



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIENCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA

NICOLAU AKIO KUBOTA

**ABORDAGEM HIDROLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA NA
IDENTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS AFLUENTES DO RIO GUAMÁ**

Belém, PA
Julho de 2021

NICOLAU AKIO KUBOTA

**ABORDAGEM HIDROLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA NA
IDENTIFICAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DAS BACIAS
HIDROGRÁFICAS AFLUENTES DO RIO GUAMÁ**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado à
Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima

Belém, PA
Julho de 2021

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

K95a Kubota, Nicolau Akio.
Abordagem hidrológica e geomorfológica na identificação da sustentabilidade hídrica das bacias hidrográficas afluentes do rio Guamá / Nicolau Akio Kubota. — 2021.
96 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2021.

1. Hidrogeomorfologia. 2. Unidades de Paisagens. 3. Uso e Ocupação da Terra. I. Título.

CDD 551

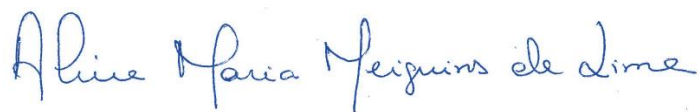
NICOLAU AKIO KUBOTA

**ABORDAGEM HIDROLÓGICA E GEOMORFOLÓGICA NA IDENTIFICAÇÃO DA
SUSTENTABILIDADE HÍDRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES
DO RIO GUAMÁ**

Trabalho de Conclusão do Curso, apresentado à
Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da
Universidade Federal do Pará, para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

Data da defesa: 01 /07 /2021

Banca Examinadora



Profa. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima (UFPA - Orientadora)



Profa. Dra. Milena Marília Nogueira de Andrade (UFPA)



Prof. Dr. Mauricio da Silva Borges (UFPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por dar todo o apoio, incentivo e compreensão na busca pelos meus objetivos.

A minha orientadora Prof. Dr. Aline Maria Meiguins de Lima que me acolheu como orientando desde os PIBICs, ajudou e deu todo o suporte para desenvolver este trabalho e pela confiança que me foi dada, além de muita paciência, incentivo e compreensão.

Aos professores da Faculdade de Geologia, tanto da UFPA quanto UNIFESSPA, por todo o aprendizado transmitido e por contribuir direta e indiretamente na minha formação profissional e pessoal.

Aos amigos conquistados durante esse período, por compartilharem junto a mim os momentos difíceis e principalmente os de alegria.

Muito Obrigado!

*“Na natureza nada se cria
Nada se destrói,
Tudo se transforma.”*

Antoine Levosier

RESUMO

A bacia do rio Guamá, localizada no nordeste do estado do Pará, constitui a mais importante referência hídrica da região, contendo 19 municípios e uma vasta variedade de atividades socioeconômicas. Pela relevância buscou-se avaliar a paisagem natural da bacia, considerando seus aspectos hidrogemomorfológicos associados as formas de uso da terra, identificando as vulnerabilidades existentes. A metodologia constou da integração cartográfica em Sistema de Informações Geográficas (SIG), associando os aspectos relativos à paisagem natural - unidades geológicas, geomorfológicas, topográficas, rede de drenagem e distribuição da precipitação pluviométrica; ao produto das formas de intervenção antrópica (uso e ocupação da terra). Os resultados obtidos identificaram que a região apresenta uma dinâmica natural crescente do Alto para o Baixo Guamá, com variações nas sub-bacias afluentes. O Baixo Guamá tem um diferencial por ser uma foz com influência de maré, e que recebe próximo a sua desembocadura, na baía do Guajará, os rios Moju e Acará. As unidades geomorfológicas presentes são fortemente associadas ao controle geológico, assim como a rede de drenagem, que é a principal definidora do escoamento superficial e do grau de dissecação/acumulação sofrido pelas formas de relevo. No referente a sustentabilidade hídrica a região de maior comprometimento pelas características de uso da terra e vulnerabilidade natural, seria o Alto Guamá e a sub-bacia de Mãe do Rio; o Baixo Guamá e o rio Bujarú, diferenciam-se pela manutenção da cobertura vegetal, que garante uma melhor recarga hídrica.

Palavras-chave: Hidrogeomorfologia, Unidades de Paisagens, Uso e Ocupação da Terra.

ABSTRACT

The Rio Guamá basin, located in the northeast of the state of Pará, constitutes the most important water reference in the region, containing 19 municipalities and a wide variety of socioeconomic activities. Due to its relevance, we sought to evaluate the natural landscape of the basin, considering its hydrogeomorphological aspects associated with the forms of land use, identifying the existing vulnerabilities. The methodology consisted of the cartographic integration in Geographic Information System (GIS), associating aspects related to the natural landscape - geological, geomorphological, topographic units, drainage network and distribution of rainfall; to the product of the forms of anthropic intervention (land use and occupation). The results obtained identified that the region presents an increasing natural dynamics from Alto Guamá to Baixo Guamá, with variations in the affluent sub-basins. The Baixo Guamá has a differential because its outfall is influenced by the tide, and which receives close to its outfall, in the Baía do Guajará, the Moju and Acará rivers. The geomorphological units present are strongly associated with geological control, as well as the drainage network, which is the main definer of surface runoff and the degree of dissection / accumulation suffered by landforms. With regard to water sustainability, the region with the greatest commitment due to the characteristics of land use and natural vulnerability would be the Alto Guamá and the Mãe do Rio sub-basin; the Baixo Guamá and the Bujarú River, are distinguished by the maintenance of the vegetation cover, which guarantees a better water recharge.

Keywords: Hydrogeomorphology, Landscape Units, Land Use and Occupation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia hidrográfica do Guamá.....	17
Figura 2 - Representação das geometrias de relevo. Modificado de Araújo et al (2015).	18
Figura 3 - Unidades hídras que compõe a região total abrangida pela bacia do rio Guamá. 23	
Figura 4 - Precipitação média mensal da série histórica de 1985-2015 e média da série histórica. Fonte: GPCC.	24
Figura 5 - Precipitação acumulada anual (mm) da area de estudo, no periodo de 1985-2015. Fonte: GPCC.	24
Figura 6 - Distribuição da Precipitação Pluviométrica na bacia do rio Guamá.	25
Figura 7 - Unidades Morfoestruturais componentes da bacia do rio Guamá	27
Figura 8 - Bacias sedimentares e plataformas na região nordeste do Pará e Oeste do Maranhão. Fonte: Rossetti (2006).	27
Figura 9 - Unidades geológicas componentes da bacia do rio Guamá.....	28
Figura 10 - Principais ocorrências de litotipos nas unidades geológicas componentes da bacia do rio Guamá.	28
Figura 11 - Comportamento dos lineamentos de drenagem	29
Figura 12 - Comportamento da altimetria na bacia do rio Guamá.	30
Figura 13 - Classes de declividade identificadas na bacia do rio Guamá.....	30
Figura 14 - Ordem dos canais.....	31
Figura 15 - Divisão adotada para a bacia do rio Guamá.	32
Figura 16 - Mapa geomorfológico com as 24 unidades geomorfológicas proposta.....	33
Figura 17 - Comportamento hipsométrico da bacia do rio Guamá.	39
Figura 18 - Padrão de uso e cobertura da terra na bacia do rio Guamá.....	41
Figura 19 - Comportamento do uso e cobertura da terra na bacia do rio Guamá, por unidade hídrica.	41
Figura 20 - Avaliação segundo: Fator de forma (K), Índice de forma (Sw), Razão de Circularidade (Rcm), Índice de Circularidade (Rc) e Índice de forma equivalente ou Índice de Compacidade (Kc) (valores calculados).....	42
Figura 21 - Avaliação segundo: Fator de forma (K), Índice de forma (Sw), Razão de Circularidade (Rcn), Índice de Circularidade (Rc) e Índice de forma equivalente ou Índice de Compacidade (Kc) (valores normalizados para 0 a 1).	43
Figura 22 - Histograma de distribuição dos lineamentos de drenagem.....	45

Figura 23 - Avaliação segundo: Lemniscate's (k), Razão de alongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais e Intensidade de Drenagem (Di) (valores calculados).	46
Figura 24 - Avaliação segundo: Lemniscate's (k), Razão de alongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais e Intensidade de Drenagem (Di) (valores normalizados para 0 a 1).	47
Figura 25 - Avaliação segundo: Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn) (valores calculados).	49
Figura 26 - Avaliação segundo: Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn) (valores normalizados para 0 a 1).	50
Figura 27 - Comportamento do índice Textura, gerado pelo modelo digital de elevação.	52
Figura 28 - Avaliação segundo: Coeficiente de manutenção (Cm), Extensão do percurso superficial (Eps), Índice de sinuosidade do canal principal (Is), Relação de bifurcação (Rb) - 1º/2º Ordem, Índice de Canal (Ci), Razão de comprimento (Re) e Número de Infiltração.	53
Figura 29 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Alto Rio Guamá.	55
Figura 30 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Rio Sujo.	56
Figura 31 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Rio Mãe do Rio.	57
Figura 32 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Médio Guamá Leste.	58
Figura 33 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Médio Guamá Oeste.	59
Figura 34 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Rio Bujarú.	60
Figura 35 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Rio Apeú.	61
Figura 36 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Baixo Guamá.	62
Figura 37 - Simulação de variação de nível a partir das margens do rio Guamá.	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Formulação de parâmetros morfométricos, com base em: Zanata et al. (2011), Pareta e Pareta (2012), Altaf et al (2013), Aravinda e Balakrishna (2013).....	20
Tabela 2 - Procedimentos adotados.	22
Tabela 3 - Dimensões das bacias hidrográficas e trabalhos de referência.....	24
Tabela 4 - Descrição segundo os Domínios Morfoestruturais (DM) das diferentes Unidades Geomorfológicas (UG) formadoras da bacia do rio Guamá.	34
Tabela 5 - Síntese dos Domínios Morfoestruturais (DM) segundo as Unidades Geomorfológicas (UG).....	37
Tabela 6 - Distribuição das principais classes de cobertura e uso da terra identificadas na bacia do rio Guamá.	40
Tabela 7- Descrição geral quanto a Área, Perímetro e Orientação	44
Tabela 8 - Percentual (%) do comprimento dos canais por Unidade Hídrica segundo a Ordem dos canais.....	48
Tabela 9 - Percentual (%) do número de canais por Unidade Hídrica segundo a Ordem dos canais.	48
Tabela 10 - Comportamento altimétrico segundo as unidades hídricas definidas.	51
Tabela 11 - Contribuição do escoamento superficial (Q) por sub-bacia e reclassificação a partir da influência deste.	64

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DA LITERATURA	15
2.1	Higrogeomorfologia	15
2.2	Aspectos geoambientais de bacias hidrográficas	16
3	OBJETIVOS	16
3.1	Objetivo Geral	16
3.2	Objetivos Específicos	16
4	METODOLOGIA	17
5	RESULTADOS	23
5.1	Bacia do rio Guamá	23
5.1.1	Caracterização pluviométrica	24
5.1.2	Geologia Regional	26
5.1.3	Compartimentação geomorfológica	29
5.1.3.1	Caracterização altimétrica	29
5.1.3.2	Compartimentação das unidades hídricas (sub-bacias)	31
5.1.3.3	Definição das unidades geomorfológicas	32
5.1.3.4	Uso de cobertura da terra na bacia do rio Guamá	39
5.1.3.5	Caracterização Hidrogeomorfológica	42
5.1.4	Síntese dos processos e condicionantes da bacia do rio Guamá	63
6	CONCLUSÕES	66
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICE	72

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é a unidade ideal para a gestão de recursos naturais e para mitigação do impacto de desastres naturais (DAS, 2015). A análise do comportamento hidrogeomorfológico de bacias hidrográficas é importante para o planejamento do uso dos recursos hídricos, uma vez que permite avaliar as características da bacia em termos de declividade, topografia, condição do solo, características de escoamento superficial e subterrâneo, etc. (SUKRISTIYANTI et al, 2018). Destaca-se como estudos precursores os de Horton (1932, 1945), Starhler (1952a, 1952b, 1957, 1964) e Schumm (1956, 1963); atualmente, o uso potencial de ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Sensoriamento Remoto (RS) permitem investigar as características físicas da bacia hidrográfica de forma mais integrada com um grande número de variáveis, incluindo as formas de uso e cobertura da terra (NIKHIL RAJ et al, 2012).

O arranjo de fluxos em um sistema de drenagem indica um padrão que sucessivamente relaciona-se ao controle estrutural e litológico das rochas subjacentes; logo, a morfologia da bacia de drenagem reflete variados processos geológicos e geomorfológicos ao longo do tempo (KULKARNI, 2015). Os modelos digitais de elevação processados (DEMs) têm sido utilizados para gerar redes de fluxo, as quais são usadas para deduzir parâmetros morfométricos, como: ordem dos canais, comprimento dos canais, relação de bifurcação, densidade de drenagem, frequência de canais, textura de drenagem, fator de forma, coeficiente de manutenção e fator de forma (ALTAF et al, 2013; MOKARRAM; AMOORTHY, 2015). A abordagem baseada em GIS facilita a análise de diferentes parâmetros morfométricos e explora a relação entre a morfometria da rede de drenagem e as propriedades dos *landforms*, solos e áreas erodidas (PARETA; PARETA, 2012).

A avaliação morfométrica permite elaborar um diagnóstico hidrológico primário para prever o comportamento aproximado de uma bacia hidrográfica, corretamente acoplado com geomorfologia e geologia (DAS, 2015). Esta possibilita adquirir dados mensuráveis da rede de fluxo da bacia de drenagem, que podem ser associados a vários fenômenos hidrológicos correlacionados com as características fisiográficas (RAI et al, 2017). As técnicas de geomorfologia quantitativa são aplicáveis para a maioria das bacias hidrográficas, no entanto a aplicabilidade depende da uniformidade no padrão pluviométrico, litologia, estrutura, tipo de solo e padrão de uso da terra da bacia considerada (EZE; EFIONG, 2010; APARNA et al, 2015).

A bacia do rio Guamá representa a mais importante unidade hídrica da Região Metropolitana de Belém (RMB) e do Nordeste do Estado do Pará, apresenta 19 municípios com

dinâmicas próprias de uso da terra e das águas. O seu crescimento em termos de ocupação (vilas, cidades), abertura de estradas e remoção da cobertura vegetal para implantação de atividades produtivas, contrasta com suas características em termos de dinâmica natural da paisagem associada. Neste contexto, é utilizado o critério de análise da paisagem, no sentido de “*Unidades de Paisagens Naturais*” que não exclui a ação antrópica (MAXIMIANO, 2004) e sua resposta hidrogeomorfológica.¹

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Hidrogeomorfologia

O termo hidrogeomorfologia foi inicialmente introduzida na literatura por Scheidegger (1973) como o estudo das formas de relevo causadas pela água. Considerada o estudo da união entre os processos hidrológicos e geomorfológicos (SIDLE; ONDA, 2004; GOERL et al., 2012), a hidrogeomorfologia compreende na análise das interações geomorfológicas com águas superficiais e subsuperficiais para a compreensão da evolução da paisagem e de suas formas de relevo dentro de uma escala espacial e temporal.

Nos estudos hidrológicos a bacia hidrográfica é a escala ideal para a sua análise, na qual a delimitação é feita pelos elementos topográficos de relevo e sendo constituída de vertentes e canais fluviais (OKUNISHI, 1991, 1994), apontando uma interação natural entre a hidrologia e geomorfologia.

Os processos hidrogeomorfológicos podem ser classificados em inundações, fluxos hiper-concentrados e fluxos de detritos (HUNGR et al., 2001; MONTGOMERY; BOLTON, 2003; WILFORD et al., 2004; MARCHI et al., 2010). Os processos supracitados se destacam por serem os maiores modificadores de paisagem no pequeno espaço de tempo e por estarem explicitamente classificados na literatura, mas vale ressaltar que qualquer processo hidrológico modificador da paisagem é considerado um processo hidrogeomorfológico (GOERL et al., 2012).

¹ Este trabalho foi publicado na Revista Brasileira de Geomorfologia. KUBOTA, Nicolau Akio; LIMA, Aline Maria Meiguins de; ROCHA, NÍVIA Cristina Vieira; LIMA, Isabela Farias. Hidrogeomorfologia da bacia hidrográfica do rio Guamá - Amazônia Oriental - Brasil. Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 21, p. 759-782, 2020. (APÊNDICE)

2.2 Aspectos geoambientais de bacias hidrográficas

Os aspectos geoambientais tratam-se de estudos integrados da paisagem juntamente com os componentes físicos, biológicos e socioeconômicas visando definir a interação entre as partes no ambiente e identificar regiões com características homogêneas (rede de drenagem, pedologia, declividade, hipsometria, uso e ocupação da terra). Bertrand (1972), Sotchava (1977), Tricart (1977), Christofolletti (1979) e entre outros autores foram os precursores no estudo integrado da paisagem utilizando a análise dos geossistemas que é o estudo das condições naturais com a interação do homem.

A análise geoambiental é uma integração das condições naturais que nos leva a uma interpretação da interação entre o homem e os demais seres (SOUZA, 2007). Nascimento e Carvalho (2003) e Ross (2006) concordam que a Bacia hidrográfica é a unidade ideal para este tipo de análise, visto que é uma unidade paisagística única. Considerando a geologia, relevo, pedologia (solos), vegetação, clima e uso das terras como condicionantes geoambientais, segundo Gorayeb et al (2005), o Brasil reflete uma alta diversidade devido as suas dimensões continentais criando particularidades diversas (GOMES; PEREIRA, 2014).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo Geral

Avaliar a resposta hidrogeomorfológica das bacias hidrográficas afluentes do rio Guamá, a partir do comportamento geomorfológico e das diferentes formas de uso da terra.

3.2 Objetivos Específicos

- Identificar as unidades hidrogeomorfológicas a partir da caracterização geológica-geomorfológica-hidrológica das bacias.
- Discutir a hidrodinâmica das bacias hidrográficas a partir de sua vulnerabilidade a ocorrência de processos naturais e induzidos pela atividade antrópica.

4 METODOLOGIA

A bacia hidrográfica do rio Guamá é localizada no nordeste do Estado do Pará (Figura 1). Possui aproximadamente 12.000 km² onde estão inseridos 19 municípios, tendo como principais vias de acesso as BR-316, BR-010, PA-124, PA-127 e PA-140.

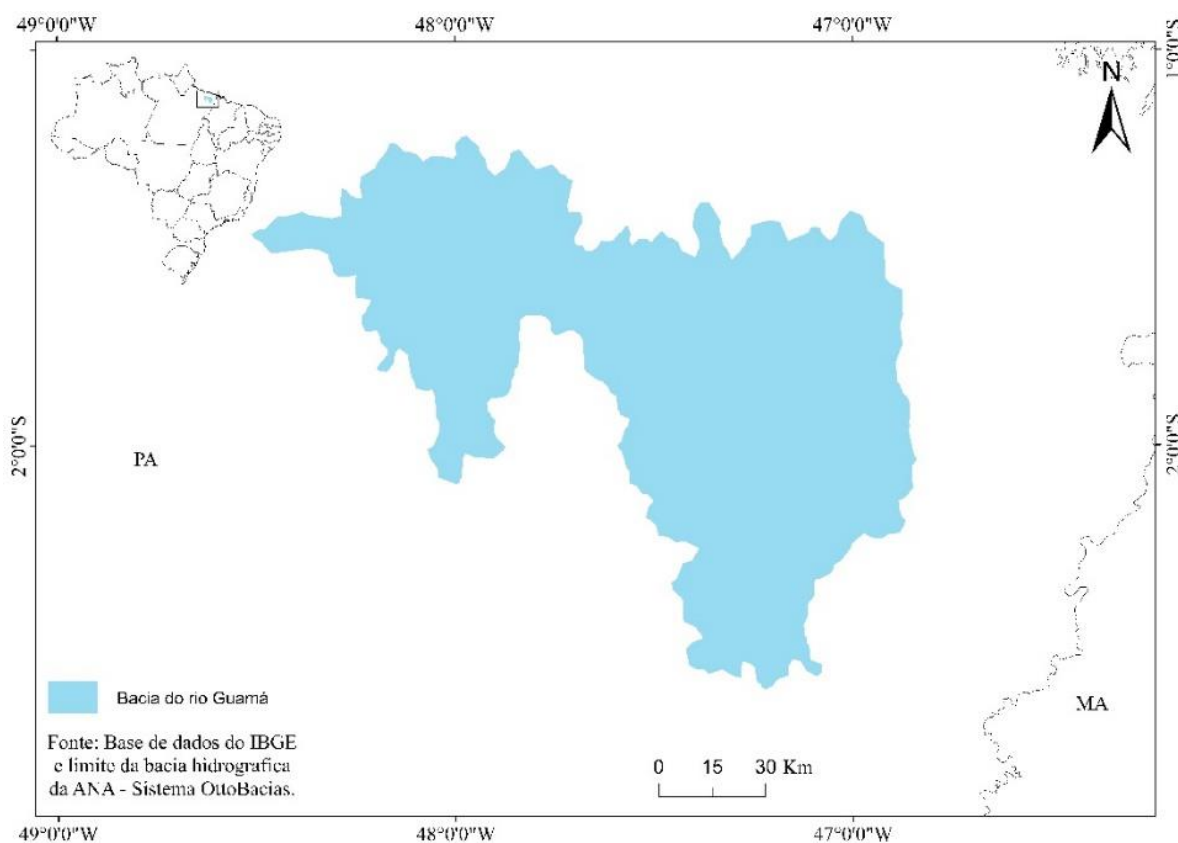


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia hidrográfica do Guamá.

Na elaboração deste trabalho foram utilizadas as seguintes bases de dados vetoriais em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica):

- Modelo Digital de Elevação (MDE), produzido pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m, disponível no site da USGS (*United States Geological Survey*).
- Mapa geológico do Estado do Pará, elaborado pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), na escala de 1:1.000.000, no Programa Geologia do Brasil, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais.
- Rede de drenagem, escala 1:250.000, detalhada para a área de estudo, associada ao sistema de Otto Bacias, ambos da Agência Nacional de Águas (ANA).
- Rede de drenagem, escala 1:250.000, detalhada para a área de estudo, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

- Dados de 19 estações pluviométricas obtidas pelo satélite meteorológico GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*), da série histórica 1985 a 2015, disponível no domínio da ESRL, tratados no Microsoft Excel. Informação quanto ao uso destes para a América do Sul pode obtida em trabalhos como de Negrón-Juaréz et al (2009) e Schneider et al (2011).
- Carta de uso e cobertura da terra obtida pela plataforma Google Earth Engine, associada a Fusão de imagens: MCD12Q1.A2016001.h13v09.006, MODIS, de janeiro a dezembro de 2016; com o Global Forest/Non-Forest Map (FNF) gerado pela classificação de imagens SAR, com 25 m de resolução, PALSAR-2/PALSAR SAR mosaico, de janeiro a dezembro de 2017. Onde a classe “floresta” é definida para áreas de floresta maiores que 0,5 hectares e acima de 10% de cobertura (SHIMADA et al. 2014).

Todos os produtos cartográficos foram associados ao Datum SIRGAS 2000 e processados no Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA), do Instituto de Geociências da UFPA.

No estudo da hidrogeomorfologia ainda não há um padrão metodológico (GOERL et al., 2012), sendo desta forma utilizado diferentes metodologias adaptando-se aos objetivos propostos para cada trabalho. Neste trabalho utilizou-se a metodologia de Araújo et al. (2015) para caracterização hidrogeomorfológica das bacias hidrográficas afluentes do rio Guamá, que se baseia na caracterização, análise e avaliação dos atributos dos diferentes conjuntos de *landforms*, tomando como critério fundamental as características geológica-geomorfológica-hidrológica da bacia. No processo, foi adotado a identificação visual (rugosidade) dos padrões de forma semelhantes e também os critérios descritivos das formas de relevo (ROSS, 1992; IBGE, 2009). Em termos de nomenclatura e elementos descritivos bases, foram utilizados os trabalhos de IBGE (2009) e Dantas e Teixeira (2013).

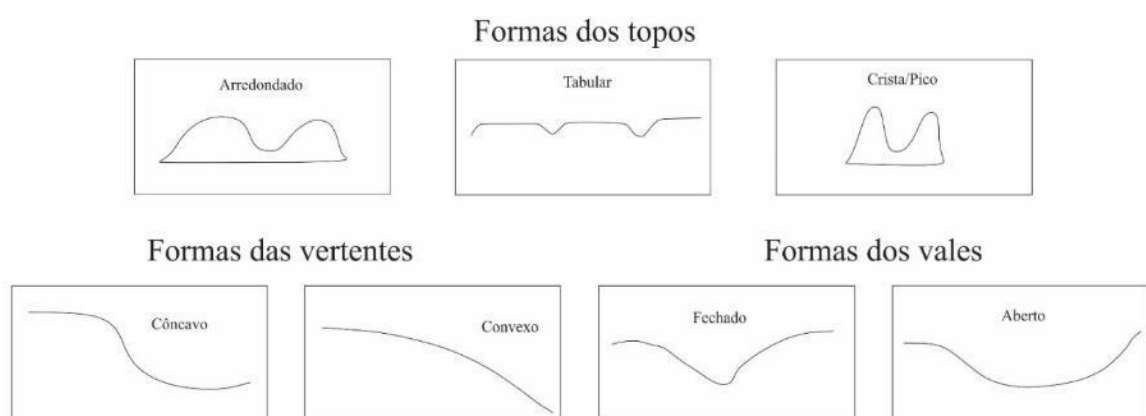


Figura 2 - Representação das geometrias de relevo. Modificado de Araújo et al (2015).

Em IBGE (2009) são apresentadas em ordem decrescente de grandeza, as seguintes categorias: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo. Neste trabalho são usados de forma associada: o terceiro nível taxonômico - Unidades Geomorfológicas (evidenciam os processos originários, formações superficiais e tipos de modelados diferenciados dos demais); e o quarto nível taxonômico - os Modelados (formas de relevo com definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes).

A caracterização morfométrica da bacia foi feita conforme definido e descrito em Pareta e Pareta (2012); Altaf et al (2013), Kulkarni (2013), Oruonye et al (2016) e Abdel-Fattah et al (2017), onde foram selecionados os parâmetros de maior correlação positiva (Tabela 1). As fórmulas e os parâmetros associados são vinculados principalmente aos trabalhos de Zanata et al. (2011), Pareta e Pareta (2012), Altaf et al (2013), Aravinda e Balakrishna (2013). Sendo que as bases teóricas são vinculadas principalmente ao referencial de Christofolletti (1969, 1980). De forma complementar foi processado o “*Terrain Surface Texture*” de Iwahashi e Pike (2007), que representa um procedimento iterativo (em ambiente QGis) que implementa a classificação da topografia contínua, com base em 3 critérios taxonômicos: gradiente de topográfico, convexidade local e textura da superfície; estes são calculados a partir de um modelo de elevação digital de elevação (DEM).

A Tabela 2 ilustra os procedimentos de análise adotados. A base cartográfica toda passou a constituir um SIG, onde na forma de tabelas, dados vetoriais e rasterizados foram executados diversos procedimentos de análise (interseção, superposição cartográfica, reclassificação). Em relação ao suporte estatístico, foram usados nas análises os elementos de estatística básica: média, mediana, quartil e histogramas de distribuição; sendo que na análise da altimetria foram elaboradas curvas hipsométricas, seguindo as orientações constantes em Pareta e Pareta (2012).

Tabela 1 - Formulação de parâmetros morfométricos, com base em: Zanata et al. (2011), Pareta e Pareta (2012), Altaf et al (2013), Aravinda e Balakrishna (2013).

Parâmetros Morfométricos	Fórmulas		Observação
Ordem dos canais	Foi seguido o procedimento de Strahler (1952).		
Índice de forma (Sw)	$Sw = Lb^2/A$	A =Área da bacia (Km²) Lb = Comprimento da bacia tomado pelo seu curso mais longo (Km) P = Perímetro (Km)	Valores mais próximos de 1, sugerem comportamento mais circular da bacia; mais próximo de 0, a bacia tende a um padrão alongado.
Fator de Forma (K)	$K = A/Lb^2$		
Índice de Circularidade (Rc)	$Rc = 4\pi(\frac{A}{P^2})$		
Razão de Circularidade (Rcn)	$Rcn = A/P$		
Índice de forma equivalente ou Índice de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,282(\frac{A}{P^{1/2}})$		Quanto mais irregular for a bacia, maior será o valor associado.
Lemniscate's (k)	$k = Emax^2/A$	A =Área da bacia (Km²) $Emax$ = Maior eixo da bacia (Km) Lb = Comprimento da bacia tomado pelo seu curso mais longo (Km) Lu = Comprimento total dos canais (Km) n = Número total de canais Dd = Densidade de Drenagem Fs = Frequência dos canais	Quanto maior o valor, mais irregular é a forma da bacia e mais heterogênea pode ser a rede.
Razão de Elongação (Re)	$Re = A/Lb$		Quanto maior o valor, maior o grau de retrabalhamento da bacia pela rede de drenagem.
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = Lu/A$		
Frequência dos canais (Fs)	$Dh = n/A$		
Intensidade de Drenagem (Di)	$Di = Fs/Dd$		
Gradiente de canais (G)	$Di = \Delta a/Lu$	Dd = Densidade de Drenagem Δa =Amplitude altimétrica (m)	Quanto maior o valor, maior o efeito da altimetria no relevo e no comportamento da rede de drenagem.

