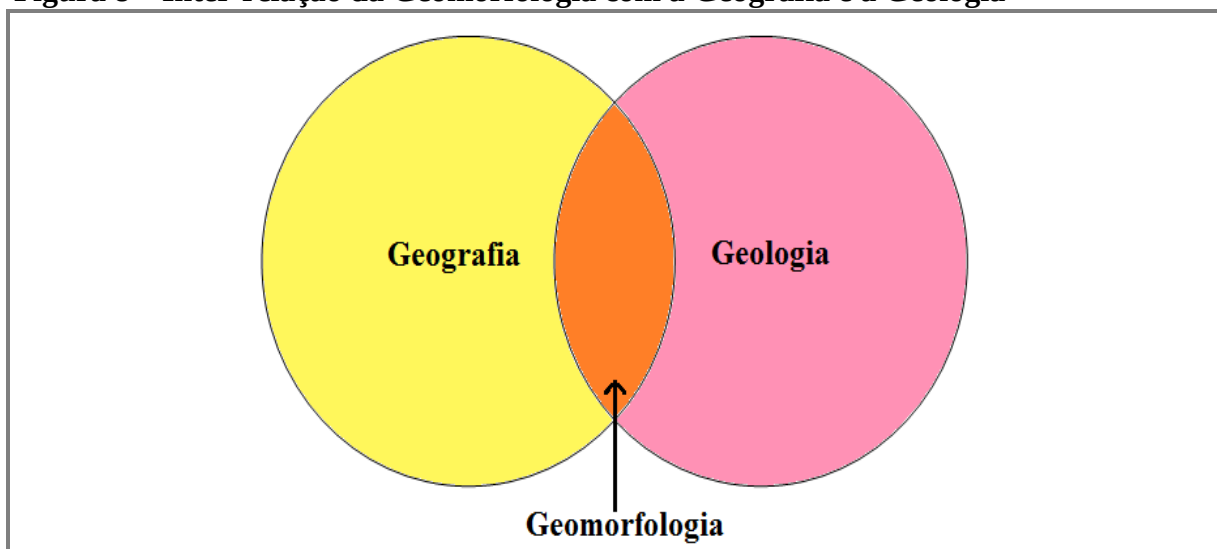
O conhecimento geomorfológico surge como instrumental utilizado e inserido na realização de diversas categorias setoriais de planejamento e gestão. Na verdade, esses estudos versam sobre o processo de prognosticar e avaliar os impactos de uma atividade antrópica em um ambiente e esquematizar os procedimentos a serem utilizados preventivamente, para mitigar ou evitar seus efeitos.

É nesse contexto que se emprega a Geomorfologia, pois as formas de relevo, tanto sua gênese como sua evolução, são o seu objeto de estudo. Embora o relevo, numa rápida observação, pareça ser um componente estático do meio, ele está em constante processo de evolução, com velocidades variadas, interagindo, a todo instante, com os demais componentes.

A Geomorfologia analisa as formas do relevo focalizando suas características morfológicas, materiais componentes, processos atuantes e fatores controladores, bem como a dinâmica evolutiva. Compreende os estudos voltados para os aspectos morfológicos da topografia e da dinâmica responsável pelo funcionamento e pela esculturação das paisagens topográficas. Dessa maneira, ganha relevância por auxiliar a compreender o modelado terrestre, que surge como elemento do sistema ambiental físico e condicionante para as atividades humanas e organizações espaciais (CHRISTOFOLETTI, 2007).

Pode-se, também, lembrar-se das conexões existentes entre três ciências autônomas: a Geografia, a Geomorfologia e a Geologia, pois é balizado em premissas desenvolvidas nessas ciências que este trabalho tem o intuito de apresentar resultados, sabendo-se que elas lidam, cada uma ao seu modo, com seus respectivos objetos de estudo, mas conservando características em comum. Essa posição de independência é, entretanto, insuficiente para encobrir os profundos laços de origem que ligam a Geomorfologia à Geografia e à Geologia (MARQUES, 1994). Dessa forma, a Geomorfologia guarda uma íntima relação com a Geologia e com a Geografia, que influenciam diretamente na caracterização das formas de relevo (JATOBÁ; LINS, 2008) (Figura 8).

Figura 8 – Inter-relação da Geomorfologia com a Geografia e a Geologia



Fonte: Jatobá e Lins (2008).

Na presente pesquisa, tem-se um direcionamento aos estudos geomorfológicos tomando como base os pressupostos estabelecidos pelas diretrizes da Geomorfologia Geral, considerando a influência direta da estrutura geológica e da tectônica na configuração atual do relevo, que pode ser representada, no caso da presente pesquisa, pela cartografia geomorfológica.

Uma das funções básicas da geomorfologia é mapear o relevo para desvendar o modelado de sua estrutura e, a partir daí, estabelecer os mecanismos que deram origem às feições geomórficas. Nesse contexto, os mapeamentos temáticos se tornam essenciais em geomorfologia, principalmente, para o planejamento físico-ambiental, já que a espacialização e localização dos fatos permitem representar e compreender as formas do relevo e a dinâmica dos processos (RODRIGUES; OLIVEIRA, 2007).

A cartografia geomorfológica se constitui em um importante instrumento na espacialização dos fatos geomorfológicos, que permite representar a gênese das formas do relevo e suas relações com a estrutura e processos, bem como a própria dinâmica dos processos, considerando suas particularidades (CASSETI, 2005).

Pode-se entender a cartografia geomorfológica como um importante instrumento na representação do relevo da superfície terrestre e deve-se considerá-la como um dos principais métodos para o estudo e a pesquisa em Geomorfologia, também podendo ser utilizada no planejamento ambiental, fornecendo informações sobre as potencialidades, vulnerabilidades, restrições e riscos de ocupação e intervenções possíveis na paisagem. Na verdade, esses estudos versam sobre o processo de prognosticar e avaliar os impactos de uma atividade

antrópica ou natural sobre as condições do meio ambiente e esquematizar os procedimentos a serem utilizados preventivamente, para mitigar ou evitar seus efeitos.

Segundo Florenzano (2008), o mapeamento geomorfológico, como conhecido atualmente, teve início na Polônia nos anos de 1950, principalmente como suporte ao planejamento econômico. Além disso, é utilizado em outros países para apoiar estudos teóricos da paisagem. Atualmente, utilizam-se os mapas geomorfológicos em zoneamentos agrícolas, ecológicos e econômicos, como suporte ao planejamento agrícola, urbano e regional, e na elaboração de projetos de obras de engenharia. Entretanto, mesmo sendo uma técnica antiga, até os dias de hoje não existe um consenso no que diz respeito a um método de mapeamento internacionalmente unificado, o que se apresenta no panorama mundial é um conjunto extenso de métodos que visam realizar esse mapeamento dando prioridade aos elementos que se pretende mapear em cada país.

No Brasil, com exceção dos mapeamentos elaborados pelo Projeto RadamBrasil nos anos de 1970 e de algumas contribuições isoladas de autores como Ross e Moroz para o estado de São Paulo em 1997, todos em pequena escala, o que se dispõe em matéria de mapeamento geomorfológico são trabalhos geralmente de detalhe, a exemplo deste que está sendo aqui apresentado.

Quando se fala em mapeamento geomorfológico na comunidade científica, torna-se essencial a noção e o cuidado que se deve direcionar para o conceito de escala. Vários autores, como Ross (1996), Christofolletti (1980) e outros, destacam a importância da escala de tratamento ou de representação do relevo no grau de detalhamento ou de generalização da informação, pois é a escala que vai determinar a adoção de diferentes estratégias e técnicas de abordagem. Por exemplo, as cartas de grande escala permitem mapear formas de relevo em nível local mais pontual e especificamente, mostrando processos atuais e antrópicos na elaboração do relevo (ravinas, voçorocas), enquanto os mapas de menor escala permitem mapear, principalmente, unidades morfoestruturais e unidades morfoesculturais, saindo um pouco do particular e partindo para as estruturas mais generalizadas.

A análise geomorfológica, quando considera as influências do substrato geológico na formação e configuração do relevo, pode ser representada cartograficamente por unidades morfoestruturais (SANTOS *et al.*, 2006).

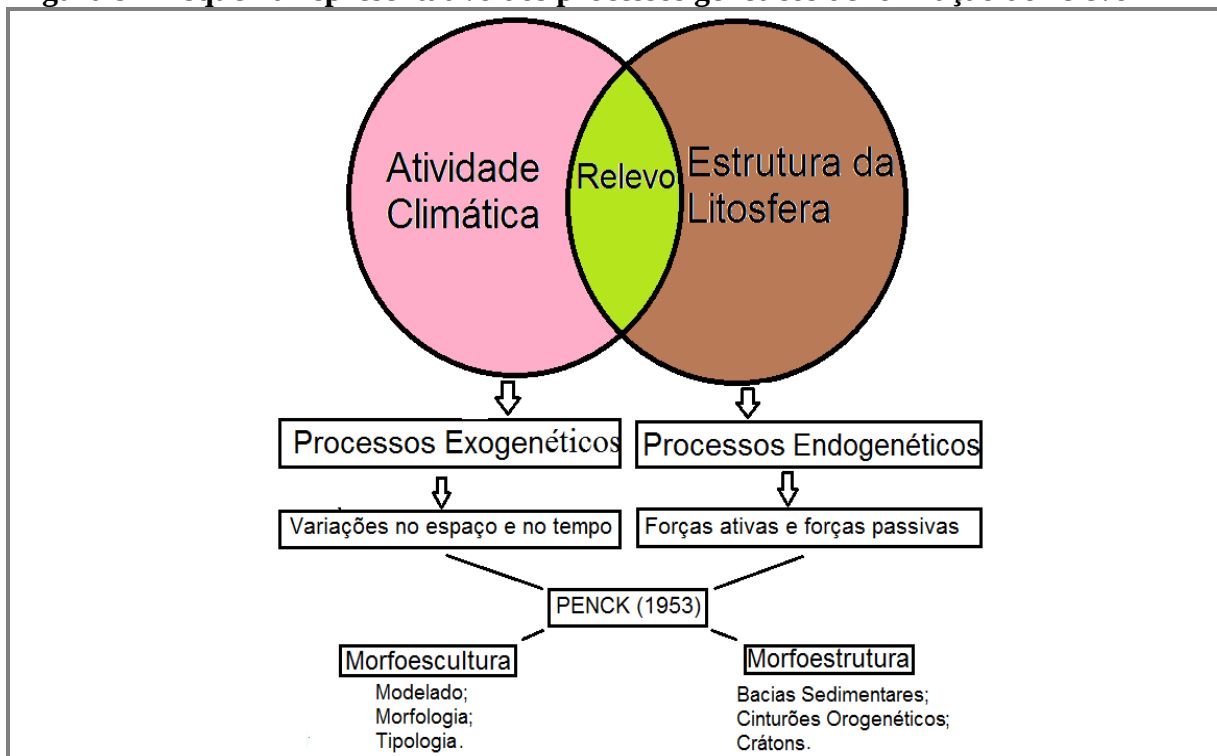
O relevo está dividido em compartimentos geomorfológicos. Casseti (2005) afirma que a compartimentação topográfica corresponde à individualização de um conjunto de formas com características semelhantes, o que leva a se admitir que tenham sido elaboradas

em determinadas condições morfogenéticas ou morfoclimáticas que apresentam relações litoestatigráficas ou que tenham sido submetidas a eventos tectodinâmicos.

As primeiras reflexões voltadas às unidades morfoestruturais em Geomorfologia surge baseado na concepção de W. Penck, que considerou que o relevo é moldado por forças antagônicas, endógenas e exógenas. Levando em consideração a importância das forças endógenas e exógenas, esse autor propôs subdividir todas as formas de relevo em três grandes categorias, sendo elas: (a) unidades geotexturais, que correspondem às grandes estruturas da terra, como as massas continentais, os escudos, as depressões oceânicas e as grandes zonas de montanhas; (b) unidades morfoestruturais, que correspondem às cadeias de montanhas, maciços, planaltos e depressões internas dos continentes e oceanos; e (c) unidades morfoesculturais que se referem aos processos morfogenéticos impostos pelos agentes exógenos (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A Figura 9 representa a esquematização proposta inicialmente por Penck em 1953 para explicar os processos genéticos de formação do relevo levando-se em consideração os fatores climáticos e estruturais.

Figura 9 – Esquema representativo dos processos genéticos de formação do relevo



Fonte: Elaboração própria (2015).

Diante do exposto (Figura 9), é importante dar ênfase ao que preconiza Troll (1973), que os mapas geomorfológicos devem reproduzir as formas de superfícies com seus

respectivos tipos de gênese, que são resultados da ação conjunta de processos endógenos e exógenos.

Baseado nesses conceitos, Mescerjakov (1968) estabelece uma hierarquização para a classificação do relevo, criando uma nova abordagem metodológica para a pesquisa geomorfológica.

Essa concepção, fundamentada na delimitação do relevo através dos conceitos de geotextura, morfoestrutura e morfoescultura para posterior análise geomorfológica, passa, obrigatoriamente, pela cartografia geomorfológica. Seguindo essa concepção, fica evidente a dependência entre a pesquisa geomorfológica e a cartografia do relevo, cujo produto – o mapa/carta – é, ao mesmo tempo, instrumento de análise e documento de síntese da pesquisa.

Como visto acima, a cartografia geomorfológica tornou-se uma importante ferramenta no estudo do relevo, pois é no mapa geomorfológico que se traduzem e se sintetizam várias metodologias e os resultados das respectivas pesquisas.

Demek (1977), percebendo a importância da cartografia geomorfológica, ressalta a importância da coloração em um mapa geomorfológico, levando em conta que, para cada cor, há duas possibilidades de expressão: a própria cor e suas várias tonalidades. Também aborda a problemática da escala na representação do mapa geomorfológico, pois, dependendo da escala adotada, há a necessidade de generalização na cartografia.

É possível notar a evolução metodológica para mapeamento geomorfológico no Brasil e no Mundo. No Brasil o avanço pode ser percebido, desde Ab' Saber (1969) e Moreira (1969), até o projeto RADAMBRASIL, no qual a cartografia geomorfológica teve grande impulso técnico e científico. Nesse projeto, foi desenvolvida uma cartografia geomorfológica baseada nas imagens geradas a partir do sensor remoto SLAR, sensor ativo de visada lateral que era acoplado a uma aeronave.

Usando as imagens produzidas no projeto RADAMBRASIL, Ross (1992), que nele trabalhara nos anos de 1970, propõe uma nova metodologia para o mapeamento geomorfológico. Sua fundamentação teórico-metodológica é baseada nas concepções de Penck (1953), Mescerjakov (1968), Demek (1977) e na abordagem metodológica de mapeamento geomorfológico do projeto RADAMBRASIL.

Baseando-se nas concepções e fundamentações teórico-metodológicas citadas, Ross (1992), apoiado na interpretação genética, estabeleceu níveis hierárquicos de entendimento para o relevo: os seis níveis taxonômicos que foram propostos por Ross (1992) estão organizados, classificados e exemplificados no Quadro 2.

Quadro 2 - Representação esquemática das unidades taxonômicas de Ross

1º Táxon	Unidade morfoestrutural: são as estruturas geológicas mais abrangentes, como as cadeias de montanha, maciços, planaltos e depressões internas dos continentes e dos oceanos.
2º Táxon	Unidades morfoesculturais: relacionam-se com a ação dos elementos morfogênicos sobre as morfoestruturas, são as formas resultantes. Pode-se caracterizá-las como feições do relevo gerado sobre as morfoestruturas, mediante processos exógenos e endógenos. São morfoesculturas planaltos, serras, tabuleiros, planícies, dentre outros.
3º Táxon	Padrões e formas do relevo: são as unidades dos padrões de formas semelhantes do relevo ou padrões de tipos de relevo, é onde os processos morfoclimáticos atuais começam a ser mais bem percebidos. Os padrões de formas de relevo podem ser: formas de acumulação, como planícies fluviais e marinhas, ou formas oriundas de processos denudacionais, como morros, colinas, tabuleiros, entre outras.
4º Táxon	Tipos de forma de relevo: o projeto RadamBrasil (CASSETI, 2005) aperfeiçoou a caracterização do quarto táxon, que está fundamentado na dissecação do relevo e o mapeamento leva em consideração as dimensões interfluviais e o grau de aprofundamento da drenagem. Em relevos tabulares, prevalece a pedogênese, considerando a superioridade da infiltração sobre o escoamento; já no domínio de formas aguçadas, ao contrário, predomina o escoamento. O grau de convexização reflete no jogo das componentes tratadas (pedogênese-morfogênese), o que pode ser justificado pela intensidade da incisão da drenagem, cuja densidade reflete na dimensão interfluvial.
5º Táxon	Setores das vertentes: pertencem a cada uma das formas individualizadas do relevo, cuja forma pode ser convexa, retilínea ou côncava.
6º Táxon	Pequenas formas de relevo: aquelas resultantes de processos atuais, por exemplo, ravinas, voçorocas e bancos de assoreamento, além de formas produzidas pelo homem, como cortes e aterros, entre outros.

Fonte: Adaptado de Florenzano (2008).

As unidades menores, apresentadas nos três últimos táxons, possuem distinções específicas entre si, por meio da rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, bem como do formato dos topos, das vertentes e dos vales de cada padrão existente. Os padrões de formas de relevo podem ser: formas de acumulação, como as planícies fluviais e marinhas; ou denudacionais, como morros, colinas, tabuleiros, entre outros (FURRIER, 2007).

Essas unidades menores são apresentadas no mapa geomorfológico por meio de um conjunto de letras maiúsculas e minúsculas. As letras maiúsculas indicam se os padrões se formaram por denudação (representado pela letra D) ou por aggradação (representado pela letra A), e as minúsculas representam as formas geradas, por exemplo: Dt (forma com topo tabular) ou Apf (formas de planície fluvial) como apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Padrões de formas do relevo

FORMAS DE DENUDAÇÃO	FORMAS DE ACUMULAÇÃO
D – Denudação (erosão)	A – Acumulação (deposição)
Da – Formas com topo aguçado	Apf – Formas de planície fluvial
Dc – Formas com topo convexo	Apm – Formas de planície marinha
Dt – Formas com topo tabular	Apl – Formas de planície lacustre
Dp – Formas de superfície plana	Api – Formas de planície intertidal (mangue)
De – Formas de escarpa	Ad – Formas de campos de dunas
Dv – Forma de vertentes	Atf – Formas de terraços fluviais
	Atm – Formas de terraços marinhos

Fonte: Ross (1992).

De modo geral, esses padrões se caracterizam por diferentes intensidades de dissecação do relevo por influência dos canais de drenagem temporários e perenes (ROSS, 1992). Para o cálculo do índice de dissecação do relevo, deve-se levar em consideração o entalhamento médio dos vales (classes) e a dimensão interfluvial média (classes) (Tabela 2). Esses padrões são caracterizados por apresentarem diferentes intensidades de dissecação do relevo (entre 11 para muito fraco e 55 para muito forte), provocadas pela ação da rede de canais (ROSS, 1992).

Tabela 2 - Matriz dos índices de dissecação das formas de relevo

Grau de entalhamento dos vales	Dimensão interfluvial média				
	Muito grande (1) > 1500 m	Grande (2) 1500 a 700 m	Média (3) 700 a 300 m	Pequena (4) 300 a 100 m	Muito pequena (5) ≤ 100 m
Muito fraco (1) < 20 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 20 – 40 m	21	22	23	24	25
Médio (3) 40 – 80 m	31	32	33	34	35
Forte (4) 80 – 160 m	41	42	43	44	45
Muito forte (5) > 160 m	51	52	53	54	55

Fonte: Adaptado de Ross (1996).

Com o intuito de melhor representar os padrões acima relacionados, Furrier (2007) fez algumas adaptações nas nomenclaturas propostas por Ross (1992), devido à dificuldade de representar cada padrão separadamente na escala de trabalho por ele adotada (1:100.000) e por algumas características do relevo da área estudada. Ainda segundo Furrier (2007), para serem calculados os entalhamentos médios dos vales, deve-se levar em consideração a estrutura geológica/geomorfológica regional e a hierarquização da rede de drenagem. O autor relata, ainda, que Ross (1985) calculou esse índice nos Planaltos e Serras do Atlântico Leste-Sudeste, considerando como mais representativos os rios de 3ª ordem, enquanto para Furrier (2007), nos Baixos Planaltos Costeiros, por exemplo, o entalhe de rios de 2ª ordem já podem ser suficientes para hierarquização e caracterização dos padrões de formas do relevo.

Para elaboração de um mapeamento geomorfológico, faz-se necessário lançar mão de uma metodologia que melhor se aproxime dos elementos que o pesquisador está querendo representar. Tomando tal afirmação como verdade, o material cartográfico geomorfológico da área de estudo, aqui apresentada, considerou a metodologia proposta por Ross (1992) e adaptada por Furrier (2007). Essa metodologia de classificação do relevo e mapeamento geomorfológico apoia-se, principalmente, nos aspectos fisionômicos, embora o relevo seja produto de determinada influência de ordem genética.

A excelente aplicabilidade dessa metodologia, já muito empregada em outros trabalhos, à exemplo do mapeamento geomorfológico do estado de São Paulo em 1997 e

também do estado do Paraná em 2006, bem como a fácil leitura do mapa final com ampla gama de informações registradas na sua legenda integrada, fez dessa metodologia a mais adequada para o desenvolvimento do mapeamento proposto para este trabalho.

4.2 NEOTECTÔNICA E BACIAS HIDROGRÁFICAS

Um dos elementos a ser explorado nesta pesquisa está relacionado ao estudo de movimentos neotectônicos e sua relação com o padrão de drenagem, direção dos cursos de água e feições morfológicas desenvolvidas. Segundo Saadi (1993) a terminologia “tectônica recente” trata das atividades tectônicas ocorridas desde o final do Terciário ao Quaternário, denominadas de atividades neotectônicas. Esse processo é evidenciado pela morfologia do relevo atual em várias partes do mundo, inclusive no Brasil.

O termo “neotectônica”, ainda pouco divulgado no conhecimento popular, foi empregado pela primeira vez em 1948 pelo geólogo soviético “V”. A. Obruchev, para definir os movimentos da crosta terrestre que se instalaram durante os períodos do Terciário Superior (Mioceno e Plioceno) e do Quaternário, e que assumiram um papel decisivo na formação da topografia contemporânea (SAADI, 1993).

Já para Morner (1990), o período de início dos eventos neotectônicos pode ocorrer em períodos diferentes e em lugares distintos, dependendo do regime tectônico. Stewart e Hancock (1994) concordam com a definição de Morner (1990), afirmando que é o ramo da tectônica preocupado com a compreensão dos movimentos que ocorreram no passado e estão continuando nos dias de hoje.

A margem continental brasileira, dita passiva e divulgada como estável, tinha seus estudos investigativos em décadas passadas relacionados à tectônica em bacias sedimentares marginais historicamente concentrados em fases mais pretéritas vinculadas à fase rifte (ASMUS, 1975).

Durante longos períodos de desenvolvimento científico, as unidades litoestratigráficas da fase pós rifte foram consideradas pouco ou não afetadas pela tectônica pós-Cenozoica. Porém, há algumas décadas, vem crescendo consideravelmente o número de pesquisas de caráter exploratório que atestam que as unidades pós-rifte sofreram e sofrem deformações de movimentos tectônicos recentes que influenciaram na própria sedimentação e na morfologia atualmente presente nessas bacias e no relevo que elas sustentam (FURRIER *et al.*, 2006; ANDRADES FILHO, 2010; BEZERRA, 2011; ROSSETTI *et al.*, 2012).

Especificamente no Brasil, a origem do neotectonismo está ligada diretamente à abertura do Atlântico Sul e a consequente migração do continente sul-americano que ocorre até os dias atuais; portanto, tal movimentação exerce uma compressão geral E-W no território brasileiro, podendo reativar falhas pretéritas e gerar sismos (HASUI, 1990). Para Silva e Melo (2011), os mecanismos neotectônicos na margem continental brasileira enquadra-se em um modelo de tectônica ressurgente, ou seja, aproveita-se parcialmente de planos de fraqueza desenvolvidas durante as fases tectônicas anteriores. Esses planos de fraqueza ganham importância fundamental nos estudos neotectônicos, visto que direcionam a drenagem, a dissecação e a agração nos compartimentos geomorfológicos.

No quadro total, o território brasileiro foi afetado em toda sua extensão por deformações tectônicas cenozoicas, essas deformações tomam proveito das linhas de fraqueza herdadas das deformações pretéritas, podendo, também, originar novas estruturas. Dessa forma, os processos geológicos representariam, na maioria das vezes, um produto da herança estrutural passada. Como resultado, a neotectônica decorreria da reativação, em geral sob regime transcorrente, de lineamentos pré-cambrianos mais expressivos (SUGUIO, 2010).

No Brasil, o interesse pelos estudos neotectônicos só teve maior impulso a partir dos anos de 1970, pela necessidade ligada à construção de grandes obras, tais como as usinas hidroelétricas e nucleares (SUGUIO, 2010). Assim, foram se desenvolvendo diferentes técnicas para esses estudos e, ao mesmo tempo, comprovando que a estabilidade tectônica no Brasil é somente relativa às áreas de subducção, mas que ela não pode ser subjugada e muito menos desprezada.

Atualmente, os estudos de cunho neotectônico-geomorfológico têm ganhado importância e destaque por diversos autores (BARBOSA *et al.*, 2011; BRITO NEVES *et al.*, 2004, ETCHEBEHERE *et al.*, 2000, 2006; FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006; SOUZA *et al.*, 2010), com a aplicação de índices morfométricos em redes de drenagem e de análises dos aspectos geomorfológicos e morfotectônicos.

Algumas feições da paisagem são tipicamente susceptíveis ao controle tectônico, como a rede de drenagem e o padrão de relevo (STEWART; HANCOCK, 1994), que podem assumir diversas morfologias na paisagem. As análises morfométricas na rede de drenagem e nas cartas temáticas elaboradas permitiram identificar anomalias no padrão dessas feições, que evidenciam movimentações tectônicas recentes, e que nem sempre são facilmente visíveis na superfície.

A região costeira do Nordeste brasileiro tem sido descrita como palco de intensa deformação durante o Cenozoico. No litoral da região Nordeste, diversos estudos envolvendo

dados geológicos, geomorfológicos e geofísicos demonstraram a relevância do tectonismo cenozoico (BEZERRA; AMARO, 1998). É notório o aumento do interesse sobre a atividade neotectônica no Nordeste do Brasil, tendo em vista o número de pesquisas relativamente recentes (SAADI, 1993; BEZERRA *et al.*, 2001; LIMA, 2000; BRITO NEVES *et al.*, 2004). Nesses estudos, evidencia-se a importância dos eventos tectônicos atuais como mecanismos controladores dos aspectos geomorfológicos regionais.

A borda oriental do estado da Paraíba mostra uma forte influência de movimentos neotectônicos relativamente recentes, resultantes principalmente da reativação de zonas de cisalhamento dúcteis e rúpteis pré-cambrianas. Com detalhe, é possível observar uma estrutura de *horsts* e *grábens* alternados, formando altos estruturais e vales, todos praticamente perpendiculares à linha de costa atual (FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006). Essa estruturação produziu os Baixos Planaltos Costeiros, que representam os Tabuleiros Litorâneos desenvolvidos, principalmente, sobre a Formação Barreiras, com altitudes na área de estudo de até 213 m. Os *grábens*, por sua vez, abrigam vales fluviais encaixados em falhas transcorrentes e normais comumente preenchidos por sedimentação aluvial quaternária, muitos deles formando extensos manguezais (SAADI, 1993).

Seguindo essa mesma linha, Lima (2000) propõe que o início da deposição da Formação Barreiras e do último pacote das bacias costeiras, e o término do magmatismo em território brasileiro, há cerca de 12 Ma. Um dos trabalhos pioneiros em abordar o tectonismo moderno no Brasil foi o de Freitas (LIMA, 2000), segundo o qual a conformação dos planaltos, as muralhas (*horsts*), as fossas (*grabens*) e os vales de “afundamento” (*rift valleys*) presentes em território brasileiro são evidências de uma tectônica cenozoica no Brasil.