Parâmetros Morfométricos	Fórmulas		Observação
Índice de Eficiência de Drenagem (IED)	$IED = G \times Dd$	Lu = Comprimento total dos canais (Km) Gradiente de canais (G) n = Número total de canais P = Perímetro (Km) n ₁ = Número total de canais de primeira ordem	Quanto maior o valor, maior o grau de retrabalhamento da bacia pela rede de drenagem.
Rugosidade (Rn)	$Rn = \Delta a / Dd$		
Textura de Drenagem (Dt)	$Dt = n / P$		
Razão de Textura (T)	$T = n_1 / P$		
Textura topográfica (Tt)	$Tt = 10^{0,219649+1,115 \log Dd}$		
Índice de Canal (Ci)	$Ci = Lu / Emen$	$Emen$ = Menor eixo da bacia (Km) Lb = Comprimento da bacia tomado pelo seu curso mais longo (Km) P = Perímetro (Km) Lu = Comprimento total dos canais (Km) Dd = Densidade de Drenagem Fs = Frequência dos canais Lu = Comprimento total dos canais (Km) $Emax$ = Maior eixo da bacia (Km) n ₁ = Número total de canais de primeira ordem n ₂ = Número total de canais de segunda ordem	Quanto maior o valor, maior o recobrimento da rede de drenagem
Razão de comprimento (Re)	$Re = Lb / P$		Quanto maior o valor, menor o recobrimento da rede de drenagem
Extensão do percurso superficial (Eps)	$Eps = A / 2Lu$		Valores altos favorecem o potencial de infiltração.
Número de Infiltração (If)	$If = Fs \times Dd$		Determina a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente.
Coeficiente de Manutenção (Cm)	$Cm = A / Lu$		Quanto maior o valor, mais o curso grada de sinuoso para meandrante. E quanto menor, mais retilíneo.
Índice de sinuosidade (Si)	$Is = Lu / Emax$		Quanto maior o valor, maior o controle estrutural.
Relação de bifurcação (Rb ₁₂)	$Rb_{1,2} = n_1 / n_2$		

Tabela 2 - Procedimentos adotados.

Precipitação	• Tratamento dos dados do GPCC. • Geração de gráficos de distribuição. • Carta com a distribuição da precipitação na bacia: reclassificação a partir dos dados brutos. Na forma de acumulado anual.
Geologia	• Identificação dos condicionantes da geologia regional a nível de domínios morfoestruturais e grupos de rochas formadoras. • Elaboração do mapa geológico a partir da base da CPRM. • Determinação do comportamento do lineamento de drenagem: geração de histograma de distribuição e mapa derivado.
Altimetria	• Elaboração da carta altimétrica usando a base do SRTM. • Determinação das curvas hipsométricas. • Elaboração da carta de declividade.
Compartimentação das unidades hídricas	• Determinação da ordem segundo Strahler. • Segmentação da bacia, considerando os aspectos de ordem e altimetria.
Unidades geomorfológicas	• Delimitação e descrição das unidades geomorfológicas, considerando os elementos altimétricos e de forma do relevo; adoção dos trabalhos de IBGE (2009) e Dantas e Teixeira (2013).
Uso e cobertura da terra	• Extração do Google Earth Engine, usando as linhas de comando de programação, associadas a: inserção de polígono, seleção de coleção de imagens, definição de imagem e exportação. • Como foram utilizados dois sensores, foi realizada uma fusão para determinação melhor do que seria a classe "Floresta" e "Não Floresta", com o sensor de melhor resolução (25 m). • Reclassificação da imagem em formato raster segundo as classes de interesse e estatística com a área de cada classe por unidade.
Hidrogeomorfologia	• Caracterização morfométrica: definição dos valores reais e posterior normalização para análise integrada. • Determinação de um quadro síntese por unidade hídrica e avaliação da sua vulnerabilidade. • O procedimento adotado é comparativo - descritivo.

5 RESULTADOS

5.1 Bacia do rio Guamá

A unidade hídrica que compõe a totalidade da bacia do rio Guamá é formada por um conjunto de bacias que dadas as suas dimensões tem comportamento e dinâmicas próprias, por este motivo, este trabalho focou apenas a componente principal, que é representada pela área drenada pelo rio Guamá. A Figura 3 apresenta a divisão e a Tabela 3 os trabalhos referentes elaborados por componente base. O rio Capim é principal afluente do rio Guamá, tendo uma menor porção drenando o território maranhense. O rio Moju e o rio Acará apresentam sua foz integrada a do rio Guamá; todos com regime de maré associado. A Agência Nacional de Águas (ANA, 2004) admite inclusive a denominação Bacia do Guamá-Capim em função da expressão areal da bacia do rio Capim, que por ultrapassar o limite estadual é considerada uma bacia federal.

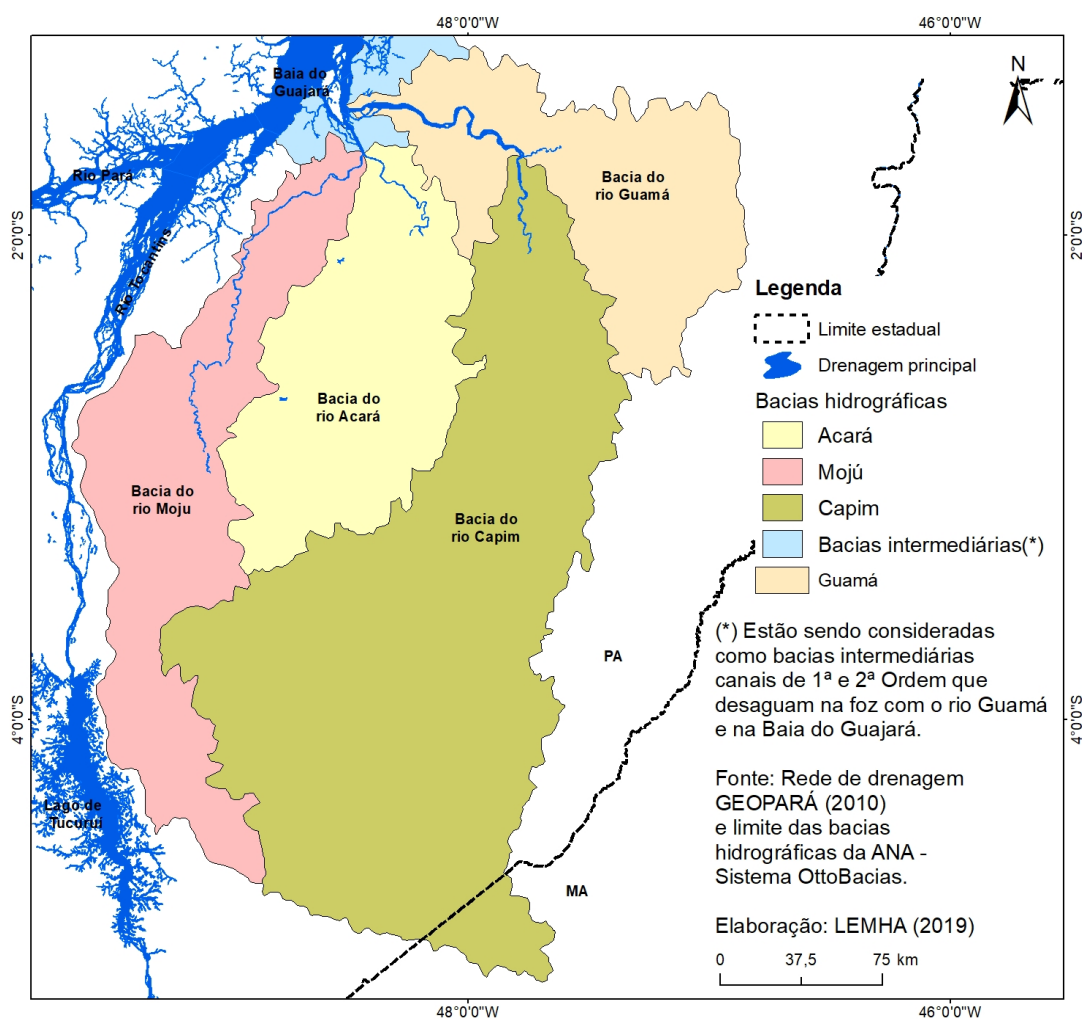


Figura 3 - Unidades hídricas que compõe a região total abrangida pela bacia do rio Guamá.

Tabela 3 - Dimensões das bacias hidrográficas e trabalhos de referência.

Bacias hidrográficas	Área	Referências bases
Rio Guamá	12584 km ²	Rocha (2017)
Rio Capim	37262 km ²	Lima (2007), Lima e Ponte (2012)
Rio Acará	13569 km ²	Dias (2019)
Rio Moju	15727 km ²	Ferreira et al. (2016), Ferreira (2017)

5.1.1 Caracterização pluviométrica

Os dados pluviométricos da região de estudo são originários de uma série de dados de 30 anos, de série histórica de 1985-2015, retirados do banco de dados pluviométricos do GPCC. A partir desses dados foi possível estabelecer, para o período, as precipitações mensais médias (Figura 4), bem como os totais anuais (Figura 5).

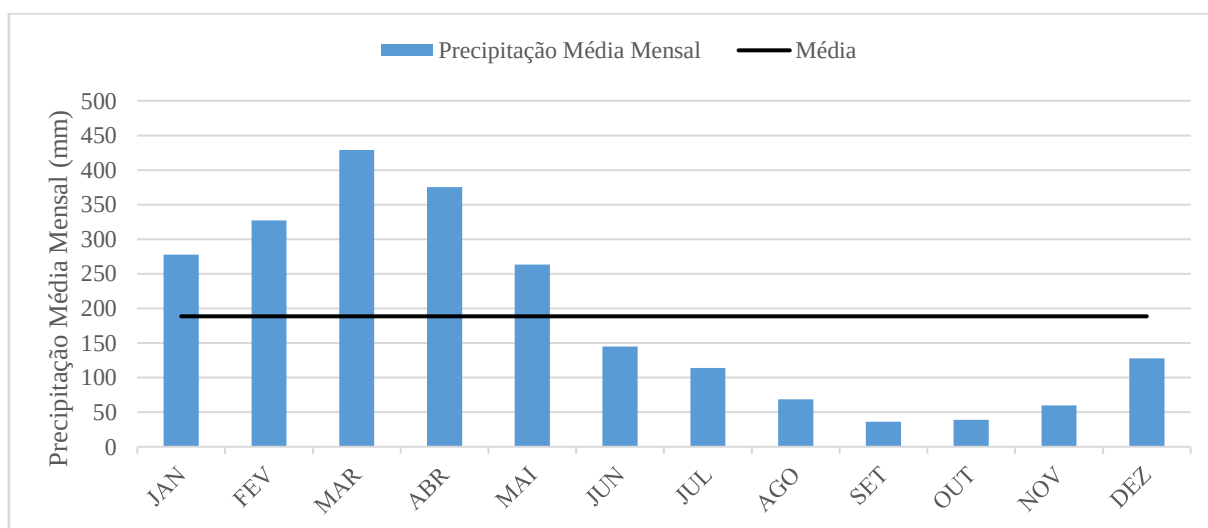


Figura 4 - Precipitação média mensal da série histórica de 1985-2015 e média da série histórica. Fonte: GPCC.

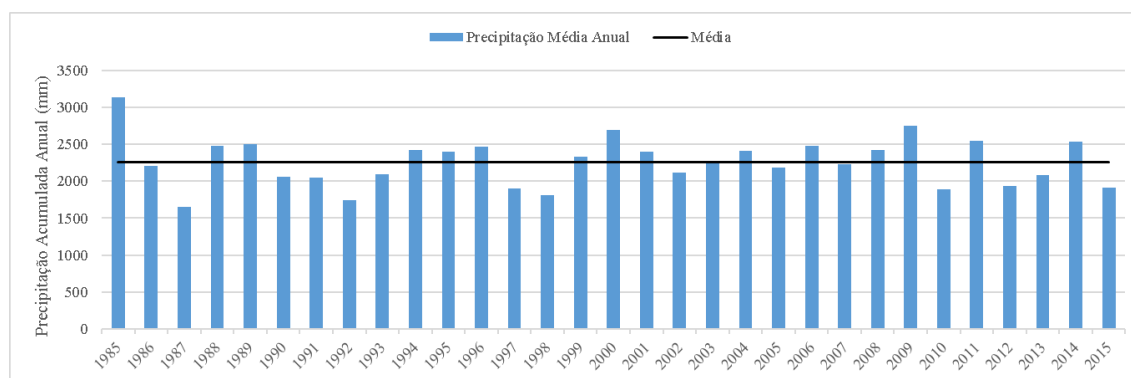


Figura 5 - Precipitação acumulada anual (mm) da área de estudo, no período de 1985-2015. Fonte: GPCC.

O clima da região pode variar entre *Af* (clima tropical úmido ou equatorial), *Aw* (clima subtropical com chuvas de inverno) e *Amw* (clima de monção com chuvas de inverno) caracterizado pela classificação de Köppen, sendo compreendida como a Zona Tropical Chuvosa, com maior incidência de chuvas no período de janeiro a maio e o mais seco de agosto a outubro, com temperaturas que podem variar de 38 °C a 22 °C, com precipitação média em torno de 2000 mm³.ano⁻¹ e unidade relativa do ar aproximada de 85% (FISCH et al., 1998).

A região apresenta um período menos chuvoso de agosto a novembro e um período mais chuvoso de fevereiro a abril. No período menos chuvoso, de agosto a novembro, apresenta precipitação média mensal em torno de 50,9 mm, enquanto no período mais chuvoso, de fevereiro a maio, a média mensal de chuva atinge 377 mm. Com isto, o período chuvoso torna-se mais propício ao escoamento que a infiltração em decorrência do alto índice pluviométrico e, desta forma, as diversidades de formas de uso e cobertura da terra podem influenciar neste potencial.

A Figura 6 ilustra que os maiores volumes de chuva se concentram próximo a foz e os menores nas cabeceiras, que vão marcar o Alto rio Guamá.

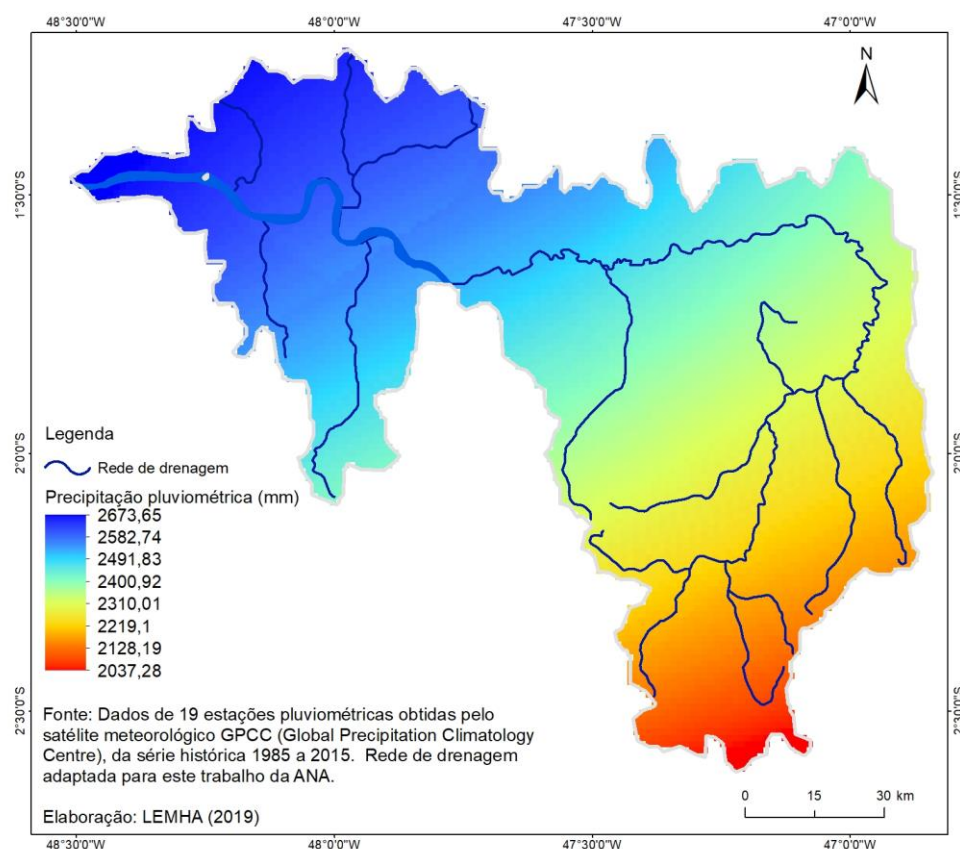


Figura 6 - Distribuição da Precipitação Pluviométrica na bacia do rio Guamá.

5.1.2 Geologia Regional

As unidades geológicas formadoras da bacia hidrográfica são representadas, segundo Vasquez e Costa (2008) e Rocha (2017), por rochas da Bacia do Grajaú (S-ESE), Bacia do Marajó (WSW), Bacia do Parnaíba (N), Cinturão Gurupi (NE) e pela Plataforma do Pará e Bragantina (Figura 7).

Rossetti (2006) apresenta esta região pela compartimentação em: depósitos miocênicos representados pelas formações Pirabas (Neo-Oligoceno/Eomioceno) e Barreiras (Meso a Neomioceno), em diferentes contextos estruturais ao norte da Bacia de São Luís, centro-leste da sub-bacia de Cametá, na porção leste do Sistema de Graben do Marajó e na Bacia de Bragança-Vizeu; representando estruturas alongadas principalmente na direção noroeste-sudeste (Figura 8). João et al. (2013) descreve a mesma região como formada por domínios pré-cambrianos do Fragmento Cratônico São Luís, Cinturão Gurupi e da Província Parnaíba. Sendo constituída principalmente pelas unidades: Plataformas Cenozoicas - Plataforma Pará (PPA) e Plataforma Bragantina (PBR); e pelas Bacias Sedimentares do Bacia do Parnaíba (BPR) e Bacia do Grajaú (BGR).

A Figura 9 apresenta as unidades componentes conforme descrito por Vasquez e Costa (2008). Estas representam coberturas sedimentares formadas por um conjunto heterogêneo (arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos), além de coberturas arenosas, de cascalho e lateríticas. A borda leste é predominantemente formada por rochas ígneas e metamórficas diversas vinculadas a Bacia do Grajaú e ao Cinturão Gurupí (Figura 10).

O detalhamento gerado para a rede de drenagem identificou que o comportamento dos lineamentos de drenagem acompanha o padrão SE-NW destacado por Rossetti (2006), sendo em segundo plano, mas fortemente presente o comportamento NE-SW (Figura 11).

Em termos de potencial erosivo, as coberturas predominantemente sedimentares na bacia favorecem o retrabalhamento das rochas a partir do escoamento superficial e ação das gotas de chuva (erosividade). Outro fator associado é a presença de coberturas geradas pela ação do intemperismo, conforme evidenciado por James et al. (2018) que descrevem a ocorrência na região de pacotes sedimentares formados por arenitos argilosos maciços de coloração amarelada com marcas de raízes, fragmentos de lateritas de tamanho variando de seixos a blocos e relictos de lateritas colunar de coloração avermelhada; brecha maciça conglomerática de seixos de fragmentos de argilitos de coloração avermelhada; além de perfil de solo composto por arenitos argiloso, maciço de coloração avermelhada, representando a base do afloramento.

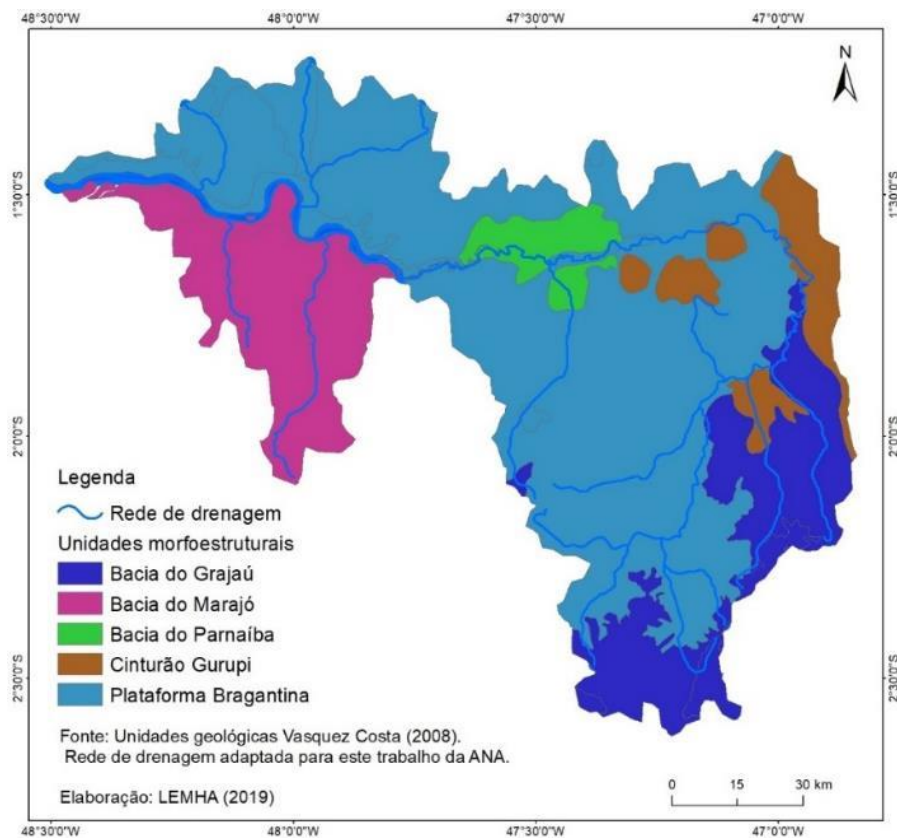


Figura 7 - Unidades Morfoestruturais componentes da bacia do rio Guamá

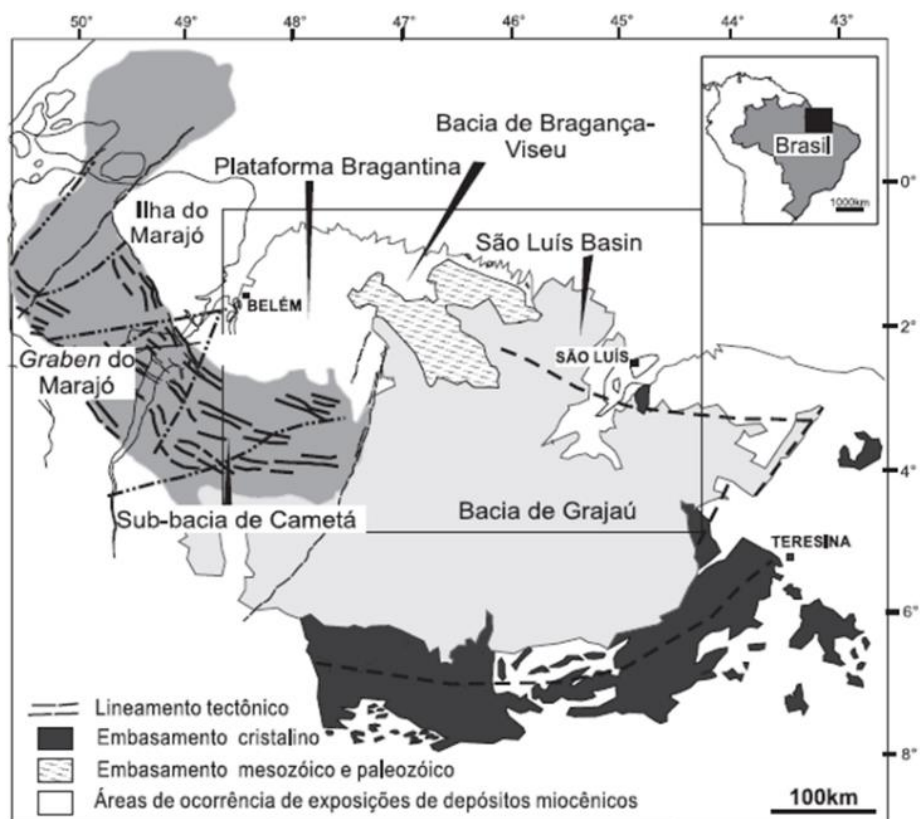


Figura 8 - Bacias sedimentares e plataformas na região nordeste do Pará e Oeste do Maranhão. Fonte: Rossetti (2006).

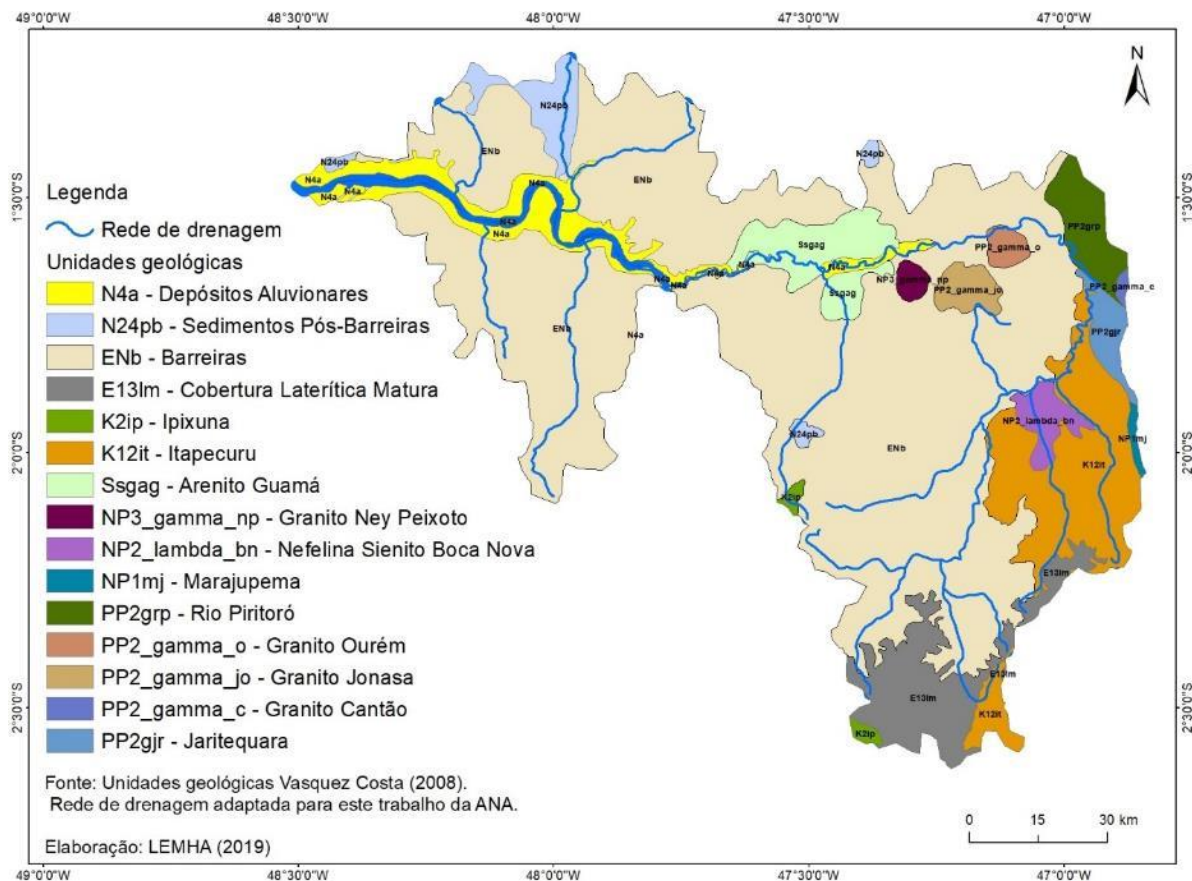


Figura 9 - Unidades geológicas componentes da bacia do rio Guamá

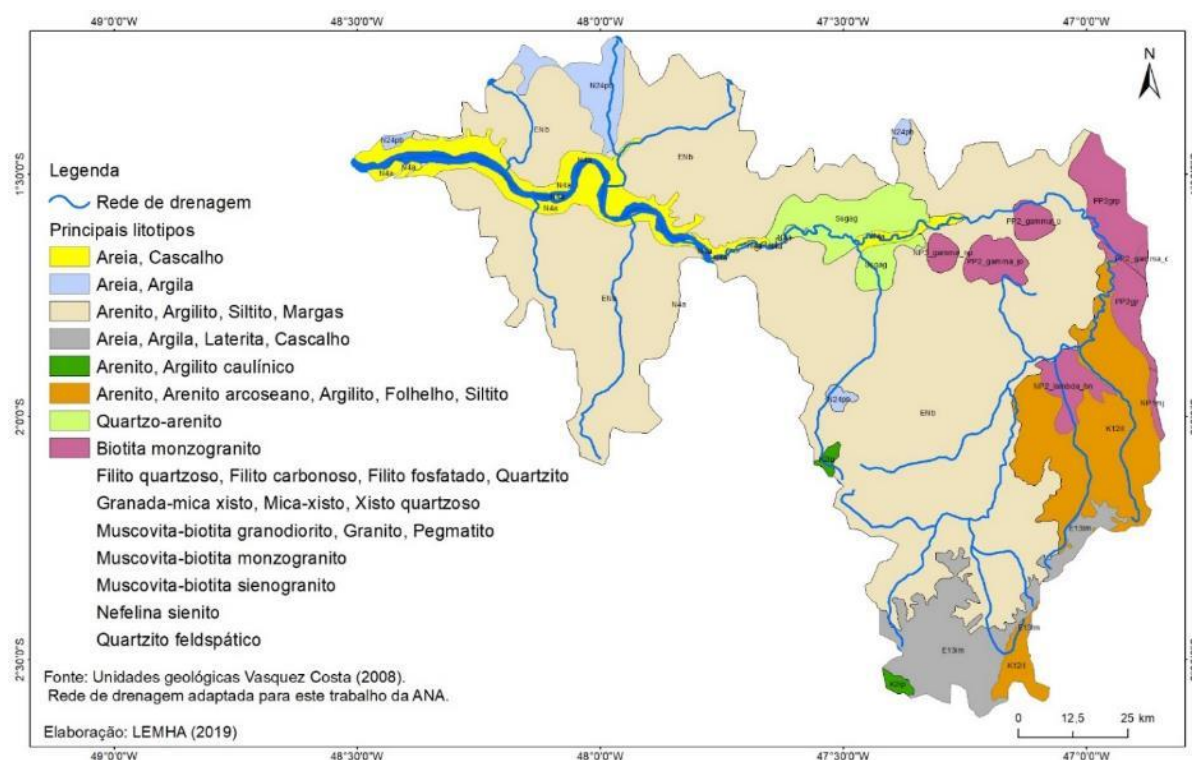


Figura 10 - Principais ocorrências de litotipos nas unidades geológicas componentes da bacia do rio Guamá.

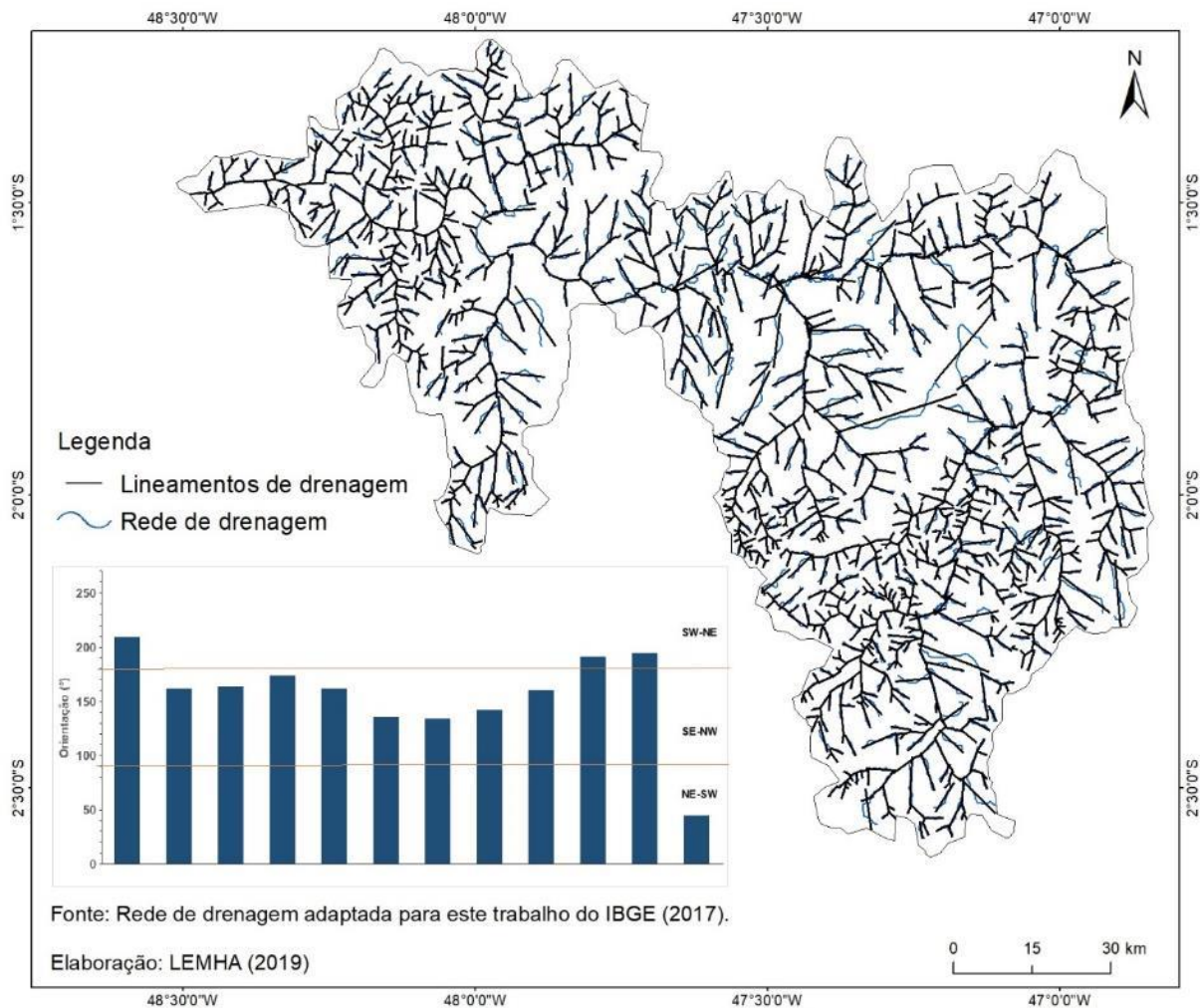


Figura 11 - Comportamento dos lineamentos de drenagem

5.1.3 Compartimentação geomorfológica

5.1.3.1 Caracterização altimétrica

A Figura 12 apresenta a variação altimétrica da bacia, com os maiores valores marcando a porção extremo sul e os menores próximo a foz. Pareta e Pareta et al (2012) relaciona a hipsometria de uma bacia hidrográfica aos processos associados ao intemperismo das rochas, movimentos de massa e escoamento das águas; podendo definir regiões com diferentes estágios de desenvolvimento e estrutura geológica. Sendo o Percentual Hipsométrico (Hi) a relação entre a altura relativa e área relativa em relação a altura total e a área total de uma bacia de drenagem. Valores próximos de zero (0) implicam em menor volume de terreno disponível para erosão (áreas mais evoluídas, com formas mais aplainadas), e os mais próximos de um (1) implicam em maior retrabalhamento erosivo (áreas ativas com remoção e transporte de sedimentos). Para a totalidade da bacia do rio Guamá obteve-se um $Hi = 0,67$.

No relativo à declividade, a Figura 13 ilustra as maiores variações na borda leste, onde coincide com as maiores altitudes. A relativa homogeneidade do relevo é decorrente da compartimentação regional na qual é inserida, em quase a sua totalidade, nos Tabuleiros da Zona Bragantina (DANTAS; TEIXEIRA, 2013).

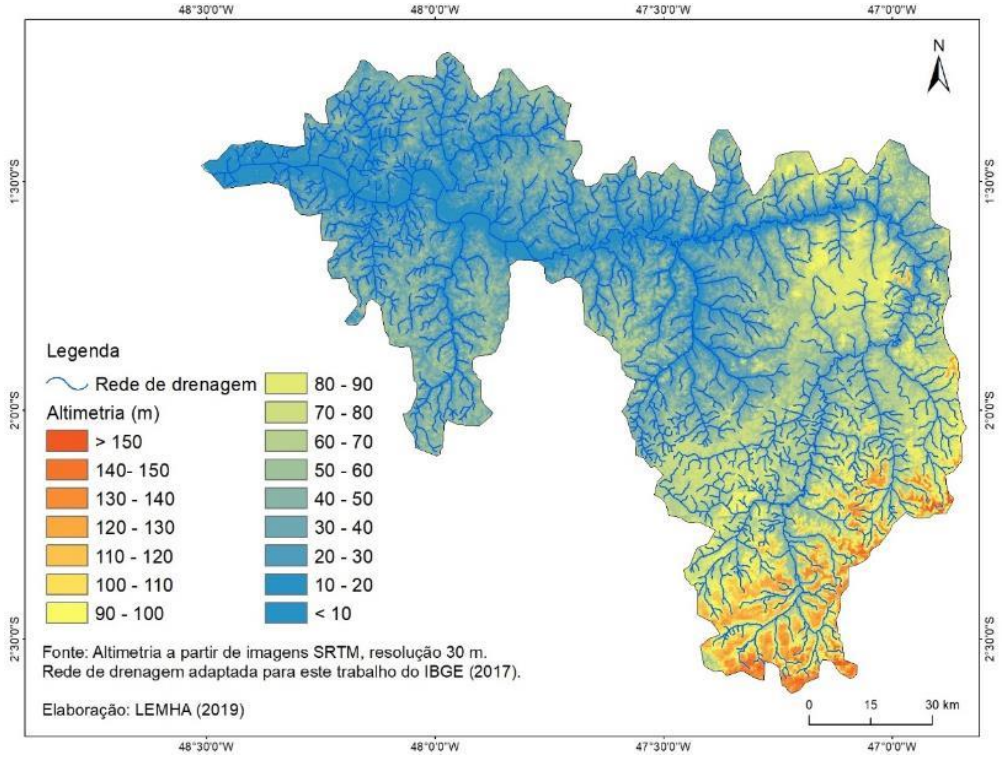


Figura 12 - Comportamento da altimetria na bacia do rio Guamá.

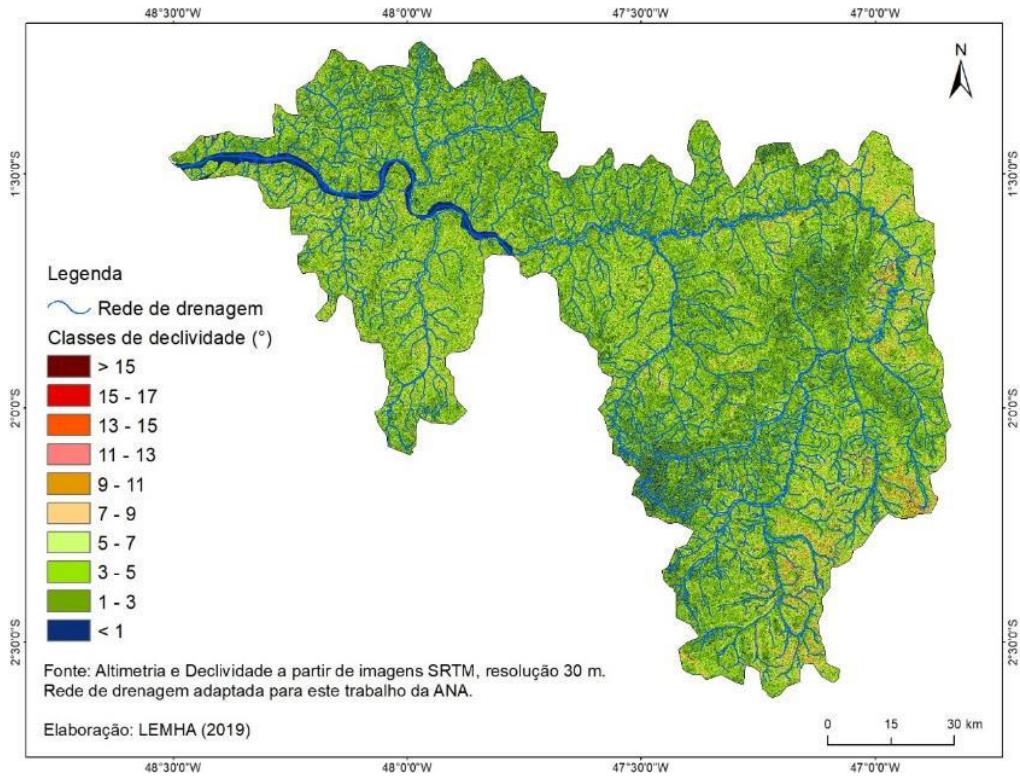


Figura 13 - Classes de declividade identificadas na bacia do rio Guamá

5.1.3.2 Compartimentação das unidades hídricas (sub-bacias)

Para o desenvolvimento do trabalho, adotou-se a compartimentação da bacia em sub-unidades, que caracterizam as principais bacias afluentes e a segmentação do curso principal do rio Guamá, a mesma adotada por Rocha (2017). A primeira etapa foi a definição da Ordem dos Canais segundo o sistema de codificação de Strahler (1952), apresentada na Figura 14. Ressalta-se que esta ordem é relativa a escala de trabalho, neste caso a rede foi adaptada (adensada) de IBGE (2017) que originalmente foi digitalizada na escala 1:250.000; e a bacia do rio Capim não foi associada. Segundo Lima (2007) a mesma desagua no rio Guamá na 6ª Ordem (escala 1:250.000), assim pode-se considerar que ao receber o rio Capim a sua Ordem passa para a 7ª Ordem, até a foz, uma vez que segundo Ferreira (2017) a bacia do rio Moju é de 5ª Ordem (escala 1:250.000) e de acordo com Dias (2019) a bacia do rio Acará é de 4ª Ordem (escala 1:250.000), em ambos os casos a ordem não iria ser afetada.

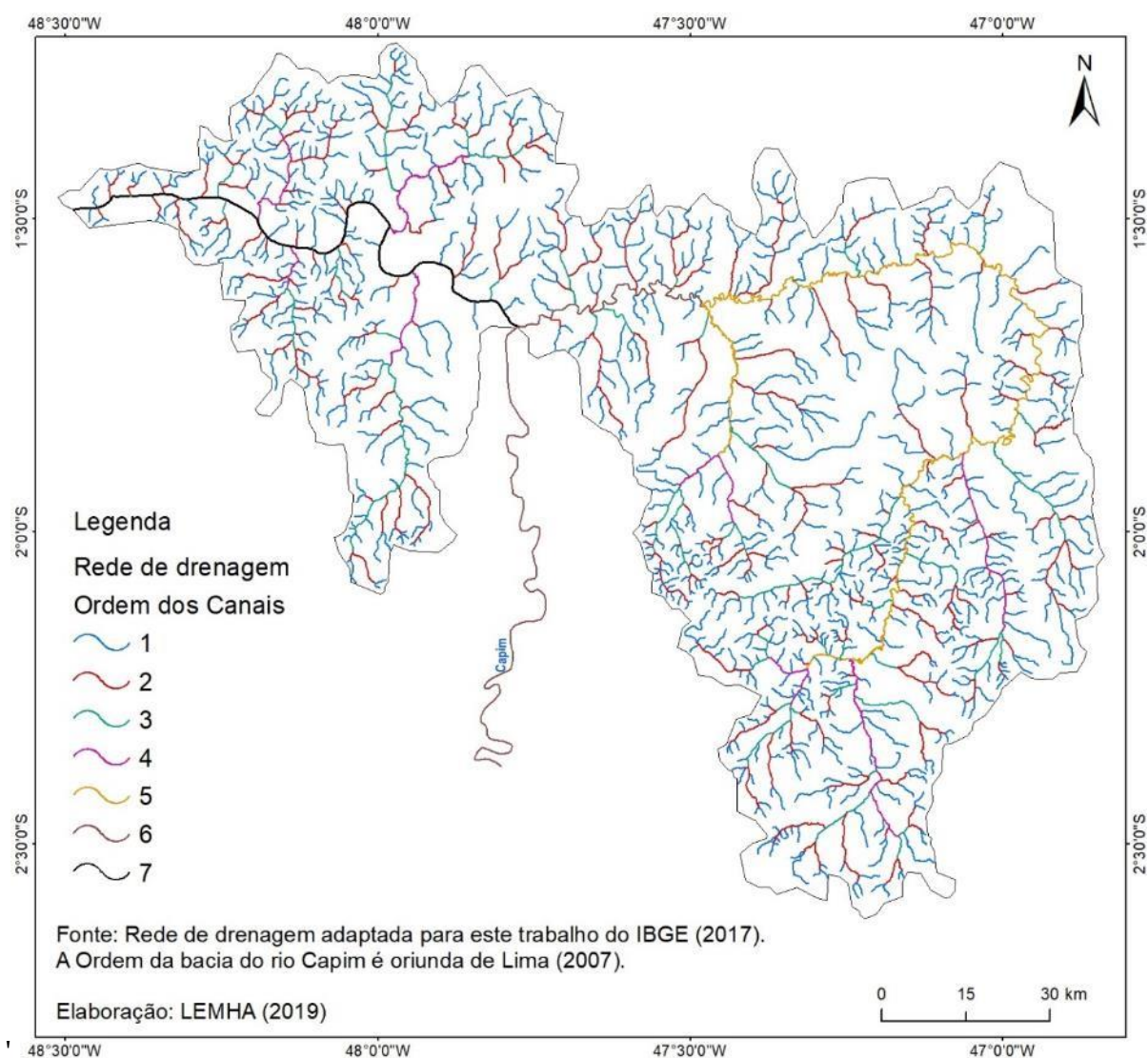


Figura 14 - Ordem dos canais.

Em seguida as principais compartimentações (a unidade hídrica adotada foi como sub-bacia) foram justificadas a partir da altimetria e das maiores ordens. No critério ordem, foram individualizadas as bacias dos rios Apeú (4ª Ordem), Bujaru (4ª Ordem) e Mão do Rio (5ª Ordem). A bacia do rio Sujo é de 3ª Ordem, mas por se localizar nas bordas da bacia, com fator topográfico diferencial, foi individualizada. O trecho principal do rio Guamá foi subdividido em Alto Guamá, Médio Guamá Leste, Médio Guamá Oeste e Baixo Guamá. Estes, conforme a Figura 15, representam segmentos topográficos marcantes, seja entre a confluência de canais (Baixo Guamá e Médio Guamá Leste), ou por gradientes topográficos diferenciais (Alto Guamá e Médio Guamá Oeste).

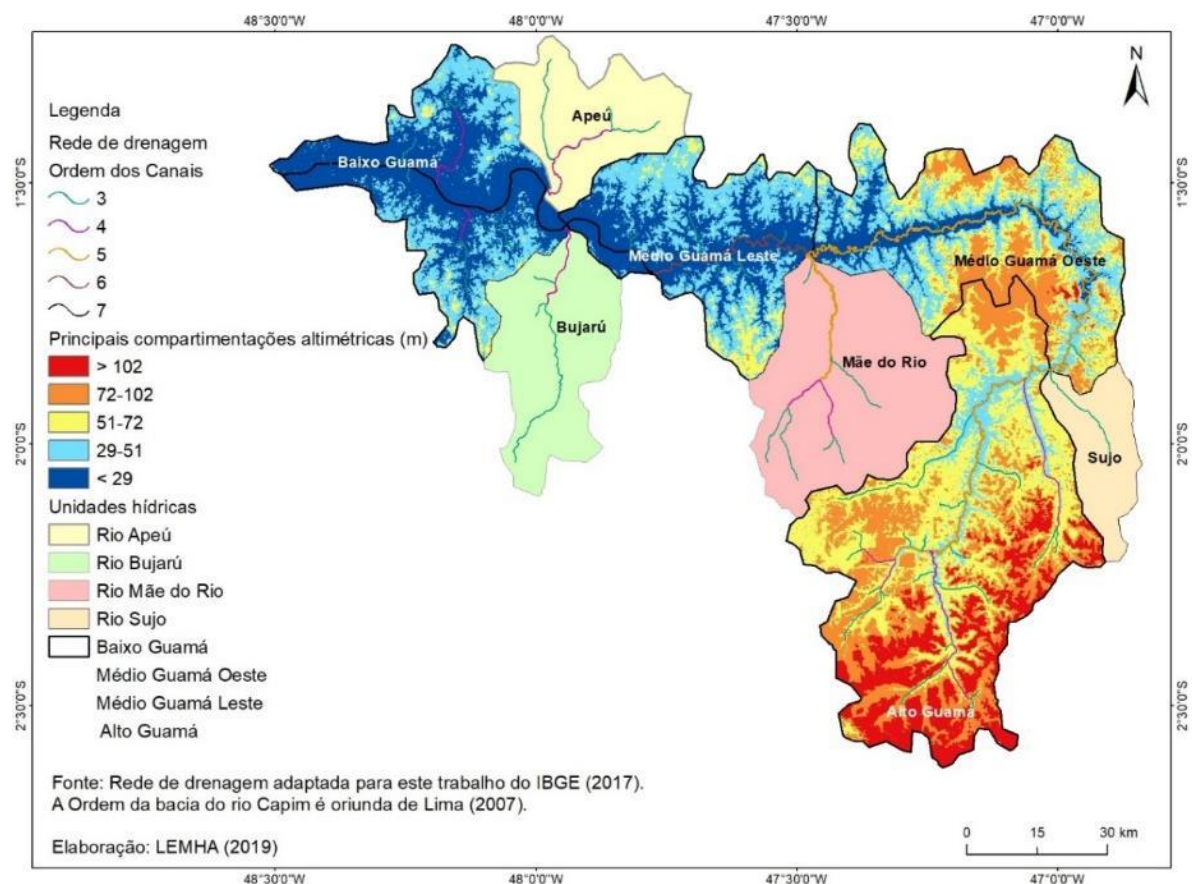


Figura 15 - Divisão adotada para a bacia do rio Guamá.

5.1.3.3 Definição das unidades geomorfológicas

Considerando as Unidades Taxonômicas de IBGE (2009) e elementos descritivos do terreno que constam em Dantas e Teixeira (2013) foram compartimentadas 24 Unidades Geomorfológicas (UG) (Figura 16). As unidades foram identificadas e descritas (Tabela 4) em função dos diferentes Domínios Morfoestruturais (DM) que estão inseridos, entretanto existem UGs que apresentam semelhanças entre as mesmas.

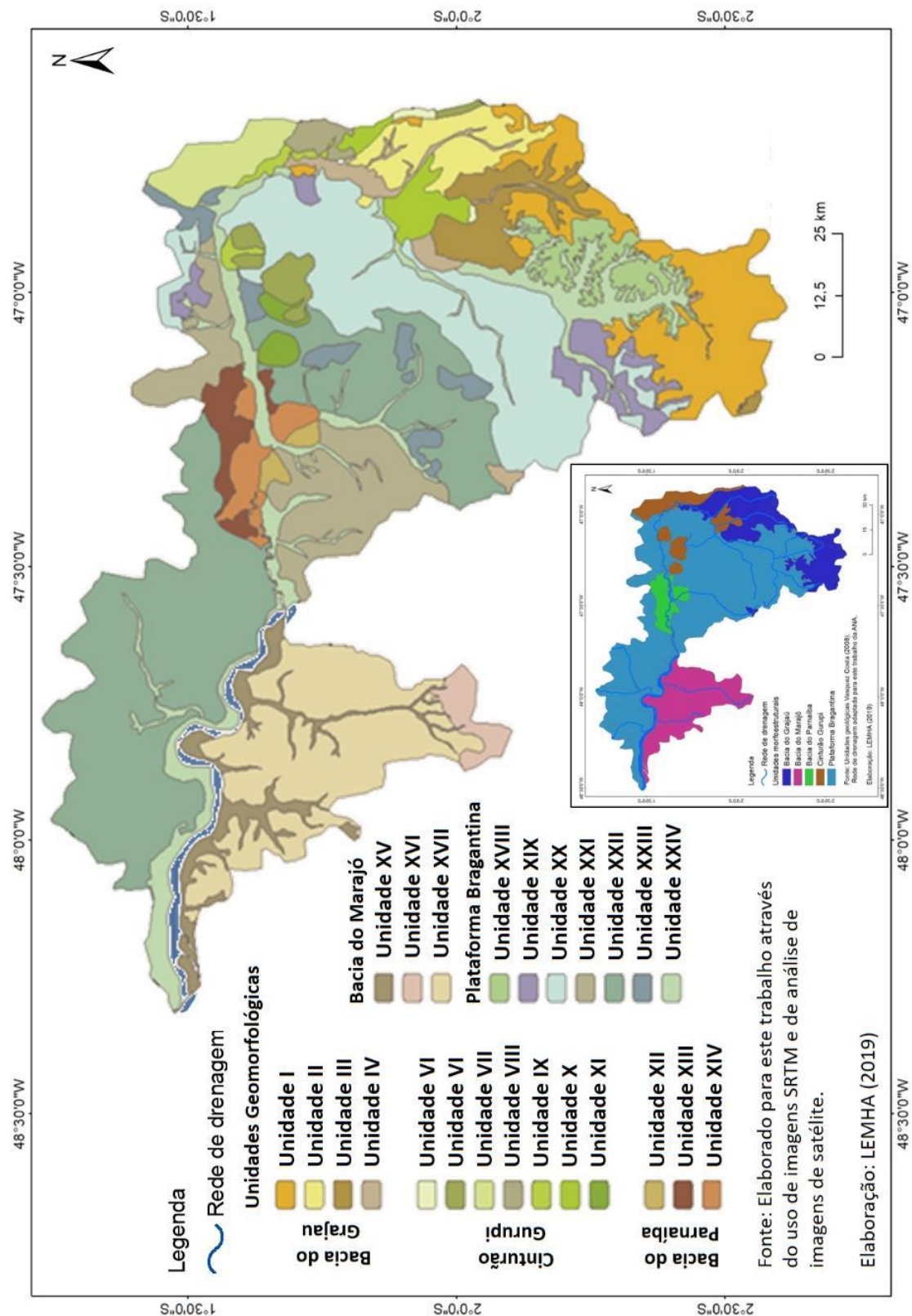


Figura 16 - Mapa geomorfológico com as 24 unidades geomorfológicas proposta.

Tabela 4 - Descrição segundo os Domínios Morfoestruturais (DM) das diferentes Unidades Geomorfológicas (UG) formadoras da bacia do rio Guamá.

DM	UG	Descrição
Bacia do Grajaú	I	Área com maiores altitudes apresentando orientação em N-S e NE-SW. Possui superfícies suavemente onduladas. Apresenta escarpas abruptas e suavemente inclinadas. São caracterizadas ainda por formas de topo sinuosos, com vertentes convexo-retilíneas e vales abertos em forma de U, quando associados a cursos de água de 1ª ordem podem apresentar vales em forma de V.
	II	Relevo suavemente ondulado a plano, constituído por vales abertos, localmente fechados, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topos semiangulares e localmente planos.
	III	Relevo suavemente ondulado, constituído por um conjunto de morros com vales abertos, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topo planos a arredondados.
	IV	Relevo suavemente ondulado, localmente plano, constituído por um conjunto de morros com vales fechados, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topo arredondados e localmente angulares.
Cinturão Gurupi	V	Região de elevadas altitudes apresentando morros com orientação em N-S e E-W. Possui superfícies suavemente onduladas. É caracterizado por formas de topo angulosos, com vertentes retilíneas a côncavas formando vales abertos.
	VI	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por colinas de baixa amplitude e áreas aplainadas. Estas possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado.
	VII	Relevo ondulado, representado por colinas de baixa amplitude com topos arredondados e localmente angulares. Estas possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	VIII	Relevo ondulado, localmente aplainado, representado por morros de baixa amplitude com topos arredondados. Possuem vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas.
	IX	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por morrotes e áreas aplainadas. Estas possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo arredondado

DM	UG	Descrição
	X	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por extensas colinas de baixa amplitude. Estas possuem vales fechados e localmente abertas, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado.
	XI	Relevo suavemente ondulado constituído por colinas com vales abertos, vertentes retilíneas e côncavas, bem como formas de topo arredondado e, localmente, plano.
Bacia do Parnaíba	XII	Relevo ondulado, representado por morros de topos arredondados a planos. Estas possuem vales fechadas e localmente abertas, com vertentes convexo-retilíneas.
	XIII	Relevo ondulado a suavemente ondulado, representado por morros de topos arredondados a planos e pontualmente angulares. Estas possuem vales fechados e localmente abertos, com vertentes convexo-retilíneas.
	XIV	Relevo suavemente ondulado a plano, caracterizadas por vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado e localmente angulares, além de áreas aplainadas.
Bacia do Marajó	XV	Relevo plano em regiões de planície, propício a acumulação de sedimentos e inundações, caracterizadas por vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a suavemente arredondado.
	XVI	Relevo ondulado a suavemente ondulado, representado por elevações de topos arredondados e pontualmente angulares. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XVII	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por morros de topos arredondados a plano. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.

DM	UG	Descrição
Plataforma do Pará e Bragantina	XVIII	Relevo ondulado constituído por serras associadas a regiões de planalto. Estas feições apresentam vales abertos, vertentes côncavo-convexas e formas de topo arredondado.
	XIX	Relevo suavemente ondulado e localmente plano, representado por chapadas e morros de topos arredondados angulares. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XX	Relevo suavemente ondulado e localmente ondulado, representado por platôs e morros de topos arredondados e angulares. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXI	Relevo ondulado e suavemente ondulado, representado por morros de topos arredondados e angulares. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXII	Relevo suavemente ondulado a ondulado, representado por morros de topos arredondados e localmente com regiões aplainadas. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXIII	Relevo ondulado a plano, representado por morros de topos arredondados. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXIV	Relevo plano em regiões de planície, propício a acumulação de sedimentos e inundações, caracterizadas por vales abertos e localmente fechados com vertentes que variam em côncavo-retilíneas a côncavo - retilíneas e formas de topo plano a suavemente arredondado.