Estudos recentes têm atestado que a atividade sísmica intraplaca comprova a atividade tectônica quaternária no Nordeste (MAIA e BEZERRA, 2011). O domínio dos Baixos Planaltos Costeiros no estado da Paraíba reflete as características estruturais da área relacionada às reativações tectônicas cenozoicas. Sua configuração atual representa herança de uma complexa movimentação de blocos falhados que originam soerguimentos distintos e basculamentos, visualizados por meio das diferentes cotas altimétricas, da exumação de camadas sotopostas e dos diferentes níveis dos entalhes fluviais (FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006).

A tectônica recente afeta a Formação Barreiras ao longo da costa brasileira, do Amapá ao norte do Estado do Rio de Janeiro, sendo relatada em vários trabalhos que descrevem evidências de deformações tectônicas nessa unidade geológica (NOGUEIRA; BEZERRA; CASTELO BRANCO, 2006). Para Suguio (1999), a datação precisa do início do regime

neotectônico é bastante difícil de definir, propondo que o início da deposição da Formação Barreiras, o fecho de sedimentação nas bacias marginais e o término das manifestações magmáticas em território brasileiro se deu em torno do Mioceno médio.

É por essa razão que os estudos relativos à neotectônica não ficaram somente relacionados aos aspectos fluviais, mas também leva em consideração a unidade litoestratigráfica da Formação Barreiras, tendo em vista que a área de estudo está inserida, em sua maior parte sobre essa unidade.

Brito Neves *et al.* (2009) identificaram na Sub-Bacia de Alhandra quatro compartimentos estratigráficos, cada um com características próprias, resultantes de deslocamentos verticais recentes, possivelmente do pleistoceno, e interpretados nesta pesquisa como *horst* do alto curso do rio Mumbaba, *gráben* do rio Mamuaba, e *horst* do rio Gramame, todos localizados no oeste da bacia do rio Gramame.

No presente trabalho, analisam-se os estudos entre as feições fisiográficas e as estruturas neotectônicas da região em estudo, que se podem denominar de geomorfologia tectônica ou morfotectônica. Ou seja, utilizam-se as evidências de natureza geomorfológica, buscando anomalias relacionadas à rede de drenagem, ao interflúvio e às vertentes que há na área de estudo.

O estudo dos padrões de drenagem é de suma importância para se evidenciar esse tipo de evento, sendo a hidrografia considerada um dos elementos mais susceptíveis às modificações tectônicas crustais, respondendo de imediato a processos deformativos, mesmo aqueles de pequena escala e magnitude (ANDRADES FILHO, 2010). Tais características tornam a hidrografia e, conseqüentemente, as bacias hidrográficas, elementos apropriados às análises de cunho neotectônico, que busquem determinar áreas sujeitas a movimentações, permitindo, inclusive, avanços em termos quantitativos acerca dessas deformações.

Andrades Filho (2010) expõe diversos tipos de padrões em redes de drenagem, e aponta que elas podem apresentar feições em setores específicos que destoam do arranjo de seu conjunto, constituindo anomalias de drenagem. A significância da análise de tais feições ocorre, principalmente, quando o substrato litológico é homogêneo, que é o caso da área da carta topográfica Rio Mamuaba, que, segundo Brasil (2002), se situa sobre uma mesma litologia (a Formação Barreiras) e quando ocorre dessa forma, as anomalias são tidas como fortes evidências de controle tectônico. Alguns índices podem auxiliar na identificação de terrenos com efeito tectônico, embora outras causas também possam estar envolvidas, cabendo ao pesquisador julgar todas as possibilidades.

Nesta pesquisa, para analisar a ocorrência de eventos neotectônicos na área de estudo, tomaram-se como base metodologias que enfatizam aspectos qualitativos do meio físico relacionados às formas do relevo e da rede de drenagem, e quantitativos relacionados à aplicação de índices morfométricos no estudo geomorfológico.

4.2.1 Análise qualitativa

O estudo de morfologias do terreno visando o reconhecimento de lineamentos morfoestruturais, bem como a interpretação de seus agentes causadores, é fortemente alicerçado na caracterização e análise qualitativa de redes de drenagem e das rugosidades do relevo (ANDRADES FILHO, 2010). Florenzano (2008) afirma que, em estudos geomorfológicos, os aspectos qualitativos também são denominados de morfografia, e se referem às análises descritivas do relevo, representados pelas suas formas e aparência, como, por exemplo, plano, colinoso, montanhoso etc. Dessa forma, a morfografia é a descrição qualitativa das formas de relevo.

4.2.1.1 Possíveis indícios da atuação de eventos neotectônicos na configuração do relevo

Para que se possa realizar uma análise qualitativa das formas de relevo, torna-se imprescindível a realização de numerosos trabalhos de campo para visualizar possíveis indícios de atividade tectônica recente registrada na configuração do relevo. Por meio desse procedimento, pode-se ter mais clareza e precisão das feições topográficas, das encostas, dos canais fluviais ou da litologia local, que podem comprovar ou descartar indícios previamente destacados em mapeamentos e atribuídos à neotectônica na região pesquisada.

A caracterização de estruturas tectônicas tem sido amplamente apresentada na literatura geológica e geomorfológica clássica. A deformação de rochas é desencadeada por esforços compressivos e/ou distensivos, podendo ter natureza rúptil, quando geram quebras, ou dúctil, quando a deformação é apenas plástica. Deformações dúcteis geram dobras, mais comuns em rochas acamadas e que podem ser reveladas por feições encurvadas suaves ou pronunciadas. Deformações rúpteis geram falhas, expressas por superfícies descontínuas com deslocamento diferencial de poucos centímetros a dezenas de quilômetros (ANDRADES FILHO, 2010).

É preciso lembrar que, para a área em questão, os estudos referentes à identificação de deformações superficiais se tornam muito complicados, pois a área está assentada nos Baixos

Planaltos Costeiros esculpidos predominantemente sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras, e as propriedades litológicas dessa formação impedem, por muitas vezes, que estruturas deformacionais expostas às fortes intempéries do litoral brasileiro sejam preservadas por tempos geológicos.

Para identificação de possíveis anomalias na configuração do relevo, precisa-se ficar atento a diversas feições que podem indicar atividades neotectônicas, entre elas: formação de facetas trapezoidais e triangulares, desníveis anômalos para topografia local, falhamentos que interceptam sedimentos recentes ou que modificam os canais fluviais, basculamentos, capturas de drenagem, terraços fluviais, entre outros (LIMA 2000; ETCHEBEHERE *et al.*, 2006; FURRIER, 2007; ANDRADES FILHO, 2010).

Para facilitar a identificação em campo, Suguio (2010) apresenta um modelo estabelecido por Goy *et al.* (1991), em que os indicadores de anomalias neotectônicas são divididos em cinco grupos principais: (a) relacionadas à escarpa de falha e lineamentos; (b) relacionadas a depósitos superficiais deformados; (c) relacionadas a interflúvios e vertentes; (d) relacionadas à rede de drenagem; e (e) relacionadas à disposição geométrico-espacial dos depósitos superficiais.

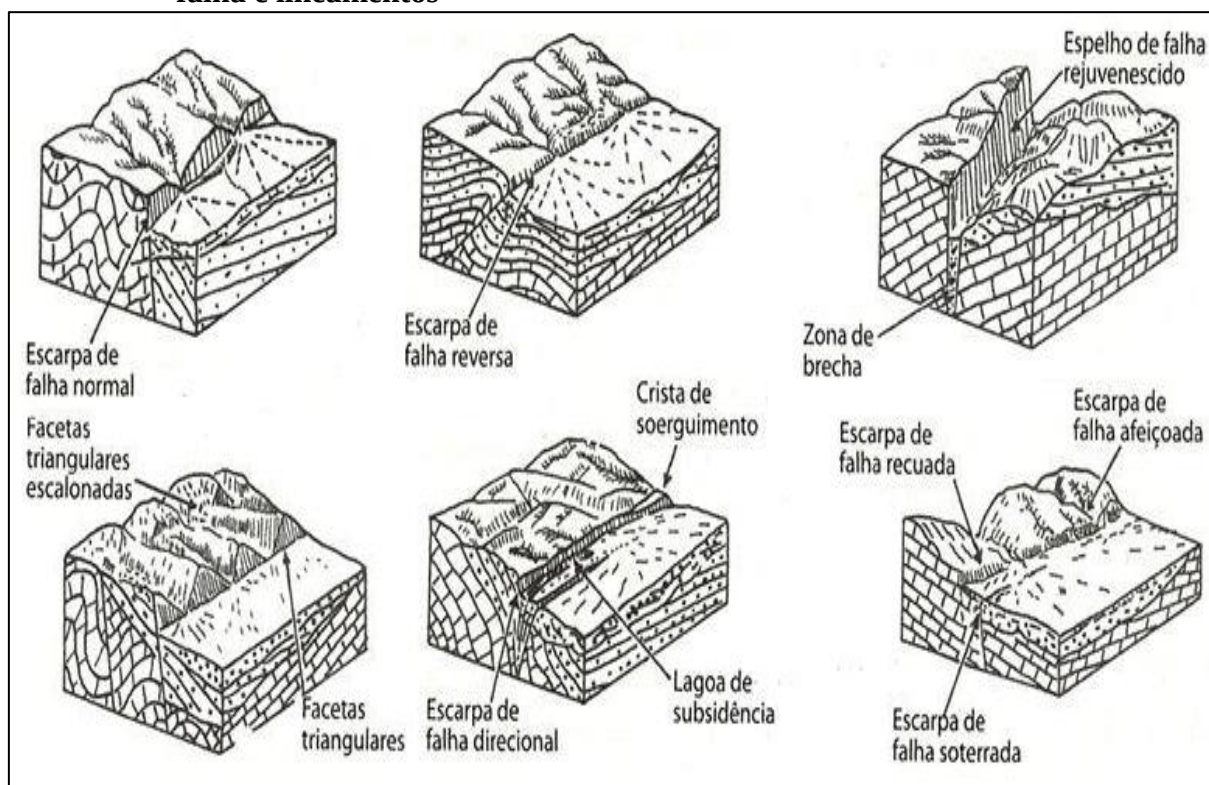
As escarpas de falha e de linha de falha (Figura 10) são feições geomorfológicas que evidenciam a presença de falha, sendo possível identificar a dinâmica evolutiva dessas feições, que geram, quando jovens, deposição de natureza coluvionar e aluvionar, como consequência do relevo que a falha gera. No entanto, em falhas antigas, tais vestígios sedimentares são geralmente erodidos. A erosão tem papel fundamental na evolução do recuo da escarpa de uma falha, em que o registro se dá pela presença da linha de falha, com feições já bastante suavizadas e dissecadas, principalmente em áreas com a presença de forte intemperismo.

Como indício de atividade neotectônica no relevo pode ser citada a evolução de facetas, que ocorrem quando a escarpa de falha é exposta às correntes fluviais secundárias que agem dispostas perpendicularmente a essa escarpa, causando, assim, erosão regressiva contínua (JATOBÁ; LINS, 2008). Como podemos verificar na figura 10, as facetas triangulares correspondem a uma fase mais avançada do processo erosivo.

É importante salientar que se deve interpretar essas estruturas de forma criteriosa para não incorrer em erros no estudo do relevo. Dessa forma, deve-se descartar outras influências que podem dar origem a tais feições, como, por exemplo, a diferenciação da litologia. Bull (1984) adverte que os estudos tectônicos com base na Geomorfologia devem consistir em uma análise múltipla com a observação de cartas topográficas, imagens, visitas a campo para

reconhecer a importância dos controles litológicos e o conhecimento prévio das variações climáticas no espaço e no tempo, que contribuem para a elaboração das paisagens.

Figura 10 – Modelo indicador de anomalias neotectônicas relacionadas à escarpa de falha e lineamentos



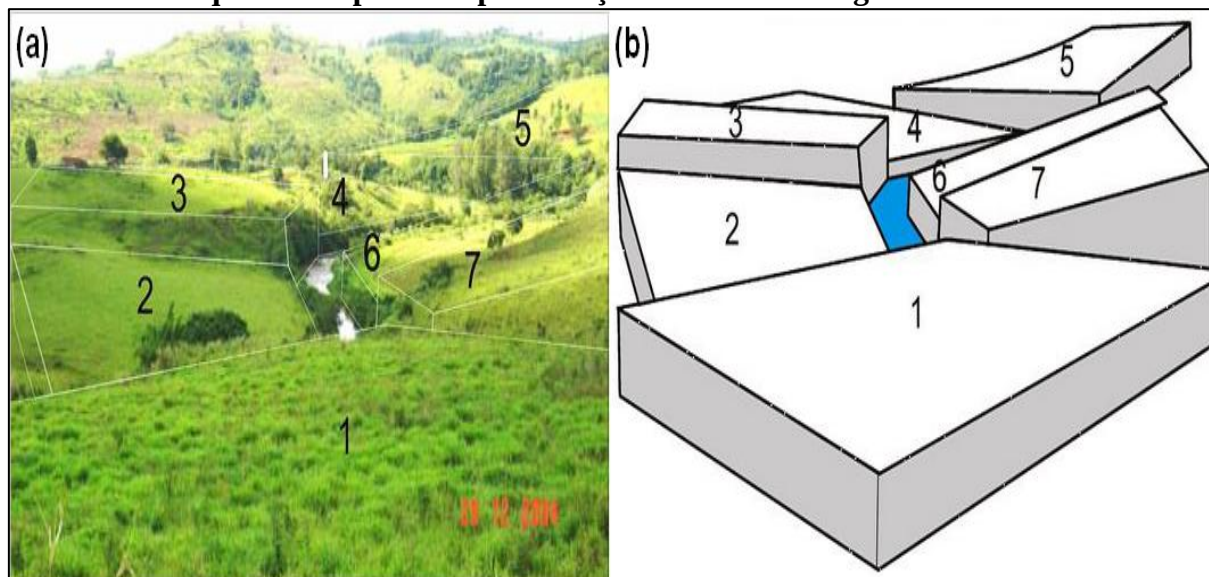
Fonte: Goy et al. (1991 apud SUGUIO, 2010).

Os desníveis anômalos que se destacam na configuração do relevo também se devem levar em consideração para os estudos referentes à neotectônica. Esses desníveis podem estar relacionados a diversos fatores, como basculamento, que, por sua vez, são resultantes de movimentos tectônicos e podem ocasionar modificações pontuais no direcionamento dos canais fluviais. Martinez (2005) apresenta um modelo de basculamento de blocos, que evidencia atividade tectônica, sugerida pela adaptação do canal à dinâmica do basculamento (Figura 11).

Segundo Penteado (1974), quando o falhamento é rápido e contínuo ao escoamento da drenagem, o rio poderá ter o seu curso desviado subitamente ou pode ser represado. Ao mesmo tempo em que as evidências tectônicas de soerguimento são bastante nítidas, percebe-se, também, pelos diferentes níveis de entalhamento e, principalmente, pelas várias drenagens assimétricas encontradas no compartimento, que esse soerguimento que causa essa diferença

altimétrica entre os compartimentos geomorfológicos se faz de forma heterogênea, por blocos falhados e/ou por basculamentos distintos.

Figura 11 – (a) Configuração do canal a partir da dinâmica dos blocos; (b) Modelo esquemático para a representação dos blocos soerguidos e rebaixados



Fonte: Martinez (2005).

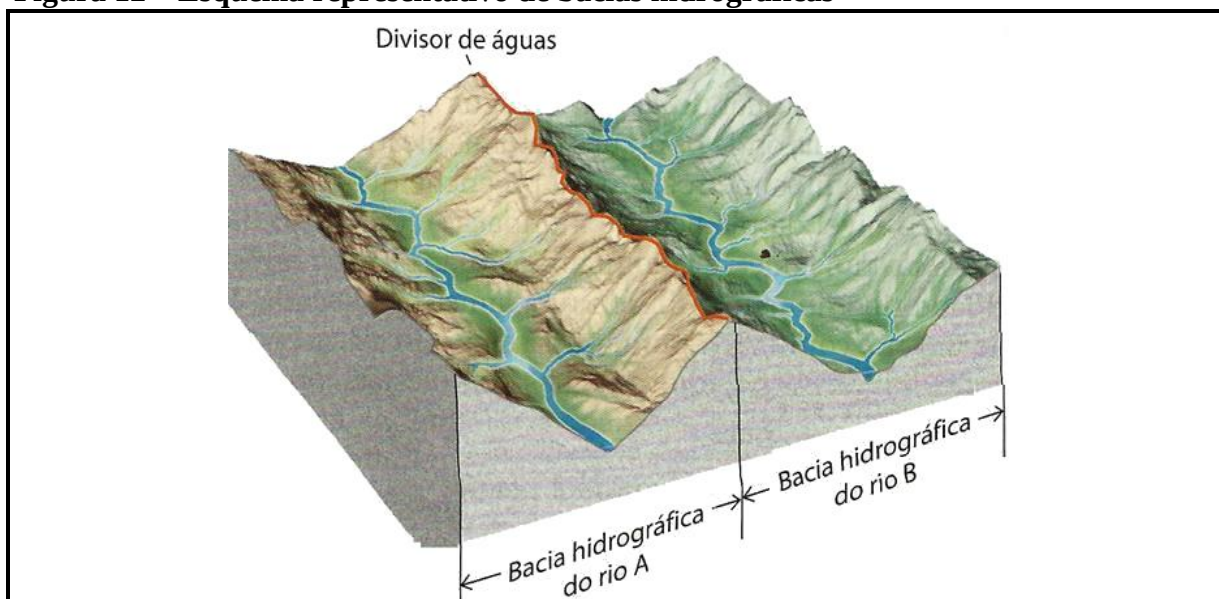
4.2.1.2 Padrões de drenagem no estudo qualitativo da neotectônica

A análise das propriedades de drenagem, devido à sua grande sensibilidade às deformações do terreno, são ferramentas de interesse especial em análises de natureza topológica e morfométrica. Esse tipo de análise qualitativa permite que se conheça a influência da geologia (tipo de rocha e lineamentos) e da possível atuação da tectônica recente no desenvolvimento da morfologia do relevo e da rede de drenagem da área.

Dentre todos os elementos do meio físico encontrados em determinada extensão areal, a bacia hidrográfica, sem dúvidas, é uma das melhores ferramentas para a compreensão dos processos ocorrentes ao longo do tempo geológico, explicitando, em sua própria morfologia, os eventos sob os quais ela foi submetida, sendo eles de natureza climática, antrópica ou estrutural.

Para Barrela *et al.* (2001), a bacia hidrográfica é definida como um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água, onde as águas das chuvas ou escoam superficialmente formando os riachos e rios, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático (Figura 12).

Figura 12 – Esquema representativo de bacias hidrográficas



Fonte: Grotzinger e Jordan (2013).

Os cursos de água são os principais componentes de uma bacia de drenagem. Uma bacia de drenagem é separada das outras bacias por divisores topográficos de água, portanto, toda água disponível dentro da bacia de drenagem é canalizada naturalmente para um exutório.

A drenagem fluvial é composta por um conjunto de canais de escoamento inter-relacionados que formam a bacia de drenagem, definida como área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, o fluxo de água que atinge os cursos fluviais está condicionado ao tamanho da área ocupada pela bacia, da precipitação total e das perdas devido à evapotranspiração e à infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1980).

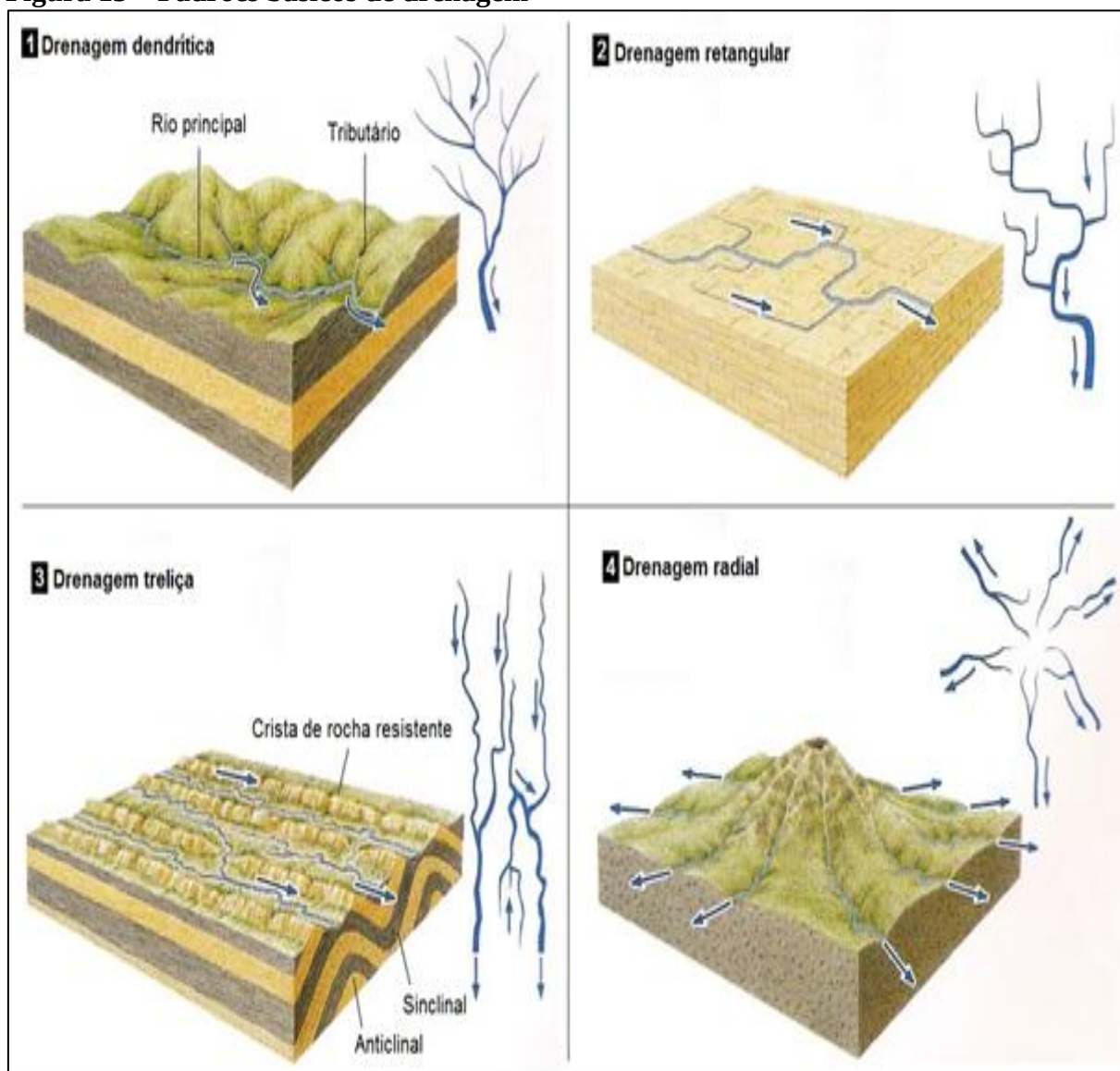
Atualmente existem, na literatura brasileira e internacional, diversos trabalhos que enfatizam a importância do estudo dos padrões de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980; RICCOMINI *et al.*, 2009; ANDRADES FILHO, 2010; CSCHUM *et al.*, 2000; BRIERLEY e FRYIRS, 2005). Esses estudos, em sua maioria, se utilizam das propostas de classificação dos padrões estabelecidas previamente pelos estudiosos de maior destaque internacional nessa área, a exemplo de R. E. Horton, A. N. Strahler e A. D. Howard.

Uma das formas de maior potencial em análises qualitativas de rede de drenagem está calcada na análise do padrão de drenagem, que se refere à forma do traçado estabelecido pelo conjunto de canais. Esse traçado permite inferir sobre o condicionamento topográfico, litológico e estrutural da área onde se assentam os canais. Apresentam-se na literatura

diversas classificações e modelos em relação aos padrões de drenagem (CHRISTOFOLETTI, 1980).

O estudo dos padrões de drenagem é um assunto amplamente debatido na literatura geomorfológica. Uma área composta por um conjunto de canais interligados configura uma rede de drenagem. A classificação dos padrões de drenagem vem sendo discutida por diversos especialistas da área, observando-se, a partir da geometria dos canais, alguns tipos básicos que serão considerados neste trabalho: dendrítico, retangular, treliça, radial (Figura 13), entre outros.

Figura 13 – Padrões básicos de drenagem



Fonte: Press *et al.* (2006).

Segundo Christofolletti (1980) e Argento (2007), a drenagem dendrítica possui um padrão que se assemelha aos galhos de uma árvore. Utilizando-se dessa imagem, o canal principal seria o tronco da árvore e os galhos corresponderiam aos canais secundários. Esse

padrão é mais comum em rochas estratificadas horizontais ou, ainda, que apresentem resistência uniforme. A drenagem retangular é uma modificação da drenagem em treliça, apresentando condicionantes estruturais e tectônicos que dão origem a arranjos de canais com ângulos aproximadamente retos.

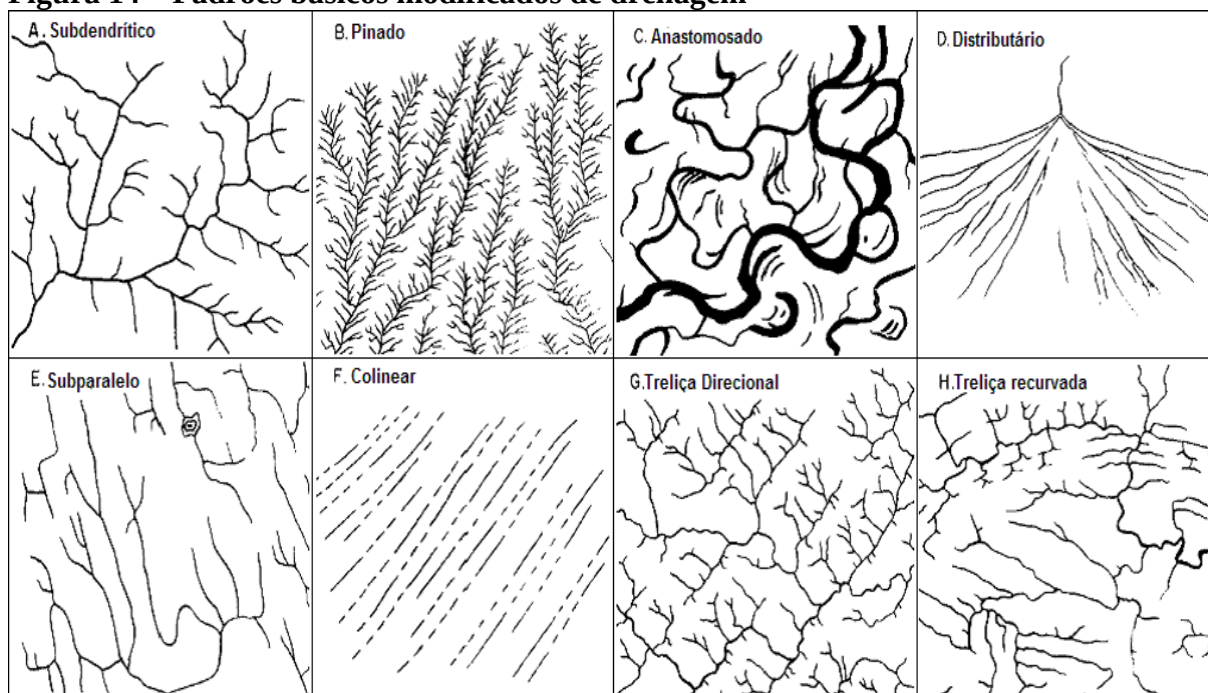
Ainda segundo os mencionados autores, o padrão em treliça é composto por rios principais consequentes, correndo paralelamente. A drenagem também exibe um padrão retangular, todavia, com tributários paralelos entre si recebendo afluentes subsequentes que fluem em direção transversal aos primeiros, comuns de áreas com substratos compostos por rochas mais ou menos resistentes. A drenagem radial é composta por correntes fluviais que se encontram dispostas como os raios de uma roda em relação a um ponto central, que geralmente é mais elevado. Ela pode se desenvolver sobre os mais variados embasamentos e estruturas, sendo comum em domos, cones vulcânicos e morros isolados.

Em geral, esses padrões podem apresentar algumas modificações em sua estrutura. Howard (1967) afirma que, além dos padrões de drenagem básicos, também são encontrados padrões que possuem parte de suas características modificadas e associadas ao padrão básico, classificados como padrões modificados, como se pode verificar no Quadro 4 e na Figura 14.