A Tabela 5 resume o apresentado segundo os DM, indicando a forte complexidade da porção oriental da bacia, que vai abranger principalmente o Médio Guamá Oeste e o Alto Guamá (incluindo a bacia do rio Sujo); que coincide com o divisor topográfico que marca a bacia do rio Gurupi. O predomínio nesta área é de formas de dissecação, enquanto que o Baixo Guamá é marcado por uma ampla área de formas de acumulação. A variação hipsométrica demonstra a heterogeneidade observada pelos modelados, onde a bacia do rio Guamá apresentou um valor de H_i de 0,67; porém este foi um comportamento mediano, os valores mais próximos de 0 foram observados no rio Bujarú (0,19), Médio Guamá Oeste (0,25) e Baixo

Guamá (0,31) e de 1 no Alto Guamá (0,62), ilustrando bem as variações de modelados de maior e menor estabilidade na bacia (Figura 17).

Tabela 5 - Síntese dos Domínios Morfoestruturais (DM) segundo as Unidades Geomorfológicas (UG).

DM	Descrição
Plataforma do Pará e Bragantina	Este DM representa a maior parte da área de estudo, o relevo é caracterizado por apresentar considerável variações desde superfícies aplainadas a onduladas. As regiões de superfícies aplainadas a suavemente onduladas com morros residuais são representadas pelas unidades XXII e XXIV, esta última, ainda, representa as áreas mais baixas do domínio ocorrendo em relevos praticamente planos com vales abertos, estas alternam com as Unidades XXI e XXIII que possuem superfícies onduladas com morros de topo plano a arredondados e altitudes mais elevadas com relação as anteriores além de morros residuais. Este DM também é conhecido como Tabuleiros Paraenses ou como Tabuleiros da Zona Bragantina. A Unidade XX se apresenta como platôs rebaixados se diferenciando das demais unidades, visto que possui relevo mais homogêneo e suave declividade e localmente abruptas. As Unidades XVIII e XIX são as porções de maiores altitudes e declive, os quais proporcionam o escoamento, apesar de também apresentar localmente regiões planas. As feições são ressaltantes na paisagem devido à resistência diferencial de determinadas litologias aos processos de intemperismo e erosão. Além disso estas unidades são também denominadas de Chapadas de Paragominas os quais apresentam alta declividade.
Bacia do Marajó	O sudoeste da bacia também está inserido no contexto dos Tabuleiros Paraense, dos quais as unidades deste DM fazem parte (Unidade XV, XVI e XVII). Entretanto, a unidade XV se mostra como regiões mais planas e baixas propiciando a acumulação de sedimentos, ocorrem declives suaves em direção ao rio Guamá e podem apresentar morros residuais. A Unidade XVI é representada por um relevo ondulado a suavemente ondulado no qual apresenta morros residuais de topo arredondado e pequenas cristas angulares diferindo da Unidade XVII que possui um relevo suavemente ondulado onde os morros residuais apresentam topo plano.
Bacia do Parnaíba	Este DM está inserido no DM da Plataforma Bragantina, assim, no Domínio Geomorfológico dos Tabuleiros da Zona Bragantina, sendo representado pelas UGs XII, XIII E XIV. A Unidade XIV representa a superfície plana e vales abertos com suave declive em direção ao rio Guamá e Igarapé Mãe do Rio. As superfícies onduladas a suavemente onduladas são representadas pelas Unidades XII e XIII caracterizando as regiões mais altas do DM, apresentam morros residuais de topo arredondado a plano mostrando características de aplainamento do domínio.

DM	Descrição
Cinturão Gurupi	Na borda leste das Bacias Hidrográficas afluentes da margem direita do rio Guamá são encontradas os terrenos cristalinos do Cinturão Gurupi; sendo caracterizado por apresentar a dissecção em forma de cristas e colinas alongadas devido as litologias serem mais resistentes ao intemperismo e erosão moldando o relevo com altos valores de declividade e maiores variações nas altitudes, sendo representada pelas Unidades V, VII e VIII. Estas Unidades possuem orientação preferencial em N-S e E-W. Em alternância a estes conjuntos de morros e colinas, as regiões relativamente planas são representadas pelas unidades VI, X e XI.
Bacia do Grajaú	O DM da Bacia do Grajaú é a região mais elevada da área de estudo, localizado ao sul e sudeste, é caracterizado pelas Chapadas de Paragominas (Unidade I) que são marcantes na topografia devido a sustentação por perfis lateríticos e possuem orientação N-S e NE-SW e inseridas do domínio dos Baixos Platôs da Bacia do Parnaíba. Esta unidade apresenta topos sinuosos de baixa declividade e altos declives em suas vertentes formando escarpas abruptas e caracterizando feições em <i>cuestas</i> . Associado a montante dos cursos d'água de primeira ordem são caracterizadas por declives baixos e os amplos vales são caracterizados por um fundo plano. As Unidades II e III são representativas dos Tabuleiros Paraenses caracterizando as porções intermediarias deste DM, sendo um relevo heterogêneo que pode ser plano a ondulado com colinas e morros com topo arredondado a plano. As regiões mais baixas e aplainadas são representadas pela Unidade VI, o qual pode apresentar morros residuais de topo arredondado e são caracterizados pelas declividades baixas em direção rio Guamá.

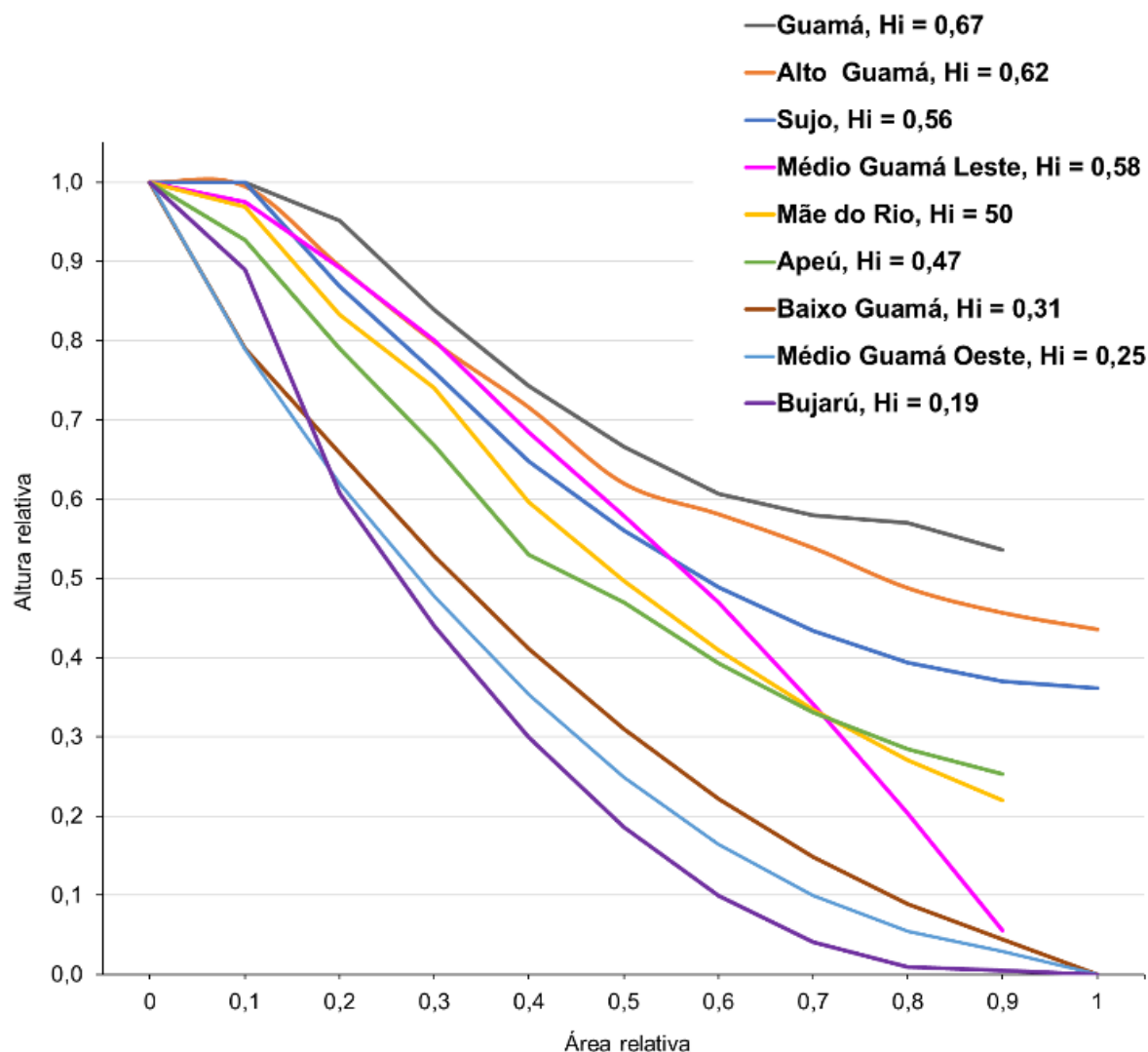


Figura 17 - Comportamento hipsométrico da bacia do rio Guamá.

5.1.3.4 USO DE COBERTURA DA TERRA NA BACIA DO RIO GUAMÁ

Na bacia do rio Guamá prenomina-se áreas alteradas, com as manchas associadas a áreas com cobertura vegetal restritas de forma mais densa no Baixo Guamá, muito em decorrência da presença de áreas protegidas. Observa-se como fator positivo a manutenção da cobertura vegetal também na bacia do rio Bujarú, conforme já apresentado por Rocha (2017). O Médio Guamá Oeste e o Alto Guamá são as regiões de maior comprometimento, juntamente com a área delimitada pela sub-bacia do rio Mãe do Rio (Tabelas 6 e 7, Figuras 18 e 19).

Tabela 6 - Distribuição das principais classes de cobertura e uso da terra identificadas na bacia do rio Guamá.

Classes	Área (km²)	Área (%)
Cobertura vegetal	4391	34,90
Cobertura vegetal com ocorrência de áreas alteradas	3466	27,54
Agropecuária	4485	35,64
Áreas de ocupação (cidades, vilas, povoados)	142	1,13
Massa d'água	99	0,79

Tabela 4. Distribuição das principais classes de cobertura e uso da terra por unidade hídrica.

Classes (%)	Cobertura vegetal	Cobertura vegetal com ocorrência de áreas alteradas	Agropecuária	Áreas de ocupação (cidades, vilas, povoados)	Massa d'água
Alto Guamá	29,1	16,5	54,2	0,2	
Baixo Guamá	55,0	30,9	4,2	5,3	4,6
Rio Apeú	39,3	35,9	23,0	1,8	
Rio Mãe do Rio	19,5	19,9	60,6		
Médio Guamá Leste	33,6	23,1	43,2	0,2	
Médio Guamá Oeste	29,2	43,0	24,8	1,7	1,4
Rio Bujarú	46,5	50,6	2,9	0,1	
Rio Sujo	41,0	30,7	28,3		

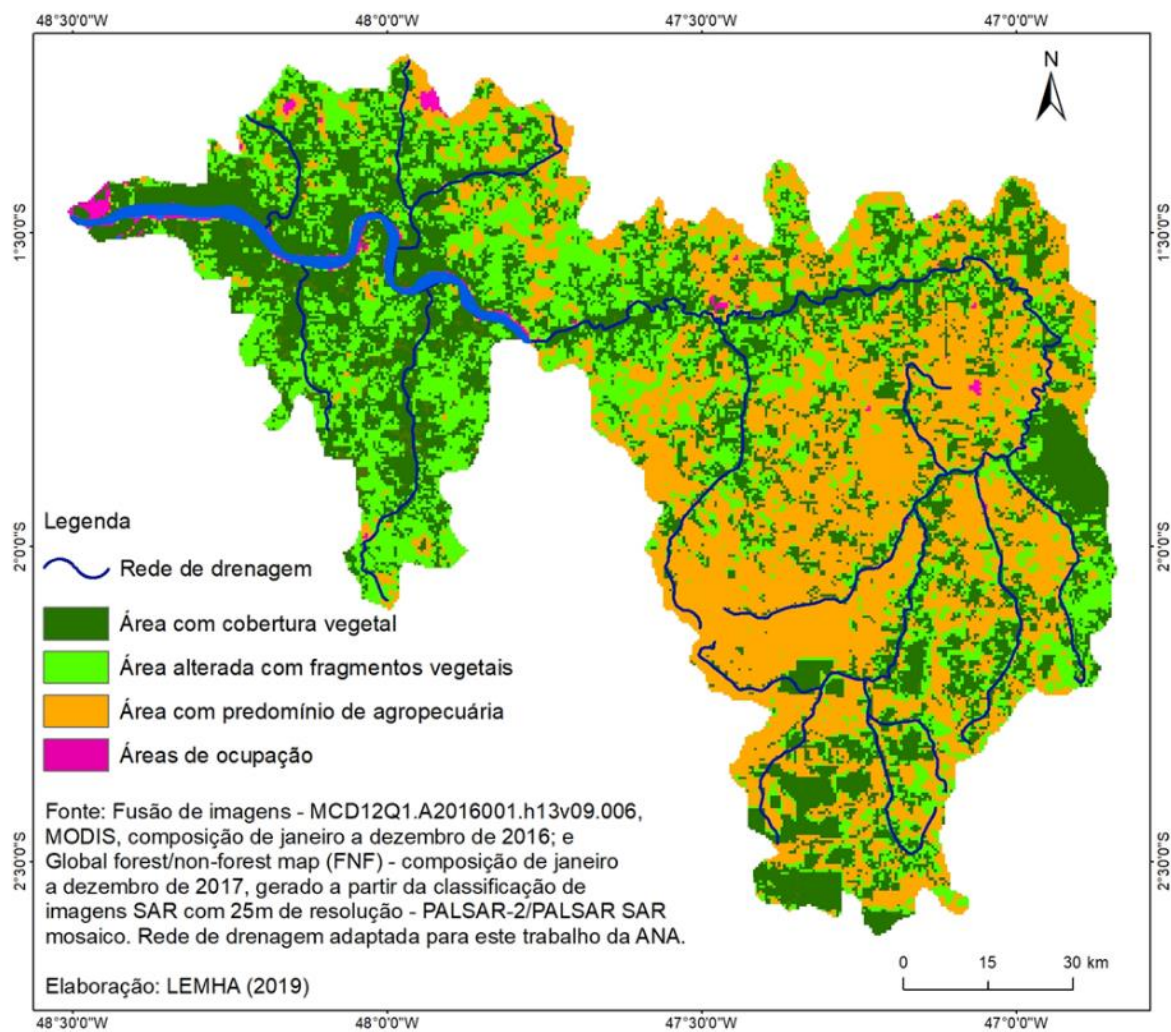


Figura 18 - Padrão de uso e cobertura da terra na bacia do rio Guamá

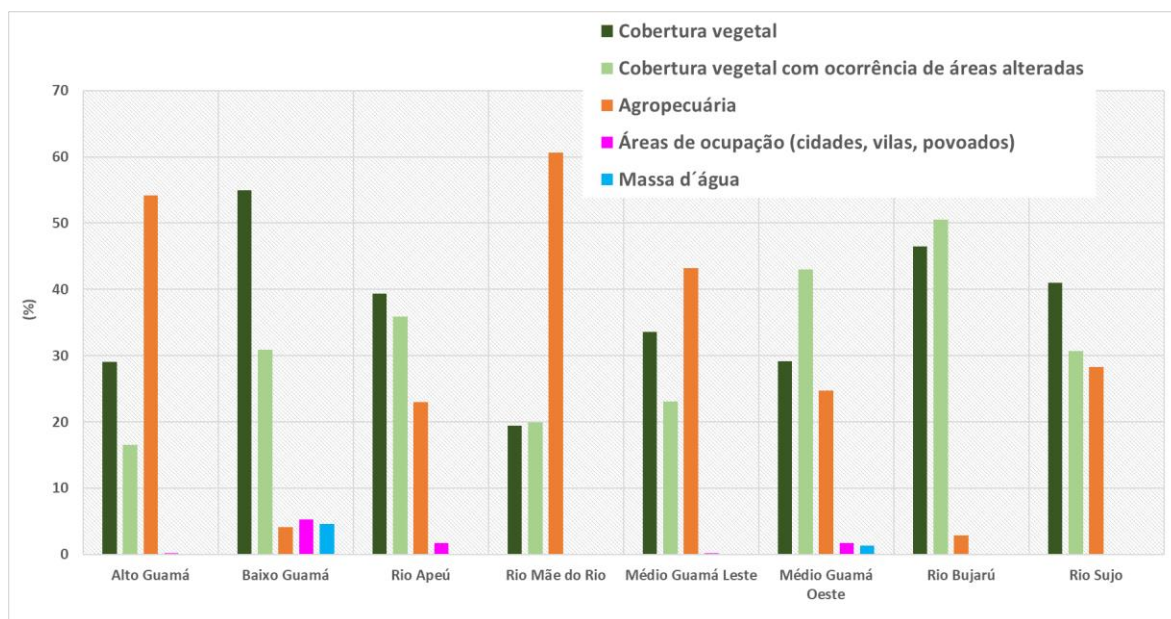


Figura 19 - Comportamento do uso e cobertura da terra na bacia do rio Guamá, por unidade hídrica.

5.1.3.5 CARACTERIZAÇÃO HIDROGEOMORFOLÓGICA

As Figuras 20 a 25 apresentam a síntese da análise morfométrica. Destaca-se que a segmentação do curso do rio Guamá em Alto, Médio (Oeste e Leste) e Baixo Guamá, sempre vai mostrar diversificação pois além do efeito do vale principal, encontram-se somados os relativos as bacias de primeira a terceira ordem componentes.

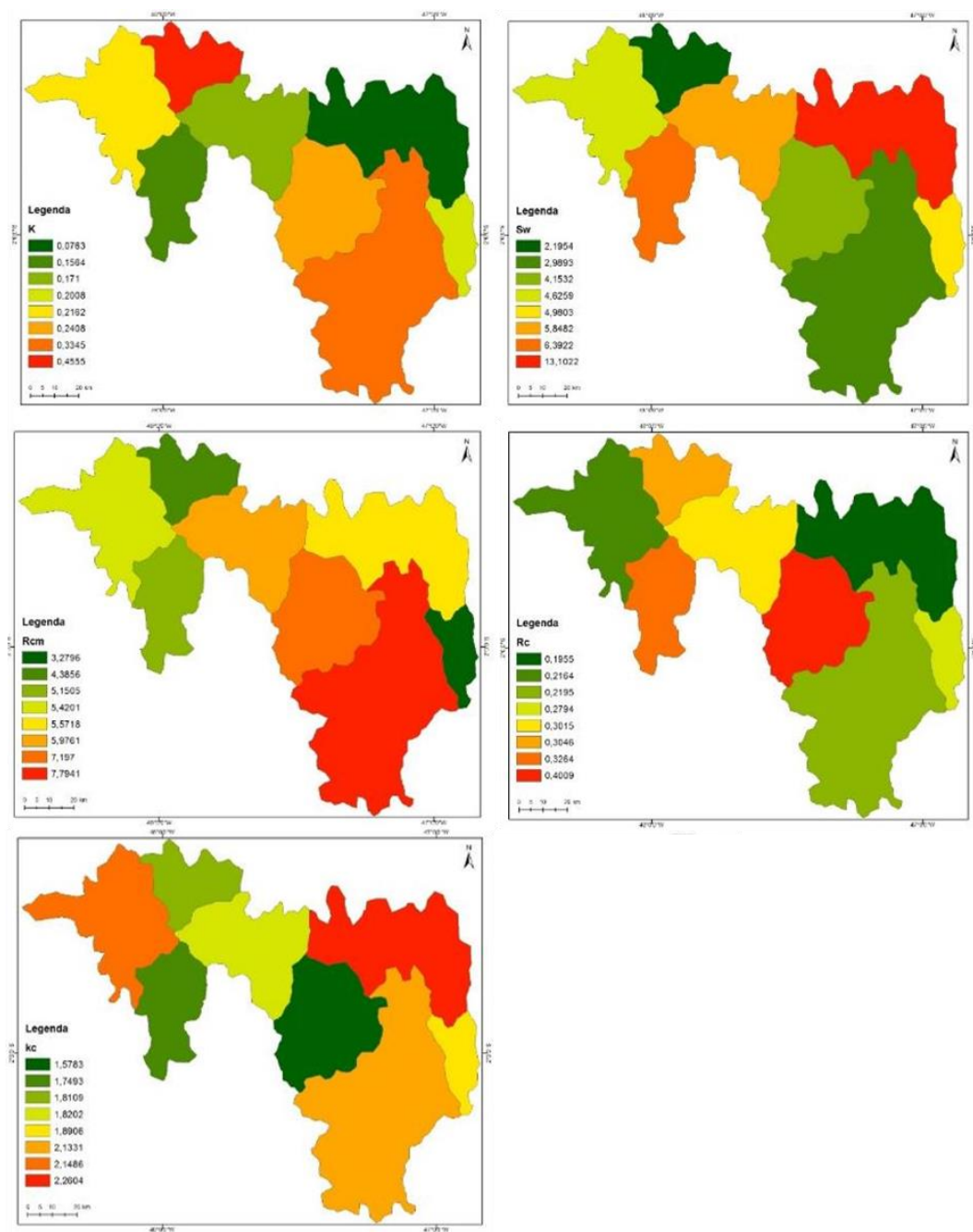


Figura 20 - Avaliação segundo: Fator de forma (K), Índice de forma (Sw), Razão de Circularidade (Rcm), Índice de Circularidade (Rc) e Índice de forma equivalente ou Índice de Compacidade (Kc) (valores calculados).

Com relação a forma, ressalta-se que formas mais irregulares (afastadas do padrão circular) irão potencializar o escoamento superficial. Neste caso as formas mais regulares se aproximam de 1. Os índices de forma (Sw), de Circularidade (Rcm) e de Compacidade (Kc) possuem escalas superiores a 1, mas com o mesmo contexto, sendo mais sensíveis ao efeito do alongamento (proximidade do padrão elipsoidal; Figura 20).

Os indicadores avaliados (padrão normalizado) apresentaram valores menores que 0,5. Sendo Rcn e Kc bem sensíveis ficando em todos os casos inferiores a 0,2 (Figura 21). A Tabela 7 apresenta também este contexto, indicando que a relação entre o maior e o menor eixo da bacia, que em algumas situações o maior eixo chega a ser quase 50% superior ao menor.

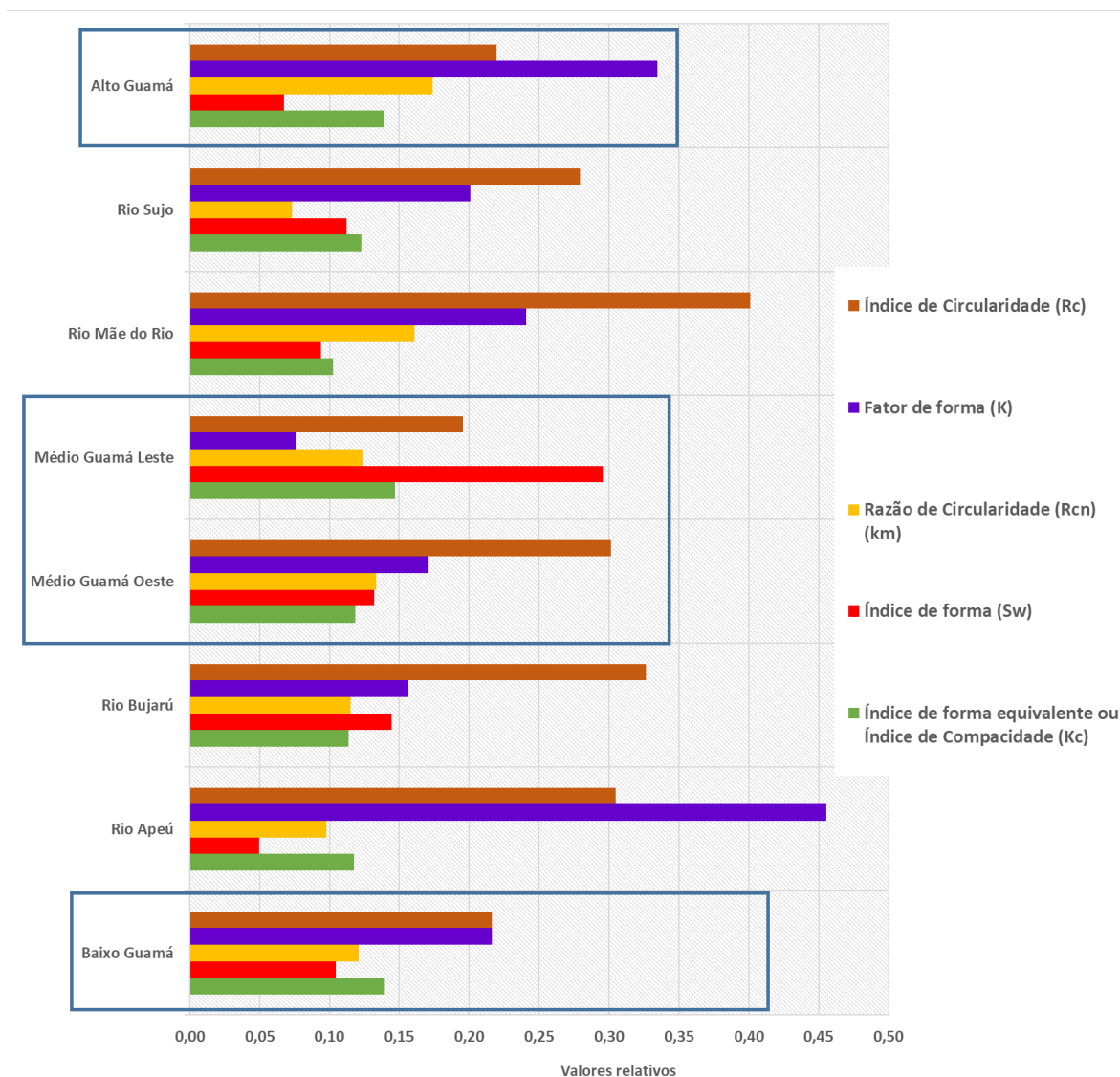


Figura 21 - Avaliação segundo: Fator de forma (K), Índice de forma (Sw), Razão de Circularidade (Rcn), Índice de Circularidade (Rc) e Índice de forma equivalente ou Índice de Compacidade (Kc) (valores normalizados para 0 a 1).

Tabela 7- Descrição geral quanto a Área, Perímetro e Orientação

Unidades hídricas (Sub- bacias)	Área (Km²)	Perímetro (km)	Maior eixo (m)	Menor eixo (m)	Relação entre os eixos (%)	Orientação do eixo da bacia (°)	
Rio Guamá	12583,88	1064,08	86771,46	46169,67	46,79	149	SE-NW
Baixo Guamá	1705,39	314,64	25514,77	21148,83	17,11	122,7	SE-NW
Rio Apeú	793,17	180,86	17967,89	14006,67	22,05	176,7	SE-NW
Rio Bujarú	1020,83	198,2	25801,11	12541,84	51,39	82,68	NE-SW
Médio Guamá Oeste	1487,99	248,99	25673,37	18464,04	28,08	151,1	SE-NW
Médio Guamá Leste	1994,7	358	34233,65	18687,41	45,41	161,2	SE-NW
Rio Mãe do Rio	1622,58	225,45	25321,75	20446,84	19,25	70,38	NE-SW
Rio Sujo	483,44	147,41	19056,71	8016,11	57,94	100,1	SE-NW
Alto Guamá	3475,79	445,95	46472,45	23821,77	48,74	72,18	NE-SW

Tal comportamento também é compatível com o comportamento dos lineamentos de drenagem, observa-se que estes acompanham preferencialmente a direção do maior eixo de cada unidade (Figura 22).

Os índices de: Lemniscate's (k), Razão de alongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais (Fs) e Intensidade de Drenagem (Di); tendem a caracterizar a maior homogeneidade da distribuição da rede na área da bacia. Observa-se que quando a relação é comprimento de canais pela área da bacia o resultado é maior, se comparado quando o elemento de análise é o número de canais pela área da bacia (Figuras 23 e 24). Como o número de canais depende da escala de análise este pode variar. As Tabelas 8 e 9 ilustram a influência da determinação da primeira ordem, quanto ao comprimento/número total de canais, em todos os casos avaliados. Quanto ao comprimento da 1º Ordem, estes chegam a ser superiores a 50%.