Quadro 4 - Significado dos padrões de drenagem do tipo básico e os seus respectivos padrões modificados

Padrão básico	Significado	Padrão modificado
Dendrítico	Sedimentos horizontais ou chanfrado, resistência uniforme, rochas cristalinas. Suaves declives regionais no presente ou no tempo da formação da drenagem. Tipo padrão assemelha-se a um castanheiro.	Subdendrítico Anastomosado Pinado Distributário
Paralelo	Geralmente indicativo moderado de encostas íngremes, porém também é encontrado em áreas de formas alongadas e paralelas. Todas as transições possíveis entre esses padrões e o tipo dendrítico e treliça.	Subparalela Colinear
Treliça	Mergulho ou dobras das camadas sedimentares, vulcanismo, ou baixo gradiente de rochas metassedimentares, área de fraturas paralelas, lagos exposto ou fundo do mar com nervuras, ou por cristas de praia. Todas as transições para o padrão paralelo.	Treliça direcional Treliça junta Treliça falha Treliça recurvada Subtreliça
Retangular	Juntas e/ou fraturas com ângulos retos. Precisa de uma maior qualidade na repetição do padrão de treliça: falta continuidade regional nos divisores e nos cursos.	Angular
Radial	Vulcanismo, domos e erosão residual. Uma complexidade do padrão radial em um vulcão área de atuação talvez pode ser chamado de multirradial.	Centrípeta
Anelar	Possui forma semelhante a um anel. Associado a relevos concêntricos, domos dissecados ou estruturas em bacias. Desenvolve-se quando os estratos rochosos apresentam-se com diferentes graus de resistência.	—

Fonte: Adaptado de Howard (1967).

Figura 14 – Padrões básicos modificados de drenagem

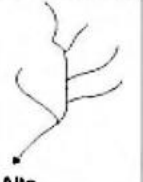
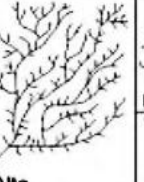
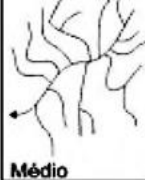
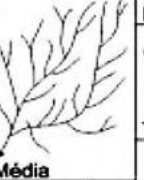
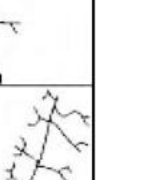
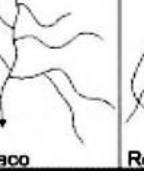
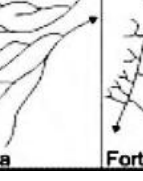
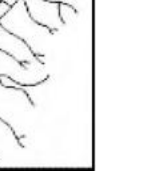
Fonte: Howard (1967).

A análise de tais feições torna-se de suma importância para este trabalho, pois, em alguns casos, anomalias de drenagem podem estar relacionadas à ocorrência de atividade tectônica recente. Assumpção e Marçal (2006) reconheceram como anomalias diversas feições nos canais fluviais, como capturas de drenagem já ocorridas e prováveis capturas futuras, curvaturas anômalas, segmentos retilíneos da drenagem e meandros comprimidos.

Na rede de drenagem, podem aparecer formas anômalas diferentes do arranjo geral dos elementos de drenagem, deve-se considerar cada forma anômala e investigar seu significado (SOARES; FIORI, 1976).

Para análise da forma da rede de drenagem, Soares e Fiori (1976) consideram que as propriedades mais importantes a serem analisadas são: a densidade de textura de drenagem; a sinuosidade dos elementos texturais de drenagem, que se pode classificar visualmente em: predominantemente curvos, predominantemente retilíneos e curvos e retilíneos (mistos); a angularidade que se refere ao ângulo de confluência dos elementos de drenagem; a tropia, que é a propriedade dos elementos de drenagem que se desenvolvem segundo uma direção preferencial; a assimetria de drenagem, que é caracterizada pela presença de elementos com tamanho ou estrutura sistematicamente diferentes, de um lado e de outro, do elemento maior e por lineações de drenagem, que são elementos de drenagem fortemente estruturados, retilíneos ou em arco (Figura 15).

Figura 15 – Principais propriedades de drenagem

Grau de Integração	Grau de Continuidade	Densidade	Tropia	Grau de Controle	Sinuosidade	Angularidade	Assimetria
 Alto	 Alto	 Alta	Unidirecional	 Forte	 Curvos	 Alta	 Fracas
 Médio	 Médio	 Média	Bidirecional	 Fraco	 Mistos	 Média	 Forte
 Baixo	 Baixo	 Baixa	Tridirecional	 Fraco	 Retilíneos	 Baixa	 Forte
			Multidirecional desorientada				
			Multidirecional orientada				

Fonte: Soares e Fiori (1976).

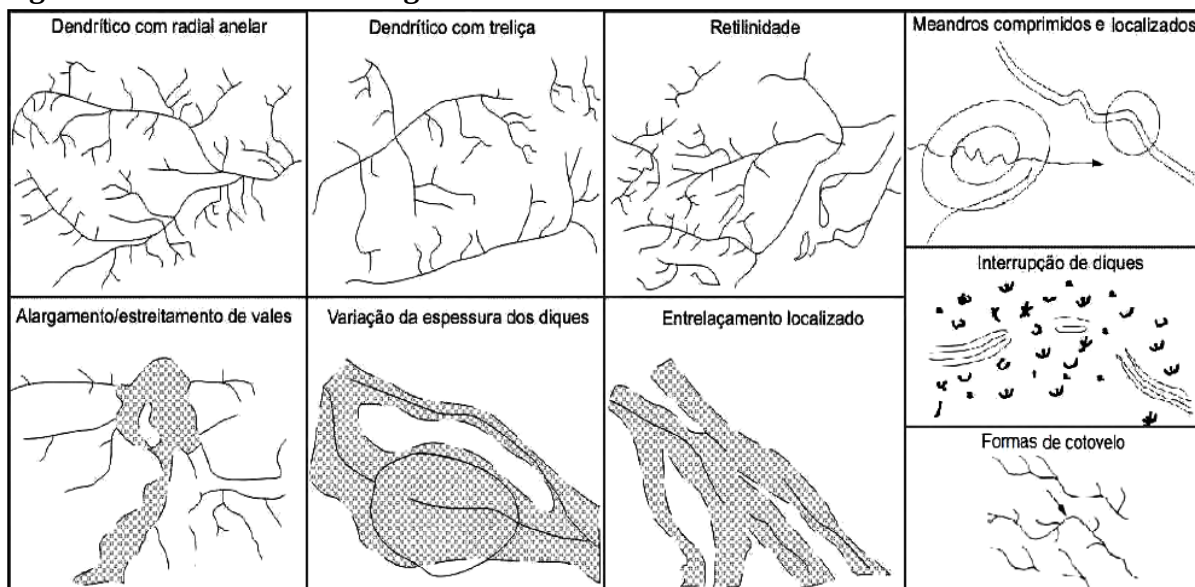
Segundo Christofolletti (1980), o estudo de uma rede de drenagem fluvial é de grande relevância, uma vez que, pela análise do traçado dos rios e vales, bem como da morfologia do relevo de uma bacia, é possível aclarar inúmeras questões de natureza geomorfológica. Nessa perspectiva, a Geomorfologia Fluvial interessa-se pelo estudo dos processos e das formas relacionadas com o escoamento dos canais, pois os acontecimentos que ocorrem na bacia de drenagem repercutem direta ou indiretamente nos cursos de água.

Andrades Filho (2010) apresenta alguns exemplos de padrões de drenagem anômalos propostos por Howard (1967) e Soares e Fiori (1976), destacando nove tipos diferentes de anomalias de drenagem que se pode observar em campo ou em mapeamentos (Figura 16). Outro fato importante que a literatura enfatiza é que a maioria dessas anomalias ocorre em canais de primeira ordem, o que é um indicativo mais pontual de que essa modificação foi influenciada por atividade neotectônica, já que as drenagens de primeira ordem são as modificações mais recentes ocorridas no relevo (CORRÊA; FONSÊCA, 2010).

Como mencionado, algumas dessas anomalias podem estar relacionadas à ocorrência de atividade tectônica recente ou neotectônica. Segundo Howard (1967) feições anômalas são resultantes de controle estrutural e podem indicar movimentações impostas por atividade tectônica recente. Porém, é preciso estar atento a possíveis interferências de atividades humanas na rede de drenagem.

Outras configurações que podem ser observadas são a incidência de padrão com características anelares, ocorrência de canais paralelos e cotovelo na rede de drenagem, que, segundo Andrades Filho (2010), são as anomalias mais comuns nos canais fluviais.

Figura 16 – Padrões de drenagem anômalos



Fonte: Adaptado de Howard (1967).

4.2.2 Análise quantitativa

Pode-se dizer que os aspectos quantitativos referem-se à morfometria, representada pelas variáveis relacionadas a: medidas de altura, comprimento, largura, superfície, volume, inclinação (declividade), curvatura, orientação, densidade e frequência de suas formas (FLORENZANO, 2008). Algumas dessas variáveis são de grande importância na análise que se propõe realizar nesta pesquisa. Os valores relacionados às variáveis apresentadas são, em parte, obtidos por meio de índices morfométricos que auxiliam na análise morfotectônica.

Os aspectos morfométricos das bacias hidrográficas refletem algumas das interrelações mais significativas entre os principais fatores responsáveis pela evolução e organização do modelado do terreno, em particular a geomorfologia. Os cálculos morfométricos relacionados a caracteres espaciais, lineares e hipsométricos da drenagem contribuem para uma melhor caracterização das unidades geomorfológicas, cuja qualidade e precisão variam conforme o pesquisador ou objetivo do estudo.

Segundo Guerra e Guerra (1997), a Morfometria é o estudo qualitativo das formas de relevo. Porém, os índices morfométricos serão aplicados em seguimentos de drenagem, nesse

caso, pode-se entender a morfometria fluvial como o estudo de bacias hidrográficas, sub-bacias e canais fluviais com vista a uma análise linear, areal e hipsométrica. Os primeiros trabalhos nesse sentido foram realizados por Robert E. Horton em 1945, que procurou estabelecer leis do desenvolvimento dos cursos de água e suas respectivas bacias. Para isso, utilizou-se de uma análise quantitativa das bacias, o que serviu para uma nova concepção de metodologia (GUERRA; GUERRA, 1997).

As análises morfométricas para realização de estudos neotectônicos têm ganhado destaque nos últimos anos por vários autores (BARBOSA *et al.*, 2011; ETCHEBEHERE *et al.*, 2006; FURRIER; ARAÚJO; MENESES, 2006; FURRIER, 2007; POLZIN, 2008; SOUZA *et al.*, 2010), com a utilização de índices fluvio-morfométricos, pois seus resultados são mais precisos e seguros. Fazendo uso dessa ferramenta, será possível analisar a dinâmica endógena do terreno estudado, proporcionando maior conhecimento da dinâmica ambiental dele.

No presente trabalho, os índices fluvio-morfométricos utilizados foram: (a) Relação Declividade/Extensão (RDE); e (b) Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV). Esses índices foram propostos para que se possa ter um panorama quantitativo dos aspectos tectônicos da área de estudo.

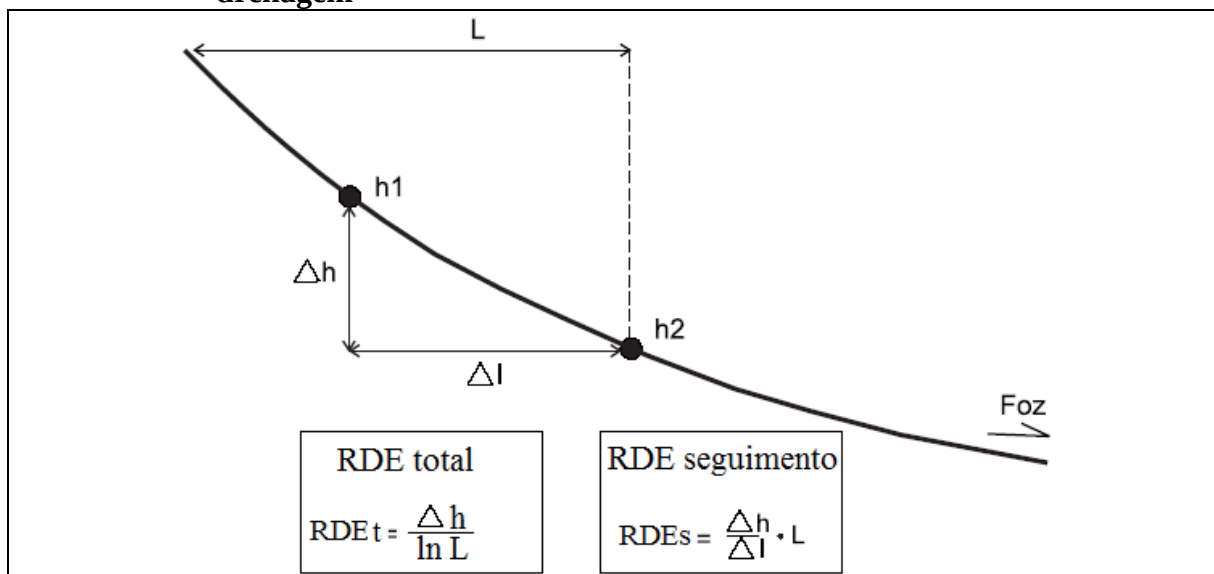
4.2.2.1 Índice Relação Declividade/Extensão (RDE)

Além do estudo morfológico da rede de drenagem, aplicou-se o índice Relação Declividade/Extensão (RDE), proposto inicialmente por Hack (1973), conhecido como índice SL (Relação *Slope* vs. *Length*). Segundo Etchebehere *et al.* (2006), esse índice é um indicador sensível de mudanças na declividade do canal fluvial, que podem estar associadas a movimentos de natureza tectônica.

No Brasil, já existem vários registros da aplicação de técnicas semelhantes, pode-se citar como exemplo os trabalhos na bacia do rio do Peixe, em São Paulo (ETCHEBEHERE, 2000; ETCHEBEHERE *et al.*, 2006), e na bacia do rio Paraíba, na Paraíba (ANDRADES FILHO, 2010).

Pode-se aplicar o RDE a toda a extensão da drenagem (RDE_{total} ou RDE_t), o que possibilita uma avaliação regional de grandes áreas ou apenas RDE de segmentos de drenagens ($RDE_{segmento}$ ou RDE_s), que têm relação mais local, aplicando-se à análise tectônica de detalhe. A aplicação desse índice obedece ao cálculo mostrado na Figura 17.

Figura 17 – Parâmetros utilizados no cálculo do índice RDE para segmento de drenagem



Nota: Os pontos h1 e h2 representam duas isoípsas subsequentes.

Fonte: Adaptado de Andrades Filho (2010).

Esse cálculo fluvio-morfométrico é importante nesta pesquisa, ele é obtido mediante a diferença altimétrica entre dois pontos extremos de um segmento ao longo do curso de água, ou seja, é a diferença altimétrica da nascente do rio até a sua foz, representado por ΔH , e na projeção horizontal da extensão do referido segmento (ΔL). Assim, $\Delta H/\Delta L$ corresponde ao gradiente da drenagem no trecho. O logaritmo natural da extensão total do curso de água é definido por $\ln L$. A letra “L” corresponde à extensão total do canal da nascente até o ponto final do trecho para onde o índice RDE está sendo calculado (MARTINEZ, 2005). Para o cálculo de “L”, o ponto de partida do segmento de drenagem pode ser o ponto médio da extensão do referido segmento até a nascente do rio (EL HAMDOUNI *et al.*, 2008).

O índice RDE é utilizado como forma de detecção de possíveis deformações neotectônicas mediante parâmetros morfométricos obtidos a partir do perfil longitudinal do canal. Esse índice é um indicador preciso acerca de mudanças na declividade do canal fluvial que podem estar associadas às desembocaduras de tributários, às diferentes resistências à erosão hidráulica do substrato rochoso e/ou à atividade tectônica (ANDRADES FILHO, 2010).

4.2.2.2 Índice Razão Fundo/Altura do Vale (RFAV)

O índice Relação Fundo/Altura do Vale (RFAV), também descrito por alguns autores como índice VF (*Valley floor*), distingue vales que possuem superfície ampla no fundo de

vales estreitos, indicando se o rio está escavando ativamente o substrato rochoso, formando um vale em formato de “V”, característica comum de regiões tectonicamente ativas e soerguidas há pouco tempo, ou se está em fase de erosão fluvial das vertentes, geralmente em terras baixas, onde o soerguimento tectônico cessou há muito tempo, e formam vales suaves em formato de “U”. Conforme Bull e McFadden (1977), esse índice é definido pela seguinte equação:

$$RFAV = 2 Lfv / [(Ede - Efv) + (Edd - Efv)]$$

Onde:

RFAV = razão entre a largura do fundo e a elevação do vale;

Lfv = valor da largura do fundo de vale;

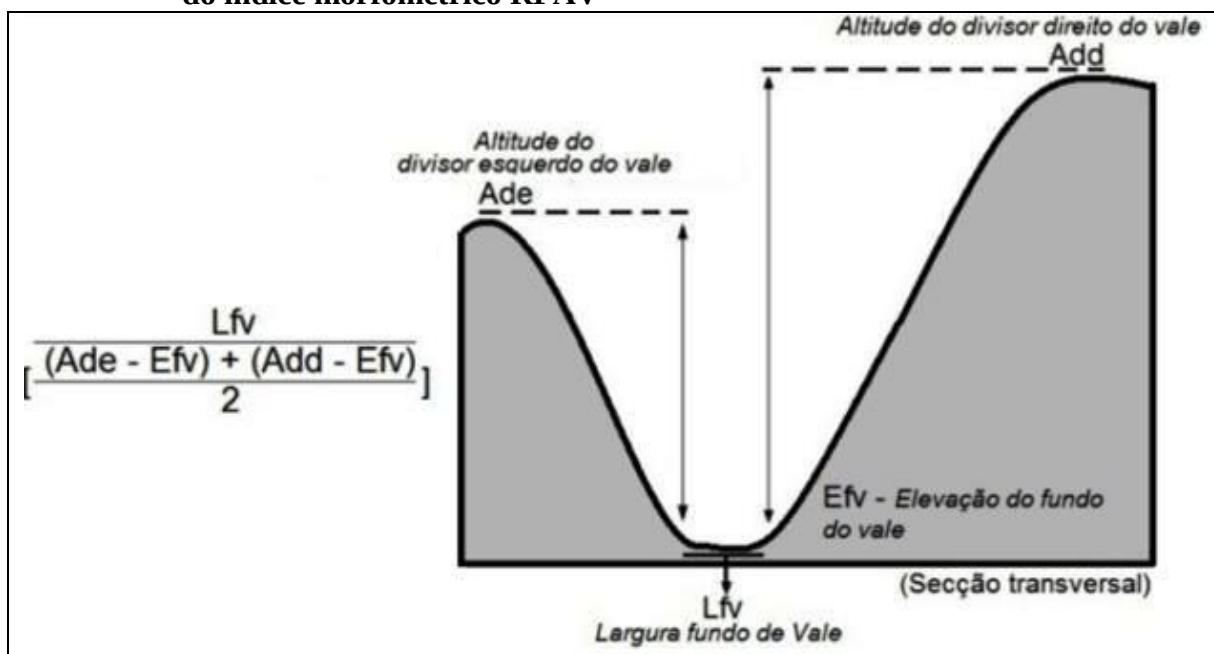
Ede = altitude do divisor do setor esquerdo do vale;

Edd = altitude do divisor do setor direito do vale; e

Efv = valor da média de elevação do fundo do vale.

Essa técnica é balizada exclusivamente para áreas fluviais e consiste na medição da altitude dos divisores de água do vale. As medições se fazem pela medida da altitude do divisor esquerdo do vale (*Ade*) e altitude do divisor direito do vale (*Add*), da largura do fundo do vale (*Lfv*) e da elevação do fundo do vale (*Efv*) (Figura 18).

Figura 18 – Fórmula matemática e procedimento de medida para encontrar os valores do índice morfométrico RFAV



Fonte: Adaptado de Wells *et al.* (1988).

Para a aplicação desse índice, é recomendável selecionar alguns perfis que cortem o canal de maior expressão dentro da bacia, efetuando cortes transversais ao vale com um ângulo de mais ou menos 90°, escolhidos em locais previamente determinados. Na área de estudo os perfis foram selecionados e aplicados nos altos, médios e baixos cursos das bacias e sub-bacias onde foi também aplicado o índice de RDE, para fins comparativos entre os índices.

Os valores de RFAV considerados como indicadores de soerguimento e, conseqüentemente, de atividade tectônica ativa, são baixos ($<1,0$ – vales em forma de “V”), enquanto que valores que indicam estabilidade tectônica, moldados principalmente pela erosão lateral, são mais altos ($>1,0$ – vales em forma de “U”). Silva (2003) afirma, ainda, que, como os valores de RFAV variam, dependendo do tamanho da bacia, da descarga de fluxo e do tipo de rocha, deve-se obtê-los em locais com condições geológicas semelhantes.

5 MATERIAIS E MÉTODO

Para se elaborar um material científico, é indispensável levar em consideração uma sequência lógica de atividades para que se possam obter os resultados pretendidos de forma organizada e sistemática. Nesse sentido, é preciso estar atento à metodologia que se pretende utilizar para se obter os resultados (SILVA, 2014).

Para Freitas (2012), a metodologia é entendida como o conjunto de métodos, regras e postulados que é de fundamental importância para a pesquisa. Já para Furrier (2007), a metodologia se configura como a espinha dorsal da pesquisa. A ciência é construída com fatos, porém um simples acúmulo de fatos não é ciência. A caracterização que se pretende alcançar no presente trabalho não será baseada apenas num acúmulo de dados e fatos, mas, sim, nas interpretações desses dados e fatos observados baseadas em estudos similares e/ou empíricos.

A metodologia empregada neste trabalho está sendo desenvolvida a partir da obtenção de atributos referentes ao terreno (características geológicas e geomorfológicas), à bacia hidrográfica, seguida de análise morfométrica da rede de drenagem, onde esses parâmetros serviram de base para avaliação das condições físicas do terreno e também para detecção de prováveis deformações neotectônicas.

Inicialmente, como em qualquer pesquisa de caráter científico, foi efetuado um levantamento detalhado de bibliografia sobre os temas abordados neste trabalho e, também, sobre a área de estudo, possibilitando a elaboração de uma revisão de leitura consistente para o melhor desempenho da pesquisa. Os principais temas abordados no levantamento bibliográfico são: Geologia, Geomorfologia, neotectônica, características estruturais do terreno e bacia hidrográfica.

O levantamento bibliográfico foi desenvolvido da seguinte forma: primeiramente levantou-se todo o material disponível no Laboratório de Estudos Geológicos e Ambientais (Legam) no Departamento de Geociência da UFPB, como, por exemplo, teses, dissertações, monografias e artigos científicos publicados, além de adquiridos materiais cartográficos fornecidos por esse laboratório. Em seguida, procurou-se levantar produções científicas via *Internet*, onde foi adquirida uma boa quantidade de materiais livres e disponíveis, e no Portal de Periódicos da Capes, que forneceu o levantamento de artigos científicos disponíveis de forma não gratuita, a exemplo do periódico *Tectonophysics*, que abrange uma área de conhecimento nas Ciências Geomorfológicas, Geológicas e demais Ciências da Terra,

incluindo assuntos como tectônica, o que é de fundamental importância para o referencial desta pesquisa.

Para obtenção, análise e quantificação das características físicas do terreno, utilizou-se como instrumento base a carta topográfica Rio Mamuaba na escala de 1:25.000, apresentando equidistância entre as curvas de nível de 10 m, o que fornece uma boa precisão, não fugindo de forma alguma das características reais do terreno.

Para a confecção dos materiais cartográficos aqui apresentados, utilizou-se de técnicas de geoprocessamento e de sensoriamento remoto. Toda a rede de drenagem foi extraída manualmente por meio de vetorização, sendo, com isso, possível realizar a análise qualitativa e quantitativa das bacias, sub-bacias e canais fluviais presentes na área.

Os procedimentos se iniciaram com a obtenção da carta Rio Mamuaba fornecida pela Sudene e, logo após, a sua digitalização, sendo vetorizada em *software* específico. O procedimento de vetorização foi manual, o que forneceu a precisão necessária e uma análise minuciosa da área, pois se vetorizou cada curva de nível, o que proporcionou resultados bastante confiáveis. Vetorizaram-se os seguintes elementos: curva de nível, hidrografia, pontos cotados, malha rodoviária e limites administrativos. Portanto, embora muito mais trabalhoso, a vetorização da carta topográfica na escala de detalhe de 1:25.000 forneceu uma boa precisão dos elementos que foram trabalhados nessa pesquisa, como relevo e hidrografia.

Dessa forma, o tratamento da carta topográfica foi, primeiramente, a sua digitalização, etapa que, segundo Fitz (2008), compõe um processo em que um produto como um mapa ou imagem é introduzido no computador por meio de um *scanner*, que fotocopia digitalmente o material por um procedimento de rasterização, e quando essa etapa é concluída a imagem estará em formato *raster*.

A partir da vetorização da carta base, tornou-se possível, mediante a utilização de *softwares* especializados, elaborar cartas temáticas de altimetria e declividade (hipsométrica e clinográfica), e o Modelo Digital de Elevação (MDE). Produziram-se ambas as cartas com a utilização das curvas de nível da carta topográfica.

5.1 MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE)

O MDE atribui valores digitais z para a porção da superfície terrestre trabalhada com sua localização (x,y) conhecida. Pode-se visualizar esses modelos tridimensionalmente ou transformá-los em mapas temáticos de declividades, orientações de vertentes, entre outros (FITZ, 2008).

Uma das modelagens mais utilizadas nas geotecnologias atualmente diz respeito à elaboração de Modelos Digitais de Elevação (MDEs). Tais nomenclaturas obedecem à ideia de que esse tipo de modelagem procura representar digitalmente o comportamento da superfície do planeta. A geração do modelo propriamente dito ou interpolação corresponde a processos em que se determina o valor de uma função matemática num ponto interno de um intervalo, a partir dos valores da função nas fronteiras de determinado intervalo (SILVA, 2003). A escolha de um determinado método de interpolação é uma decorrência da disposição geográfica dos pontos e da utilização de critérios estatísticos. No trabalho em questão o interpolador utilizado foi o Média Ponderada por Cota e Quadrante. Após a geração do modelo, pode-se desenvolver diferentes aplicações.