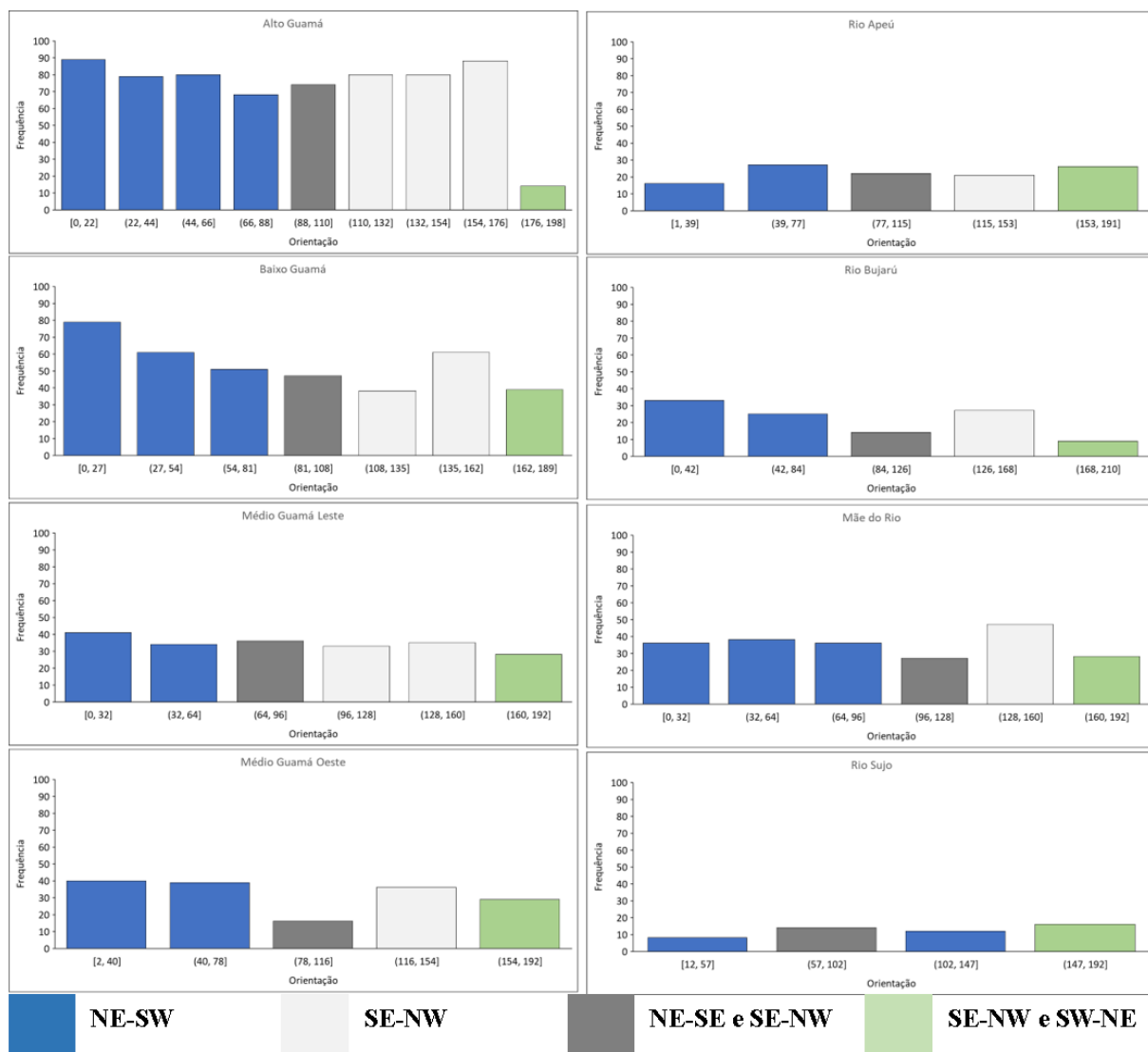


Figura 22 - Histograma de distribuição dos lineamentos de drenagem.

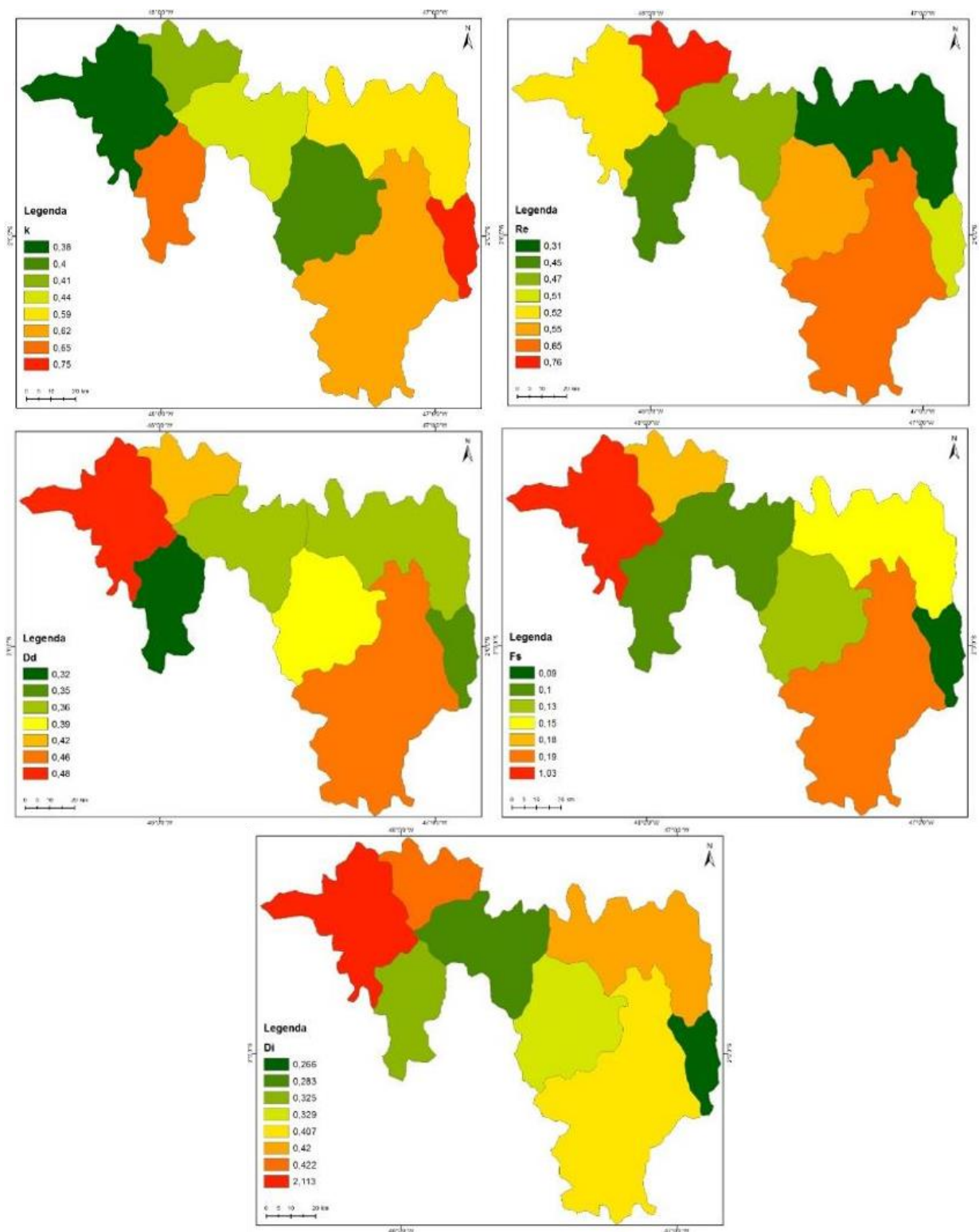


Figura 23 - Avaliação segundo: Lemniscate's (k), Razão de alongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais e Intensidade de Drenagem (Di) (valores calculados).

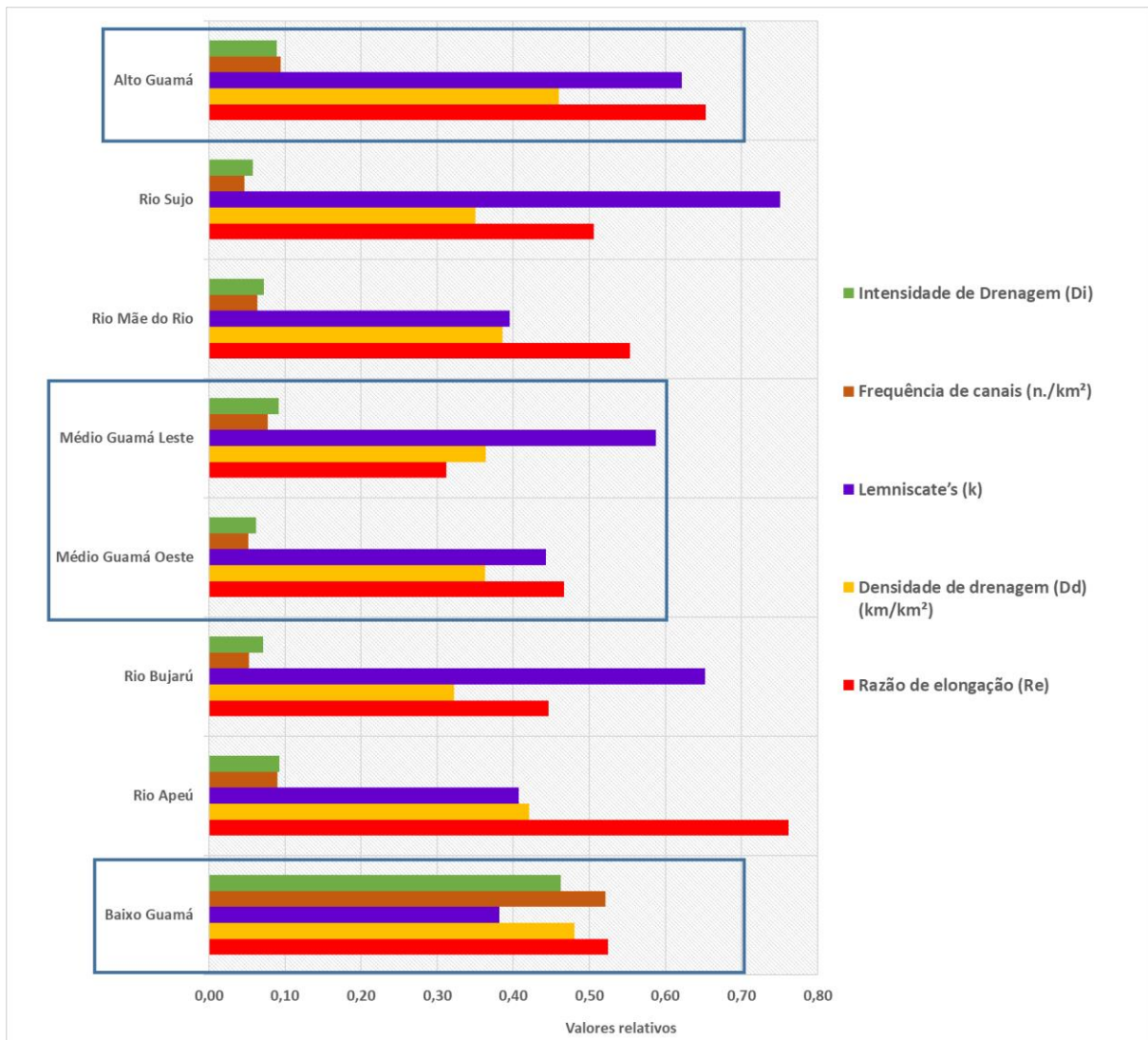


Figura 24 - Avaliação segundo: Lemniscate's (k), Razão de alongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais e Intensidade de Drenagem (Di) (valores normalizados para 0 a 1).

Tabela 8 - Percentual (%) do comprimento dos canais por Unidade Hídrica segundo a Ordem dos canais.

Unidades Hídricas	1 ^a Ordem	2 ^a Ordem	3 ^a Ordem	4 ^a Ordem	5 ^a Ordem	6 ^a Ordem	7 ^a Ordem
Rio Guamá	57,80	20,87	8,36	3,89	5,76	1,11	2,22
Baixo Guamá	59,32	20,63	5,02	4,18		0,05	10,79
Rio Apeú	56,63	21,45	12,25	9,67			
Rio Bujarú	56,61	21,93	15,47	5,98			
Médio Guamá Oeste	55,70	23,43	5,64			10,46	4,77
Médio Guamá Leste	55,90	19,57	2,90		21,64		
Rio Mãe do Rio	57,49	22,28	9,74	3,77	6,72		
Rio Sujo	68,06	18,18	13,76				
Alto Guamá	58,11	20,10	10,10	5,65	6,05		
% do Total	57,80	20,87	8,36	3,89	5,76	1,11	2,22

Tabela 9 - Percentual (%) do número de canais por Unidade Hídrica segundo a Ordem dos canais.

Unidades Hídricas	1 ^a Ordem	2 ^a Ordem	3 ^a Ordem	4 ^a Ordem	5 ^a Ordem	6 ^a Ordem	7 ^a Ordem
Rio Guamá	49,84	24,07	11,33	4,98	5,62	2,81	1,35
Baixo Guamá	54,65	26,57	10,98	5,60		0,17	2,02
Rio Apeú	42,55	18,44	31,91	7,09			
Rio Bujarú	49,53	25,23	21,50	3,74			
Médio Guamá Oeste	49,02	24,84	8,50			10,46	7,19
Médio Guamá Leste	32,46	17,38	2,62		47,54		
Rio Mãe do Rio	50,97	26,21	13,11	4,37	5,34		
Rio Sujo	51,11	31,11	17,78				
Alto Guamá	52,46	23,08	11,23	7,69	5,54		

As Figuras 25 e 26 apresentam o comportamento segundo: Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn).

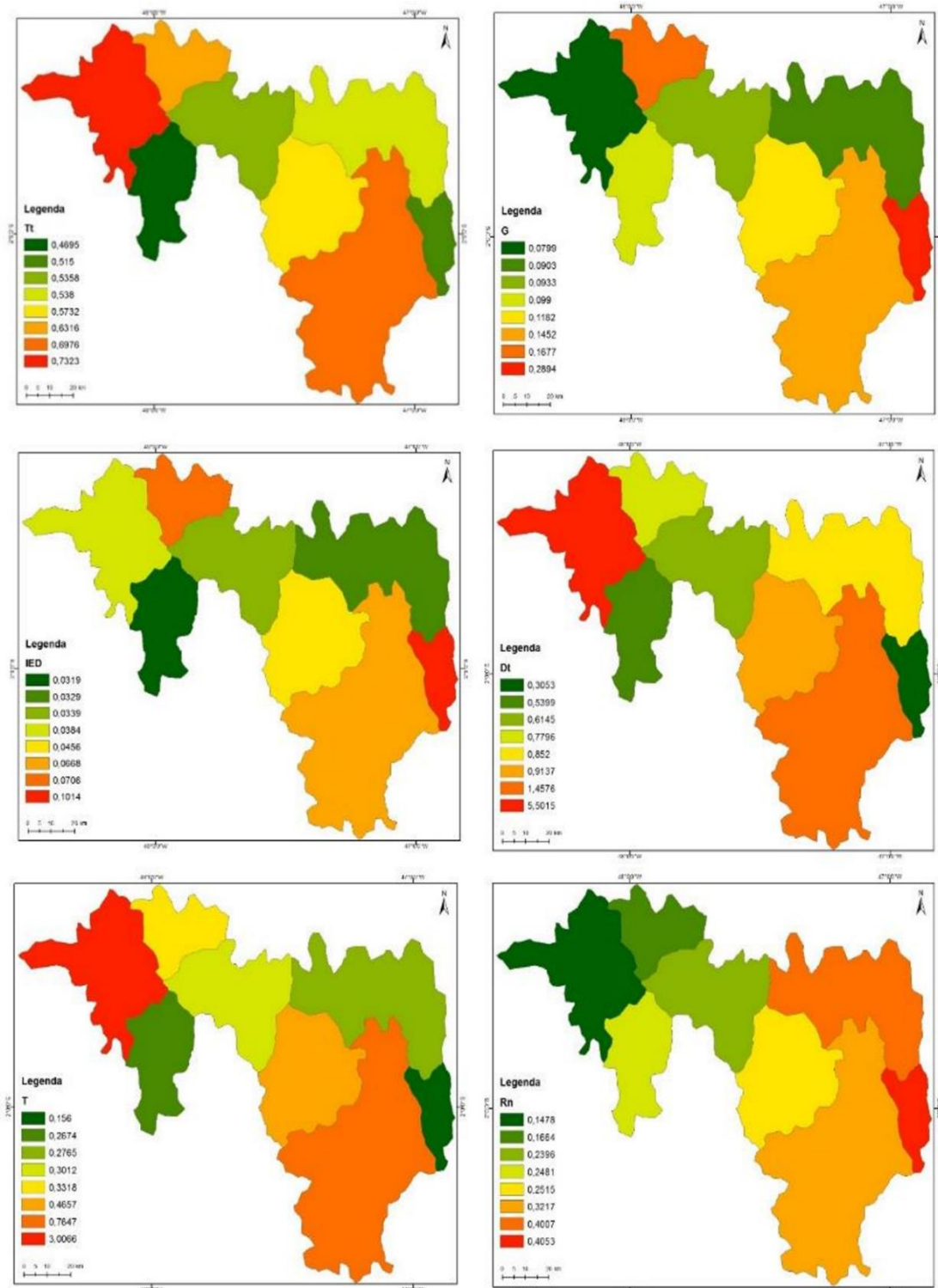


Figura 25 - Avaliação segundo: Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn) (valores calculados).

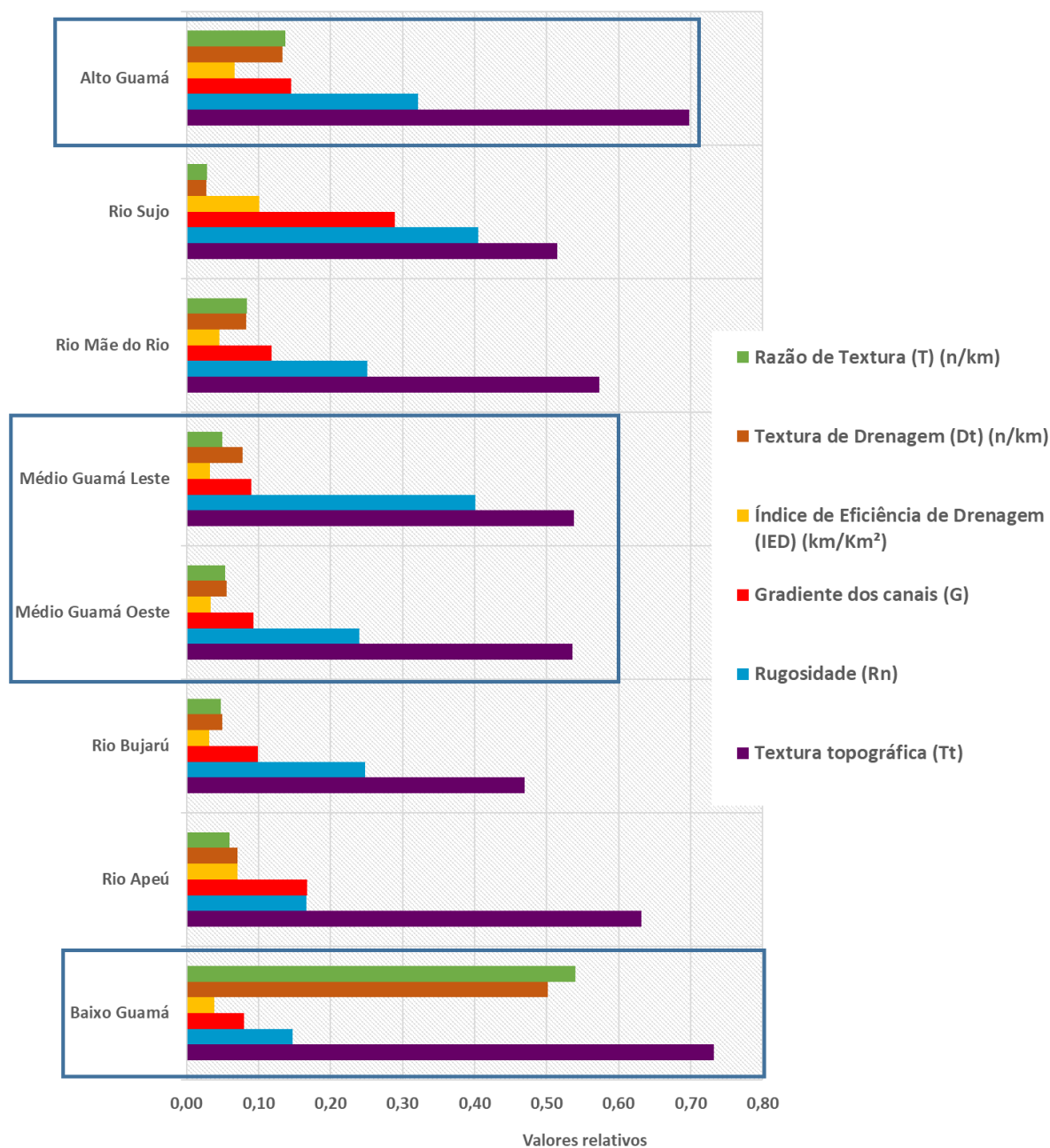


Figura 26 - Avaliação segundo: Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn) (valores normalizados para 0 a 1).

Estes traduzem o grau de retrabalhamento do relevo pelos processos de denundação, principalmente pela ação do escoamento superficial sobre a topografia. Observou-se uma certa regularidade nas sub-bacias dos rios Apeú/Bujarú e Mãe do Rio/Sujo. Estes casos têm relação com a variação altimétrica registrada nestas unidades quando comparada com a declividade média calculada (Tabela 10).

Tabela 10 - Comportamento altimétrico segundo as unidades hídras definidas.

Unidades Hídras	% da área total	Altura Média (m)	Altura máxima (m)	Altura mínima (m)	Amplitude (m)	Declividade (média)
Baixo Guamá	14	25	71	0	71	40,63
Rio Apeú	6	32	71	1	70	20,34
Rio Bujarú	8	39	80	0	80	24,03
Médio Guamá Oeste	12	31	87	0	87	31,32
Médio Guamá Leste	16	52	147	1	146	28,94
Rio Mãe do Rio	13	43	98	1	97	26,21
Rio Sujo	4	78	174	32	142	27,76
Alto Guamá	28	80	172	24	148	36,12

Nos segmentos do curso do rio Guamá do Médio ao Alto Guamá o comportamento foi próximo, variando no Baixo Guamá. Neste caso, os índices Dt e T foram significativos, pois ambos consideram o número de canais pelo perímetro da bacia, o que é compatível com o observado na Figura 25, onde ocorre o mesmo destaque para os índices Frequência de canais (Fs) e Intensidade de Drenagem (Di).

A Figura 27 apresenta uma avaliação da textura do terreno obtida a partir da altimetria gerada a pelo processamento realizado em função do modelo digital de elevação, este reforça a faixa de maior variação da rugosidade que marca o Alto-Médio Guamá Oeste que vai delimitar a zona limítrofe entre as unidades geológicas Plataforma Bragantina (predominantemente sedimentar) e Cinturão Gurupi e Bacia do Grajaú (ígneas e metamórfica).

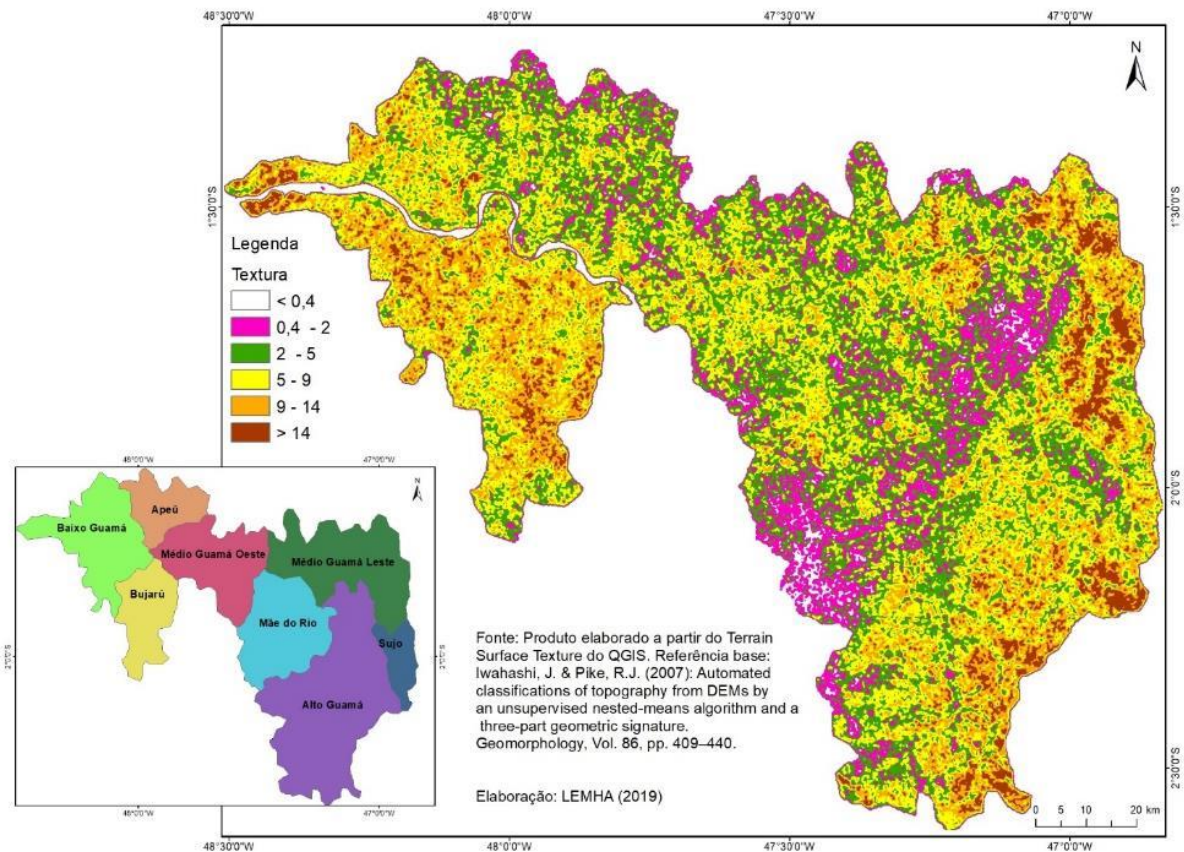


Figura 27 - Comportamento do índice Textura, gerado pelo modelo digital de elevação.

Nas Figuras 28 e 29 observa-se a distribuição segundo: Coeficiente de manutenção (Cm), Extensão do percurso superficial (Eps), Índice de sinuosidade do canal principal (Is), Relação de bifurcação (Rb) - 1º/2º Ordem, Índice de Canal (Ci), Razão de comprimento (Re) e Número de Infiltração (If); estes tendem a indicar a tendência de escoamento superficial ou acumulação. Ressalta-se que eles não absorvem a variabilidade geológica, diferindo mais quando existe variação altimétrica e tendência de comportamento retilíneo dos canais para o escoamento. A frequência da primeira ordem também é contemplada, pois esta representa o escoamento direto.

O resultado obtido é próximo ao observado para a Figura 26, indicando boa sinuosidade e concentração, e maior potencial ao escoamento, quando considerado o comprimento dos canais e sua relação areal. O comportamento de foz é observado na variabilidade registrada no Baixo Guamá, que apresentou maior destaque para concentração e infiltração. Considerando o indicado por Pareta e Pareta (2012), valores superiores a 1,5 classificam o curso como meandrante, este comportamento foi marcante no Médio Guamá Leste (4,72) e menor no Alto Guamá (2,19). As Figuras 29 a 36 ilustram por unidade hídrica (sub-bacias) a síntese das informações que permitem identificar seu comportamento

hidrogeomorfológico. Estes apresentam as características geomorfológicas, morfométricas, de comportamento da precipitação pluviométrica e de uso e cobertura da terra.

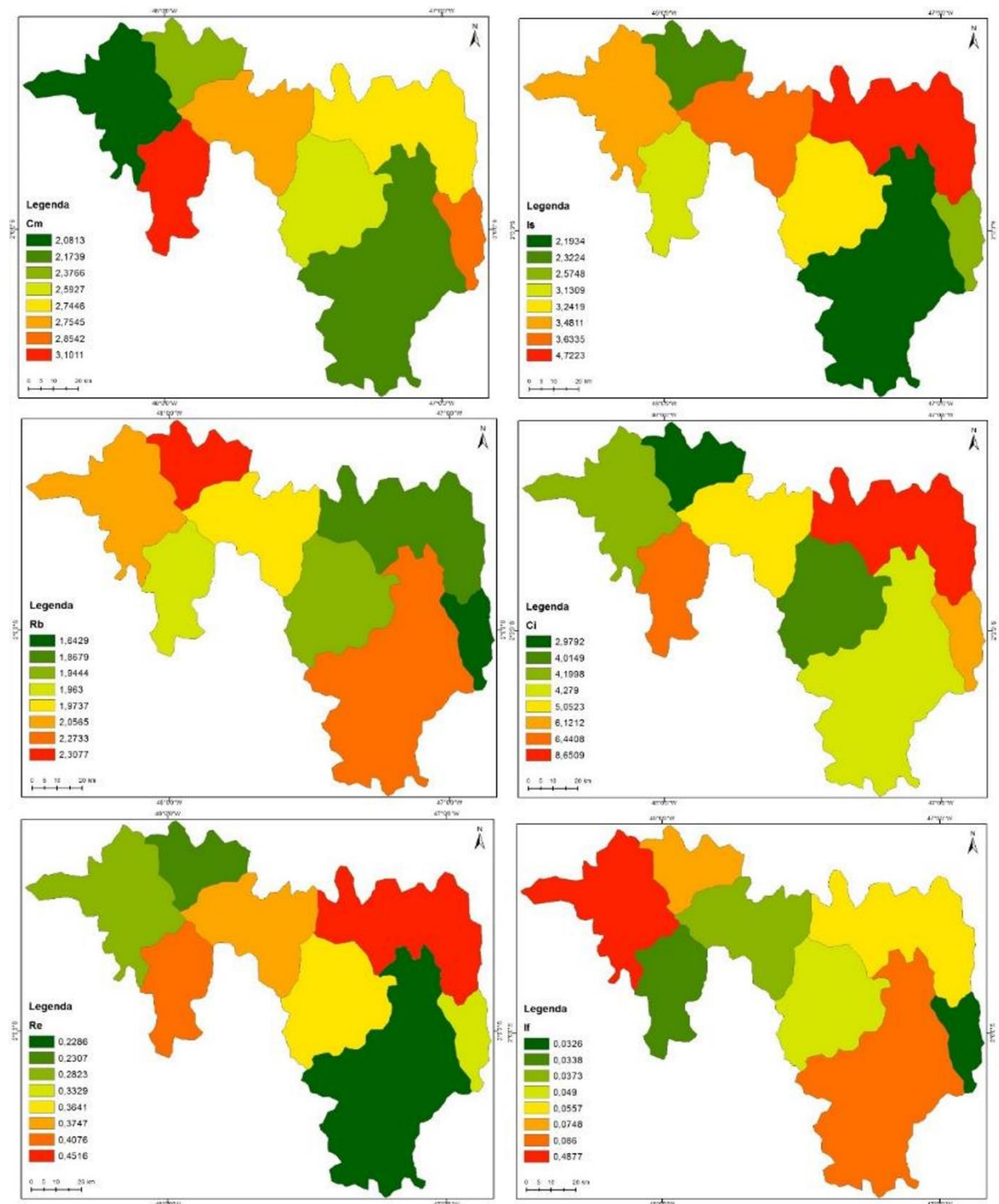


Figura 28 - Avaliação segundo: Coeficiente de manutenção (Cm), Extensão do percurso superficial (Eps), Índice de sinuosidade do canal principal (Is), Relação de bifurcação (Rb) - 1º/2º Ordem, Índice de Canal (Ci), Razão de comprimento (Re) e Número de Infiltração.

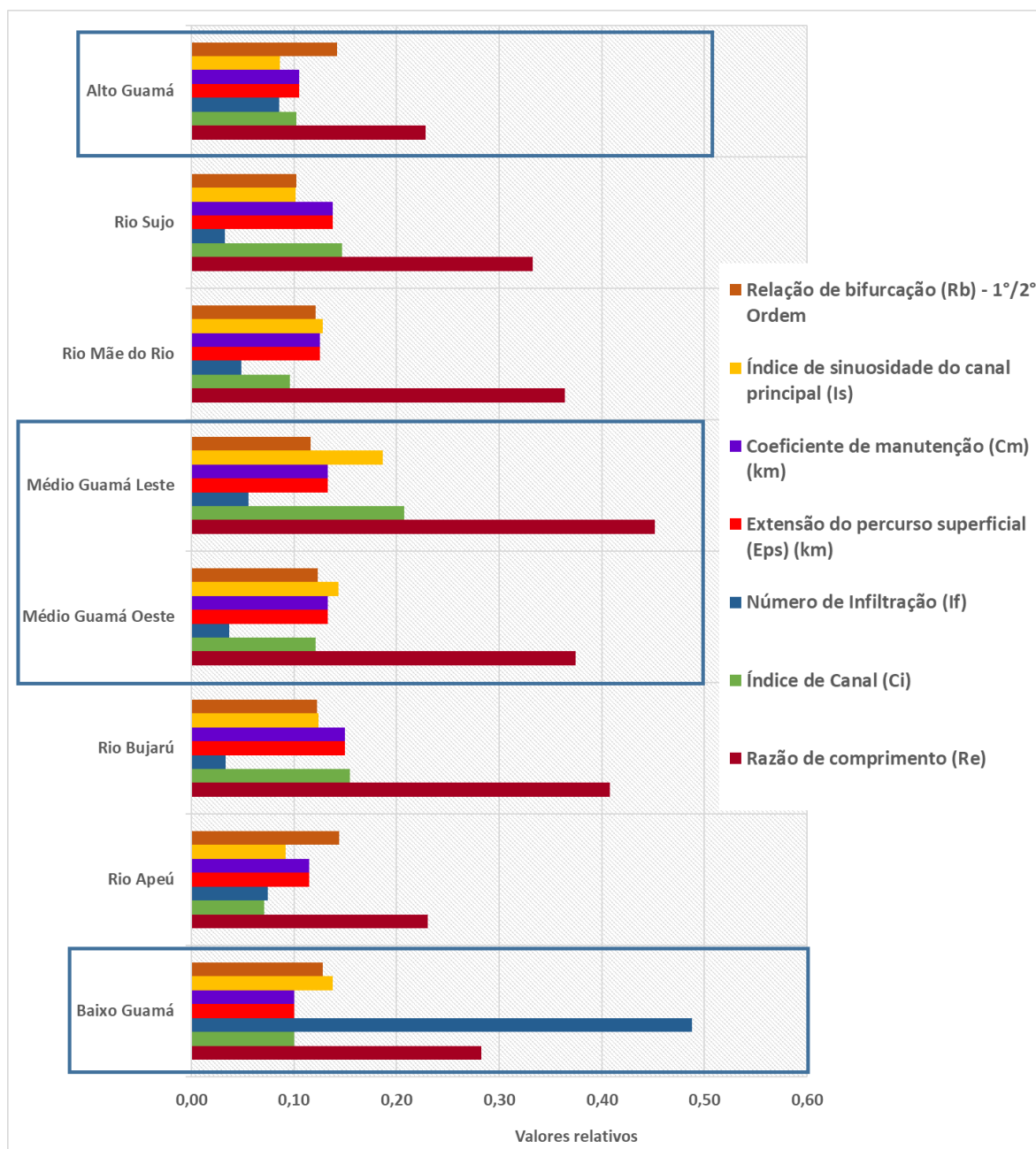
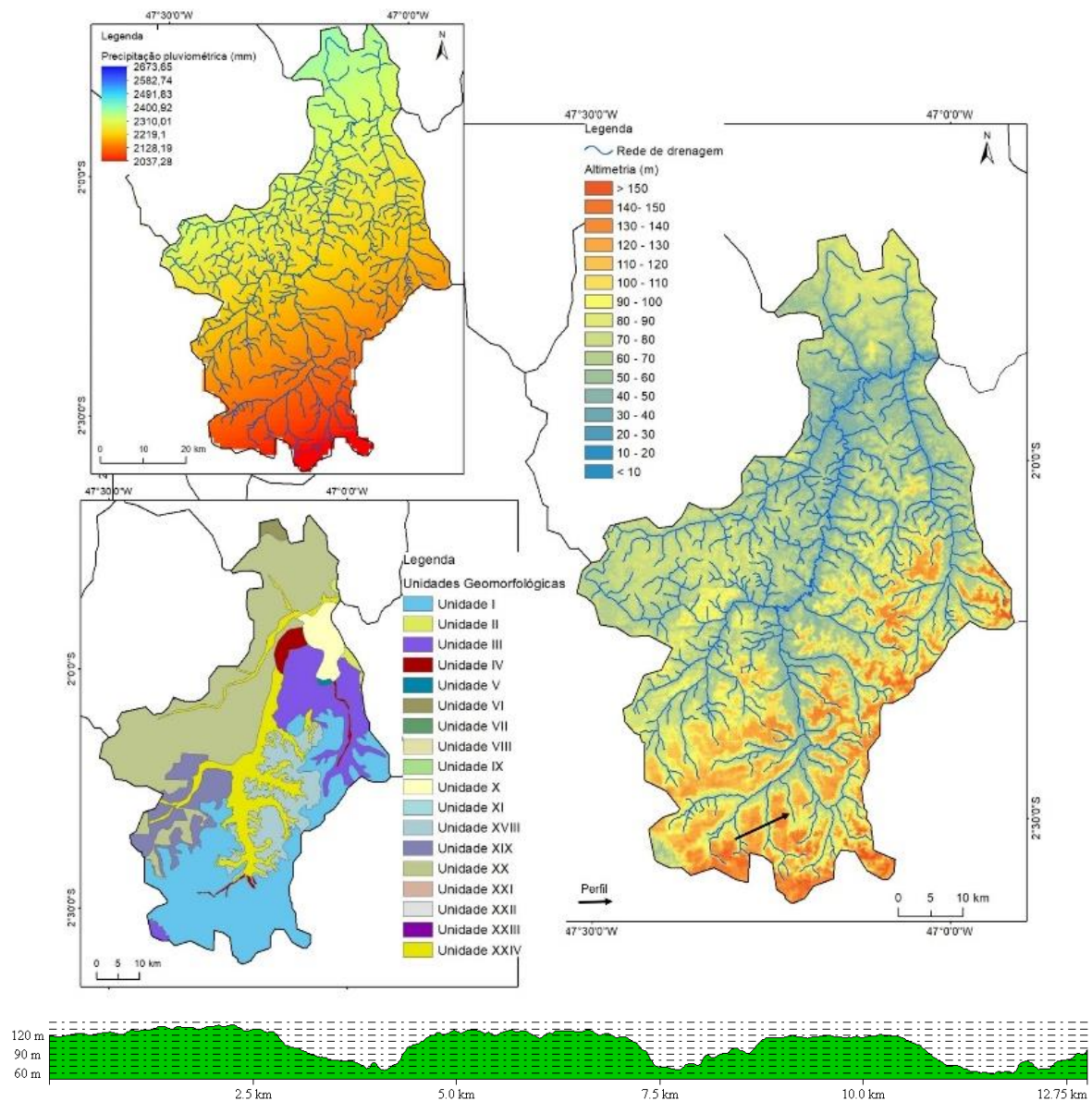


Figura 26(b). Avaliação segundo: Coeficiente de manutenção (Cm), Extensão do percurso superficial (Eps), Índice de sinuosidade do canal principal (Is), Relação de bifurcação (Rb) - 1º/2º Ordem, Índice de Canal (Ci), Razão de comprimento (Re) e Número de Infiltração (If) (valores normalizados para 0 a 1).

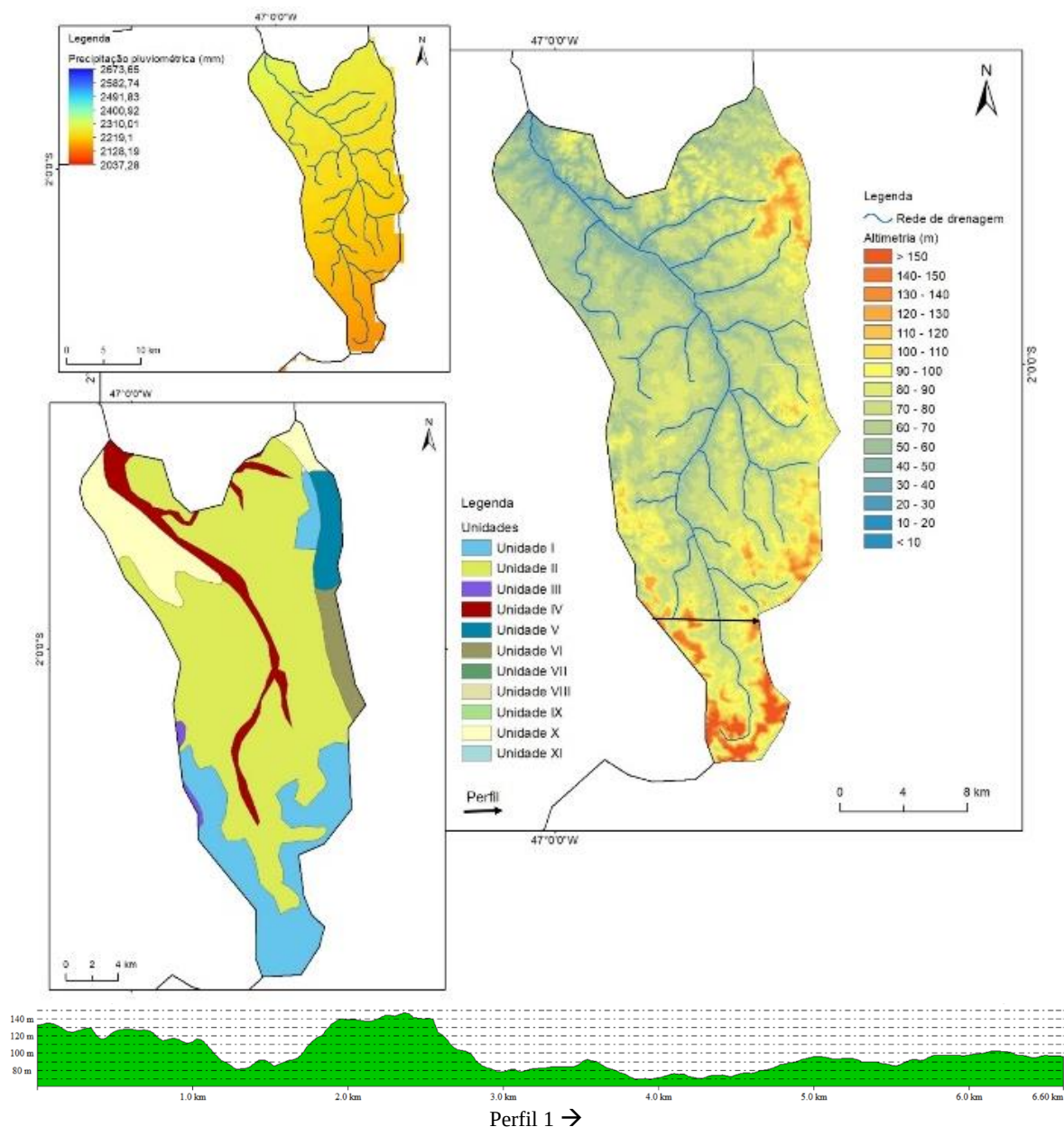


É caracterizado por apresentar padrões de drenagem angular, treliça e retangular, localmente dendrítico. Sendo de 5º ordem, com forte direcionamento NE-SW. O escoamento superficial é controlado principalmente por lineamentos de drenagem orientados, que acompanham o eixo da bacia. Amplitude altimétrica de 148 m e a declividade média de 36°. Predominam valores de precipitação que variam de 2037 a 2385 mm; sendo caracterizada como a região que concentra os menores volumes de chuva. A geologia é marcada por rochas sedimentares das Formações Itapecuru, Barreiras e Ipixuna; além dos complexo ígneo-metamórfico do Cinturão Gurupi.

Apresenta as maiores altitudes da área de estudo, vales abertos e localmente fechados, vertentes côncavo-retilíneas, relevo variando de ondulado a plano. As suas colinas apresentam topo plano com superfície aplainada com vales pouco profundos e apresenta chapadas com vales encaixados. Regiões suavemente onduladas apresentam ravinamentos diversos e vales pouco profundos (Perfil 1). O comportamento esperado é potencial ao escoamento superficial e a erosão: índices de forma mais próximos a 0 (zero), drenagem com distribuição e homogênea na área da bacia (cerca de 58% de canais de primeira ordem e 42% das demais ordens) e elevada textura topográfica. Este comportamento torna a região vulnerável as consequências dos processos erosivos, uma vez que apresenta cerca de 54% de sua área destinada a formas de uso da terra, ou seja, mais da metade da bacia está exposta diretamente a ação do escoamento superficial.

Classificação Proposta: Vulnerabilidade alta aos processos erosivos – dinâmica da paisagem ativa, com processos favoráveis a dissecação das formas de relevo e alta interferência de condicionantes de alteração da cobertura da terra (>50%), com forte atuação das formas de uso e ocupação.

Figura 29 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Alto Rio Guamá.



Região caracterizada por apresentar um padrão de drenagem angular, localmente dendrítico. Sendo de 3º ordem, com direcionamento SE-NW. Menor associação com lineamentos de drenagem, que quando presentes são orientados preferencialmente acompanhando o maior eixo da bacia. Amplitude altimétrica de 142 m e a declividade média de 28°.

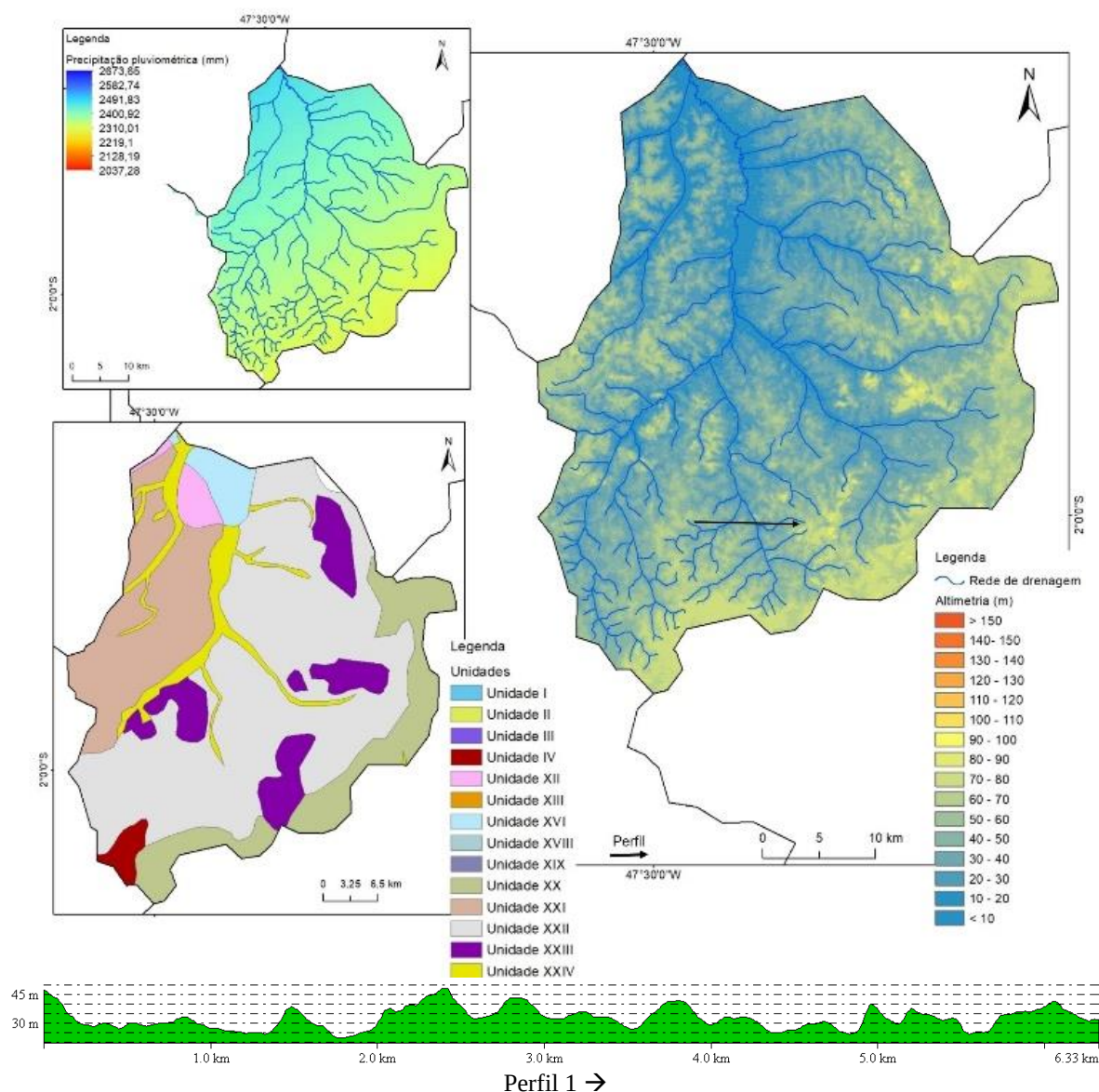
Predominam valores de precipitação que variam de 2155 a 2296 mm; fazendo parte da região que concentra os menores volumes de chuva.

A geologia é marcada por rochas sedimentares da Formação Itapecuru (arenito, argilito, folhelho, siltito, arenito arcoseano) e pelos quartzitos do Cinturão Gurupi. É caracterizada por apresentar vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas, variando de suavemente ondulado a plano e suas colinas apresentam topo arredondado a plano (Perfil 1).

Apesar de tender ao escoamento superficial e a erosão, os indicadores que caracterizam a distribuição da rede de drenagem, traduzem uma menor contribuição deste. Como se trata de uma bacia de 3ª ordem a resposta hidrológica é menor (cerca de 68% de canais de primeira ordem e 32% das demais ordens). É uma região de menor vulnerabilidade as consequências dos processos erosivos, principalmente por apresentar cerca de 41% de sua área com cobertura vegetal.

Classificação Proposta: Vulnerabilidade baixa aos processos erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).

Figura 30 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Rio Sujo.



É caracterizado por apresentar padrões de drenagem treliça e angular. Sendo de 5º ordem, com forte direcionamento NE-SW. O escoamento superficial é controlado principalmente por lineamentos de drenagem orientados, SE-NW, NE-SW e SW-NE. Amplitude altimétrica de 97 m e a declividade média de 26°.

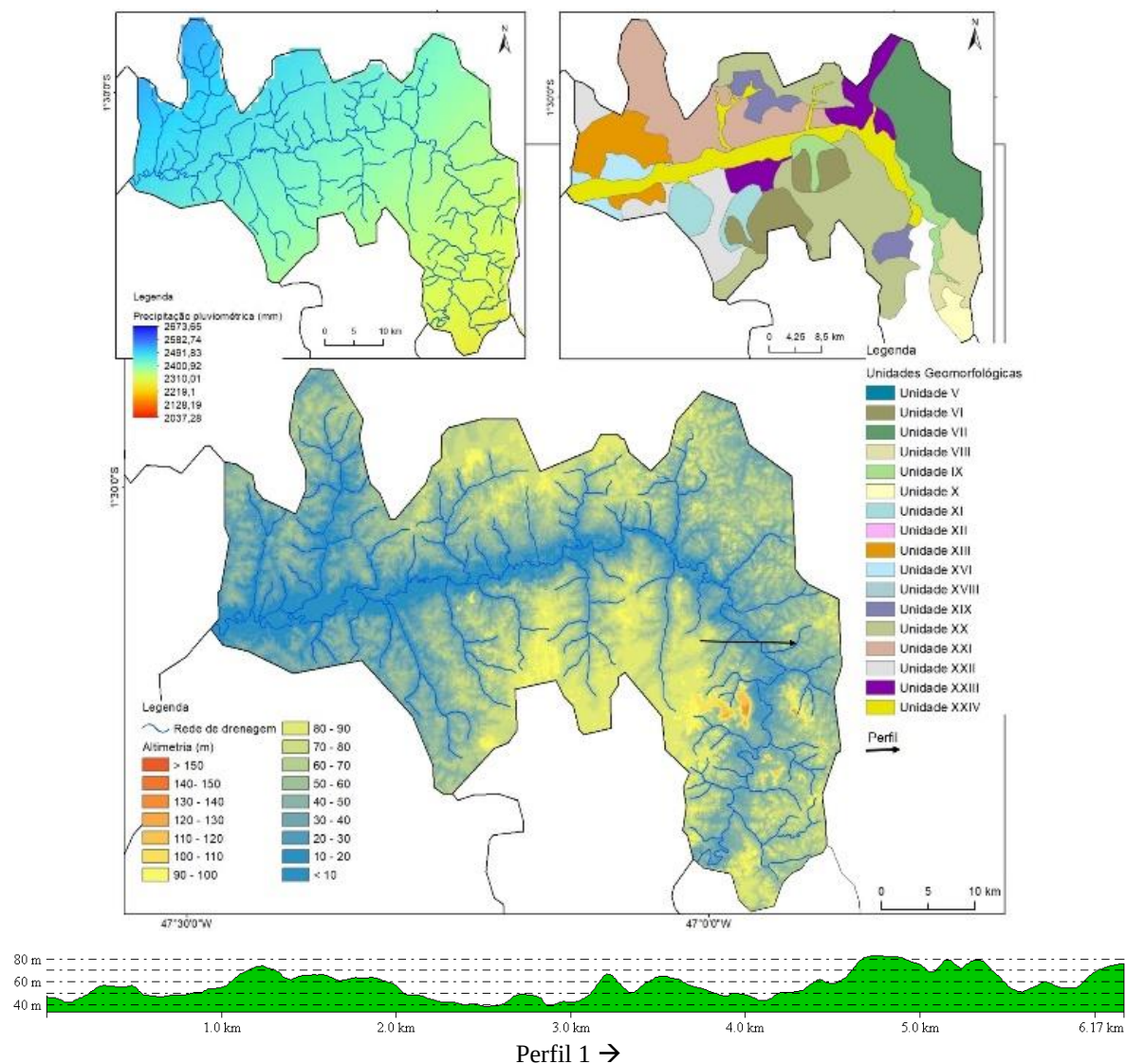
Predominam valores de precipitação que variam de 2288 a 2475 mm; sendo caracterizada como a região transicional entre as faixas de maior e menor pluviometria.

A geologia é marcada por rochas sedimentares da Formação Barreiras (arenitos conglomeráticos e argilitos arenosos), pelos arenitos arcoseanos da Bacia do Parnaíba e sedimentos Pós Barreiras. É caracterizada por apresentar altitudes medianas, vales abertos e localmente fechados, vertentes convexo-retilíneas, com relevo variando de ondulado a plano e suas colinas apresentam topo arredondado a plano. As colinas de topo aplanado possuem vales pouco profundos com vertentes convexo-retilíneas (Perfil 1).

O comportamento esperado é alto quanto ao escoamento superficial e a erosão: índices de forma são próximos a 0 (zero), drenagem adensada nas cabeceiras, em função da forma triangular da bacia (cerca de 57% de canais de primeira ordem e 43% das demais ordens). Porém, este é menor que o do Alto Guamá. Apresenta cerca de 60% de sua área destinada a formas de uso da terra, ou seja, mais da metade da bacia está exposta diretamente a ação do escoamento superficial.

Classificação Proposta: Vulnerabilidade alta aos processos erosivos – dinâmica da paisagem ativa, com processos favoráveis a dissecação das formas de relevo e alta interferência de condicionantes de alteração da cobertura da terra (>50%), com forte atuação das formas de uso e ocupação.

Figura 31 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Rio Mãe do Rio.