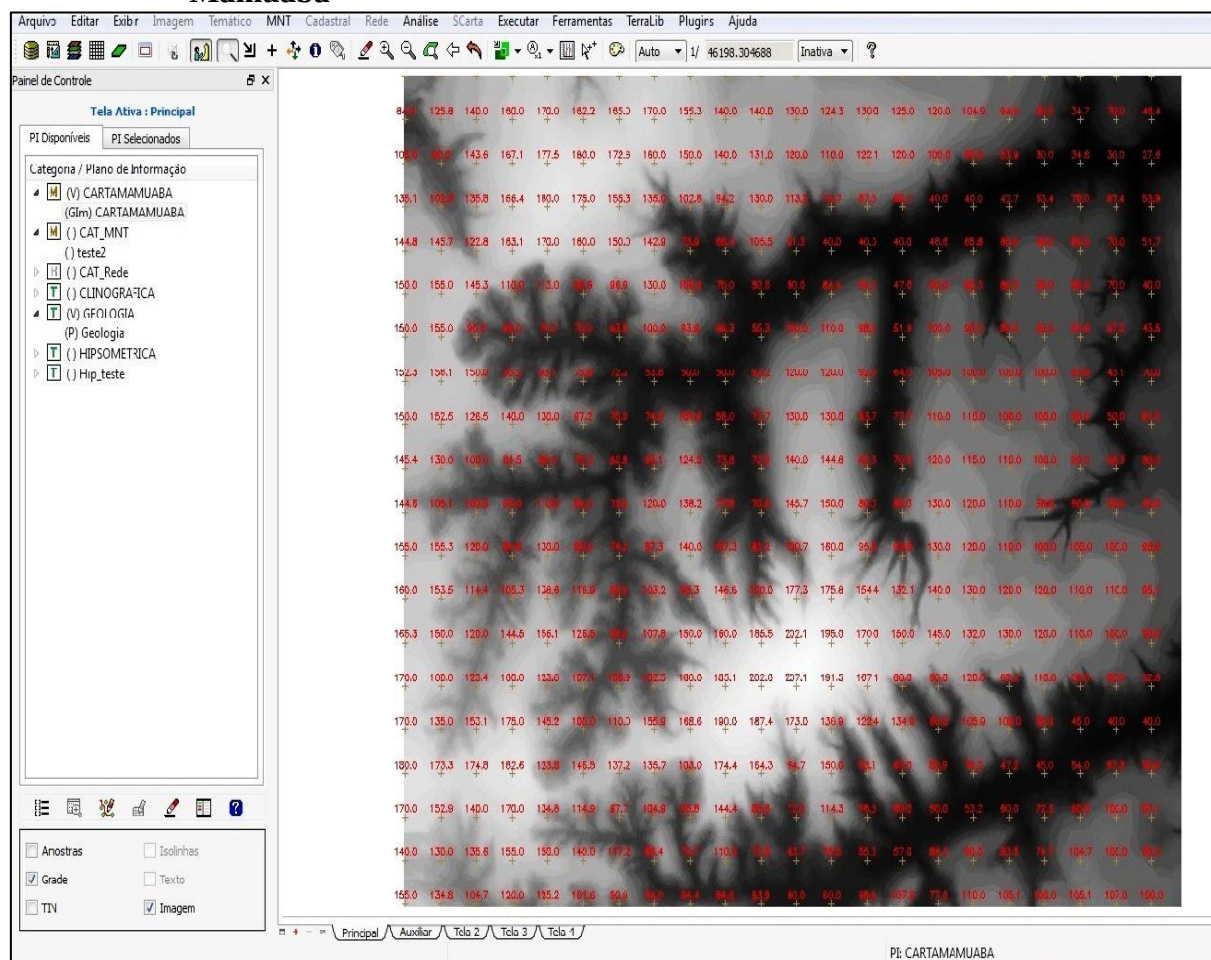
Para confecção do MDE, foi necessário inicialmente utilizar-se da vetorização da carta base. Exportou-se toda a vetorização para o *software* Spring 5.2, onde foi gerada a grade regular (Figura 19) que auxiliou, também, na elaboração da carta hipsométrica. Para a geração dessa grade, utilizaram-se dados do tipo amostra, com isolinhas e pontos cotados. A geração de grades regulares consiste em regularizar a amostra de pontos, ou seja, interpolar as amostras a fim de formar uma malha retangular de pontos onde seja mais fácil estabelecer operações matemáticas computacionais.

Essa forma de representação não preserva a quantidade nem a especialização original dos dados, no entanto permite uma fácil avaliação visual e qualitativa do desempenho do interpolador (BRUCH *et al.*, 2009).

Na elaboração do MDE para a presente pesquisa, foram geradas as grades regular e irregular, com a finalidade de melhor representar os dados da área em questão. A geração de grades regulares é utilizada em análises de cunho qualitativo dos dados, pois uma das formas de visualização da grade regular é através de uma imagem em níveis de cinza, onde os valores mais escuros correspondem aos pontos de cotas mais baixas e os tons de cinza mais claros os pontos de valor mais alto.

O interpolador utilizado foi o Média Ponderada por Cota e Quadrante, essa técnica é ideal para amostras do tipo isolinhas, por executar as mesmas operações dos interpoladores por Média Ponderada e Média Ponderada por Quadrante, e por considerar, ainda, o valor das cotas de cada amostra (STEVENS; MENESES, 2006).

Figura 19 – Imagem de nível cinza e grade regular da área da carta topográfica Rio Mamuaba



Fonte: Elaboração própria (2014).

Também se gerou a grade triangular em ambiente Spring. Não há necessidade de interpoladores na geração de grades triangulares irregulares. O valor das amostras é mantido e os pontos são conectados formando triângulos numa estrutura vetorial com topologia do tipo arco-nó. Gerou-se essa grade para proporcionar a visualização tridimensional do terreno e para a geração da carta clinográfica.

O MDE foi essencial para confecção das cartas hipsométrica e clinográfica. A primeira mostra a representação altimétrica do relevo pelo uso de cores convencionais, e a segunda exhibe os níveis de declividade do terreno. A análise dessas cartas temáticas foi de fundamental importância na elaboração deste trabalho, pois se pode observar várias discrepâncias topográficas, diferentes níveis de entalhamento, padrões assimétricos de várias bacias hidrográficas adjacentes e inflexões bruscas em vários rios da região.

5.1.1 Elaboração das cartas temáticas (hipsometria e declividade)

A carta hipsométrica ou topográfica é uma carta de altitudes topográficas que pode classificar o terreno, além de outros, em intervalos de altitudes de 20 m. Quando a análise for realizada regionalmente, pode interessar conhecer como se distribuem as altitudes do território em intervalos superiores a 20 m. Dessa forma, haverá perdas de informações sobre alguns níveis de altitudes intermediárias.

Segundo Christofolletti (1980), a hipsometria preocupa-se em estudar as inter-relações existentes em determinada unidade horizontal do espaço no tocante à sua distribuição em relação às faixas altimétricas, indicando a proporção ocupada por determinada área da superfície terrestre em relação às variações altimétricas a partir de determinada isoípsa base.

Já a declividade é a inclinação maior ou menor do relevo em relação ao horizonte. Na representação em curvas de nível, quanto maior for a inclinação tanto mais próximas se encontram as curvas de nível; inversamente, elas serão tanto mais afastadas quanto mais suave for o declive (GUERRA; GUERRA, 1997). A carta de declividade fornece informações do gradiente altimétrico do terreno, servindo de base para identificação de vertentes, encostas e áreas alagáveis.

As técnicas utilizadas para a elaboração das cartas temáticas necessitaram de cálculos matemáticos executados por *softwares* específicos. Após a vetorização da carta topográfica, transportaram-se as curvas de nível para esse *software*, no qual se fez os cálculos que resultaram nas cartas de altimetria e declividade.

Para a carta de altimetria, delimitaram-se os intervalos a cada 10 m, até o limite de 20 m, e, a cada 20 m, até o limite de 220 m, que é o ponto mais elevado da área em questão, a equidistância de 10 m inicial é para delimitar, com precisão, as planícies e terraços fluviais. O uso da hipsometria possibilita, ainda, reconhecer o relevo de uma determinada área com maior precisão, auxiliando em tarefas de planejamento, ao inferir as áreas de maior probabilidade a inundações, movimentos de massa e erosão dos solos.

A cada classe temática gerada atribuiu-se uma cor específica. Essa coloração deve seguir parâmetros que melhor representem a diferenciação do relevo. Estabeleceram-se as cores correspondentes a cada classe de altitude considerando as orientações de Fitz (2008), que cita como ideal para mapas hipsométricos representar as baixas altitudes com tons de verde, passando a amarelo, as médias altitudes com tons amarelados até avermelhados e as altas altitudes com tons avermelhados até marrom.

Já para a elaboração da carta de declividade (clinográfica), aplicaram-se as classes definidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (BRASIL, 2006) em substituição às classes estabelecidas pelo antigo Código Florestal brasileiro. As novas classes vigentes qualificam condições de declividade, comprimento de encostas e configuração superficial dos terrenos, que afetam as formas de modelado (formas topográficas) de áreas de ocorrência das unidades de solo. De acordo com os critérios da Embrapa, empregam-se as classes para prover informação sobre praticabilidade de emprego de equipamentos agrícolas, mormente os mecanizados, e facilitar inferências sobre suscetibilidade dos solos à erosão (BRASIL, 2006). Seguindo esses critérios reconhecem-se as seguintes classes de relevo:

1. **Plano:** superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos, com declividades variáveis de 0 a 8%.
2. **Suave ondulado:** superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas até 50 m e de 50 a 100 m, respectivamente), apresentando declives suaves, predominantemente variáveis de 8 a 20%.
3. **Ondulado:** superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives moderados, predominantemente variáveis de 20 a 45%.
4. **Forte ondulado:** superfície de topografia movimentada, formada por outeiros e/ou morros (elevações de 50 a 100 m e de 100 a 200 m de altitudes relativas, respectivamente) e raramente colinas, com declives fortes, predominantemente variáveis de 45 a 75%.
5. **Montanhoso:** superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, usualmente constituídas por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes, predominantemente variáveis de >75%.

A análise de declividades permite determinar as condições de acesso a regiões potencialmente aptas para alguma finalidade, como, por exemplo, a agricultura. Isso se dá por causa de sua influência no processo de infiltração e escoamento das águas pluviais e fluviais.

5.2 ELABORAÇÃO DA CARTA GEOLÓGICA

Elaborou-se a carta geológica confeccionado nesta pesquisa tendo como base, além da carta topográfica, o mapeamento geológico desenvolvido por Brasil (2002) na escala de 1:500.000 e o levantamento geológico realizado por Brito Neves *et al* (2009) em uma escala de 1:50.000 fornecendo mais precisão no detalhamento. Portanto, teve-se que realizar algumas adaptações para que a carta fosse adequado à escala de 1:25.000. O Modelo Digital de Elevação, bem como as imagens de satélites, possibilitaram atualizar algumas informações da referida carta e aumentar o nível de detalhe referente à litologia da área de estudo.

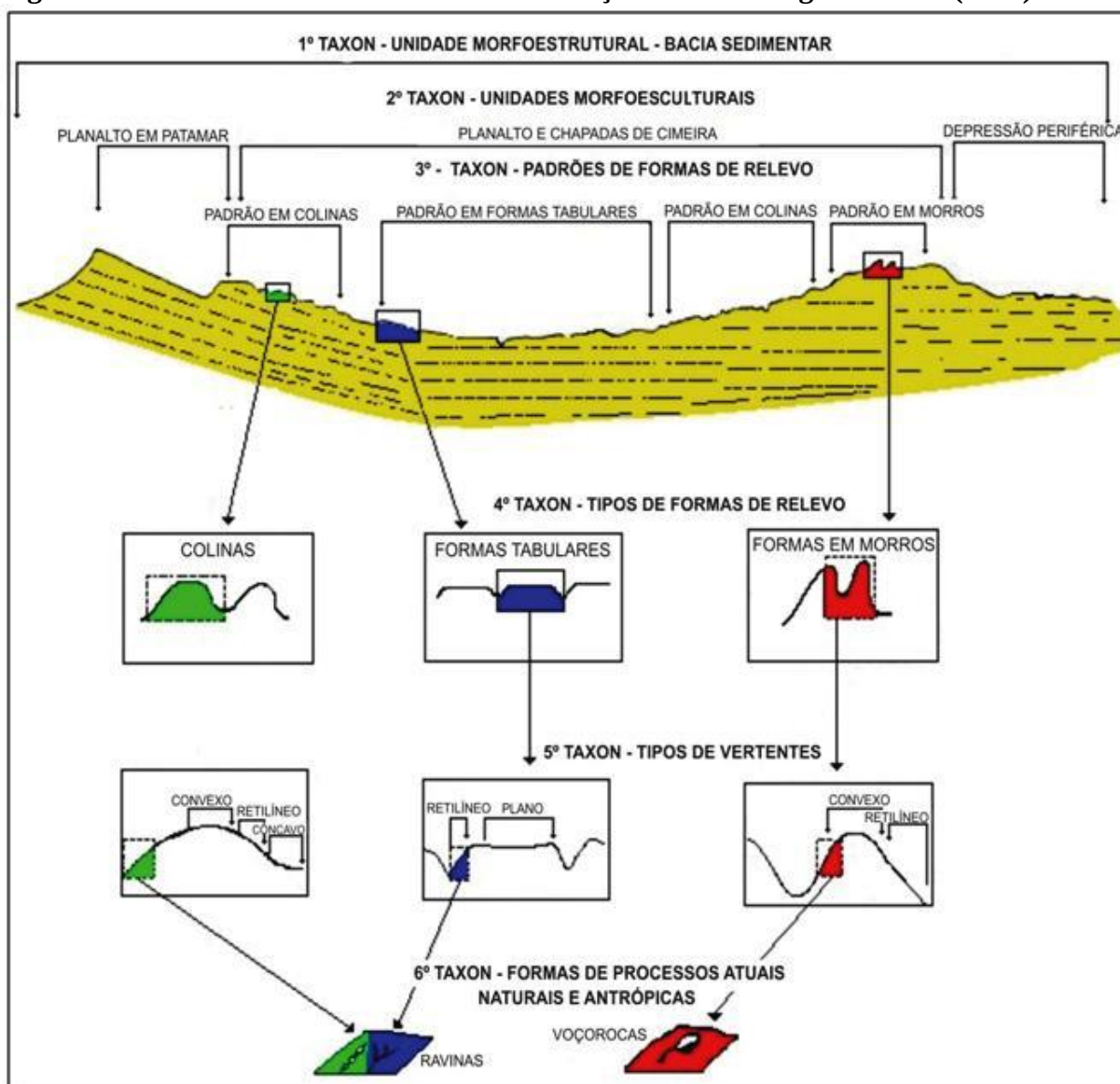
Para a confecção da carta geológica, inicialmente foi necessária a sobreposição e interpretação de diversos produtos cartográficos, fotografias aéreas e imagens de satélite, e a realização de uma pesquisa bibliográfica de materiais referentes aos aspectos geológicos produzidos na área. Além disso, realizaram-se expedições de campo procurando demarcar o mais preciso possível as unidades geológicas presentes na região. Definidas as classes a se representar, iniciou-se a vetorização do zoneamento dos domínios geológicos por meio do modelo vetorial poligonal. Nesse momento, a sobreposição das curvas e da imagem *raster*, feita para elaboração da hipsometria, contribuiu para a delimitação do zoneamento das unidades geológicas apresentadas no mapeamento geológico da área.

5.3 ELABORAÇÃO DA CARTA GEOMORFOLÓGICA

A carta geomorfológica da área pesquisada foi produzida com base na metodologia proposta por Ross (1992) e adaptada por Furrier (2007) para adaptação à escala e ao relevo predominantemente tabular da área. Sua confecção teve como base cartográfica o recorte da área da carta topográfica Rio Mamuaba na escala de 1:25.000, cartas hipsométrica e clinográfica e o MDE gerado. A partir desse material, foi estabelecido seus respectivos táxons.

Ross (1992), baseado nas concepções metodológicas de Penck em 1953, tomou como parâmetros de classificação as formas e a abrangência de cada unidade taxonômica. Dessa forma, o autor estabeleceu seis níveis taxonômicos, quais sejam: morfoestrutura, morfoescultura, padrões de formas do relevo, tipos de formas do relevo, tipos de vertentes e formas de processos atuais naturais e antrópicos, que serão apresentados a seguir, sendo importante salientar a importância da escala para essas subdivisões proposta pelo referido autor (Figura 20).

Figura 20 – Unidades taxonômicas de classificação do relevo segundo Ross (1992)



Fonte: Adaptado de Ross (1992).

Na pesquisa em questão, baseado nessa metodologia, o primeiro passo foi definir as unidades taxonômicas para a área da carta topográfica Rio Mamuaba. Para um melhor entendimento todo o processo será descrito a seguir em 6 passos:

1º passo: determinação do 1º táxon, referente à morfoestrutura. Para delimitar o primeiro táxon, foram consideradas as informações geológicas apresentadas por Brasil (2002) e Brito Neves *et al.* (2009). Portanto na área de estudo foram estabelecidos três domínios: Cobertura Sedimentar de Plataforma (Formação Barreiras), Bacia Sedimentar da Paraíba e Terreno Alto Moxotó.

2º passo: determinação da morfoescultura, das grandes formas de relevo que predominam na área. Esse táxon foi delimitado a partir das formas de relevo dominantes em

cada morfoestrutura. Para tanto, foram realizadas consultas ao recorte geológico da área de estudo, à carta topográfica Rio Mamuaba, à carta hipsométrica e ao MDE, e realizadas visitas a campo. Para a região compreendida pela carta, foram definidas três morfoesculturas: os Baixos Planaltos Costeiros, Superfícies Dômicas e Depressão Sublitorânea.

3º passo: determinação dos padrões de forma do relevo. Para determinação desse táxon foi necessário o uso de uma imagem sombreada, imagem de satélite, recorte geológico e da carta topográfica, onde nela puderam-se ver os padrões de forma do relevo, desde formas de denudação e de acumulação. A partir dessas informações foi possível estabelecer as formas dominantes em cada setor da área de estudo. Foi estabelecida apenas uma forma de acumulação, a saber, a forma de terraço e planície fluvial (Atpf), e três formas decorrentes de processos de denudação em topos tabulares (Dt). Para se adequar a área de estudo foi adicionado outro padrão de forma de relevo denominado de Denudação em Superfícies Dômicas (Dd). Na área em questão foram denominadas duas formas decorrentes de processos de denudação em superfícies dômicas.

4º passo: determinação dos tipos de forma de relevo. Os tipos de formas de relevo, que representam o quarto táxon, podem ser obtidos considerando as informações encontradas no terceiro táxon e no índice de dissecação do relevo. Dessa forma, cada tipo de forma do relevo será estabelecido pela sua dimensão e altimetria. Para se obter o índice de dissecação de cada área, é considerado o entalhamento médio do vale do canal principal da bacia de drenagem e a sua respectiva dimensão interfluvial. Na presente pesquisa, para obtenção do índice de dissecação, foram traçados perfis sobre os canais fluviais representados na hidrografia da carta topográfica Rio Mamuaba e, posteriormente, calculados os respectivos valores referentes aos entalhamentos dos vales, por meio das curvas de nível, e às dimensões interfluviais, a partir do tamanho em centímetro de cada perfil traçado. As formas de denudação na área de estudo dividem-se em dois tipos: formas Tabular e Dômica, e foram classificados, ao todo, 5 diferentes intensidades de dissecação do relevo (Tabular Dt31, Dt41 e Dt42, e Dômica Dd41 e Dd51).

5º passo: o quinto táxon é referente a elaboração dos perfis topográficos. O procedimento foi feito em um *software* específico utilizando a imagem sombreada com as curvas de nível e as cotas altimétricas. Para geração dos perfis topográficos foi necessário em primeiro lugar estabelecer a localização dos perfis a serem traçados, as localizações desses perfis serão tratadas nos resultados dessa pesquisa. Além desses, foram realizados perfis topográficos especialmente para a realização do índice morfométrico Razão Fundo/Altura de Vale, sendo o procedimento o mesmo para ambos os grupos de perfis. Após terem sido

traçados os perfis obedecendo aos desníveis topográficos da área, em um segundo momento esses perfis foram editados em um *software* de edição de imagens, onde foi determinado o seu exagero vertical, sendo esse parâmetro imprescindível em um perfil topográfico. O exagero determinado nos perfis do PI (Plano de Informação) Latitude foi de 5x.

6º passo: O sexto táxon é resultante de processos atuais, por exemplo, ravinas, voçorocas e bancos de assoreamento, além de formas produzidas pelo homem, como cortes e aterros, entre outros, nesse caso, o material usado foi imagem de satélite e idas a campo, onde as formas foram verificadas e depois plotadas com o auxílio de um GPS.

5.4 APLICAÇÃO DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

5.4.1 Índice Relação Declividade/Extensão (RDE)

O índice RDE foi aplicado nas bacias hidrográficas dos rios Mamuaba, rio Vermelho, rio do Buraco, rio Fundo, rio Jangada, rio Mundo Novo, rio do Grilo, riacho Santa Cruz, riacho do Quizada, riacho do Bezerro, riacho do Angelim, riacho Botamonte, riacho Pitauga e riacho Ibuíra. Essas bacias hidrográficas foram selecionadas para aplicação desse índice por representarem os afluentes de maior porte, extensão e hierarquia fluvial, das bacias do rio Mamuaba e Gramame presentes na área da carta. Além de apresentarem evidências morfológicas da atuação de eventos neotectônicos. Inicialmente efetuou-se o cálculo de RDE_{total} na extensão completa das bacias, logo em seguida, dividiram-se o canal em três segmentos, cada um de tamanhos semelhantes, e se calculou o RDE_{trecho} de todos os segmentos. Para que se fosse possível aplicar o índice no Rio Mamuaba foi considerado o seu curso a jusante até a área alagada pelo complexo de barragem Mamuaba-Gramame, onde se verifica o nível de base dessa bacia. A fórmula utilizada para o cálculo de ambos foi, respectivamente:

$$RDE_{total}: (\Delta H / \ln L); \text{ e}$$

$$RDE_{trecho}: (\Delta H / \Delta L) \times L$$

Onde, no RDE_{total} :

ΔH = diferença altimétrica entre a cota localizada na cabeceira do rio e a cota localizada na sua foz (m); e

$\ln L$ = logaritmo natural da extensão total do curso de água (m).

E no RDE_{trecho} :

ΔH = diferença altimétrica entre dois pontos selecionados no curso de água (m);

ΔL = comprimento sinuoso do trecho analisado (m); e

L = corresponde à extensão total (em linha reta) que vai da nascente do canal até o ponto final do trecho para onde o índice RDE está sendo calculado (m).

Dividiu-se a metodologia empregada para obtenção dos valores de RDE em três passos. Inicialmente, elegeram-se os rios alvo da averiguação. Os rios selecionados pertencem em sua maioria à porção sul da carta topográfica, onde se observam os maiores indicativos de atividade de tectônica recente, evidenciadas por meio da análise de produtos cartográficos e de imagens em 3D do terreno. Em seguida, com o auxílio do *software* Spring 5.2, mediu-se a extensão horizontal de cada segmento de drenagem. Mediram-se as cotas das nascentes e dos pontos terminais dos cursos de água de acordo com o valor das curvas de nível adjacentes. Por fim, realizaram-se os cálculos obedecendo às fórmulas, e sistematizaram-se em uma tabela os valores obtidos, para realizar o cálculo dos índices morfométricos e sua posterior análise.

Tomou-se como base para avaliação da intensidade de anomalias verificadas a partir da aplicação do RDE_t e RDE_s nos cursos selecionados, os parâmetros apresentados por Andrades Filho (2010), que considera RDE_{total} e $RDE_{\text{trecho}} = 2$ como o limiar inferior da faixa de anomalias, e por Sebeer e Gornitz (1983), que determinam categorias de intensidade de anomalias, onde: as anomalias de 1ª ordem (de intensidade maior) referem-se aos valores iguais ou superiores a 10; e as de 2ª ordem (de menor intensidade) referem-se aos índices que apresentam valores de 2 a 10.

5.4.2 Índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV)

Selecionaram-se 42 perfis transversais aos rios para aplicação do RFAV nas bacias do rio Mamuaba, rio Vermelho, rio do Buraco, rio Fundo, rio Jangada, rio Mundo Novo, rio do Grilo, riacho Santa Cruz, riacho do Quizada, riacho do Bezerro, riacho do Angelim, riacho Botamonte, riacho Pitauga e riacho Ibuíra. As bacias selecionadas para aplicação do índice RFAV foram as mesmas onde foi aplicado o índice RDE, para fins comparativos entre os dados. Foram traçados três perfis em cada bacia (alto, médio e baixo curso), cortando paralelamente o seu rio principal.

Delimitaram-se esses perfis por dois divisores de água em lados opostos da bacia, tendo como valores de referência curvas de nível e pontos cotados da carta topográfica Rio

Mamuaba 1:25.000 e da grade de altimetria gerada por interpoladores no *software* Spring 5.2. Fez-se a seleção dos vales para aplicação do RFAV levando-se em consideração as cartas hipsométrica e clinográfica, para identificar os vales mais profundos que apresentam declividades mais acentuadas e o recorte geológico da área para traçar os perfis preferencialmente em vales com litologia homogênea em ambos os lados do canal.

Para determinar a largura do fundo de vale (Lfv), mediu-se, na carta topográfica, a distância entre as duas últimas curvas de nível de cada lado do canal fluvial. Realizou-se o procedimento para a definição da elevação fundo de vale (Efv) extraíndo-se o valor da última curva de nível antes do canal fluvial. O valor dessa curva de nível é o Efv. Inseriram-se na equação os valores encontrados nos passos anteriores, para a obtenção dos valores do RFAV.

Pode-se deduzir que os canais que apresentam vales mais profundos com vertentes mais íngremes e convexas são os que possuem maior probabilidade de apresentar anomalias, como erosão acelerada, que, segundo Caseti (1994), podem sofrer influência de soerguimento tectônico. Se o cálculo do RFAV resulta em valores <1 , ele indica que a área tem grandes possibilidades de ter passado por soerguimento tectônico recente; já os valores >1 sugerem que a atividade tectônica na região em que o rio está situado já cessou há longo período de tempo (ANDRADES FILHO, 2010).

Após a finalização da confecção dos produtos cartográficos, assim como dos cálculos morfométricos, adotou-se o procedimento da análise qualitativa e quantitativa de seus respectivos conteúdos, o que forneceu informações com um bom nível de detalhamento da área em questão, apresentando dados sobre a configuração geomorfológica e morfotectônica, permitindo caracterizar os padrões de drenagem, as declividades das vertentes e a altimetria da área estudada, a fim de compreender a evolução morfológica do terreno. Os resultados obtidos podem não só evidenciar as atividades neotectônicas nas bacias hidrográficas em estudo, mas, também, tornar possível quantificá-las e compará-las com outras bacias hidrográficas estudadas em regiões distintas, submetidas aos mesmos eventos.

5.5 TRABALHO DE CAMPO

Uma etapa de fundamental importância dentro desta pesquisa foram as expedições de campo, foram realizados quatro trabalhos de campo. Como se trata de uma área bastante extensa, só se começou a realizar os trabalhos de campo após a confecção das cartas temáticas geradas (hipsometria, declividade e MDE) e, com ajuda de imagens de satélite e fotografias aéreas, traçaram-se os principais pontos de estudos de campo, que foram os pontos referentes

às maiores declividades, planícies de inundação ocupadas e canais fluviais anômalos. Realizou-se o trabalho de campo com os materiais cartográficos em mãos, ficha catalográfica, câmera fotográfica e aparelho de *Global Position System* (GPS). As observações de campo foram fundamentais para a confecção das cartas geológica e geomorfológica da área.

O trabalho de campo teve como objetivo principal a visualização e análise *in loco* das formas anômalas observadas no material cartográfico produzido, referente à geologia, à rede de drenagem e à geomorfologia. Outro motivo plausível para realização dessas visitas foi a obtenção do registro fotográfico, que é fundamental para complementação e entendimento do trabalho escrito.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo serão apresentados inicialmente os resultados referentes ao material cartográfico produzido. Tal cartografia é constituída, principalmente, pelo MDE e pelas cartas temáticas hipsométrica, clinográfica e geomorfológica e os perfis topográficos aplicados. Esse momento inicial consiste em uma análise mais qualitativa, para tanto, foram considerados a rede e os padrões de drenagem e suas interações morfológicas com o relevo e a geologia da área da carta topográfica Rio Mamuaba.

Em seguida serão apresentados e discutidos os valores obtidos por meio da aplicação dos índices morfométricos, constituindo, assim, uma análise mais quantitativa para verificação da atuação de atividade neotectônica na configuração do relevo e da rede hidrográfica da área.

6.1 PRODUTOS CARTOGRÁFICOS

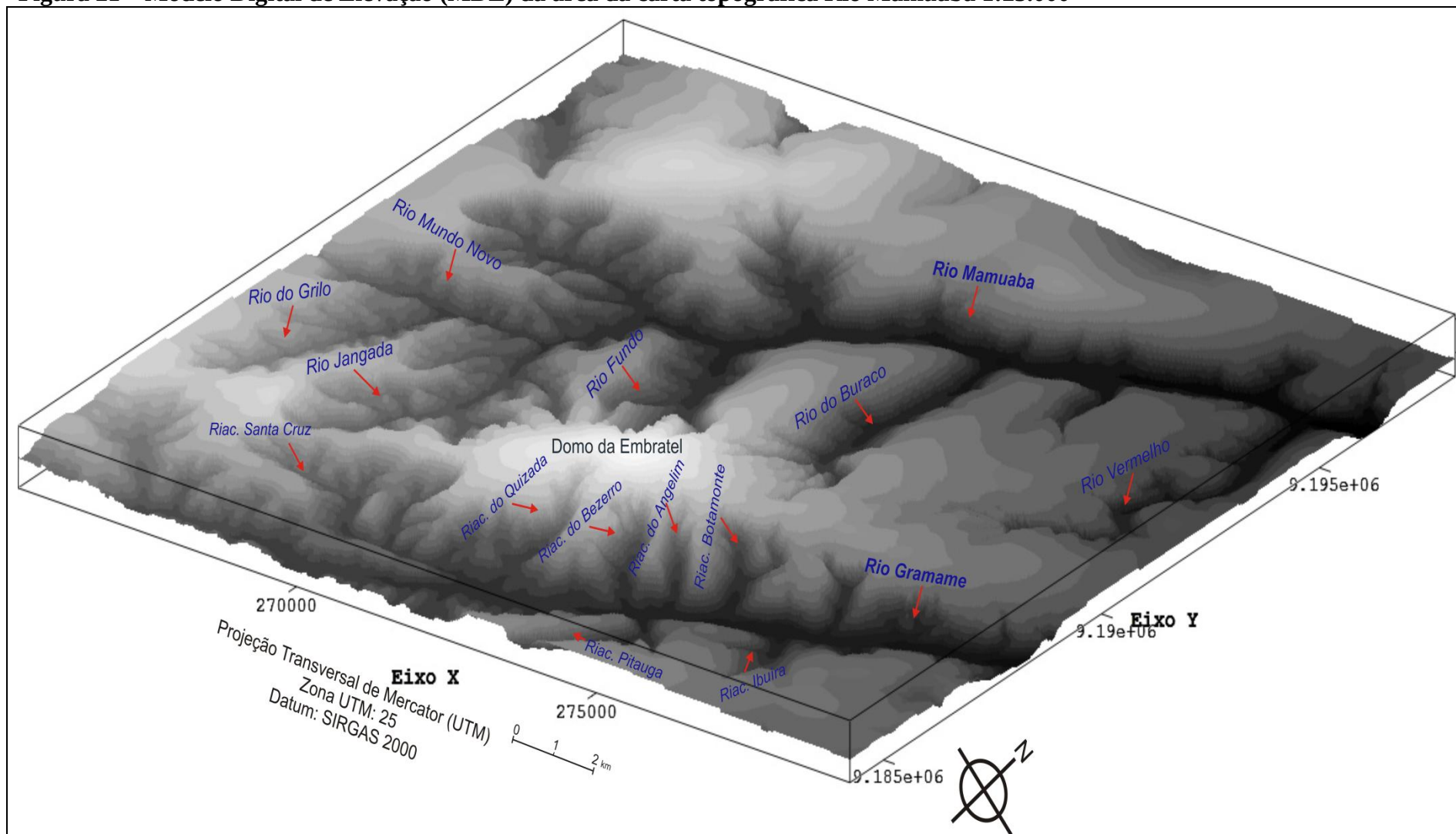
6.1.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Para que as cartas temáticas hipsométrica e clinográfica fossem produzidas e, então analisadas, fez-se necessária a utilização de modelos da superfície real em ambiente digital, que foi o Modelo Digital de Elevação (MDE), sem a utilização desse modelo não seria viável o estudo de grandes extensões de área, tendo em vista que o trabalho de campo não fornece a visão geral sobre o objeto de estudo.

Com a geração do MDE, é possível realizar uma análise com um bom nível de detalhamento de cunho qualitativo dos dados, pois uma das formas de visualização do MDE é por meio de uma imagem em níveis de cinza em 3D, onde os valores mais escuros correspondem aos pontos de cotas mais baixas e os tons de cinza mais claros os pontos de valor mais alto (Figura 21).

A partir da análise e interpretação das cartas temáticas e, principalmente da imagem do MDE, foi possível ter uma percepção de uma estruturação marcante de altos e baixos estruturais ocasionados, segundo Brito Neves *et al* (2009), por reativações tectônicas pós-cretáceas, responsáveis por esses soerguimentos e basculamentos de superfícies geomorfológicas, o que pode ter originado o sistema de grábens do rio Mamuaba.

Figura 21 – Modelo Digital de Elevação (MDE) da área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000



Fonte: Elaboração própria (2015).

O sistema de grábens especificado por Brito Neves *et al.* (2009) possui um sentido geral NNE-SSW em direção à confluência Mamuaba-Gramame. Ao sul, está desenvolvida uma interessante estrutura circular com drenagem radial centrífuga, ou seja, as correntes fluviais são do tipo consequentes e se encontram dispostas em raio e divergem a partir de um ponto elevado, em cujo cume central está o ponto mais alto da área, assim como também da região, com 213 m.

Analisando o modelo 3D produzido, observa-se, com muita nitidez, as nuances do relevo da área da carta topográfica Rio Mamuaba, com os fortes entalhes dos caudais de primeira ordem, principalmente na porção sul, além da acentuada assimetria da bacia com os afluentes da margem direita do rio Mamuaba muito mais avantajados e entalhados que os afluentes da margem esquerda, como se pode ver na Figura 21. Pode-se perceber, também, os patamares mais elevados e dissecados na porção sul que estão intimamente relacionados ao alto estrutural denominado de Domo da Embratel. Fica bastante evidente nesse modelo o forte controle estrutural exercido nas bacias Mamuaba e Gramame que implica diretamente na sua configuração e morfologia.

Algumas características da bacia hidrográfica do rio Mamuaba chamam a atenção, como o forte entalhamento apresentado pelos afluentes da margem direita da bacia, ou seja, com processo de dissecação bastante acentuado; vales extremamente encaixados e intenso recuo nas cabeceiras de drenagem, atestado pelas declividades elevadas.

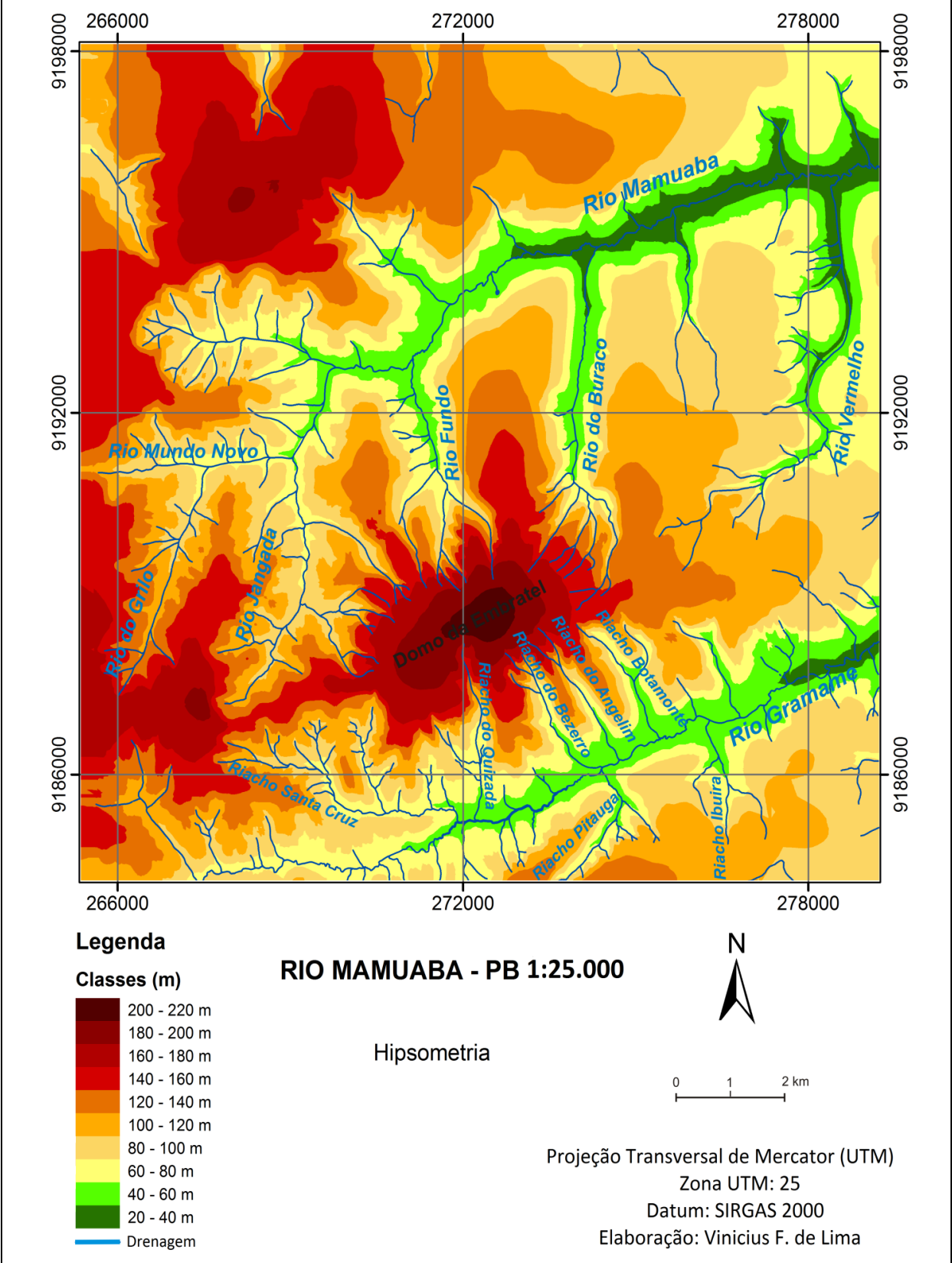
6.1.2 Carta hipsométrica

A borda oriental do estado da Paraíba mostra uma forte influência de movimentos tectônicos pós-miocênico muito bem visualizados na Formação Barreiras, resultantes principalmente da reativação de zonas de cisalhamento dúcteis pré-cambrianas, devido ao afastamento constante da América do Sul. Essa estruturação produziu uma compartimentação geomorfológica sobre a Formação Barreiras muito heterogênea, com altitudes na área de estudo de 20 a 213 m.

A carta hipsométrica (Figura 22) elaborada se configurou como uma ferramenta importante, principalmente para as análises de cunho geomorfológico. Essa técnica permite, entre outras, a representação da altimetria de um relevo e sua relação com a incisão dos vales fluviais, também bastante heterogêneos na área. Comparando a carta hipsométrica com a carta clinográfica, observa-se uma grande gama de informações morfométricas do relevo com

relação aos seus aspectos estruturais e aos processos morfogenéticos que atuaram na configuração do relevo.

Figura 22 – Carta hipsométrica da área da carta topográfica Rio Mamuaba



Fonte: Elaboração própria (2015).

Por meio da análise hipsométrica, foi possível observar duas características principais na bacia do rio Mamuaba: (a) o acentuado desnível altimétrico entre os tabuleiros localizados a direita e a esquerda dessa bacia, cujas altitudes alcançam, no tabuleiro localizado a direita, 213 m, e nos localizados a esquerda da bacia as altitudes máximas são de 130 m, perfazendo-se, uma diferença de 83 m de altitude entre os dois tabuleiros que confinam o rio Mamuaba e distam apenas 5 km (Figura 22). Essa acentuada diferença altimétrica entre os Tabuleiros Litorâneos corrobora a ideia de reativações pós-miocênicas na área e de intensidades distintas, já que os tabuleiros possuem a mesma litologia e idade, pois foram desenvolvidos sobre a Formação Barreiras; e (b) quanto à geomorfologia local, é possível notar, além de morfologia tabular, uma estrutura dômica, totalmente anômala, quando comparado ao relevo tabular predominante desenvolvido sobre a Formação Barreiras.

A Tabela 3 mostra a proporção em km² e porcentagem de cada classe de hipsometria na área da carta topográfica Rio Mamuaba.

Tabela 3 - Medida das classes de hipsometria em km²e % da área da carta topográfica Rio Mamuaba

Classes (m)	Área (km ²)	Área (%)
0 – 10	0	0%
10 – 20	0	0%
20 – 40	4,52	2%
40 – 60	16,43	9%
60 – 80	28,94	15%
80 – 100	42,81	21%
100 – 120	35,44	18%
120 – 140	26,47	14%
140 – 160	21,73	11%
160 – 180	12,48	7%
180 – 200	2,78	2%
200 – 220	0,73	1%

Fonte: Elaboração Própria (2015).

Devido à diferença altimétrica entre os tabuleiros que confinam o canal do rio Mamuaba, é possível observar uma rede de drenagem extremamente assimétrica. A importância da análise de tais feições e anomalias de drenagem ocorre, principalmente, quando o substrato litológico é homogêneo, como é o caso. Quando a assimetria da rede de

drenagem de uma bacia ocorre sobre um mesmo substrato litológico, as anomalias são tidas como fortes evidências de controle tectônico. Nas bacias e sub-bacias em estudo, as anomalias do padrão de drenagem são facilmente constatáveis, como, por exemplo, a inflexão no médio e baixo curso do rio Vermelho e do riacho Santa Cruz, e a retilineidade que os rios Buraco e Fundo apresentam nos seus médios cursos.

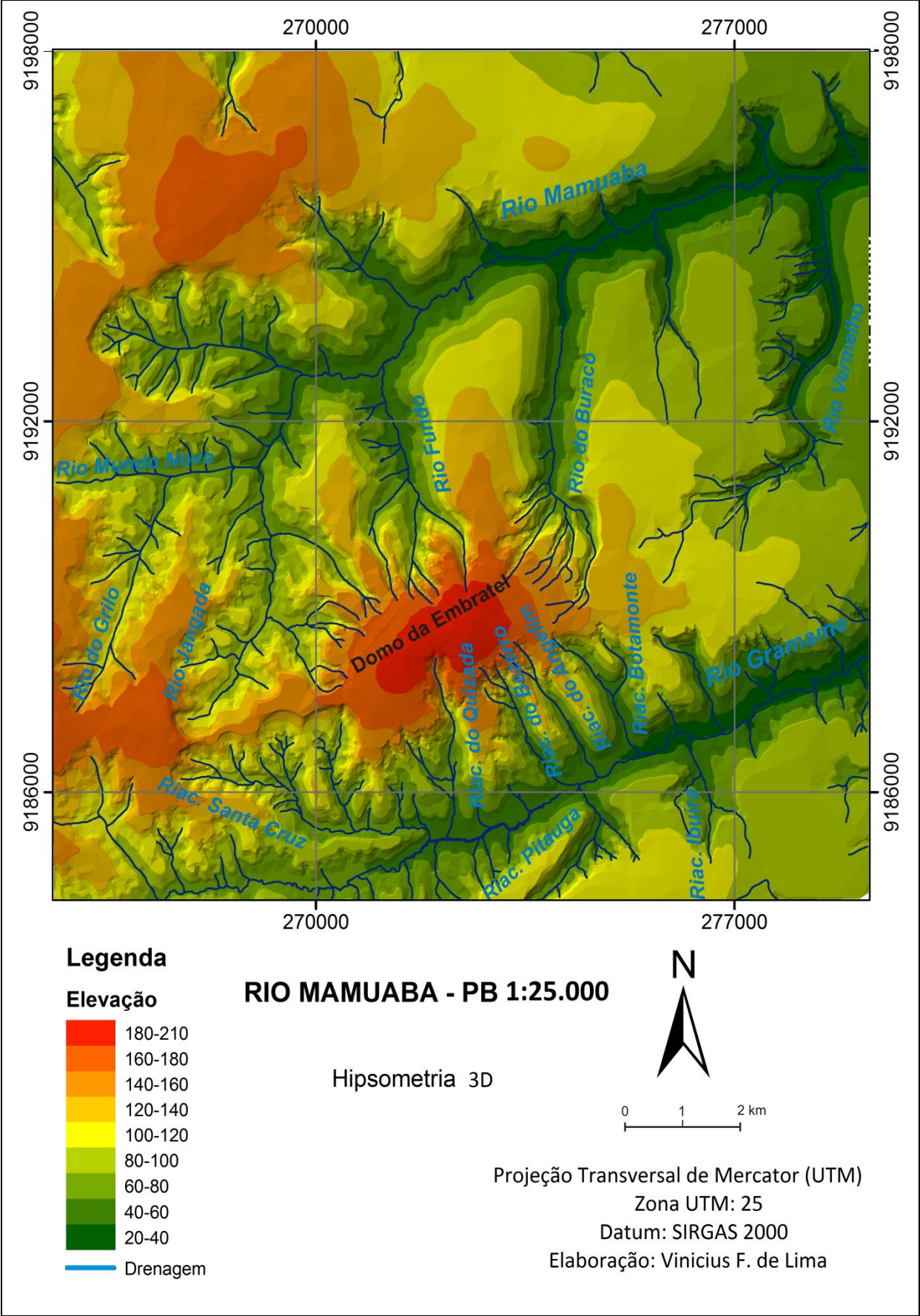
A formação dômica verificada, além de ser o marco divisor principal das duas redes de drenagens principais, produz um padrão de drenagem radial centrífugo, sendo notória a influência desse marco topográfico na maior parte das nascentes dos cursos de água. É apregoada para a Formação Barreiras um mergulho no sentido leste em direção ao oceano Atlântico, e essa forma dômica verificada desconstrói essa afirmação, pois sua cota altimétrica é superior às verificadas a oeste, contrariando o sentido do mergulho da Formação Barreiras. Portanto, não se pode explicar sua forma e altimetria superior apenas pelo fator climático de desenvolvimento do relevo em áreas consideráveis estáveis.

Para dar mais clareza a análise, foi confeccionada uma carta hipsométrica destacando o padrão de relevo em 3D (Figura 23), que favorece além da observação da altimetria, a observação nítida do forte entalhamento dos canais das duas grandes bacias localizadas na área de estudo. A partir da análise dessa figura, é possível distinguir dois grandes compartimentos bastante diferenciados separados pelo Domo da Embratel: um a leste, com formas mais tabulares, e outro a oeste, com formas mais arredondadas semelhantes a domos.

Nesse compartimento, as altitudes são geralmente maiores e os cursos de água entalham fortemente os canais, chegando a exumar as formações sedimentares sotopostas da Bacia da Paraíba, o que não ocorre no compartimento localizado a leste, onde os cursos fluviais também entalham fortemente o relevo, mas não exumam as formações sedimentares sotopostas.

Na porção sul da carta o padrão de relevo é nitidamente diferenciado, apresentando um nível de dissecação muito mais elevado que a porção norte, podendo-se observá-la visualmente sem a necessidade de cálculos morfométricos. A utilização de cálculos morfométricos, como o índice de declividade, por exemplo, corrobora o que se observa na imagem hipsométrica em 3D da área.

Figura 23 – Carta hipsométrica destacando o padrão do relevo em 3D



Fonte: Elaboração própria (2015).

6.1.3 Carta clinográfica

Com relação à carta de declividade, Christofolletti (2007) justifica que esse produto, associado à rede de drenagem fluvial, são instrumentos valiosos para o planejamento do uso e ocupação do solo.

Como suporte para a caracterização mais ampla e detalhada do relevo, elaborou-se uma carta clinográfica da área que auxiliou na identificação e correlação das declividades com as feições geomórficas e sua possível relação com a tectônica, haja vista a enorme heterogeneidade de classes de declividade encontradas.

Observando-se a carta clinográfica (Figura 24), é possível mostrar com nitidez os limites da bacia hidrográfica do rio Mamuaba onde se observam declividades superiores na margem direita do canal, variando com maior frequência valores entre 45% e 75%, além de exibir com bastante clareza os elevados entalhamentos formados pelas redes de drenagem, dando destaque principalmente para os fortes entalhamentos que os rios Fundo e do Buraco apresentam, cujas vertentes alcançam mais de 75% de declividade próximas às suas nascentes.

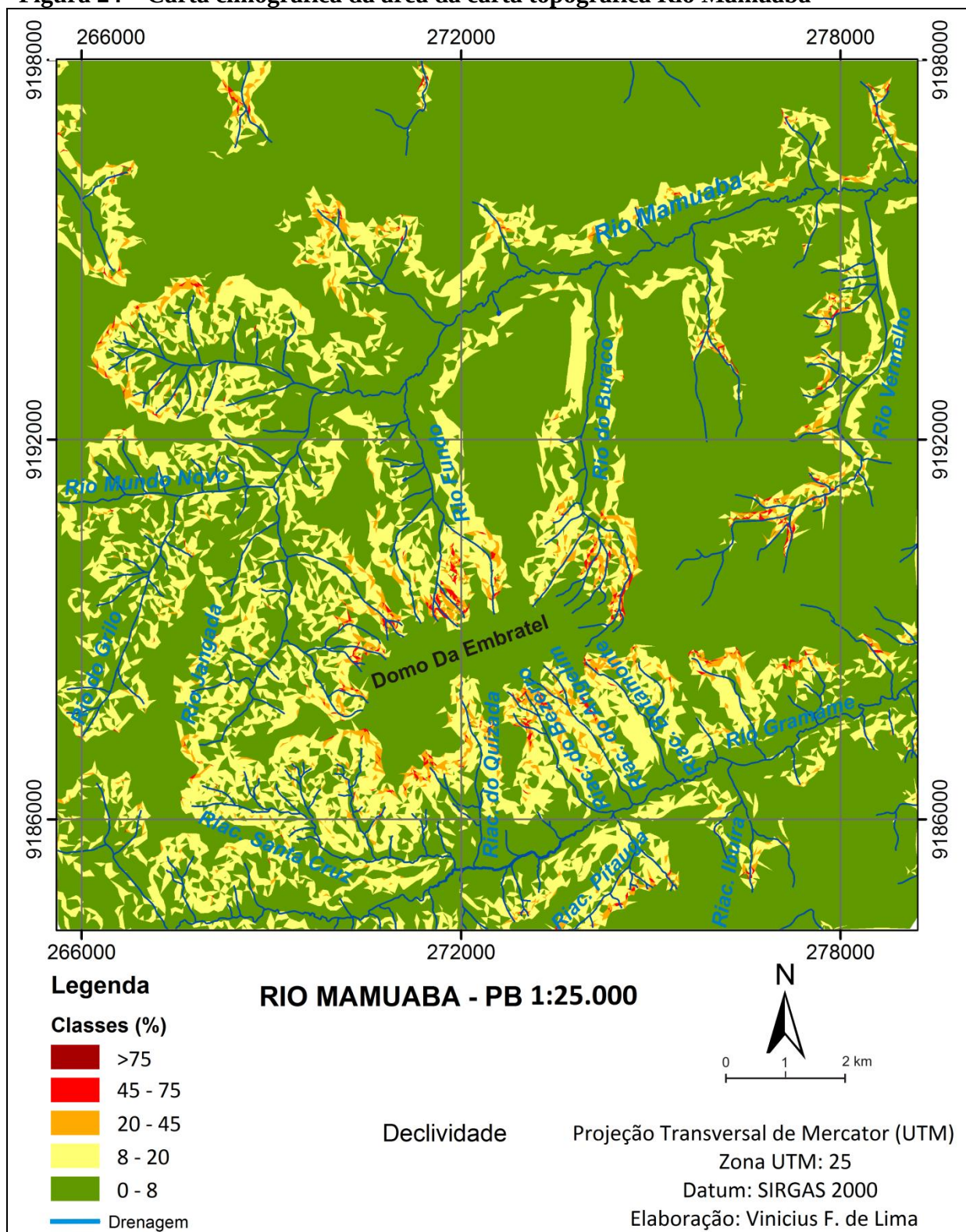
A Tabela 4 mostra a proporção em km², porcentagem e o equivalente em graus de cada classe de declividade presentes na área da carta topográfica do rio Mamuaba.

Tabela 4 - Medida das classes de declividade em km², porcentagem e graus.

Classes de Relevo	Classes de declividade (%)	Equivalência em graus°	Área (km²)	Área (%)
Plano	0 – 8	5°	142,88	75%
Suave ondulado	8 – 20	12°	40,87	22%
Ondulado	20 – 45	25°	4,36	2%
Forte ondulado	45 – 75	35°	0,79	<1%
Montanhoso	> 75	>35°	0,06	<1%

Fonte: Elaboração própria (2015).

Figura 24 – Carta clinográfica da área da carta topográfica Rio Mamuaba



Fonte: Elaboração própria (2015).

Na porção onde está situado o Domo da Embratel, é possível observar as maiores declividades da área em análise, percebendo-se elevados entalhamentos com vertentes que alcançam até >75% de declividade, tendo rios fortemente encaixados em seus respectivos

vales. A elevada declividade verificada nas vertentes ao redor da formação dômica atesta para um acentuado retrocesso das nascentes dos riachos e a dissecação acentuada de todo o domo.

Essas constatações reforçam a ideia da gênese tectônica recente desse domo, haja vista que os acentuados retrocessos de nascentes verificados podem erodir por completo essa morfologia em um curto período de tempo na escala geológica, pois a Formação Barreiras possui uma litologia extremamente branda. Portanto, tendo como miocênica a Formação Barreiras, a morfologia dômica é, por conseguinte, pós-miocênica, e levando-se em consideração os acelerados processos erosivos atestados pelas acentuadas declividades nas nascentes em uma litologia branda e mal consolidada, pode-se avançar ainda mais no tempo geológico para a formação de caráter tectônico desse domo.

6.1.4 Carta Geomorfológica

A revisão bibliográfica e análise sistemática dos dados encontrados na carta topográfica, associadas a informações contidas no modelo digital de elevação e observações diretas no campo, favoreceram a elaboração desse produto cartográfico. Baseado na construção e análise da carta geomorfológica, foram individualizadas três morfoestruturas para área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000, são elas: Cobertura Sedimentar de Plataforma (Formação Barreiras), Bacia Sedimentar da Paraíba e Terreno Alto Moxotó. Cada uma dessas morfoestruturas foram subdivididas em unidades taxonômicas de menor valor hierárquico (Quadro 5).

O 2º táxon é composto basicamente por três classes morfoescultural, que são: os Baixos Planaltos Costeiros as Superfícies Dômicas e a Depressão Sublitorânea.

Quadro 5 - Subdivisões dos táxons estabelecidos para carta geomorfológica na área da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000

1º TAXÓN	2º TAXÓN	3º TAXÓN	4º TAXÓN
Morfoestrutura	Morfoescultura	Padrões de formas do relevo	Tipos de formas do relevo (intensidade de dissecação)
Cobertura Sedimentar de Plataforma (Formação Barreiras)	Baixos Planaltos Costeiros	Atpf	
		Dt	31
		Dt	41
Bacia Sedimentar da Paraíba	Superfícies Dômicas	Dt	42
		Dd	41
Terreno Alto Moxotó	Depressão Sublitorânea	Dd	51

Fonte: Elaboração própria (2016).

O 3º e o 4º táxon correspondem respectivamente aos padrões e aos tipos de forma de relevo. A observação da carta geomorfológica da área (Figura 26) permitiu observar que o primeiro táxon presente na carta Rio Mamuaba inclui as unidades geológicas dos sedimentos quaternários, por tanto na área em questão, esses sedimentos são representados pela Formação Barreiras e pelos Aluviões. Esses Aluviões podem ser observados em formas de relevo de planícies e terraços fluviais (Atpf) presentes em sua grande parte no vale dos rios Mamuaba e Gramame e na confluência desses rios com seus principais tributários. É preciso ressaltar que a denominação (Atpf) está sendo empregada nesta pesquisa pela escala adotada e as peculiaridades do relevo da área, que não permitem a distinção entre terraços e planícies fluviais por meio do mapeamento. Essa unidade é originada de processos de acumulação, por tanto, ela não possui valor numérico de representação no quarto táxon, uma vez que esses valores se referem a níveis de dissecação.

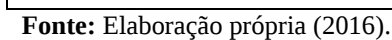
Foram mapeadas na área cinco formas de denudação. Para um melhor entendimento eles serão analisados e detalhados separadamente.

- **Dt 31:** são formas de dissecação tabular com entalhamento médio do vale de intensidade média e com dimensão interfluvial média classificada como muito grande. Esse tipo de forma está localizado na porção norte da carta, na margem esquerda do rio Mamuaba. Esse relevo é caracterizado por formas com topos tabulares. Esse modelado de topo é um indicativo de que o processo de dissecação ainda não se deu de forma muito expressiva nessa região, preservando a característica de topo tabular dessa área (Figura 25).