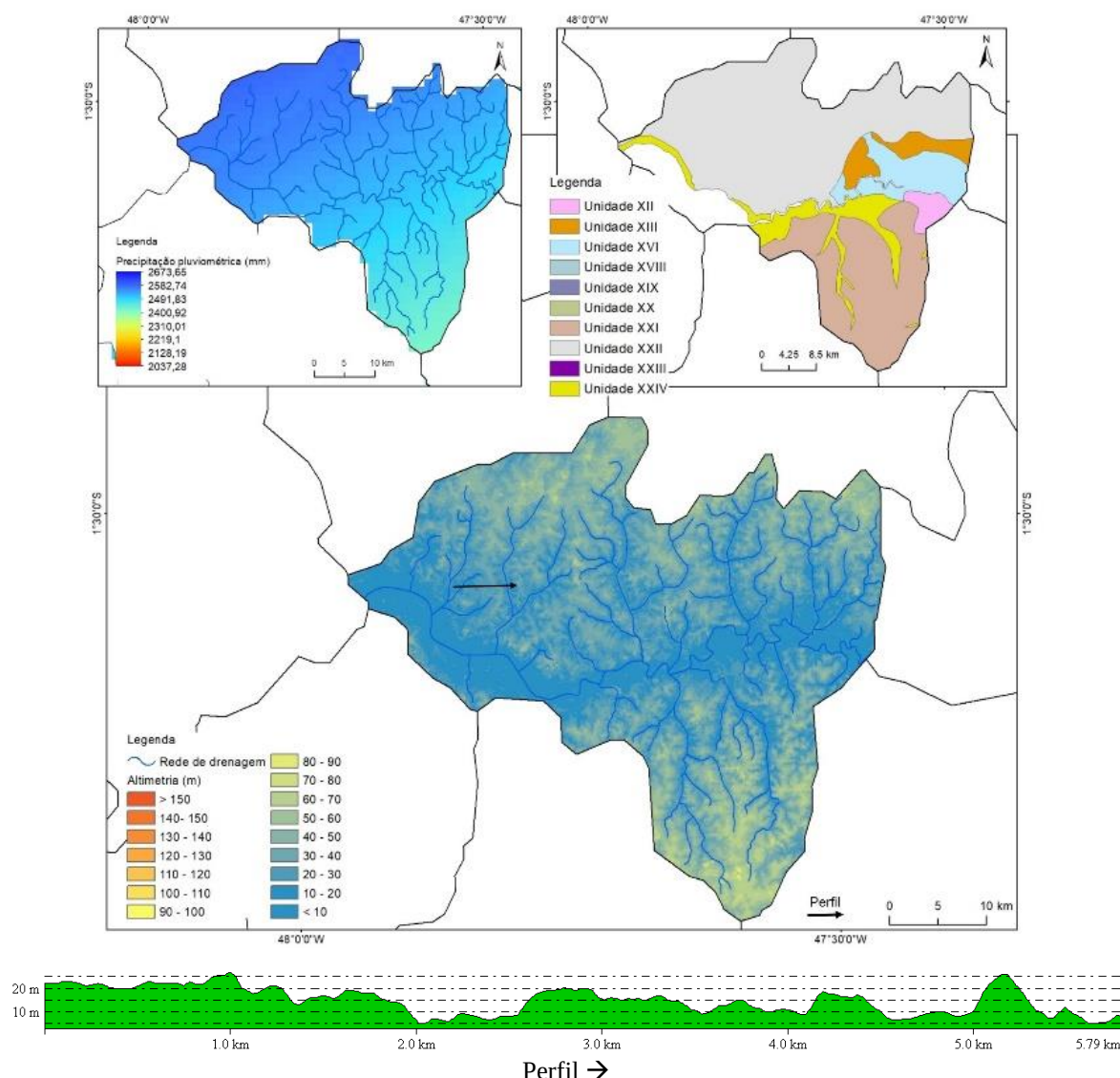
É caracterizado por apresentar padrões de drenagem angular e treliça. Possui uma curvatura que faz com que parte dos canais tenham localmente comportamento radial. Sendo de 5º ordem, com curso principal marcado também pela presença de um padrão meandrante. Os lineamentos de drenagem apresentam uma boa distribuição nos principais segmentos detectados (SE-NW, NE-SW e SW-NE). Amplitude altimétrica de 146 m e a declividade média de 29°. É importante destacar a forte curvatura que a rede de drenagem apresenta neste segmento, indicando exatamente um conjunto de relevos mais expressivos ao centro da curva, que é limite com as unidades de Mãe do Rio e do Alto Guamá. Predominam valores de precipitação que variam de 2272 a 2524 mm; fazendo parte também de uma região de transição.

A geologia é marcada por rochas do Cinturão Gurupi, pelas rochas sedimentares da Formação Barreiras, além de grauvas e arenito arcoseano da Bacia do Parnaíba. A diferente natureza dos dois grupos (sedimentar/cristalino) define uma zona de contato que aparentemente condiciona a rede de drenagem. A sub-bacia é caracterizada por apresentar vales abertos e localmente fechados, vertentes côncavo-retilíneas, com relevo variando de ondulado a plano e suas colinas apresentam topo arredondado a plano. As colinas de topo aplanado possuem vales pouco profundos com vertentes côncavo-retilíneas. As regiões onde as rochas metamórficas do Cinturão Gurupi são localizadas, o relevo apresenta maior variação de altitude, sendo um terreno mais colinoso com topo arredondado (Perfil 1).

O comportamento esperado é potencial ao escoamento superficial e a erosão: índices de forma mais próximos a 0 (zero), drenagem fortemente controlada por padrões estruturais do relevo (cerca de 56% de canais de primeira ordem e 44% das demais ordens). A região apresenta cerca de 43% de sua área destinada a formas de uso da terra, e cerca de 57% com cobertura vegetal (em parte alternada com áreas alteradas).

Classificação Proposta: Vulnerabilidade moderada aos processos erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.

Figura 32 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Médio Guamá Leste.



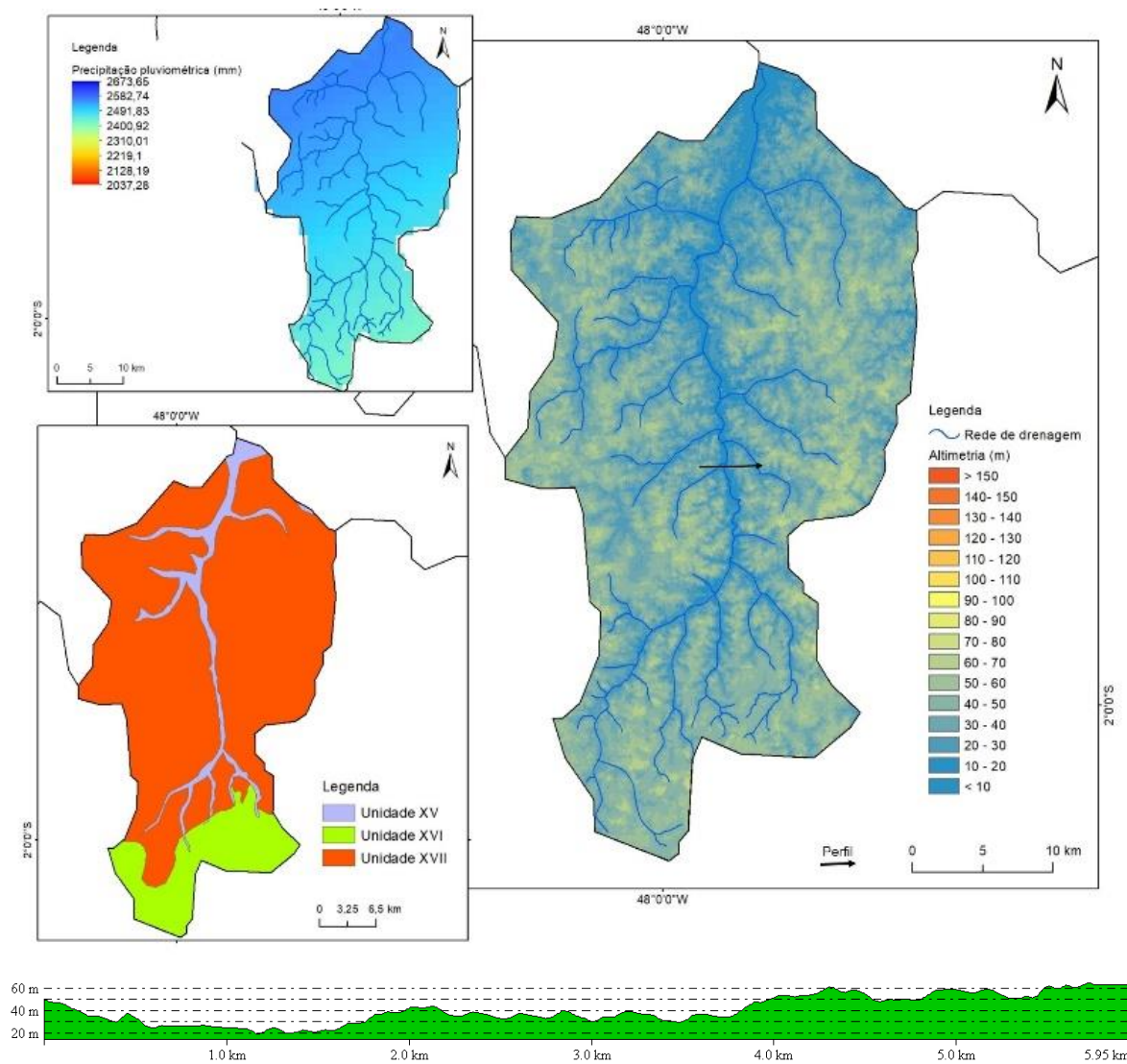
É caracterizado por apresentar padrões de drenagem angular, treliça e localmente dendrítico. Sendo de 7º ordem, com direcionamento SE-NW. O canal principal assume um controle mais meandrante. Os lineamentos de drenagem apresentam uma boa distribuição nos principais segmentos detectados (SE-NW, NE-SW e SW-NE). Amplitude altimétrica de 87 m e a declividade média de 31°. Predominam valores de precipitação que variam de 2418 a 2583 mm; já fazendo parte da região de maiores volumes de chuva.

A geologia é marcada por rochas sedimentares da Formação Barreiras e da Bacia do Parnaíba. Apresenta relativa homogeneidade e a formação predominantemente sedimentar, dá suporte para a maior dinâmica de erosão e sedimentação, que é observada a partir do comportamento da rede de drenagem, principalmente no canal principal, meandrante. É caracterizada por apresentar vales fechados, vertentes côncavo-retilíneas, com relevo variando de ondulado a plano. Suas colinas apresentam topo arredondado a plano. Destacam-se as formas associadas as rochas da Bacia do Parnaíba, marcadas por vales abertos vinculados a vertentes côncavo-retilíneas e a planície de inundação (Perfil 1).

O comportamento esperado é de moderado potencial ao escoamento superficial e a erosão: índices de forma mais próximos a 0 (zero), drenagem marcada por segmentos de ordem menor (cerca de 56% de canais de primeira ordem e 29% de segunda e terceira ordens). É neste segmento que a bacia recebe as águas do rio Capim tendo assim a contribuição de parte de um segmento de 6ª ordem, logo, o escoamento superficial recebe um “input” significativo. A região apresenta cerca de 72% de sua área com cobertura vegetal (em parte alternada com áreas alteradas).

Classificação Proposta: Vulnerabilidade moderada aos processos erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.

Figura 33 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Médio Guamá Oeste.



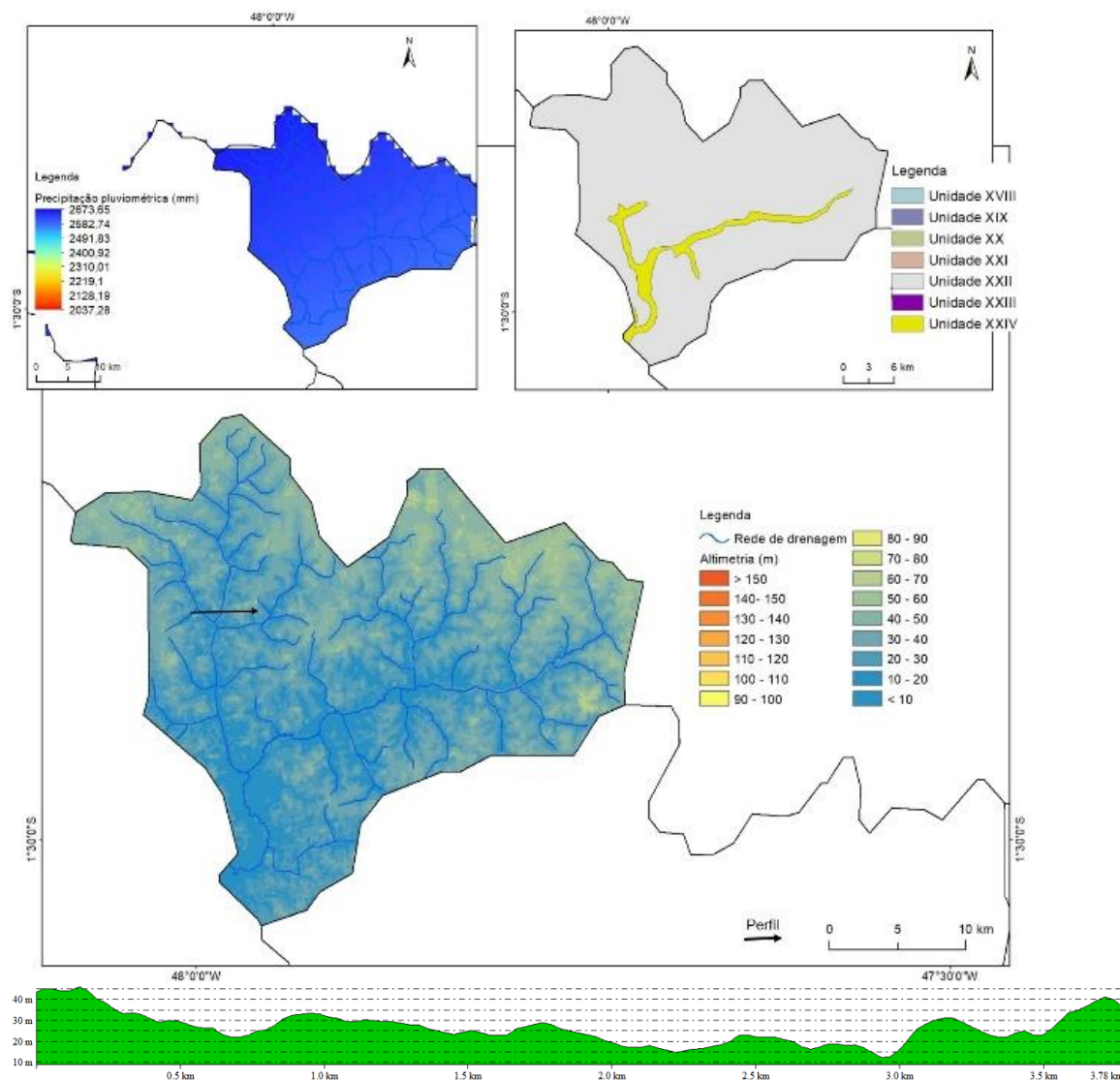
É caracterizado por apresentar padrões de drenagem angular e treliça, o canal principal se aproxima de um canal retilíneo, com forte controle N-S. Sendo de 4º ordem, com forte direcionamento NNE. O escoamento superficial é controlado principalmente por lineamentos de drenagem SE-NW e NE-SW, que acompanham o eixo da bacia. Amplitude altimétrica de 80 m e a declividade média de 24°. Predominam valores de precipitação que variam de 2410 a 2562 mm; estando na região de maior índice pluviométrico.

A geologia é marcada principalmente pelas rochas sedimentares da Formação Barreiras. A sub-bacia é caracterizada por apresentar vales abertos, com relevo variando de ondulado a plano, e colinas apresentam topo arredondado a plano (Perfil 1). O comportamento esperado é de baixo potencial ao escoamento superficial e a erosão: apesar dos índices de forma mais próximos a 0 (zero), com cerca de 57% de canais de primeira ordem, a uniformidade topográfica reduz a intensidade do escoamento superficial, fator este que influencia na densidade de drenagem e número de canais.

Este comportamento torna a região com baixa vulnerabilidade as consequências dos processos erosivos, apresentando ainda mais de 50% de sua área com presença de cobertura vegetal (46%) e com ocorrência de cobertura vegetal com áreas alteradas (50%).

Classificação Proposta: Vulnerabilidade baixa aos processos erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).

Figura 34 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Rio Bujará.



Perfil 1 →

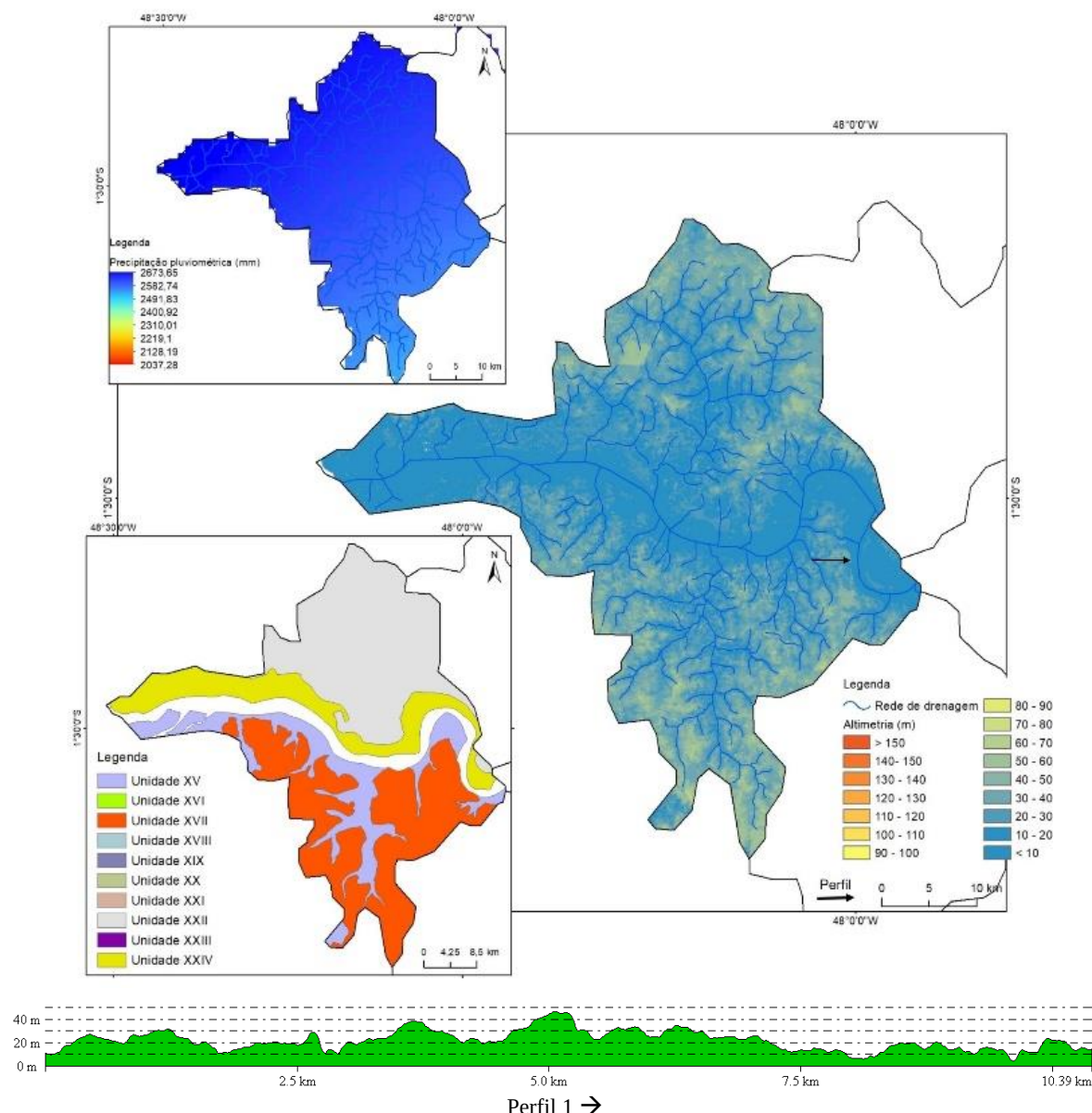
É caracterizado por uma drenagem de 4ª ordem, apresentando padrões angular e treliça. Observa-se uma marcante angularidade em “V” que define os dois principais canais tributários a bacia, além do traçado aproximadamente retilíneo destes. Amplitude altimétrica de 70 m e a declividade média de 20°. Apresenta uma boa distribuição nos principais lineamentos de drenagem detectados (SE-NW, NE-SW e SW-NE). Predominam valores de precipitação que variam de 2572 a 2647 mm; estando na região de maior índice pluviométrico. Esta apresenta a menor variação entre o máximo e mínimo de chuvas, o que retrata um contexto mais homogêneo de distribuição na bacia.

A geologia é marcada por rochas sedimentares da Formação Barreiras, sendo caracterizada por apresentar vales abertos, com vertentes côncavas e côncavo-retilíneas, com colinas de topo arredondado (Perfil 1). É a região mais homogênea em termos de aspectos físicos da paisagem, junto com a sub-bacia do rio Bujarú. O formato de um triângulo invertido apoia o escoamento superficial, mesmo com o comportamento homogêneo da topografia.

O comportamento esperado é moderado quanto ao escoamento superficial e a erosão: a drenagem apresenta distribuição homogênea na área da bacia, com cerca de 57% de canais de primeira ordem e elevada textura topográfica; as demais relações indicam tanto o escoamento quanto a possibilidade de formação de zonas de acumulação, apresentando um dos maiores valores relativos a textura topográfica. Apresenta cerca de 75% de sua área com presença de cobertura vegetal (39%) e com ocorrência de cobertura vegetal com de áreas alteradas (36%).

Classificação Proposta: Vulnerabilidade moderada aos processos erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.

Figura 35 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Rio Apeú.



É caracterizado por apresentar padrões de drenagem angular, treliça e retangular, localmente dendrítico. Sendo de 7º ordem, com forte direcionamento E-W no curso principal e SE-NW. Contendo uma boa distribuição nos principais lineamentos de drenagem detectados (SE-NW, NE-SW e SW-NE). Amplitude altimétrica de 71 m e a declividade média de 41°. Predominam valores de precipitação que variam de 2523 a 2673 mm; estando na região de maior índice pluviométrico. Este alimenta o contexto da foz com a baía do Guajará, onde recebe ainda as drenagens associadas aos rios Moju e Acará.

A geologia é marcada por rochas sedimentares da Formação Barreiras, além de coberturas lateríticas que sustentam os morres. A sub-bacia é caracterizada por apresentar vales abertos pouco profundos e encaixados, vertentes côncavas e retilíneas, e colinas de topo plano e arredondado (Perfil 1). Observa-se que o contexto geomorfológico a sul difere do a norte, tendo como eixo divisor o canal principal, destaca-se aí ainda a presença de ilhas fluviais como a ilha do Combú.

O comportamento esperado é de baixo potencial ao escoamento superficial e a erosão: mesmo com índices de forma próximos a 0 (zero), a distribuição da densidade de drenagem e dos canais na região favorecem uma maior estabilidade. A principal feição é o vale do rio Guamá que apresenta diversas formas de controle estrutural, aliada a um alto desempenho nos índices de textura topográfica e melhor desempenho quanto ao potencial de infiltração. Outro fator relevante é o fato de cerca de 86% de sua área com presença de cobertura vegetal (55%) e com ocorrência de cobertura vegetal com de áreas alteradas (31%).

Classificação Proposta: Vulnerabilidade baixa aos processos erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).

Figura 36 - Síntese do comportamento hidrogeomorfológico: Baixo Guamá.

5.1.4 Síntese dos processos e condicionantes da bacia do rio Guamá

A bacia do rio Guamá apresentou um comportamento heterogêneo considerando as unidades hídras como unidades de paisagem, onde são associados os condicionantes do meio físico naturais e os fatores antrópicos de uso e cobertura da terra.

A técnica adotada partiu da categorização das unidades de relevo, as unidades geomorfológicas foram associadas identificando o que Guilbert et al. (2016) chama de Padrão de Design de Ontologias (ODP), que seriam elementos que especificam o contexto e definem um quadro de referência que caracteriza uma dada unidade de paisagem.

Minár e Evans (2008) afirmam que os indivíduos geomórficos podem ser descritos como de origem "natural", sendo um máximo de mudança de caráter genético, geométrico e processual; permitindo sua contextualização em termos de gênese, dinâmica e cronologia. Havendo desta forma os chamados modelos "ideais" e os "reais". A avaliação segmentada dos condicionantes do meio físico seguida da avaliação de uso da terra demonstra esta transição. Onde inicialmente se deseja verificar os condicionantes produtos do meio daqueles de interface com o meio.

Os resultados obtidos demonstram que para a bacia do rio Guamá existe uma forte imposição do ambiente, dado sua condicionante geológica marcante que interfere diretamente na geometria do relevo e na drenagem. Tanto que o Alto Guamá, Médio e Baixo Guamá apresentaram um comportamento que gradou de alta a baixa vulnerabilidade relativa aos processos de modificação do relevo a partir da intensificação da remoção, transporte e deposição de sedimentos. Isoladamente as sub-bacias de Sujo, Mãe do Rio, Bujará e Apeú variaram por constituir unidades mais individualizadas, sendo fortemente dependentes do processo de uso da terra que ocorre nas mesmas.

Goerl et al. (2012) destacam como processos hidrogeomorfológicos: inundações, deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos (*debris flow*); além disto destacam como elementos a serem pontuados na caracterização hidrogeomorfológica: 1) Características hidrológicas do terreno (área de infiltração média, baixa ou muito baixa); 2) Morfologia Fluvial; 3) Cobertura vegetal; 4) Elementos estruturais; e 5) Topografia. A única componente não explorada neste trabalho, ficando para uma proposta complementar, foi o comportamento de vazão e cotas do rio Guamá e sua contribuição para a formação da planície de inundação. Esta abordagem necessita de modelo específico, pois a bacia somente é monitorada até o limite do Alto com o Médio Guamá, dada a influência de maré que sofre.

Rocha (2017), utilizando o método Curva Número (CN), obteve os números apresentados na Tabela 11 para a ação do escoamento superficial (contribuição das chuvas no terreno). Observa-se que para a análise dos efeitos de deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos; o escoamento (valores médios) contribui de forma significativa principalmente nas unidades: Rio Bujarú, Rio Apeú e Baixo Guamá. O mesmo ocorre ao se considerar apenas a contribuição da área com vegetação. Desta forma, se estes dados forem somados aos resultados obtidos, estas 3 unidades deveriam ser reclassificadas como moderadas. E no caso específico do Baixo Guamá, ainda se inclui o primeiro efeito com a variação de nível do rio, como observado na simulação feita no modelo digital de elevação, considerando dois níveis de elevação das águas, admitindo como cota 0 (zero) as margens do rio Guamá (Figura 37).

Tabela 11 - Contribuição do escoamento superficial (Q) por sub-bacia e reclassificação a partir da influência deste.

Sub-bacia	Q (mm) (média)	Q (mm) (área vegetada)	Classificação admitindo a vulnerabilidade erosiva	Classificação admitindo a vulnerabilidade erosiva e a volume de escoamento superficial
Alto Guamá	578,39	1039,36	Alto	
Rio Sujo	610,62	1362,32	Baixo	
Rio Mãe do Rio	683,74	1142,03	Alto	
Médio Guamá Leste	668,42	1383,89	Moderado	
Médio Guamá Oeste	724,29	1606,51	Moderado	
Rio Bujarú	814,12	1886,70	Baixo	Moderado
Rio Apeú	954,64	2048,87	Moderado	Moderado
Baixo Guamá	767,70	2109,52	Baixo	Moderado

Fonte: Adaptado de Rocha (2017).

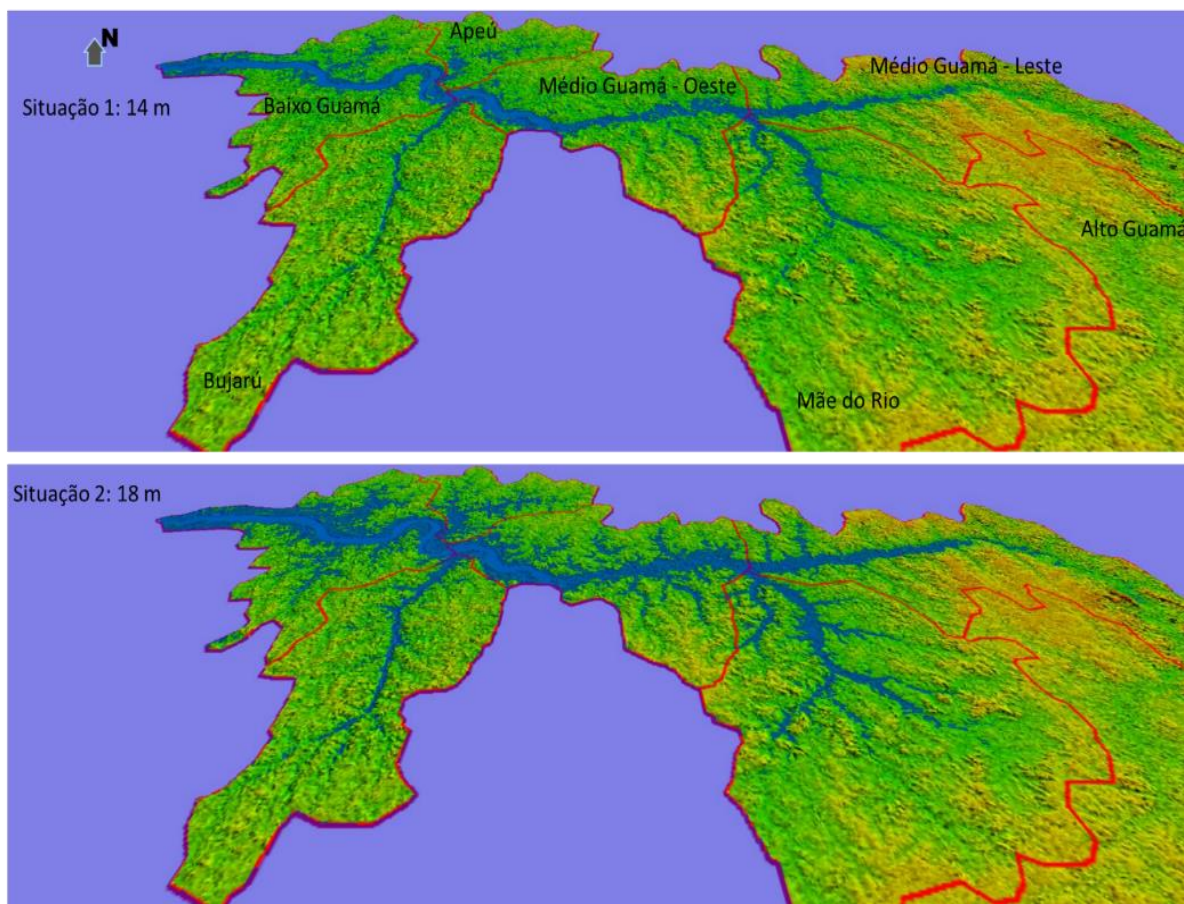


Figura 37 - Simulação de variação de nível a partir das margens do rio Guamá.