Figura 25 – Relevo com topo Tabular e baixo grau de dissecação



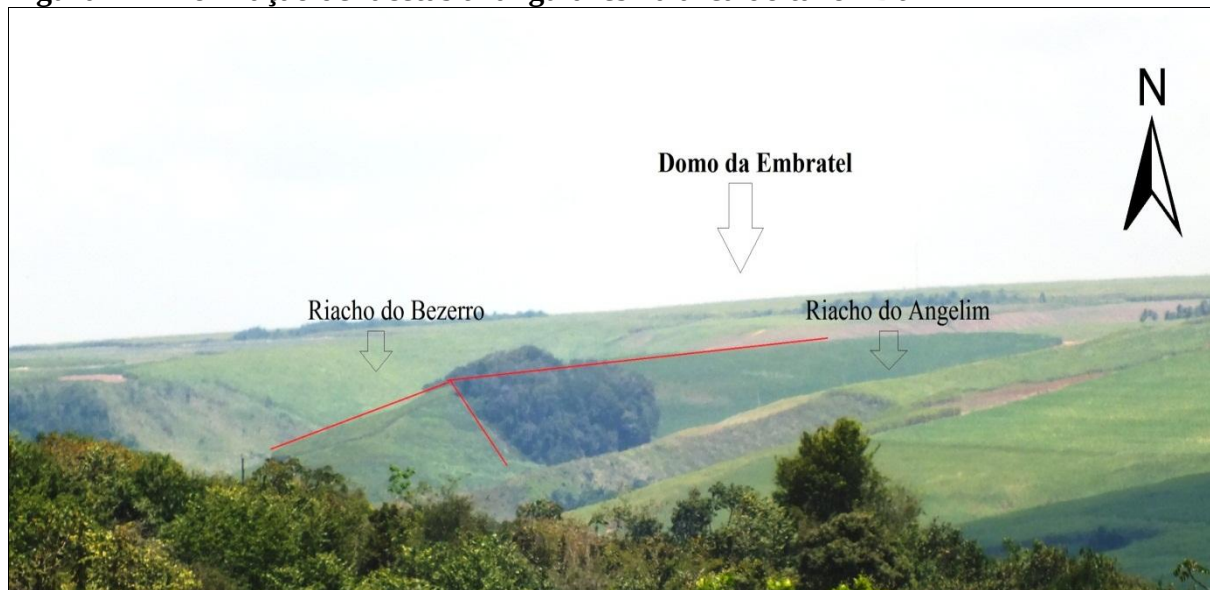
Fonte: Vinicius Lima (2014).



- **Dt 41:** tipo dissecação com formas tabulares, com entalhamento médio dos vales forte (80 a 160 m) e dimensão interfluvial muito grande (> 1500 m). Esse tipo de forma pode ser encontrado na porção central da carta, entre a margem direita do rio Mamuaba e esquerda do rio Gramame. Essa forma de relevo está esculpida sobre os Baixos Planaltos Costeiros. Diferindo-se do Dt 31, essa forma tabular já se encontra um pouco mais dissecada pelo trabalho erosivo dos rios que a cortam.

Nesse táxon pode ser observada a formação de facetas triangulares, que são indicativas de áreas que sofreram soerguimento recente e tiveram suas bordas expostas aos processos erosivos. As facetas triangulares observadas na margem esquerda do rio Gramame, no táxon Dt 41 (Figura 27), indicam, dessa forma, que essa região foi submetida a soerguimento tectônico de caráter recente, caracterizando, assim, atividade neotectônica nessa área. Vale destacar, que essas facetas estão esculpidas sobre a mesma litologia (Formação Barreiras).

Figura 27 – Formação de facetas triangulares na área do táxon Dt 41



Fonte: Vinicius Lima (2016).

- **Dt 42:** representa uma unidade denudacional de formas com topo tabular, entalhamento dos vales de índice 4 (80 a 160 m), classificado como forte e dimensão interfluvial de tamanho grande (1500 a 700 m), localizando-se na porção sul da carta na margem direita da bacia hidrográfica do rio Gramame, passando pelo riacho Ibuíra e riacho Pitauga.
- **Dd 41:** Na margem esquerda do rio Mamuaba próximo a sua nascente encontra-se a forma de relevo denudacional denominada nessa pesquisa de Dd. Essa forma de relevo com grau de dissecação 41 pode ser interpretada como uma superfície dômica ainda

mediamente dissecada pela hidrografia. Essa forma de relevo apresenta um entalhamento médio dos vales, com um aprofundamento médio considerado forte, variando entre 80 e 160 m, e uma dimensão interfluvial muito grande, maior que 1.500 m. Nesse valor de dissecção a formação dômica se torna mais evoluída e visível na paisagem.

- **Dd 51:** Esse padrão de relevo apresenta uma forma circular dômica, indicando o valor 51 de índice de dissecção nas partes sul e norte desse alto estrutural. Esse valor representa um entalhe médio dos vales muito forte (>160 m) e dimensão interfluvial média muito grande (>1500 m). Esses valores de dissecção sugerem que essa forte incisão se deu por processos erosivos agressivos, e demonstram, ainda, que a estrutura dômica está em franco processo denudacional, pela sua elevada altimetria e as altas declividades apresentadas nas vertentes, que, por sua vez, aumentam a energia e o poder de erosão dos fluxos hídricos. O padrão e o tipo de relevo resultante desse processo correspondem a estrutura representativa de um círculo com drenagem radial. Essa área esta localizada no Domo da Embratel e encontra-se em processo de forte dissecção pelos afluentes dos rios Mamuaba ao norte e Gramame ao sul (Figura 28).

Figura 28 – Relevo com superfície circular dômica

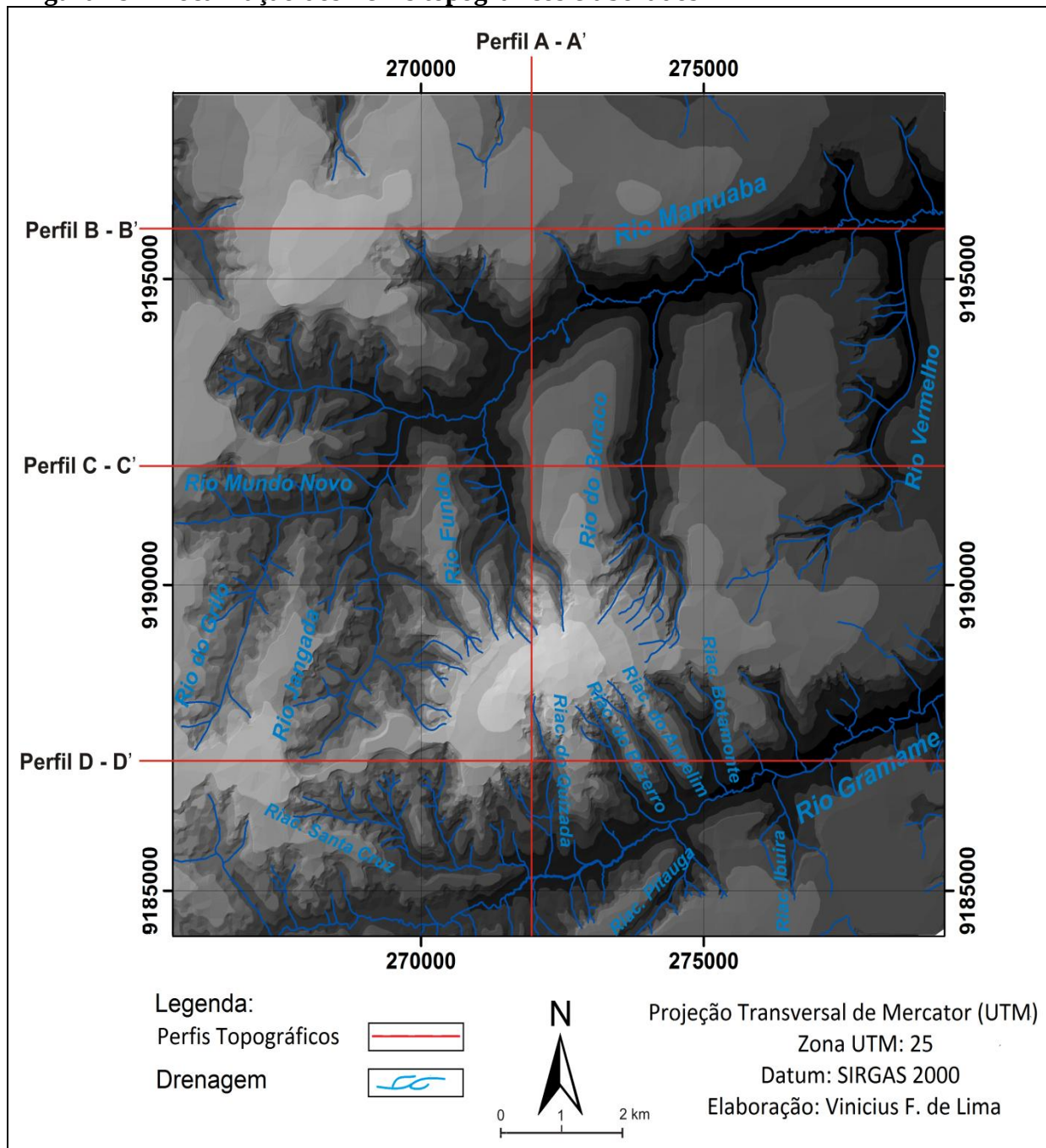


Fonte: Vinicius Lima (2015).

Para a interpretação e análise do 5º táxon foram traçados perfis topográficos na área da carta rio Mamuaba. Com a conclusão desses perfis foi possível visualizar diversas formas referentes à configuração das vertentes. Os perfis foram efetuados em linhas que obedecem ao traçado de algumas coordenadas da carta topográfica Rio Mamuaba 1:25.000, tanto na posição

S-N como na posição O-L. No total foram aplicados 4 (quatro) perfis que representam todos os táxons e seus diferentes valores de dissecação (Figura 29).

Figura 29 – Localização dos Perfis topográficos elaborados



Fonte: Elaboração própria (2016).

Para analisar o significado de cada forma apresentada na configuração das vertentes, serão consideradas nesta pesquisa as concepções de Penck (1924 *apud* CASSETI, 1994). Para esse autor, as vertentes convexas são formadas quando os efeitos denudacionais não

acompanham de imediato a intensidade do entalhamento do talvegue, sendo tal entalhamento influenciado por soerguimento tectônico.

Para vertentes retilíneas o autor sugere que sua formação seja resultado do equilíbrio entre os processos de denudação e soerguimento, onde ocorre a manutenção do ângulo da vertente. As vertentes côncavas, segundo o autor, são formadas pela predominância da denudação sobre o entalhamento do talvegue que propicia a redução do ângulo da vertente.

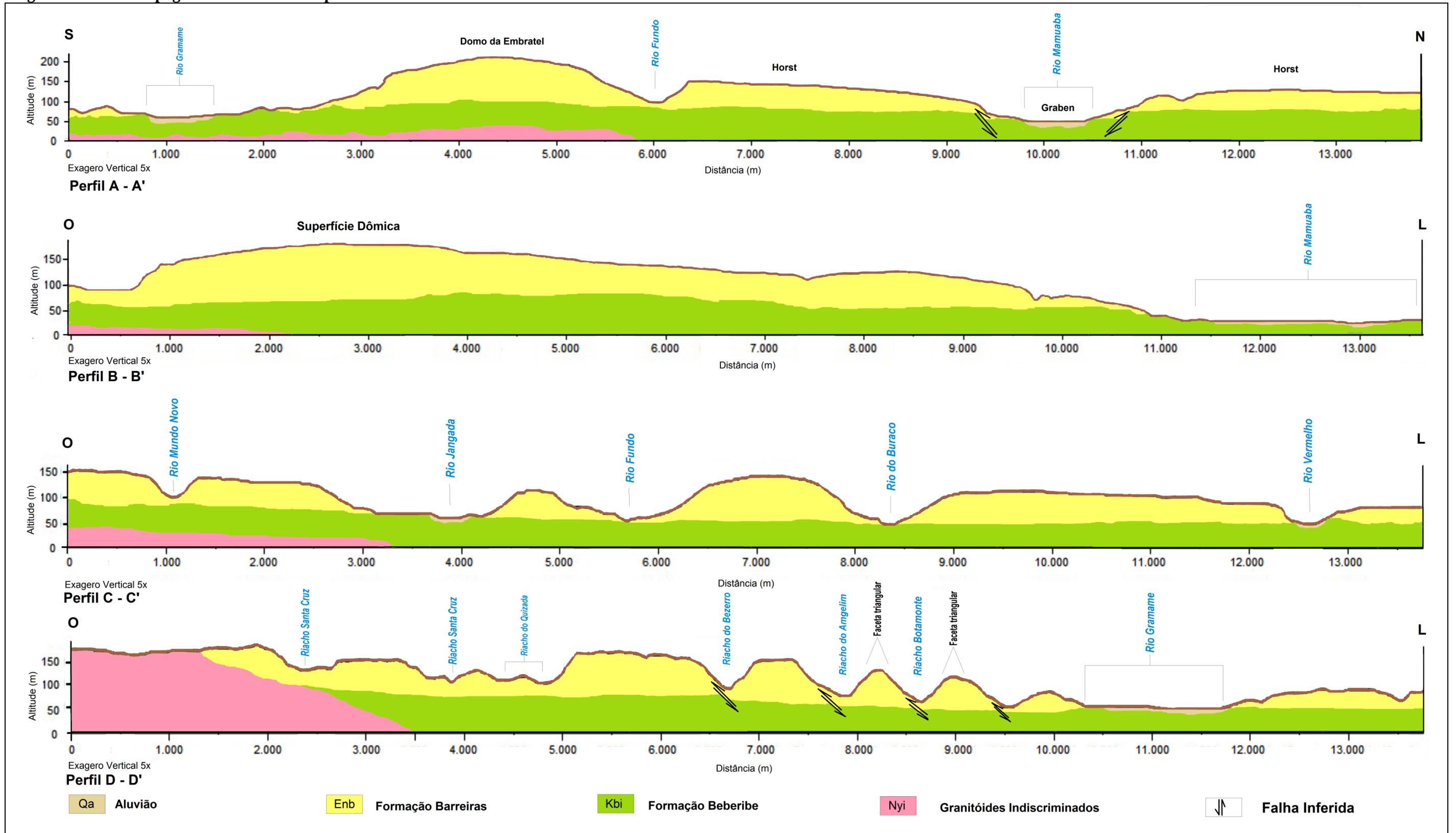
O perfil A-A' (S-N) engloba as características do relevo dos táxons Dt 42, Dt 41, Dd 51 e Dt 31, cortando os rios principais Gramame e Mamuaba. Verificou-se, nesse perfil, a predominância de vertentes tabulares. Esse perfil demonstrou nitidamente a estrutura de *graben* apresentada pelo vale do rio Mamuaba, estando esse, confinado entre dois *hosts*. Além disso, pode-se observar com clareza a forma imponente circular dômica presente na área do Dd 51. Todos os perfis estarão representados na Figura 30.

O perfil B-B' (O-L) foi traçado sobre o relevo dos táxons Dd 41, Dt 31. Esse perfil demonstra um relevo predominantemente plano formando extensos tabuleiros pouco dissecados pela drenagem. Na área de predominância do Dd 41 é possível notar sua forma dômica característica da região em análise. Comparando os perfis A-A' e B-B' verificamos a importância dessas formas circulares na configuração do relevo da carta Rio Mamuaba. São nessas áreas que se verificam as maiores altitudes da região e suas adjacências.

No perfil C-C' (O-L) estão presentes os táxons Dt 31, Dt 41, pode-se observar nesse traçado de perfil os fortes entalhes causados pelos rios Fundo e do Buraco. As vertentes encontradas são bastante variadas, podendo verificar, por exemplo, as vertentes retilíneas do rio Mundo Novo e Jangada e côncava no rio Fundo. O rio do Buraco possui dois tipos de vertente: na margem esquerda possui vertentes com forma côncava e na margem direita vertentes com formato retilíneo. Observando o rio Vermelho, constatou-se que ele também possui dois tipos de vertente: no lado esquerdo vertente com forma convexa e no lado direito com formato retilíneo.

O perfil D-D' (O-L) demonstra a forte dissecação, efetuada principalmente por riachos de primeira ordem na região sul da área de estudo. Os entalhamentos maiores são percebidos nos vales dos riachos do Bezerro, Angelim e Botamonte predominando as vertentes retilíneas nesse perfil. Nos riachos supracitados podem ser observados vales assimétricos apresentando sinais de basculamento no sentido O-L. Entre as vertentes dos riachos Angelim e Botamonte pode-se verificar a formação de facetas triangulares, reforçando os indícios de atividade tectônica na área.

Figura 30 – Perfis topográficos elaborados a partir da carta Rio Mamuaba 1:25.000



Fonte: Elaboração Própria (2016).

O 6º táxon corresponde às pequenas formas de relevo, como aquelas resultantes de processos atuais, por exemplo: ravinas, voçorocas, bancos de assoreamento, além de formas produzidas pelo homem, como cortes e aterros, entre outras.

Para área em estudo foram identificadas através de trabalhos de campo e imagens de satélites formas atuais referentes a processos heterogêneos de formação como: voçorocas, cicatrizes de deslizamento, ravinas e áreas em franco processo de arenização.

Com relação às feições anômalas do modelado do relevo podemos observar na carta geomorfológica: (a) as formas estruturais dômicas; (b) forma relacionada à tectônica de falhamento que pode ter originado o sistema de *grabens* e *hosts* do rio Mamuaba; (c) afloramento rochoso; (d) presença de cabeceiras de drenagem em anfi-teatro, principalmente nas nascentes do rio Mamuaba, rio Mundo Novo e rio do Grilo; (e) facetas triangulares em litologia homogênea que se configura como um forte indicativo de perturbações tectônicas recentes e, por fim, (f) as inúmeras anomalias de drenagem presentes em diversos canais da área.

6.2 MORFOMETRIA FLUVIAL E PRINCIPAIS INDÍCIOS DE NEOTECTÔNICA NA ÁREA

Serão analisados nessa pesquisa os aspectos qualitativos e quantitativos da hidrografia presente na área da carta Rio Mamuaba. A rede de drenagem, por ser muito sensível à transmissão de qualquer energia no sistema desencadeada por mudanças ambientais, torna-se o seguimento da paisagem mais vulnerável a qualquer tipo de deformação, evidenciando esses processos em sua rede de drenagem, por isso que é tão importante a análise de anomalias em condições de assimetria, retilineidade, presença de cotovelos, inflexões, alinhamento de confluências e, até mesmo, condições de captura de drenagem, tanto na área das bacias do rio Mamuaba e Gramame, quanto nos seus tributários.

6.2.1 Análise qualitativa da rede de drenagem

A análise qualitativa dos cursos fluviais nada mais é do que o estudo das formas e padrões da drenagem. No presente estudo foi levado em consideração dois aspectos de análise: genérico, que consiste no estudo da disposição dos caudais em relação ao posicionamento das camadas geológicas; e quanto à geometria, dividida em: padrão básico e padrão básico modificado.

Na análise da carta hipsométrica, pode-se observar que o terreno apresenta considerável desnível dos patamares nos limites norte e sul da carta topográfica, como dito anteriormente, o que acarretou em um diferenciado nível de entalhamento e, conseqüentemente, comprimento dos canais fluviais, sendo os da porção sul mais conspícuos que os canais da porção norte. Essa discrepância consiste numa forte evidência de influência tectônica.

Na área compreendida pela carta Rio Mamuaba, o padrão de drenagem observado entre os rios Gramame e Mamuaba evidencia, também, um forte controle estrutural. Para fins de segurança, a drenagem presente na área da carta Rio Mamuaba foi comparada com imagens de satélite atuais.

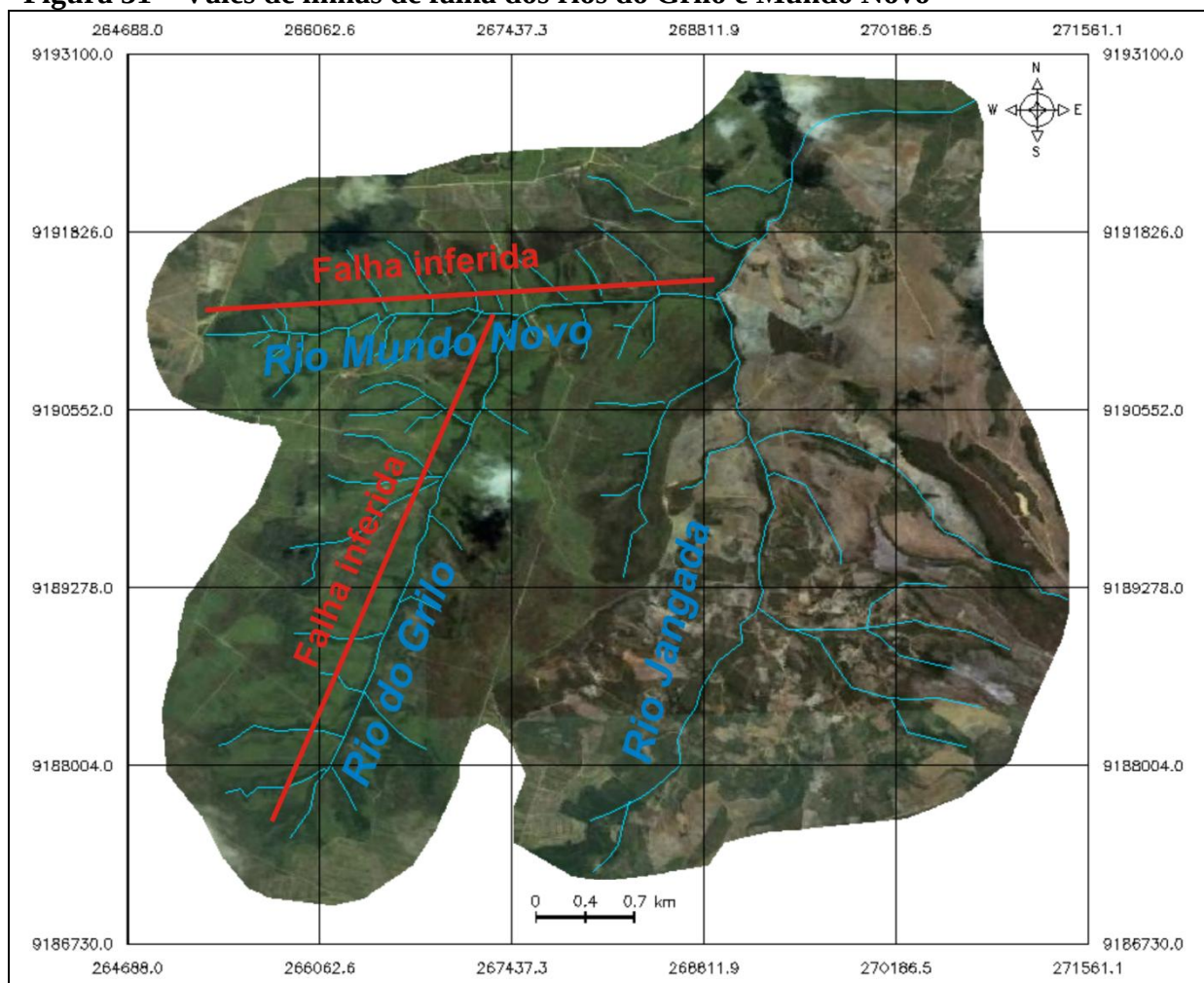
O Domo da Embratel vem provocando um acentuado processo de dissecação, com vales extremamente encaixados e intenso recuo nas cabeceiras de drenagem atestado pelas declividades superiores a 45% e talvegues de 83 m de desnível em relação aos topos dos tabuleiros. Como exemplos, pode-se citar as cabeceiras de drenagem dos rios Fundo, Jangada e do Buraco, afluentes da margem direita do rio Mamuaba, como foi observado nas cartas hipsométrica e clinográfica nas figuras 22 e 24 respectivamente.

Observando-se a bacia do rio Mamuaba, além do notável padrão de drenagem assimétrico com os afluentes da margem direita, muito mais avantajados que os afluentes da margem esquerda, e com suas cabeceiras apresentando forte entalhe indicativo de recuo acelerado, observam-se, também, em seus afluentes anomalias no padrão de drenagem, sendo elas facilmente constatáveis, como é o caso da inflexão no médio e baixo curso do rio Vermelho e do riacho Santa Cruz, e a retilineidade apresentada pelos rios do Buraco e Fundo nos seus médios cursos. Todas as assimetrias de drenagem serão representadas a seguir (Figura 32).

Rossetti et al. (2012) citaram a existência de zonas de falha na Bacia da Paraíba que definem linhas de drenagens importantes, por exemplo: os rios Gramame, Mumbaba, Mamuaba e Paraíba. Assim, as fortes inflexões dos rios estudados podem estar atreladas às falhas, apresentando, também, nas adjacências das sub-bacias, desníveis topográficos muito distintos para uma cobertura sedimentar e padrões de drenagem atípicos, como o padrão em treliça nos afluentes do rio Jangada, que, segundo Grotzinger e Jordan (2013), é um padrão que se desenvolve em terrenos de vales e cristas alternados, com rochas dobradas compostas por materiais de diferentes níveis de resistência à erosão, que não é o caso da Formação Barreiras.

São encontrados, ainda, os padrões de drenagem retilíneos nos rios do Grilo e Mundo Novo, e um trecho do padrão radial que o Domo da Embratel condiciona. O padrão retilíneo ou regular se forma por uma paisagem com falhas e articulada, que direciona os cursos dos rios, conforme Christopherson (2012). Esse padrão se coloca como uma anormalidade, pois em terrenos que apresentam uma conformidade litológica o padrão normalmente seria o dendrítico. A forma alongada e quase que completamente retilínea do rio principal e tributários assinala possível presença de falhas orientando o curso do rio, apontando, também, a influência tectônica no relevo local. A retilineidade de cursos de água em terrenos sedimentares, constituídos por rochas mal consolidadas, é uma forte evidência de que esse curso está ajustado a uma linha de falha. Os rios do Grilo e Mundo Novo parecem enquadrar-se nos casos de “vale de linha de falha”, ou seja, rios que seguem exatamente a linha do falhamento, sendo retilíneos e longos (PENTEADO, 1974) (Figura 31).

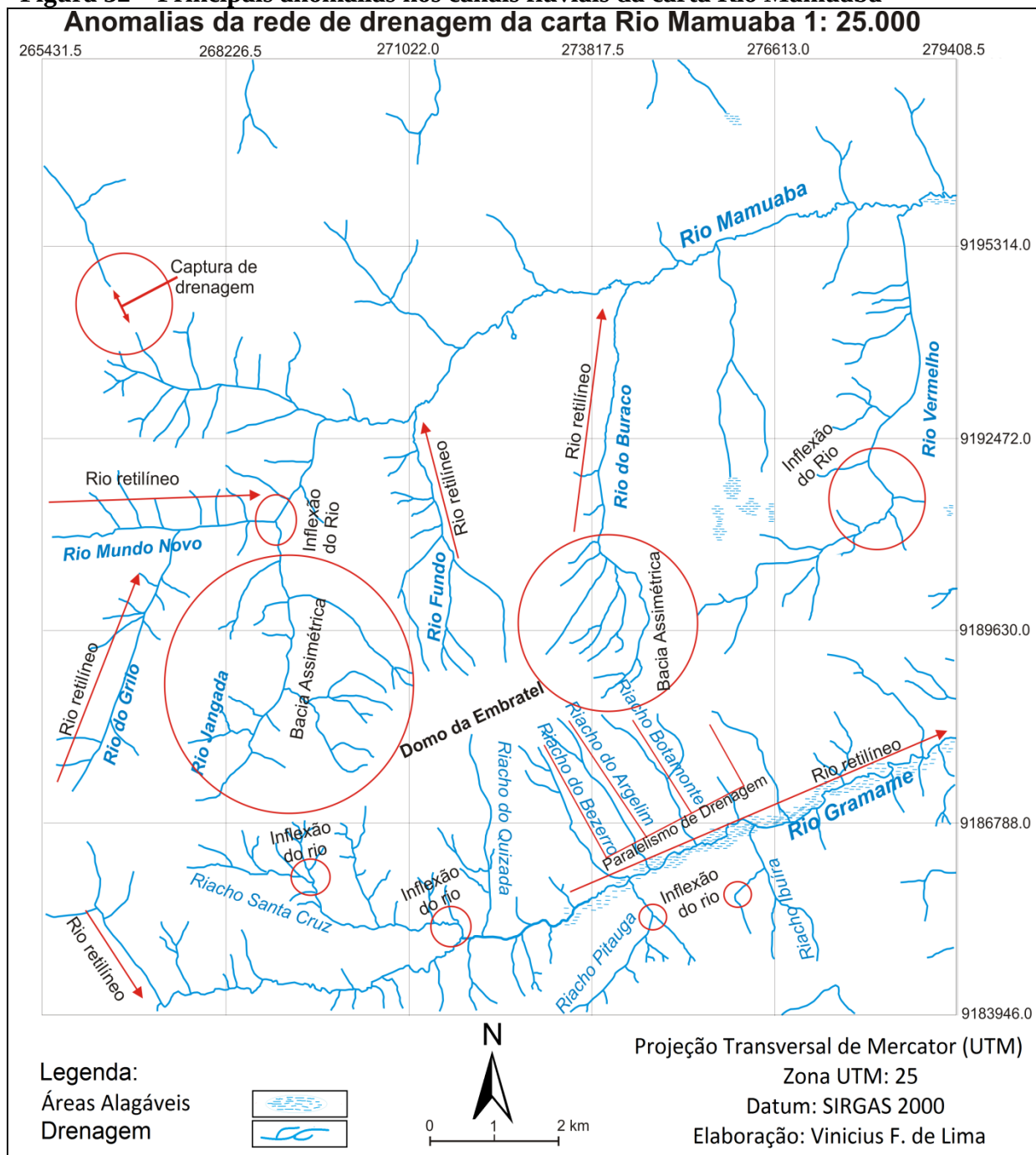
Figura 31 – Vales de linhas de falha dos rios do Grilo e Mundo Novo



Fonte: Adaptado de Google (2015).

No rio Mundo Novo, ocorre uma inflexão de quase 90°, formando um cotovelo no canal fluvial que provoca brusca mudança na direção do canal, que partiu da direção W-L para a direção SW-NE. No rio Jangada constata-se que o lado direito da bacia comporta canais bem mais expressivos que os do lado oposto, e com traços de drenagem treliça, que se considerado junto aos afluentes do rio Gramame, formam um padrão radial condicionado pelo Domo da Embratel.

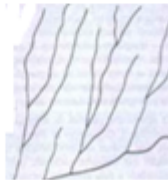
Figura 32 – Principais anomalias nos canais fluviais da carta Rio Mamuaba



Como se pode observar na Figura 32, outra característica em condição de assimetria é, por exemplo, a disposição da drenagem no rio do Buraco, onde todos os canais de drenagem dessa bacia estão voltados para o Domo da Embratel, corroborando ainda mais a ideia de grande influência desse alto estrutural na disposição da drenagem local.

Os padrões de drenagem modificados, suas definições e morfologias, assim como também, suas possíveis causas serão destacadas para facilitar a análise das assimetrias da rede de drenagem da área (Tabela 5).

Tabela 5 - Tipos de anomalia de drenagem presentes na área e suas possíveis causas

Tipo de anomalia	Morfologia	Definição	Possíveis tipos de causa	Principais trabalhos
Inflexões abruptas (Cotovelo de drenagem)		Inflexões abruptas do canal de drenagem, apresentando inflexões de até 90°.	Esse tipo de anomalia pode está associado a Falhas Normais.	Howard (1967); Schum <i>et al</i> (2000).
Captura de drenagem		Ocorre quando um canal erode mais agressivamente que o outro adjacente, capturando sua descarga por interceptação.	Esse tipo de anomalia pode está associado a Falhas Normais e/ou outra forma de Controle Tectônico.	Schum <i>et al</i> (2000); Bishop (1995).
Bacia Assimétrica		Rio principal deslocado do eixo central da bacia, ocasionando uma diferença significativa de volume entre os canais das margens da bacia.	Pode está associado a Controle Tectônico e/ou Basculamento	Penteado (1974); Cox <i>et al</i> (2001).
Canal com direção sensivelmente retilínea		Rios extremamente pouco sinuosos, o vale é, em geral, apertado, profundo e estreito, e suas vertentes apresentam fortes declives.	Forte indicio de ajustamento a uma Linha de Falha	Penteado (1974).
Paralelismo de drenagem		Padrão de drenagem onde os talvegues são paralelos a sub-paralelos entre si.	Típico de regiões onde houve falhamento em uma única direção e em camadas sedimentares levemente inclinadas.	Howard (1967).

Fonte: Elaboração Própria (2016).

6.2.2 Índices morfométricos

Aplicaram-se os cálculos morfométricos na área de estudo para a averiguação de possíveis indicativos de atividades de tectônicas recentes. Para tanto, tomou-se como guia o

cálculo do índice de RDE e o cálculo do índice RFAV, ambos já utilizados em algumas pesquisas com o mesmo propósito, como é o caso de Barbosa *et al.* (2011) e Etchebehere *et al.* (2006).

6.2.2.1 Índice Relação Declividade/Extensão (RDE)

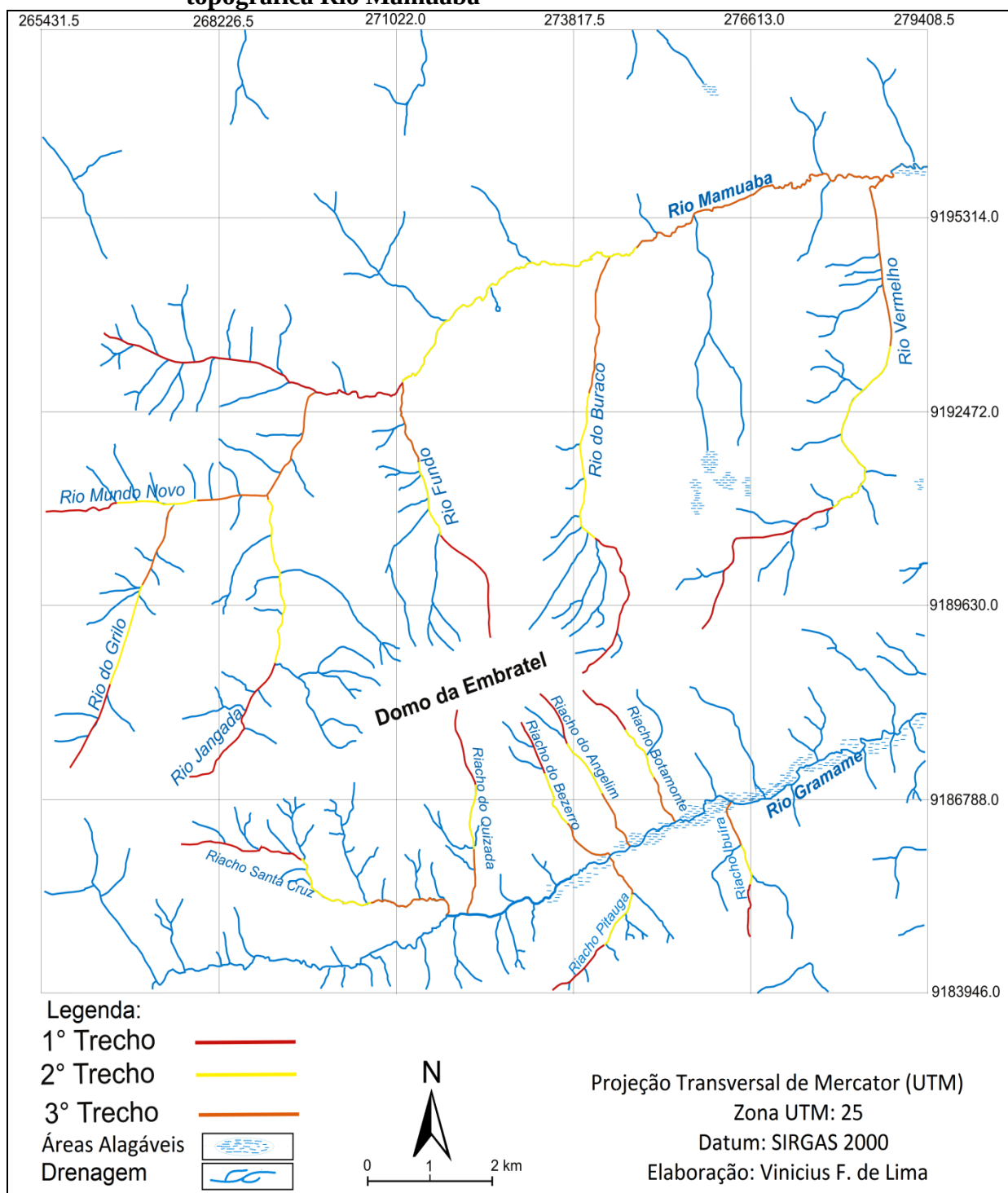
Aplicou-se esse cálculo para 14 rios que compõe a área da carta topográfica Rio Mamuaba, sendo eles: rio Mamuaba, rio Vermelho, rio do Buraco, rio Fundo, rio Jangada, rio Mundo Novo, rio do Grilo, riacho Santa Cruz, riacho do Quizada, riacho do Bezerro, riacho do Angelim, riacho Botamonte, riacho Pitauga e riacho Ibuíra. Selecionaram-se essas bacias para aplicação do cálculo morfométrico, procurando espacializar a análise em toda a área da carta, além disso, essas bacias apresentam forte assimetria, bruscas inflexões e seus cursos principais são subsequentes. Todas as bacias mencionadas encontram-se em sua totalidade dentro da área da carta topográfica, com exceção do rio Mamuaba, por tanto para a aplicação do índice nessa bacia foi considerado sua extensão a jusante até a sua área alagável. Em seguida definiram-se três segmentos de drenagem em cada rio, para que se pudesse aplicar o RDE_{trecho} (Figura 33).

Os resultados alcançados do índice RDE por trechos apontaram que praticamente todos os segmentos apresentam indícios de anomalias de drenagem, estando eles posicionados tanto no alto, médio ou baixo curso dos rios verificados, sendo que os maiores valores encontrados em condição de anomalia estão no alto curso dos rios, o que mostra uma influência irrefutável do Domo da Embratel na configuração da drenagem local.

Para avaliar os valores do índice de RDE, tomou-se como base o trabalho de Andrade Filho (2010), o qual destaca que os segmentos considerados anômalos são os que obtêm RDE_{real} (RDE_{trecho}/RDE_{total}) maior ou igual a 2. Quanto maior o valor encontrado, maior será a intensidade da anomalia.

Também se consultou o trabalho de Seeber e Gornitz (1983), os quais subdividem os resultados anômalos de RDE em duas categorias: as anomalias de 2ª ordem, referentes aos índices compreendidos entre os limiares 2 a 10; e as anomalias de 1ª ordem, referentes aos valores iguais ou superiores a 10.

Figura 33 – Trechos de drenagem escolhidos para os cálculos de RDE na carta topográfica Rio Mamuaba



Fonte: Elaboração própria (2015).

Os resultados dos cálculos de RDE_{total} e RDE_{trecho} dos cursos dos rios verificados indicam que eles se encontram dentro do padrão anômalo, ou seja, maior que 2. Portanto, presume-se que os altos valores de RDE verificados no curso dos rios estejam ligados a

atividades de tectônica recente na morfologia da bacia e no padrão de drenagem por ela apresentado.

As Tabelas 6 e 7 mostram um panorama das variáveis morfométricas encontradas no curso total e nos segmentos dos trechos dos rios em análise, assim como os resultados de RDE_{trecho} , RDE_{total} e RDE_{real} , este último, como já mencionado, corresponde à realização da divisão entre os valores do RDE_{trecho} pelo RDE_{total} .

Tabela 6 - Variáveis morfométricas da aplicação do cálculo de RDE_{total}

Bacias e sub-bacias hidrográficas	Cota superior	Cota inferior	Diferença altimétrica	Extensão total	RDE_{total}
Rio Mamuaba	108 m	21 m	87 m	16342 m	8,96
Rio Vermelho	126 m	24 m	102 m	8685 m	11,25
Rio do Buraco	170 m	37 m	133 m	6888 m	13,92
Rio Fundo	186 m	47 m	139 m	4309 m	16,62
Rio Jangada	130 m	47 m	83 m	6691 m	9,43
Rio Mundo Novo	120 m	53 m	67 m	5273 m	7,81
Rio do Grilo	150 m	70 m	80 m	4265 m	9,57
Riacho Santa Cruz	129 m	59 m	70 m	5060 m	8,21
Riacho do Quizada	189 m	55 m	134 m	3079 m	16,95
Riacho do Bezerra	158 m	46 m	102 m	2583 m	13,6
Riacho do Angelim	181 m	45 m	136 m	2723 m	17,12
Riacho Botamonte	149 m	43 m	106 m	2509 m	13,55
Riacho Pitauga	91 m	40 m	51 m	2644 m	6,47
Riacho Ibuíra	106 m	38 m	68 m	2209 m	8,83

Fonte: Elaboração própria (2016).

Tabela 7 - Variáveis morfométricas da aplicação do cálculo de RDE_{trecho}

Bacias e sub-bacias hidrográficas	Trechos	Cota Superior (m)	Cota Inferior (m)	Diferença Altimétrica (m)	Extensão Trecho (m)	RDE trecho	RDE Real
Rio Mamuaba	Trecho 1	108 m	44 m	64 m	5080 m	58,59	6,56
	Trecho 2	44 m	33 m	11 m	5275 m	8,84	2,10
	Trecho 3	33 m	21 m	12 m	5987 m	19,70	2,19
Rio Vermelho	Trecho 1	126 m	50 m	76 m	3187 m	65,84	5,85
	Trecho 2	50 m	34 m	16 m	3188 m	26,04	2,31
	Trecho 3	34 m	24 m	10 m	2409 m	36,05	3,20
Rio do Buraco	Trecho 1	160 m	60 m	100 m	2784 m	75,89	5,45
	Trecho 2	60 m	43 m	15 m	2162 m	29,16	2,09
	Trecho 3	43 m	37 m	6 m	1956 m	21,12	1,60
Rio Fundo	Trecho 1	186 m	64 m	122 m	1890 m	110,76	6,66
	Trecho 2	64 m	54 m	10 m	1129 m	24,24	1,45
	Trecho 3	54 m	47 m	7 m	1290 m	21,17	1,27
Rio Jangada	Trecho 1	130 m	84 m	46 m	2315 m	42,26	4,48
	Trecho 2	84 m	58 m	26 m	2608 m	42,15	4,46
	Trecho 3	58 m	47 m	11 m	1768 m	36,50	3,87
Rio Mundo Novo	Trecho 1	120 m	70 m	50 m	1975 m	48,68	6,25
	Trecho 2	70 m	60 m	10 m	1513 m	22,55	2,88
	Trecho 3	60 m	53 m	7 m	1773 m	17,89	2,29
Rio do Grilo	Trecho 1	150 m	120 m	30 m	1298 m	29,51	3,08
	Trecho 2	120 m	96 m	24 m	1501 m	43,50	4,54
	Trecho 3	96 m	70 m	26 m	1488 m	73,15	7,64
Riacho Santa Cruz	Trecho 1	129 m	78 m	51 m	2048 m	47,96	5,84
	Trecho 2	78 m	66 m	12 m	1461 m	24,93	3,03
	Trecho 3	66 m	59 m	7 m	1552 m	19,36	2,35
Riacho do Quizada	Trecho 1	189 m	101 m	88 m	1061 m	84,76	5,00
	Trecho 2	101 m	71 m	30 m	1008 m	29,34	1,73
	Trecho 3	71 m	55 m	16 m	1010 m	15,03	0,88
Riacho do Bezerra	Trecho 1	158 m	75 m	83 m	732 m	80,61	5,92
	Trecho 2	75 m	55 m	20 m	817 m	27,30	2,07
	Trecho 3	55 m	46 m	9 m	1034 m	8,59	0,66
Riacho do Angelim	Trecho 1	181 m	101 m	80 m	912 m	72,71	4,24
	Trecho 2	101 m	67 m	34 m	921 m	34,66	2,02
	Trecho 3	67 m	45 m	22 m	890 m	21,74	1,26
Riacho Botamonte	Trecho 1	149 m	69 m	80 m	857 m	76,35	5,63
	Trecho 2	69 m	50 m	19 m	839 m	17,77	1,31
	Trecho 3	50 m	43 m	7 m	813 m	6,69	0,49
Riacho Pitauga	Trecho 1	91 m	55 m	36 m	1081 m	34,56	5,34
	Trecho 2	55 m	50 m	5 m	874 m	4,74	0,74
	Trecho 3	50 m	40 m	10 m	689 m	13,10	2,24
Riacho Ibuíra	Trecho 1	106 m	65 m	41 m	851 m	36,26	4,10
	Trecho 2	65 m	43 m	22 m	675 m	21,15	2,39
	Trecho 3	43 m	38 m	5 m	683 m	4,48	0,50

Fonte: Elaboração própria (2016).

Conforme os dados obtidos através desse índice, podemos verificar que os rios Vermelho, do Buraco, Fundo e os riachos do Quizada, do Bezerro, do Angelim e o Botamonte apresentam RDE total no valor maior que 10, que é muito alto, e são, portanto considerados por Seeber e Gornitz (1983) como uma anomalia de 1ª ordem. Em relação aos seus trechos, tem-se que todas essas bacias apresentaram índices anômalos, seja no alto, médio ou baixo curso, ou até mesmo nos três trechos como é o caso do rio Vermelho, que além dos altos índices de RDE dispõe de uma interessante assimetria possuindo uma grande retinidade no seu médio curso e uma forte inflexão no seu médio e baixo curso, onde a poucos metros da foz, sua direção muda bruscamente de S-N para W-L, o que fortalece as evidências de influência neotectônica na área pesquisada.

Os rios Mamuaba, Jangada, Mundo Novo, do Grilo, e os riachos Santa Cruz, Pitauga e Ibuíra apresentaram valores de RDE total menor que 10, mas maior que 2, se caracterizando como anomalias de 2º ordem, com relação ao RDE por trecho, todas essas bacias apresentaram índices anômalos em algum dos seus seguimentos. O rio Mamuaba, por exemplo, que é a maior bacia hidrográfica em análise nessa pesquisa obteve o valor resultante do cálculo do RDE total de 8,96. Em relação aos seus trechos, o que foi avaliado como mais irregular foi o trecho 1, com valor de RDE real de 6,56. O trecho 2 e 3 não apresentaram valores tão altos, entretanto, não representaram normalidade no padrão da drenagem do rio, pois constituíram valores acima de 2, portanto, anômalo.

Com a aplicação do índice RDE, pode-se verificar que praticamente todos os trechos apresentam anormalidades. Um detalhe importante é que os seguimentos de drenagem mais anômalos são os que se localizam no setor sul da carta, onde também se encontram canais fluviais muito entalhados, formando vales extremamente encaixados com cotas altimétricas elevadas. A existência de vales amplamente entalhados nessa porção revela uma grande relação entre as características naturalmente apresentadas por essa drenagem e o Domo da Embratel, tendo em vista que o soerguimento desse compartimento apresenta-se como um forte condicionante do padrão de drenagem, cujas cabeceiras dos canais se originam nesse alto estrutural.

Alguns estudos recentes sugerem que o Domo da Embratel é uma provável estrutura *push up* e sua origem pode estar relacionada com ativações tardias do *esplay out* do Lineamento Congo-Coxixola, no entanto, suas causas necessitam de uma investigação mais apurada de subsuperfície (BRITO NEVES *et al.*, 2009). Embora sua gênese ainda careça de maiores detalhes, sua influência no padrão da rede de drenagem local é indiscutível e, portanto, a evolução geomorfológica da área está extremamente relacionada a ele.

Pode-se relacionar, ainda, esses valores com a assimetria apresentada pela rede de drenagem da área. Ao mesmo tempo em que as evidências tectônicas de soerguimento são bastante nítidas, percebe-se, também, pelos diferentes níveis de entalhamento e, principalmente, pelas várias drenagens assimétricas encontradas nesse compartimento, que esse soerguimento que causa essa diferença altimétrica entre os tabuleiros se fez de forma heterogênea, por blocos falhados e/ou por basculamentos distintos.

6.2.2.2 Índice Razão Fundo/Altura de Vale (RFAV)

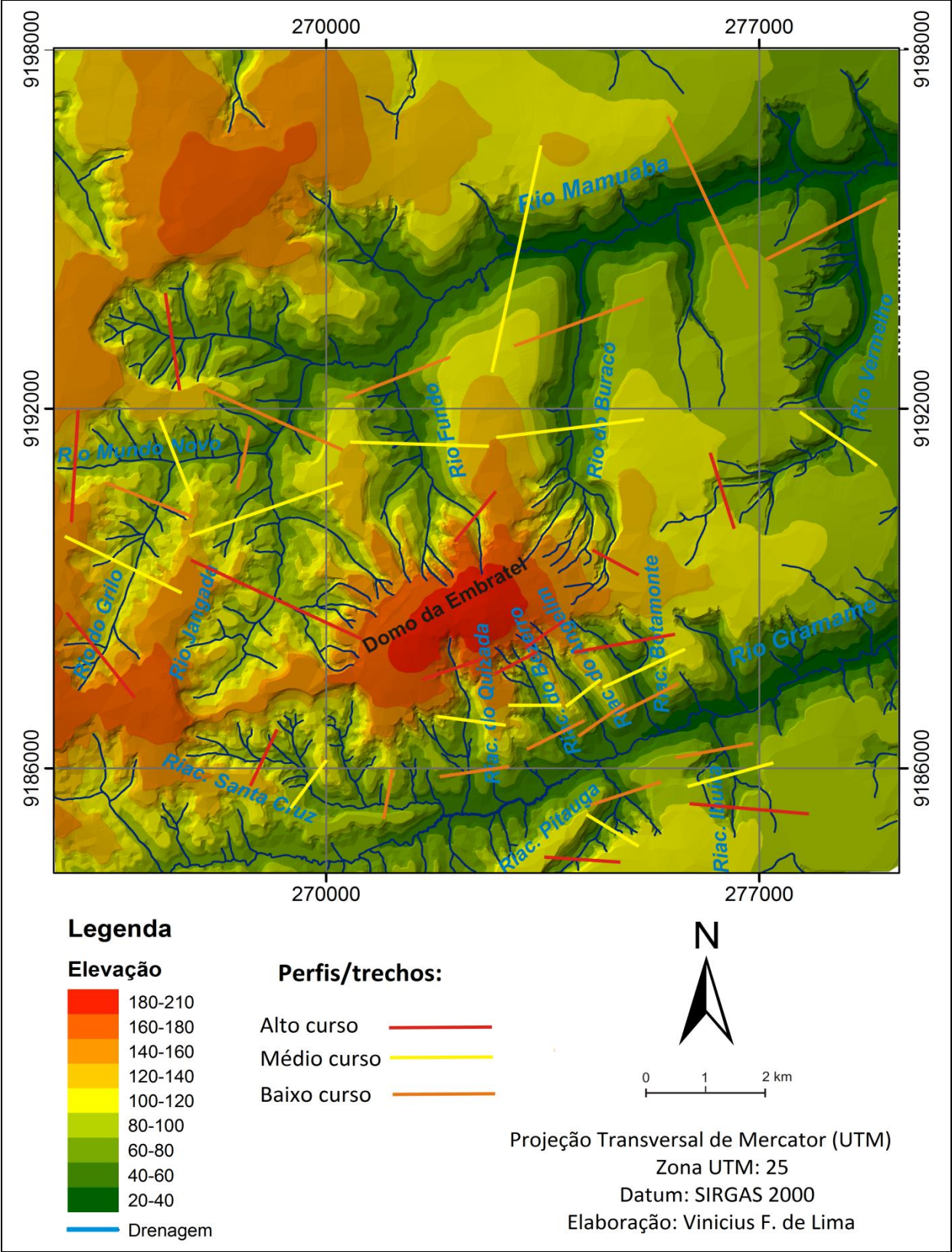
No que diz respeito à forma dos vales, as informações obtidas com a aplicação do índice RFAV revelaram heterogeneidade entre as sub-bacias hidrográficas analisadas nessa pesquisa. Selecionaram-se 42 perfis transversais aos rios para aplicação do RFAV nas bacias do rio Mamuaba, rio Vermelho, rio do Buraco, rio Fundo, rio Jangada, rio Mundo Novo, rio do Grilo, riacho Santa Cruz, riacho do Quizada, riacho do Bezerro, riacho do Angelim, riacho Botamonte, riacho Pitauga e riacho Ibuíra. As bacias selecionadas para aplicação do índice RFAV foram as mesmas onde foi aplicado o índice RDE, dessa forma torna-se possível realizar uma análise combinada dos índices e comparar os dados obtidos.

Foram traçados três perfis em cada bacia (alto, médio e baixo curso), cortando paralelamente o seu rio principal (Figura 34). O que chamou a atenção foi que alguns pontos apresentaram a ocorrência de vales incisivos, principalmente nas cabeceiras de drenagem. Com base na elaboração dos perfis topográficos, foi possível a comparação entre os trechos trabalhados, revelando vales incisivos. Já os cursos com valores superiores a 1 apresentaram o índice com maior valor de RFAV, ou seja, revela vale em forma de “U”.

É importante salientar que se o cálculo do índice RFAV resultar em valores <1 , indica que a área tem grandes possibilidades de ter passado por soerguimento tectônico recente. Já os valores >1 sugerem que a atividade tectônica na região em que o rio ou o curso de água está situado já cessou há longo período de tempo (ANDRADES FILHO, 2010).

Os resultados alcançados no cálculo do índice RFAV também indicam forte influência de tectônica recente, pois somente 9 dos 42 perfis analisados apresentaram valores de RFAV >1 (Tabela 8). Portanto, através da aplicação desse índice foram detectados 33 perfis com anomalias de drenagem de diferentes intensidades, tanto no alto, médio e baixo curso das bacias analisadas.

Figura 34 – Perfis selecionados para o RFAV



Fonte: Elaboração própria (2016).

Como mostram os valores na Tabela 8, o perfil 18 foi aquele que obteve o valor mais baixo (0,08), mostrando uma irregularidade na relação entre o fundo e altura de vale do rio,

apresentando valor extremamente baixo para uma adjacência de uma margem continental do tipo passiva. Os perfis 10, 13, 17, 20, 28 e 29 também apresentam valores muito baixos de RFAV ($\leq 0,5$), evidenciando um possível soerguimento recente da área.

Tabela 8 - Valores considerados para efetivação do cálculo RFAV

Perfil/Bacias hidrográficas	Lfv (m)	Ade (m)	Add (m)	Efv (m)	RFAV
(1) Rio Mamuaba (alto curso)	38 m	116 m	103 m	70 m	0,97
(2) Rio Mamuaba (médio curso)	65 m	124 m	102 m	40 m	0,89
(3) Rio Mamuaba (baixo curso)	70 m	100 m	92 m	31 m	1,07
(4) Rio Vermelho (alto curso)	26 m	107 m	106 m	80 m	0,96
(5) Rio Vermelho (médio curso)	35 m	100 m	82 m	40 m	0,68
(6) Rio Vermelho (baixo curso)	41 m	81 m	71 m	26 m	0,82
(7) Rio do Buraco (alto curso)	40 m	136 m	135 m	90 m	0,87
(8) Rio do Buraco (médio curso)	50 m	150 m	115 m	50 m	0,60
(9) Rio do Buraco (baixo curso)	51 m	101 m	99 m	36 m	0,79
(10) Rio Fundo (alto curso)	28 m	150 m	155 m	90 m	0,45
(11) Rio Fundo (médio curso)	46 m	150 m	140 m	55 m	0,51
(12) Rio Fundo (baixo curso)	82 m	71 m	98 m	41 m	1,90
(13) Rio Jangada (alto curso)	158 m	140 m	160 m	90 m	0,37
(14) Rio Jangada (médio curso)	74 m	120 m	110 m	73 m	0,56
(15) Rio Jangada (baixo curso)	92 m	101 m	138 m	58 m	1,49
(16) Rio Mundo Novo (alto curso)	42 m	133 m	156 m	91 m	0,78
(17) Rio Mundo Novo (médio curso)	183 m	138 m	90 m	70 m	0,24
(18) Rio Mundo novo (baixo curso)	66 m	77 m	80 m	73 m	0,08
(19) Rio do Grilo (alto curso)	42 m	186 m	166 m	191 m	0,73
(20) Rio do Grilo (médio curso)	130 m	140 m	157 m	105 m	0,33
(21) Rio do Grilo (baixo curso)	39 m	120 m	130 m	80 m	1,15
(22) Riacho Santa Cruz (alto curso)	32 m	120 m	131 m	80 m	0,70
(23) Riacho Santa Cruz (médio curso)	31 m	131 m	106 m	63 m	0,55
(24) Riacho Santa Cruz (baixo curso)	37 m	100 m	99 m	60 m	0,93
(25) Riacho do Quizada (alto curso)	29 m	176 m	171 m	138 m	0,81
(26) Riacho do Quizada (médio curso)	43 m	150 m	141 m	86 m	0,72
(27) Riacho do Quizada (baixo curso)	71 m	75 m	63 m	51 m	3,94
(28) Riacho do Bezerro (alto curso)	21 m	171 m	152 m	111 m	0,41
(29) Riacho do Bezerro (médio curso)	36 m	151 m	132 m	68 m	0,48
(30) Riacho do Bezerro (baixo curso)	44 m	76 m	78 m	51 m	1,69
(31) Riacho do Angelim (alto curso)	23 m	168 m	176 m	141 m	0,74
(32) Riacho do Angelim (médio curso)	34 m	143 m	132 m	78 m	0,57
(33) Riacho do Angelim (baixo curso)	33 m	104 m	79 m	53	0,85
(34) Riacho Botamonte (alto curso)	38 m	121 m	132 m	67 m	0,70
(35) Riacho Botamonte (médio curso)	41 m	100 m	121 m	58 m	0,78
(36) Riacho Botamonte (baixo curso)	81 m	100 m	81 m	50 m	2,00
(37) Riacho Pitauga (alto curso)	41 m	106 m	100 m	59 m	0,94
(38) Riacho Pitauga (médio curso)	39 m	102 m	106 m	53 m	0,76
(39) Riacho Pitauga (baixo curso)	31 m	76 m	71 m	36 m	0,82
(40) Riacho Ibuíra (alto curso)	36 m	106 m	107 m	67 m	0,91
(41) Riacho Ibuíra (médio curso)	78 m	83 m	102 m	57 m	1,06
(42) Riacho Ibuíra (baixo curso)	96 m	71 m	68 m	43 m	3,62

Fonte: Elaboração própria (2016).

Os perfis aplicados nos rios Vermelho, do Buraco, Mundo Novo e nos riachos Santa Cruz, Angelim e Pitauga apresentaram valores de RFAV anômalos em todos os perfis traçados, no alto, médio e baixo curso. Pelo fato de esses resultados terem sido obtidos em regiões já analisadas que demonstraram outros indícios da atuação de atividade neotectônica, como soerguimentos e falhamentos, pode-se afirmar que os mesmos devem ser considerados como dados que reforçam a veracidade desses indícios.

O índice RFAV, assim como também, o RDE revelaram um considerável volume de indicativos de deformação tectônica da área de estudo. Estes índices parecem não terem sido afetados por contrastes litológicos, pois suas variações não apresentaram expressiva ligação com as mudanças de litologia ao longo do curso dos rios avaliados. Além disso, foi notada variação destes índices sobre estratos litologicamente homogêneos. Para que se fosse possível realizar uma comparação entre esses índices, os valores obtidos foram agrupados em uma única tabela. (Tabela 9).

Estes indicativos apontados pelos índices morfométricos revelam maior intensidade de influência tectônica em sistemas de drenagem instalados sobre as unidades sedimentares da porção sul da área de estudo. Associado a esta constatação, fica evidente que indicativos de deformação tectônica ocorreram em unidades sedimentares com idades geológicas mais recentes. Isto também reforça a sugestão de que eventos tectônicos tenham afetado a área em idades recentes (Terciário superior e Quaternário). Em especial, a porção onde está situado o domo da Embratel onde predominam os Sedimentos da Formação Barreiras, é justamente onde estão as anomalias de maior intensidade, tanto do RDE como do RFAV.

Tabela 9 - Comparação entre as variáveis morfométricas da aplicação dos cálculos de RDE e RFAV

Bacias e sub-bacias hidrográficas	Extensão total (m)	RDE _{total}	Intensidade de anomalia RDE	Trechos	Extensão Trecho (m)	RDE trecho	RDE Real	Perfil/RFAV	RFAV
Rio Mamuaba	16342 m	8,96	2ª ordem	Trecho 1	5080 m	58,59	6,56	(1) Alto Curso	0,97
				Trecho 2	5275 m	8,84	2,10	(2) Médio Curso	0,89
				Trecho 3	5987 m	19,70	2,19	(3) Baixo Curso	1,07
Rio Vermelho	8685 m	11,25	1ª ordem	Trecho 1	3187 m	65,84	5,85	(4) Alto Curso	0,96
				Trecho 2	3188 m	26,04	2,31	(5) Médio Curso	0,68
				Trecho 3	2409 m	36,05	3,20	(6) Baixo Curso	0,82
Rio do Buraco	6888 m	13,92	1ª ordem	Trecho 1	2784 m	75,89	5,45	(7) Alto Curso	0,87
				Trecho 2	2162 m	29,16	2,09	(8) Médio Curso	0,60
				Trecho 3	1956 m	21,12	1,60	(9) Baixo Curso	0,79
Rio Fundo	4309 m	16,62	1ª ordem	Trecho 1	1890 m	110,76	6,66	(10) Alto Curso	0,45
				Trecho 2	1129 m	24,24	1,45	(11) Médio Curso	0,51
				Trecho 3	1290 m	21,17	1,27	(12) Baixo Curso	1,90
Rio Jangada	6691 m	9,43	2ª ordem	Trecho 1	2315 m	42,26	4,48	(13) Alto Curso	0,37
				Trecho 2	2608 m	42,15	4,46	(14) Médio Curso	0,56
				Trecho 3	1768 m	36,50	3,87	(15) Baixo Curso	1,49
Rio Mundo Novo	5273 m	7,81	2ª ordem	Trecho 1	1975 m	48,68	6,25	(16) Alto Curso	0,78
				Trecho 2	1513 m	22,55	2,88	(17) Médio Curso	0,24
				Trecho 3	1773 m	17,89	2,29	(18) Baixo Curso	0,08
Rio do Grilo	4265 m	9,57	2ª ordem	Trecho 1	1298 m	29,51	3,08	(19) Alto Curso	0,73
				Trecho 2	1501 m	43,50	4,54	(20) Médio Curso	0,33
				Trecho 3	1488 m	73,15	7,64	(21) Baixo Curso	1,15
Riacho Santa Cruz	5060 m	8,21	2ª ordem	Trecho 1	2048 m	47,96	5,84	(22) Alto Curso	0,70
				Trecho 2	1461 m	24,93	3,03	(23) Médio Curso	0,55
				Trecho 3	1552 m	19,36	2,35	(24) Baixo Curso	0,93
Riacho do Quizada	3079 m	16,95	1ª ordem	Trecho 1	1061 m	84,76	5,00	(25) Alto Curso	0,81
				Trecho 2	1008 m	29,34	1,73	(26) Médio Curso	0,72
				Trecho 3	1010 m	15,03	0,88	(27) Baixo Curso	3,94
Riacho do Bezerra	2583 m	13,6	1ª ordem	Trecho 1	732 m	80,61	5,92	(28) Alto Curso	0,41
				Trecho 2	817 m	27,30	2,07	(29) Médio Curso	0,48
				Trecho 3	1034 m	8,59	0,66	(30) Baixo Curso	1,69
Riacho do Angelim	2723 m	17,12	1ª ordem	Trecho 1	912 m	72,71	4,24	(31) Alto Curso	0,74
				Trecho 2	921 m	34,66	2,02	(32) Médio Curso	0,57
				Trecho 3	890 m	21,74	1,26	(33) Baixo Curso	0,85
Riacho Botamonte	2509 m	13,55	1ª ordem	Trecho 1	857 m	76,35	5,63	(34) Alto Curso	0,70
				Trecho 2	839 m	17,77	1,31	(35) Médio Curso	0,78
				Trecho 3	813 m	6,69	0,49	(36) Baixo Curso	2,00
Riacho Pitauga	2644 m	6,47	2ª ordem	Trecho 1	1081 m	34,56	5,34	(37) Alto Curso	0,94
				Trecho 2	874 m	4,74	0,74	(38) Médio Curso	0,76
				Trecho 3	689 m	13,10	2,24	(39) Baixo Curso	0,82
Riacho Ibuíra	2209 m	8,83	2ª ordem	Trecho 1	851 m	36,26	4,10	(40) Alto Curso	0,91
				Trecho 2	675 m	21,15	2,39	(41) Médio Curso	1,06
				Trecho 3	683 m	4,48	0,50	(42) Baixo Curso	3,62

Fonte: Elaboração própria (2016).

Como pode ser verificado na tabela 9 os valores encontrados com a aplicação do índice RFAV reforçam, substancialmente, os valores encontrados com a aplicação do índice RDE. Os valores obtidos, somados às análises morfológicas encontradas, reforçam a hipótese de influência tectônica marcante na área e, ao mesmo tempo, refutam uma simples evolução de vertentes baseada, exclusivamente, no fato climático.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo vem apoiar outros já existentes nas proximidades da área que por meio de cálculos morfométricos e análises morfológicas atestam que a configuração regional da rede de drenagem está fortemente atrelada ao fator tectônico, mesmo estando à retaguarda de uma margem continental do tipo passiva. Portanto, é de grande importância que os estudos de cunho tectônico nessas regiões litorâneas e em sua retaguarda não desprezem as bacias hidrográficas, visto que as redes de drenagem representam um dos mais importantes agentes de modelagem do relevo, concebendo, sob a ação da gravidade, a esculturação dos vales e a configuração do relevo local.

Conclui-se que é de grande importância que os estudos de cunho tectônico nessas regiões litorâneas e em sua retaguarda não desprezem as bacias hidrográficas, considerando também os Baixos Planaltos Costeiros esculpidos sobre os sedimentos mal consolidados da Formação Barreiras, visto que as propriedades litológicas dessa formação impedem, por muitas vezes, que estruturas deformacionais expostas às fortes intempéries do litoral brasileiro sejam preservadas por tempos geológicos.

Os resultados das diversas análises executadas nesta pesquisa mostram uma nítida divisão do relevo em dois compartimentos distintos separados visivelmente por uma estrutura dômica, fortes entalhes fluviais com elevadas declividades que em alguns pontos exumam formações sotopostas da bacia sedimentar, bruscas inflexões nos rios da área e bacias assimétricas.

Por meio da combinação da análise morfológica e dos cálculos morfométricos realizados de RDE e RFAV, foi permitido verificar a possível presença de atividades tectônicas recentes atuantes sobre a área de estudo. Estes índices morfométricos se demonstraram de grande valia para que fosse alcançado o objetivo proposto na pesquisa, mas ainda é pouco utilizado no Brasil. Faz-se então necessário que mais estudos levem em consideração esse tipo de análise em outras áreas da costa paraibana ou em qualquer outro lugar do Brasil para averiguação de possíveis atividades neotectônicas, haja vista, que o território brasileiro não é estável do ponto de vista tectônico e várias pesquisas de cunho geomorfológico publicadas em décadas passadas praticamente desprezaram esse assunto.

Existem diversos outros estudos de cunho geológico e geofísico que ainda devem ser feitos para ratificar e quantificar a influência da tectônica recente na área. Os resultados alcançados neste trabalho podem abrir novos campos de aplicação e de entendimento quanto

ao desenvolvimento e a evolução do relevo e sua relação com a tectônica recente em áreas de margem continental passiva.

REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. N. Problemas do mapeamento geomorfológico no Brasil. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 6, p. 1-16, 1969.
- ALHEIROS, M. M.; FERREIRA, M. G. V. X.; LIMA FILHO, M. F. Definição da Formação Beberibe na faixa Recife-João Pessoa. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1993, Natal. **Atas...** Natal: SBG, 1993. v. 13, p. 51-54.
- ALHEIROS, M. M.; LIMA FILHO, M. F.; MONTEIRO, F. A. J.; OLIVEIRA FILHO, J. S. Sistemas deposicionais na Formação Barreiras no Nordeste Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. **Anais...** Belém: SBG, 1988. v. 2, p. 753-760.
- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Inundações marinhas fanerozóicas no Brasil e Recursos minerais associados. In: BARTORELLI, A.; BRITO NEVES, B. B.; CARNEIRO, C. D. R.; MANTESSO NETO, V. **Geologia do continente Sul-Americano**. 1. ed. São Paulo: Beca, 2004. p. 674.
- ALMEIDA, F. F. M.; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B.; FUCK, H. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: SBG, 1977. p. 363-391.
- ANDRADES FILHO, C. O. **Análise morfoestrutural da porção central da Bacia Paraíba (PB) a partir de dados MDE-SRTM e ALOS-PALSAR FBD**. 2010. 150 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2010.
- ARAI, M. A grande elevação eustática do Mioceno e sua influência na origem do Grupo Barreiras. **Geologia USP Série Científica**, São Paulo, v. 6, n. 2, p. 1- 6, 2006.
- ARGENTO, M. S. F. Mapeamento geomorfológico. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 365-39.
- ASMUS, H. E. Controle estrutural da deposição mesozoica nas bacias da margem continental brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 5, n. 3, p. 160-175, 1975.
- ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M. S. Anomalias de drenagem na sub-bacia hidrográfica do Rio Sana (RJ). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA/REGIONAL CONFERENCE ON GEOMORPHOLOGY, 6., Goiás. **Anais...** Goiás, 2006. p. 1-10.
- BARBOSA, J. A.; SOUZA, E. M.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. A estratigrafia da bacia Paraíba: uma reconsideração. **Estudos Geológicos**, v. 13, p. 89-198, 2004.
- BARBOSA, M. E. F. **Caracterização geomorfológica e tectônica da bacia hidrográfica do Rio Gurujá (PB) com apoio de índices morfométricos**. 2010. 103 f. Monografia (Graduação em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

_____. **Geomorfologia e tectônica da Folha Jacumã 1:25.000**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

BARBOSA, M. E. F. VITAL, S. R. O.; LIMA, J. C. F.; FREITAS, G. M. A.; SANTOS, M. S.; FURRIER, M. Aplicação do índice Relação Declividade-Extensão na bacia hidrográfica do rio Guruji para detecção de deformações neotectônicas sobre os sedimentos do Grupo Barreiras, litoral sul do estado da Paraíba, Brasil. **Geología Colombiana**, v. 36, n. 1, Edición Especial, 2011.

BARRELLA, W.; PETRERE-JR., M.; SMITH, W. S.; MONTAG, L. F. A. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO; H. F. (Orgs.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2. ed. São Paulo: USP, 2001.

BEZERRA, F. H. R. Deformação tectônica na Formação Barreiras: exemplos das bacias Potiguar e Paraíba, Brasil. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 13.; ENCONTRO DO QUATERNÁRIO SULAMERICANO, 3., 2011, Búzios-RJ. **Anais...** Búzios: Abequa, 2011.

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E. Sensoriamento remoto aplicado à neotectônica da faixa litorânea oriental do estado do Rio Grande do Norte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9., 1998. Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. p. 361-369.

BEZERRA, F. H. R.; AMARO, V. E.; VITA-FINZE, C.; SAADI, A. Pliocene-Quaternary fault control of sedimentation and coastal plain morphology in NE Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, n. 14, p. 61-75, 2001.

BISHOP, P. **Drainage rearrangement by river capture, beheading and diversion**. Progress in Physical Geography, 19 (4):449-473, 1995.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. CPRM. **Geologia e recursos minerais do estado da Paraíba**. Recife: CPRM, 2002. 142 p. il., 2 mapas. Escala 1:500.000.

BRIERLEY, G. J.; FRYIRS, K. A. **Geomorphology and River Management: Applications of the River Styles Framework**. Oxford: Blackwell Publications, 2005.

BRITO NEVES, B. B. **Regionalização geotectônica do Pré-cambriano nordestino**. 1975. 198 f. Tese (Doutorado em Geociências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

BRITO NEVES, B. B.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; COUTINHO, J. M. V.; BEZERRA, F. H. R. Novos dados geológicos e geofísicos para a caracterização geométrica e estratigráfica da sub-bacia de Alhandra (sudeste da Paraíba). **Geol. USP, Sér. Científica**, v. 9, n. 2, p. 63-87, jun. 2009.

BRITO NEVES, B. B.; RICCOMINI, C., FERNANDES, T. M. G., SANT'ANNA, L. G. O sistema tafrogênico terciário do Saliente Oriental Nordeste na Paraíba: um legado proterozoico. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 127-134, 2004.

BRUCH, A. F.; GRUBER, N. L. S.; HANSEN, M. A. F. Construção e representação de modelos numéricos do terreno no SIG Spring para o relevo da sub-bacia hidrográfica do Arroio João Dias, Minas do Camaquã-RS. In: ENCUESTRO DE GEÓGRAFOS DA AMERICA LATINA, 12., 2009. Montevideu. **Anales...** Montevideo: Gega, 2009. v. 1, p. 1-8.

BULL, W. B. Tectonic geomorphology. **Journal of Geological Education**, v. 32, p. 310-324, 1984.

BULL, W. B.; MCFADDEN, L. D. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. In: GEOMORPHOLOGY SYMPOSIUM-GEOMORPHOLOGY IN ARID REGIONS, 8., 1977, Binghamton. **Anais...** Binghamton: Doehring, D.O., 1977. p. 115-138.

CARVALHO, M. G. R. F. **Estado da Paraíba**: classificação geomorfológica. João Pessoa: Universitária/UFPB, 1982.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/pdf/index.php>>. Acesso em: 5 de Maio de 2015.

_____. **Elementos de geomorfologia**. Goiânia: UFG, 1994.

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

_____. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 415-437.

COX, R. T., Van Arsdale, R. B., Harris, J. B. **Identification of possible Quaternary deformation in the northeastern Mississippi Embayment using quantitative geomorphic analysis of drainage-basin asymmetry**. In: Geological Society of America Bulletin, v. 113, n. 5, p. 615-624, 2001.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistema**: uma introdução a geografia física. 7. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CORDANI, U. G.; MILANI, E. J.; THOMAZ FILHO, A.; CAMPOS, D. A. (Orgs.). Tectonic evolution of South America. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro. **Proceedings...** Rio de Janeiro, 2000. p. 19-40.

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

DEMEK, J. Generalization of geomorphological maps. **Progress Made in Geomorphological Mapping**, Brno, p. 36-72, 1977.

EICHER, D. L. **Tempo geológico**. São Paulo: Edgard Blücher, 1996.

EL HAMDOUNI, R.; IRIGARAY, C.; FERNÁNDEZ, T.; CHACÓN, J.; KELLER, E. A. Assessment of relative tectonics, southwest border of the Sierra Nevada (southern Spain). **Geomorphology**, v. 96, n. 1-2, p. 150-173, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Plano Diretor do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Tabuleiros Costeiros (CPATC)**. Brasília: Embrapa, SPI, 1994.

_____. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997.

_____. **III Plano Diretor da Embrapa Tabuleiros Costeiros 2004-2007**. 1. ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2005.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; FULFARO, V. J.; PERINOTTO, J. A. J. Detection of neotectonic deformations along the Rio do Peixe Valley, western São Paulo state, Brazil, baseado on the distribuion of late quaternary allounits. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v. 6, n. 1, p 109-114, 2000.

ETCHEBEHERE, M. L. C.; SAAD, A. R.; SANTONI, G. C.; CASADO, F. C.; FULFARO, V. J. Detecção de prováveis deformações neotectônicas no vale do Rio do Peixe, região ocidental paulista mediante aplicação de índices RDE (Relação Declividade-Extensão) em segmentos de drenagem. **Revista de Geociências USP**, v. 25, p. 271-289, 2006.

FERREIRA, A. G; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol.1, nº 1. p.15-28, 2005.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. Introdução à Geomorfologia. In: FLORENZANO, T. G. (Org.) **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 1, p. 11-30.

FRANÇOLIN, J. B. L.; SZATMARI, P. Mecanismo de rifteamento da porção oriental da margem norte brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, n. 2, p. 196-207, 1987.

FREITAS, G. M. A. **Caracterização geomorfológica e morfométrica da Folha Alhandra (1:25.000)**. 2012. 126 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2012.

FURRIER, M. **Caracterização geomorfológica e do meio físico da folha João Pessoa 1:100.000**. 2007. 213f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FURRIER, M.; ARAÚJO, M. E.; MENESES, L. F. Geomorfologia e tectônica da Formação Barreiras no estado da Paraíba. **Geol. USP Sér. Científica**, v. 6, n. 2, p. 61-70, out. 2006.

GOOGLE. Google Earth. **Açude Mamuaba, Paraíba**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/place/Açude+Mamuaba,+Paraíba/@-7.2738103,-34.9913085,5976m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x7ac932313f550db:0xc793e63d90830a9a>>. Acesso em: 20 jul. 2015.

GOPINATH, T. R.; COSTA, C. R. S.; SOUSA JÚNIOR, M. A. Minerais pesados e processos deposicionais dos sedimentos da Formação Barreiras, Paraíba. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 1993, Natal. **Atas...** Natal: SBG/Núcleo Nordeste, 1993. v. 1, p. 47-48.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.

HACK, J. T. Stream-profile analysis and stream-gradient index. U.S. Geol. **Survey, Jour. Research**, Washington, v. 1, n. 4, p. 421-429, 1973.

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: WORKSHOP SOBRE NEOTECTÔNICA E SEDIMENTAÇÃO CENOZOICA CONTINENTAL NO SUDESTE BRASILEIRO, 1., 1990, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SBG/MG, 1990. v. 1, p. 1-31.

HERZ, R.; DE BIASI, M. **Critérios e legendas para macrozoneamento costeiro**. Brasília: Ministério da Marinha/Comissão Interministerial para os Recursos do Mar, 1989.

HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. **American Association of Petroleum Geologie Bulletin**, v. 51, n. 11, p. 2246-2259, 1967.

JATOBÁ, L.; LINS, R. C. **Introdução à Geomorfologia**. 5. ed. Recife: Bagaço, 2008.

LIMA, C. C. U. O neotectonismo na costa do Sudeste e do Nordeste brasileiro. **Revista de Ciência e Tecnologia**, n. 15, p. 91-102, 2000.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. Neotectônica, Geomorfologia e sistemas fluviais: uma análise preliminar do contexto nordestino. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, p. 37-46, 2011.

MARINHO, E. G. A. **Bases geológicas das organizações espaciais no município de João Pessoa (PB)**. 2011. 318 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. p. 23-50.

MARTINEZ, M. **Aplicação de parâmetros morfométricos de drenagem na bacia do Rio Pirapó**: o perfil longitudinal. 2005. 96 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

MELO, A. S. T. de. **Paraíba**: desenvolvimento econômico e a questão ambiental. João Pessoa: Grafset, 2003.

MESCERJAKOV, J. P. Les conceito de morphostruture et de morphosculture: um nouveau instrument de l'analyse geomorphologique. **Annales de Geographie**, Paris, 77 années, n. 423, p. 539-532, 1968.

MOREIRA, A. N. Cartas geomorfológicas. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 5, p. 1-11, 1969.

MOREIRA, E.; TARGINO, I. **Capítulos de Geografia Agrária da Paraíba**. João Pessoa: UFPB, 1997.

MORNER, N. Neotectonics and structural geology: general introduction. **Bulletin International Quaternary**, Association Neotectonic Commission, v. 13, p. 87, 1990.

NOGUEIRA F. C. C., BEZERRA F. H. R., CASTELO BRANCO R. M. Radar de penetração no solo (GPR) aplicado ao estudo de estruturas tectônicas neógenas na bacia Potiguar – NE no Brasil. **Revista de Geologia**, v. 18, n. 2, p. 139-149, 2006.

PARAÍBA. Superintendência de Administração do Meio Ambiente. **Mapa pedológico do estado da Paraíba**. João Pessoa: Sudema, 2004. Escala: 1:500.000.

PENCK, W. **Morphological analysis of landforms**. London: Macmillan and Co, 1953.350p.

PENTEADO M. M. **Fundamentos de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: FIBGE, 1974.

PEREIRA, M. D. B.; MONTEIRO, D. C. S.; SILVA, N. T.; MOURA, M. O. Avaliação quantitativa das precipitações diárias intensas na cidade de João Pessoa, Paraíba. **Revista Geonorte**, ed. esp. 2, v. 1, n. 5, p. 921-929, 2012.

POLZIN, M. A. Análise da aplicação do método de Hack no estudo geomorfológico em afluentes do curso superior da Bacia hidrográfica do Itapocu – SC – Brasil. **Geografia: Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 59-66, 2008.

PRESS, S.; SIEVER, R.; GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006.

RICCOMINI, C.; ALMEIDA, R. P.; GIANNINI, P. C. F.; MANCINI, F. Processos fluviais e lacustres e seus registros. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (Orgs.). **Decifrando a Terra**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 11, p. 306-333.

RODRIGUES, S. C.; OLIVEIRA, P. C. A. Cartografia do relevo: um estudo aplicado na região oeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 8, n. 2, p. 37-44, 2007.

ROSS, J. L. S. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP**, n. 4, p. 25-39, 1985.

_____. **Geomorfologia, ambiente e planejamento**. São Paulo: Contexto, 1992.

_____. Geomorfologia aplicada aos EIAS-RIMAS. In: GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Cap. 6, p. 291-336.

ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M.; BEZERRA, F. H. R.; VALERIANO, M. M.; BRITO NEVES, B. B.; OCHOA, F. L. Contribution to the stratigraphy of the onshore Paraíba Basin, Brazil. **An. Acad. Bras. Ciênc.**, v. 84, n. 2, Rio de Janeiro, jun. 2012.

SAADI, A. Neotectônica da plataforma brasileira: esboço e interpretação preliminares Geonomos. **Rev. de Geociências da UFMG**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 1-15, 1993.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 2, p. 3-12, 2006.

SCHUM, S. A; DUMONT, J. F; HOLBROOK, J. M. **Actives Tectonics and aluvial Rivers**. Cambridge University. 290p. 2000.

SEEBER, L.; GORNITZ, V. River profiles along the Himalayan arc as indicators of active tectonics. **Tectonophysics**, Amsterdam, v. 92, p. 335-367, 1983.

SILVA, A. B. **Sistemas de Informações Georreferenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Unicamp, 2003.

SILVA, I. C. **Geomorfologia, hidrografia e tectônica da folha Fraçaji 1:25.000, estado da Paraíba**. 2014. 140 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.

SILVA, T. P.; MELO, C. L. Reativações neotectônicas na Zona de Cisalhamento do rio Paraíba do Sul (Sudeste do Brasil). **Geol. USP. Sér. Cient.**, v. 11, n. 1, 2011.

SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, v. 16, n. 32, p. 71-104, 1976.

SOUZA, D. H.; HACKSPACHER, P. C.; TIRITAN, C. D.; RIBEIRO, L. F. B.; CAMPANI, M. M. Aplicação de análise morfométrica – relação declividade vs. extensão e perfil longitudinal das drenagens – na bacia do ribeirão das Antas para detecção de deformações neotectônicas no planalto de Poços de Caldas. **Revista de Geografia**, Recife, v. 27, n. 1 esp., 2010.

STEVENS, P. O.; MENESES, L. F. Elaboração de Modelos Numéricos do Terreno no Spring representando o relevo da bacia hidrográfica do rio Aratú. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 3., 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju, 2006.

STEWART, I. S.; HANCOCK, P. L. Neotectonics. In: HANCOCK, P. L. **Continental deformation**. Pergamon: Oxford, 1994. p. 370-409.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Folha Rio Mamuaba SB. 25-Y-C-II-4-NE**. Recife: Sudene, 1974. 1 Carta Topográfica. Escala 1: 25.000.

SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais: (passado + presente = futuro?)**. São Paulo: Paulo's Comunicação e Artes Gráficas, 1999.

_____. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

TEÓDULO, J. M. R. **Geoecologia das paisagens na bacia hidrográfica do rio Gramame-PB com auxílio de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas**. 2014. 209 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

TROLL, C. Teor, problemas e métodos de pesquisa geomorfológica. **Boletim Geográfico – IBGE**, ano 32, n. 334, p. 102-134, 1973.

VITTE, A. C. Os fundamentos metodológicos da Geomorfologia e a sua influência no desenvolvimento das Ciências da Terra. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.). **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

WELLS, S. G.; BULLARD, T. F.; MENGES, C. M.; DRAKE, P. A.; KARAS, K.I.; KELSON, K. I.; RITTER, J. B.; WESLING, J. R. Regional variations tectonic geomorphology along a segmented convergent plate boundary, pacific coast of Costa Rica. **Geomorphology**. Amsterdam, v. 1, n. 3, p. 239-265, set. 1988.