6 CONCLUSÕES

A partir da análise integrada dos resultados da bacia do rio Guamá é possível afirmar que as sub-bacias apresentam uma variação altimétrica que é mais expressiva do Alto em direção ao Baixo Guamá, textura grosseira, declividade variável e forte controle estrutural; apresentando 24 unidades geomorfológicas que se distribuem em 5 domínios estruturais.

O resultado obtido sugere que a região possui moderado potencial para sofrer processos hidrogeomorfológicos (inundações, deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos), aliado ao alto índice pluviométrico e a ação antrópica. O estudo da hidrogeomorfologia auxilia no entendimento das regiões mais ou menos susceptíveis aos processos de erosão aliada ao estudo do comportamento hidrológico das sub-bacias. Além disso, a geologia da região também é um fator importante para a compreensão do aspecto da região visto que são controladoras de parte dos efeitos da dinâmica hidrológica.

Dessa forma, os resultados se apresentam com grande relevância por integrar diversas informações físicas da bacia de tal forma que podem ser utilizados para auxiliar na caracterização da região, além de poder também ajudar no planejamento regional. Também pode ser utilizado para controlar o uso da terra frente a ocupação desordenada. Ademais, o estudo de campo também é de suma importância para a validação dos dados adquiridos e para a compreensão de eventuais variações espaciais dos parâmetros analisados.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. **Os domínios de Natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas**. Ateliê Editorial, São Paulo-SP, 4.ed. 2003, 151p.
- ABDEL-FATTAH, M.; SABER, M.; KANTOUSH, S. A.; KHALIL, M. F.; SUMI, T.; SEFELNASR, A. M. A hydrological and geomorphometric approach to understanding the generation of wadi flash floods. **Water**, v. 9, 2017.
- ALTAF, F.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A. Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India. **Geography Journal**, ID 178021, 2013.
- ANA. **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia Tocantins-Araguaia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), Agência Nacional de Águas, 2004.
- APARNA, P.; NIGEE, K.; SHIMNA, P.; DRISSIA, T. K. Quantitative analysis of geomorphology and flow pattern analysis of Muvattupuzha River Basin using Geographic Information System. **Aquatic Procedia**, n. 4, 2015.
- ARAÚJO, I. B.; LIMA, A. M. M.; SANTOS, C. A. Caracterização hidrogeomorfológica das paisagens componentes da bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Enciclopédia Biosfera**, v.11 n. 22, p. 2015.
- ARAVINDA, T.; BALAKRISHNA, H. B. Morphometric analysis of vrishabhavathi watershed using remote sensing and GIS. **International Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 02, n. 08, p. 514-522, 2013.
- CHRISTOFOLETT, A. Análise morfométrica de bacias hidrográficas. **Notícia Geomorfológica**, v. 18, n. 9, p. 35-64, 1969.
- CHRISTOFOLETT, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1980, 150p.
- DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das paisagens. In: JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do Pará**. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. Belém: CPRM - Serv. Geol. Brasil, p. 25-49, 2013.
- DIAS, F. G. **Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica do rio Acará, Amazônia Oriental: subsídios ao planejamento ambiental**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2019.
- EZE, E. B.; EFIONG, J. Morphometric Parameters of the Calabar River Basin: Implication for Hydrologic Processes. **Journal of Geography and Geology**, v. 2, n. 1, 2010.
- FERREIRA, S. C. G. **Sustentabilidade e valoração dos recursos hídricos da bacia do rio Moju**. 102 f. 2017. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2017.
- FERREIRA, S. C. G.; SILVA, L. M.; LIMA, A. M. M. CORRÊA, J. A. M. A sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Moju a partir de indicadores de disponibilidade e demanda. In: BORDALO, A. L.; SILVA, C. N.; SILVA, E. V. (Org). **Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações**. Belém-PA: GAPTA/UFGA, 2016, p. 601-629.
- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. **Hidrogeomorfologia**: princípios, conceitos, processos e aplicações. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 13, n. 2, p. 103-111, 2012.

GOMES, M. A. F.; PEREIRA, L. C. Aspectos geoambientais e áreas frágeis no Brasil.

GOODRICH, D. C.; BURNS, I. S.; UNKRICH, C. L.; SEMMENS, D. J.; GUERTIN, D. P.; HERNANDEZ, M.; YATHEENDRADAS, S.; KENNEDY, J. R.; LEVICK, L. R. KINEROS2/AGWA: model use, calibration, and validation. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 55, n. 4, 2012.

GORAYEB, A.; SOUZA, M.J.N.; ARAÚJO, L.F.P.; ROSA, M.F.; SILVA, E.V. Aspectos geoambientais, condições de uso e ocupação do solo e níveis de desmatamento da bacia hidrográfica do rio Curu, Ceará - Brasil. **GEOGRAFIA** – v. 14, n. 2, jul./dez. 2005 – Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Geociências.

GUILBERT, E.; MOULIN, B.; MURCIA, A. C. **Conceptual model for the representation of landforms using ontology design patterns**. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume III-2, 2016.

HORTON, R. E. Drainage basin characteristics. **Transaction of American Geophysics Union**, v. 13, 1932.

HORTON, R. E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. **Geological Society of American Bulletin**, v. 56, n. 3, 1945.

HUNGR, O.; EVANS, S. G.; BOVIS, M. J.; HUTCHINSON, J.N. A review of the classification of landslides of the flow type. **Environmental and Engineering Geoscience**, v. 7, n. 3, p. 221-238, 2001.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos de Geociências. Rio de Janeiro, 2009. n. 5, 182 p.

IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology**, v. 86, p. 409-440, 2007.

JAMES, M. J.; SANTOS JÚNIOR, A. E. A.; COSTA, J. S. Aspectos estratigráficos e análise de minerais pesados das formações Ipixuna, Barreiras e Pós-Barreiras, entre as cidades de Jacundá e Goianésia do Pará, sub-bacia de Mocajuba, sudeste do estado do Pará. **Geociências**, v. 37, n. 4, p. 759-773, 2018.

JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do Pará**. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. Belém: CPRM - Serv. Geol. Brasil, p. 25-49, 2013.

KOJIRI, T.; HAMAGUCHI, T.; ODE, M. Assessment of global warming impacts on water resources and ecology of a river basin in Japan. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 1, 2008.

KULKARNI, D. M. The basic concept to study morphometric analysis of river drainage basin: a review. **International Journal of Science and Research**, n. 4, v. 7, 2015.

LIMA, A. M. M. **O planejamento estratégico e a gestão da oferta hídrica baseados no estudo da paisagem, na bacia do rio Capim - PA.** 314 f. 2007. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2007.

LIMA, A. M. M.; PONTE, M. X. Dinâmica da Paisagem da Bacia do Rio Capim-Pa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p.127-142, 2012.

MARCHI, L.; CAVALLI M.; D'AGOSTINO, V. Hydrogeomorphic processes and torrent control works on a large alluvial fan in the eastern Italian Alps. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, n. 10, p. 547-558, 2010.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **R. RA'É GA**, n. 8, p. 83-91, 2004.

MINÁR, J.; EVANS, I. S. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. **Geomorphology**, v. 95, p. 236-259, 2008.

MOKARRAM, M.; AMOORTHY, D. S. Morphometric analysis of hydrological behavior of north fars watershed, Iran. **European Journal of Geography**, v. 6, n. 4, 2015.

MONTGOMERY, D. R.; BOLTON, S. M. Hydrogeomorphic Variability and River Restoration. In: WISSMAR, R. C. e BISSON, P. A. (ed.) *Strategies for Restoring River Ecosystems: Sources of Variability and Uncertainty in Natural and Managed Systems.* **American Fisheries Society Publication: Maryland**, p. 39-80, 2003.

NASCIMENTO, F. R.; CARVALHO, O. Bacias Hidrográficas como unidade de planejamento e gestão geoambiental: uma proposta metodológica. **Revista Fluminense de Geografia**, 2, 61-82. 2003.

NEGRON-JUARÉZ, R. I., Li, W.; FU, R.; FERNANDES, K.; de OLIVEIRA CARDOSO, A. Comparison of precipitation datasets over the Tropical South American and African Continents. **Jornal of Hydrometeorology**, v. 10, n. 1, p. 289-299, 2009.

NIKHIL RAJ, P. P.; AZEEZ, P. A. Morphometric Analysis of a Tropical Medium River System: A Case from Bharathapuzha River Southern India. **Open Journal of Modern Hydrology**, v. 2, 2012.

OKUNISHI K. Concept and methodology of hydrogeomorphology. Transactions, **Japanese Geomorphological Union**, 15A, p.5-18, 1994.

OKUNISHI, K. Hydrogeomorphological interactions: a review of approach and strategy. Transactions, **Japanese Geomorphological Union**, 12, p.99-116, 1991.

ORUONYE, E. D.; EZEKIEL, B. B.; ATIKU, H. G.; BABA, E.; MUSA, N. I. Drainage basin morphometric parameters of river Lamurde: implication for hydrologic and geomorphic processes. **Journal of Agriculture and Ecology Research**, v. 5, n. 2, 2016.

PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H.P. India. **International Journal of Remote Sensing and GIS**, v. 1, n. 1, 2012.

Process, 18, p. 597–602, 2004.

PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande-PB, v. 8, n. 2/3, p. 247-253. 2004

RAI, P. K.; MOHAN, K.; MISHRA, S.; AHMAD, A. A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. **Appl Water Sci**, v. 7, 2017.

Revista Intellectus, Jaguariúna, v. 1, n. 26, p. 5-19, 2014.

ROCHA, N. C. V. **Avaliação da sustentabilidade hídrica segundo os modelos de uso e ocupação do território na bacia do rio Guamá - Pará, Amazônia Oriental**. 98f. 2017. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2017.

ROSS, J. **Ecogeografia: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006, 208p.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992.

ROSSETTI, D. F. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 6, n. 2, p. 7-18, 2006.

SCHEIDEGGER, A.E. Hydrogeomorphology. **Journal of Hydrology**, 20, p.193-215. 1973.

SCHNEIDER, U. et al. GPCC Full Data Reanalysis Version 6.0 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data. 2011.

SCHUMM, S. A. Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, 1963.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597- 646, 1956.

SHIMADA, M.; ITOH, T.; MOTOOKA, T.; WATANABE, M.; TOMOHIRO, S.; THAPA, R.; LUCAS, R. New Global Forest/Non-forest Maps from ALOS PALSAR Data (2007-2010). **Remote Sensing of Environment**, 155, pp. 13-31, 2014.

SIDLE, R.C., ONDA, Y. **Hydrogeomorphology: overview of an emerging science**. Hydrol.

SOTCHAVA, V. O estudo do geossistema: método em questão. São Paulo: **IGEO-USP**, 1977.

SOUZA, M. J. N. Compartimentação geoambiental do Ceará. In: BORZACCHIELLO, J.; CAVALCANTE, T.; DANTAS, E. (Orgs.) 2. **Ed Ceará: um novo olhar geográfico**. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

STRAHLER, A. N. Dynamics basis of geomorphology. **Geophysical Society of American Bulletin**, v. 63, n. 9, 1952a.

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, 1952b.

STRAHLER, A. N. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, v. 8, n. 6, 1957.

STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: Chow, V. T. (ed) **Handbook of Applied Hydrology**. McGraw-Hill, New York, 1964.

SUKRISTİYANTI, S.; MARIA, R.; LESTIANA, H. Watershed-based Morphometric Analysis: A Review. **Earth and Environmental Science**, n. 118, 2018.

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

VASQUEZ, M. L.; COSTA, L. T. R. **Mapa Geológico do Estado do Pará**, escala: 1.000.000. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008.

WILFORD, D. J; SAKALS M. E.; INNES, J. L.; SIDLE, R.C.; BERGERUD, W. A. Recognition of debris flow, debris flood and flood hazard through watershed morphometrics. **Landslides**, n. 1, p. 61-66, 2004.

ZANATA, M.; PISSARRA, T. C. T.; ARRAES, C. L.; RODRIGUES, F. M.; CAMPOS, S. Influência da escala na análise morfométrica de microbacias hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.10, p.1062-1067, 2011.

APÊNDICE

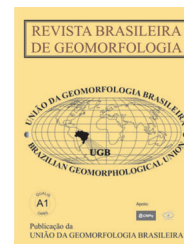


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, n° 4 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1920>



HIDROGEOMORFOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAMÁ - AMAZÔNIA ORIENTAL - BRASIL

HYDROGEOMORPHOLOGY OF THE GUAMÁ RIVER BASIN - EASTERN AMAZON - BRAZIL

Nicolau Akio Kubota

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará
Avenida Augusto Corrêa, 01, Belém, Pará. CEP: 66075-110. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8745-2370>
E-mail: nickubota@gmail.com

Aline Maria Meiguins de Lima

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará
Avenida Augusto Corrêa, 01, Belém, Pará. CEP: 66075-110. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0594-0187>
E-mail: ameiguins@ufpa.br

Nívia Cristina Vieira Rocha

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará
Avenida Augusto Corrêa, 01, Belém, Pará. CEP: 66075-110. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9808-5716>
E-mail: niviavieira.ciamb@gmail.com

Isabela Farias Lima

Instituto Tecnológico Vale
Avenida Boaventura da Silva, 955, Belém, Pará. CEP: 66055-090. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2206-7110>
E-mail: isabelafariaslimaa@gmail.com

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
01/05/2020
Aceito (Accepted):
19/06/2020

Palavras-chave:

Unidade de Paisagem; Escoamento Superficial; Vulnerabilidade.

Keywords:

Landscape Unity; Runoff; Vulnerability.

Resumo:

A bacia do rio Guamá, localizada no nordeste do estado do Pará, de relevante significado socioeconômico e ambiental para região, foi caracterizada em função da sua resposta hidrogeomorfológica utilizando a delimitação em Unidades de Paisagem, que representam o produto da interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico responsáveis pela sua dinâmica. A metodologia constou da integração cartográfica em Sistema de Informações Geográficas (SIG), associando os aspectos relativos a paisagem natural - as unidades geológicas, geomorfológicas, da rede de drenagem e a distribuição da precipitação pluviométrica; e o produto das formas de intervenção antrópica, na forma de uso e ocupação da terra. Os resultados obtidos revelaram que a região apresenta uma dinâmica natural crescente do Alto para o Baixo Guamá,

com variações de graus de vulnerabilidade das sub-bacias afluentes. As unidades geomorfológicas presentes são fortemente associadas ao controle litoestrutural, assim como a rede de drenagem, que é a principal definidora do escoamento superficial e do grau de dissecação/acumulação das formas de relevo.

Abstract:

The Guamá River basin, in the northeast of the state of Pará, with relevant socioeconomic and environmental significance, was described by its hydrogeomorphological response using the delimitation in Landscape Units, which represent the product of the interaction between the various attributes of the natural system and the anthropic system responsible for its dynamics. The methodology used cartographic analysis, in geographic information system (GIS), between natural landscape aspects (geological, geomorphological, drainage network, rainfall) and anthropic components (land use and occupation). The results obtained show an increase of natural dynamics from higher to lower Guamá, with variations in the degrees of the vulnerability of affluent sub-basins. The geomorphological units present are strongly associated with lithostructural control, as well as the drainage network. They define the surface runoff and the degree of dissection/accumulation of the relief forms.

Introdução

A bacia hidrográfica é a unidade ideal para a gestão de recursos naturais e para mitigação do impacto de desastres naturais e de origem antrópica (DAS, 2015). A análise do comportamento hidrogeomorfológico de bacias hidrográficas é importante, dentre outros aspectos, para o planejamento do uso dos recursos hídricos, uma vez que permite avaliar as características da bacia em termos de declividade, topografia, condição do solo, características de escoamento superficial e subterrâneo e outras. (SUKRISTIYANTI *et al.*, 2018). Destaca-se como estudos precursores os de Horton (1945), Strahler (1952) e Schumm (1963), e atualmente, o uso potencial de ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Sensoriamento Remoto (RS) que permitem investigar as características físicas da bacia hidrográfica de forma mais integrada a um grande número de variáveis, incluindo as formas de uso e cobertura da terra (NIKHIL RAJ; AZEEZ, 2012).

O arranjo de fluxos em um sistema de drenagem indica um padrão que sucessivamente se relaciona ao controle litoestrutural das rochas subjacentes. Assim, a morfologia da bacia de drenagem reflete os variados processos geológicos e geomorfológicos que condicionam a configuração do relevo ao longo do tempo (KULKARNI, 2015). O critério de análise da paisagem, no sentido de “Unidades de Paisagens Naturais”, neste contexto representa um ambiente dinâmico, sistêmico, com trocas de energia e matéria, em que se desenvolve o ser humano como ser social, não exclui a ação antrópica (MAXIMIANO, 2004). E sua resposta hidrogeomorfológica, possibilita, dessa forma, sua ava-

liação quantitativa em termos da conservação do solo e da água no contexto de gestão de recursos naturais (KULKARNI, 2015). As classificações hierárquicas adotadas dependem do contexto e cada ontologia (propriedade intrínseca) de domínio de formas de relevo (GUILBERT *et al.*, 2016).

Os modelos digitais de elevação (MDE), na avaliação das características do relevo, têm sido usados para gerar redes de fluxo que são utilizadas para deduzir parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas, tais como, ordem dos canais, comprimento dos canais, relação de bifurcação, densidade de drenagem, frequência de canais, textura de drenagem, fator de forma, coeficiente de manutenção e fator de forma (ALTAF *et al.*, 2013; MOKARRAM; AMOORTHY, 2015). Nesse sentido, a abordagem baseada em GIS facilita a análise desses diferentes parâmetros morfométricos e explora a relação entre a morfometria da rede de drenagem e as propriedades das geoformas (*landforms*), solos e áreas erodidas (PARETA; PARETA, 2012).

A avaliação morfométrica das bacias hidrográficas ainda permite elaborar um diagnóstico hidrológico primário de modo a prever o seu comportamento aproximado acoplado à geomorfologia e geologia (DAS, 2015). Possibilita adquirir dados mensuráveis da rede de fluxo da bacia de drenagem, que podem ser associados a vários fenômenos hidrológicos correlacionados às características fisiográficas (RAI *et al.*, 2017). As técnicas de geomorfologia quantitativa são satisfatórias para a maioria das bacias hidrográficas, no entanto sua aplicabilidade depende do padrão pluviométrico, da litoestrutura, do tipo de solo e do padrão de uso da terra de cada bacia

considerada (APARNA *et al.*, 2015). Isto implica que de forma individual a análise morfométrica pode não explicar todas as variações observadas, existindo a necessidade da agregação de outras variáveis, principalmente em bacias hidrográficas com forte grau de antropismo.

A bacia do rio Guamá representa a mais importante unidade hídrica da Região Metropolitana de Belém (RMB) e do Nordeste do Estado do Pará, onde a relação entre os parâmetros geomorfológicos e sua resposta hidrológica encontra como fator limitante o recobrimento insuficiente dos rios amazônicos por postos de monitoramento fluviométricos (ROCHA; LIMA, 2020), tornando assim, necessário aplicar modelos matemáticos ou de caracterização das condições de escoamento superficial (ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017). Nesta abordagem, busca-se identificar a resposta hidrogeomorfológica das bacias hidrográficas afluentes do rio Guamá, considerando a delimitação de Unidades de Paisagem, que representem a interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico responsáveis pela sua dinâmica.

Materiais e método

A bacia hidrográfica do rio Guamá localiza-se no nordeste do Estado do Pará, onde estão inseridos 19 municípios. A unidade hídrica que compõe a totalidade da bacia do rio Guamá é formada por um conjunto de sub-bacias. Porém, dadas as suas dimensões tem comportamento e dinâmicas próprias, por este motivo, se destaca apenas a bacia principal, que é representada pela área drenada pelo rio Guamá. A Figura 1 apresenta a divisão das sub-bacias e a Tabela 1 os trabalhos referentes elaborados para cada uma.

O rio Capim é o principal afluente do rio Guamá, drenando uma menor área do território maranhense. O rio Moju e o rio Acará apresentam sua foz integrada a do rio Guamá, todos com regime de maré associado. A Agência Nacional de Águas (ANA, 2004) admite inclusive a denominação Bacia do Guamá-Capim em função da expressão areal da bacia do rio Capim, que por ultrapassar o limite estadual é considerada uma bacia federal.

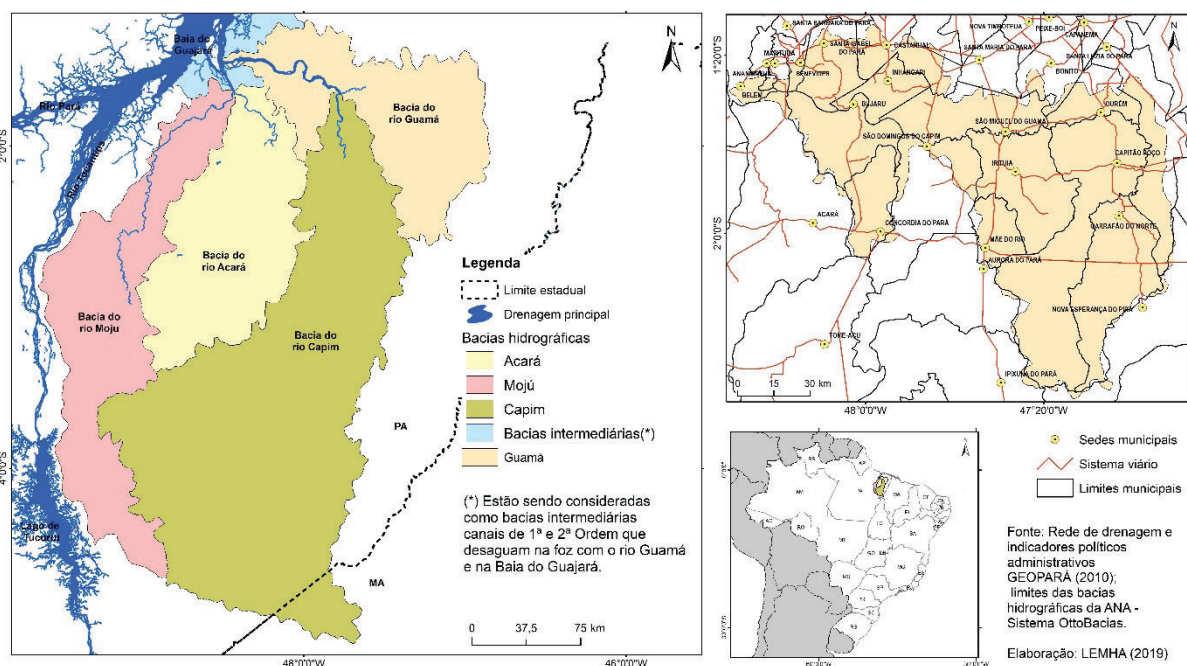


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia hidrográfica do Guamá.

Tabela 1: Dimensões das bacias hidrográficas e trabalhos de referência.

Bacias hidrográficas	Área	Referências bases
Rio Guamá	12584 km ²	Rocha (2017), Rocha e Lima (2020)
Rio Capim	37262 km ²	Lima e Ponte (2012)
Rio Acará	13569 km ²	Dias e Lima (2019)
Rio Moju	15727 km ²	Ferreira et al. (2020)

Na elaboração deste trabalho foram utilizadas as seguintes bases de dados vetoriais em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica):

- Modelo Digital de Elevação (MDE), produzido pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 metros, disponível no site da USGS (*United States Geological Survey*).

- Mapa geológico do Estado do Pará, elaborado pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), na escala de 1:1.000.000, no Programa Geologia do Brasil, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais.

- Rede de drenagem, escala 1:250.000, detalhada para a área de estudo, associada ao sistema de Otto Bacias, da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

- Dados de 19 estações pluviométricas obtidas pelo satélite meteorológico GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*), da série histórica 1985 a 2015, disponível no domínio da ESRL (*NOAA Earth System Research Laboratories*). Informação quanto ao uso destes para a América do Sul pode obtida em trabalhos como de Negrón-Juaréz *et al.* (2009) e Schneider *et al.* (2015).

- Carta de uso e cobertura da terra obtida pela plataforma *Google Earth Engine*, associada a Fusão de imagens: MCD12Q1.A2016001.h13v09.006, MODIS, de janeiro a dezembro de 2016; com o Global Forest/Non-Forest Map (FNF) gerado pela classificação de imagens SAR, com 25

metros de resolução, PALSAR-2/PALSAR SAR mosaico, de janeiro a dezembro de 2017. Onde a classe “floresta” é definida para áreas de floresta maiores que 0,5 hectares e acima de 10% de cobertura (SHIMADA *et al.*, 2014).

Todos os produtos cartográficos foram associados ao Datum SIRGAS 2000 e processados no Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA), do Instituto de Geociências da UFPA. Como no estudo da hidrogeomorfologia ainda não existe um padrão metodológico único (GOERL *et al.*, 2012), havendo diferentes procedimentos adaptados aos objetivos propostos para cada pesquisa, neste trabalho utilizou-se os descritos em Araújo *et al.* (2015), que se baseiam na caracterização, análise e avaliação dos atributos dos diferentes conjuntos de geoformas, tomando como critério fundamental as características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas da bacia. Foram adotados a identificação visual (rugosidade) dos padrões de geoforma semelhantes e os critérios descritivos das formas de relevo (ROSS, 1992; IBGE, 2009) (Figura 2). Em termos de nomenclatura e elementos descritivos bases foram utilizados os trabalhos de IBGE (2009) e Dantas e Teixeira (2013).

A caracterização morfométrica da bacia foi feita conforme definido e descrito em Pareta e Pareta (2012); Altaf *et al.* (2013), Kulkarni (2013), Oruonye *et al.* (2016) e Abdel-Fattah *et al.* (2017), pelo qual foram selecionados os parâmetros de maior correlação positiva (Tabela 2), em que as bases teóricas são vinculadas principalmente a Christofolletti (1980).

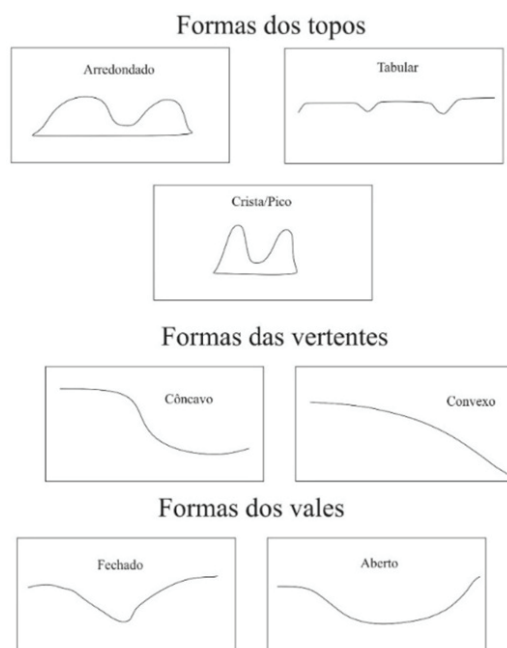


Figura 2 - Representação das geometrias de relevo, modificado de Araújo *et al.* (2015).

Tabela 2: Formulação de parâmetros morfométricos, com base em: Pareta e Pareta (2012), Altaf et al. (2013), Aravinda e Balakrishna (2013).

Parâmetros Morfométricos	Fórmulas	Observação
A	Área da bacia (Km ²)	
Lb	Comprimento da bacia tomado pelo seu curso mais longo (Km)	
P	Perímetro (Km)	
E_{max}	Maior eixo da bacia (Km)	
E_{men}	Menor eixo da bacia (Km)	
Lu	Comprimento total dos canais (Km)	
n	Número total de canais	
n_1	Número total de canais de primeira ordem	
n_2	Número total de canais de segunda ordem	
Δa	Amplitude altimétrica (m)	
Ordem dos canais	Foi seguido o procedimento de Strahler (1952).	
Índice de forma (Sw)	$Sw = Lb^2 / A$	Valores mais próximos de 1, sugerem comportamento mais circular da bacia; mais próximo de 0, a bacia tende a um padrão alongado.
Fator de Forma (K)	$K = A / Lb^2$	
Índice de Circularidade (Rc)	$Rc = 4\pi(\frac{A}{P^2})$	
Razão de Circularidade (Rcn)	$Rcn = A/P$	
Índice de forma equivalente ou Índice de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,282(\frac{A}{P^{1/2}})$	Quanto mais irregular for a bacia, maior será o valor associado.
Lemniscate's (k)	$K = E_{max}^2 / A$	Quanto maior o valor, mais irregular é a forma da bacia e mais heterogênea pode ser a rede.
Razão de Elongação (Re)	$Re = A / Lb$	
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = Lu / A$	Quanto maior o valor, maior o grau de retrabalhamento da bacia pela rede de drenagem.
Frequência dos canais (Fs)	$Dh = n / A$	
Intensidade de Drenagem (Di)	$Di = Fs / Dd$	
Gradiente de canais (G)	$Di = \Delta a / Lu$	Quanto maior o valor, maior o efeito da altimetria no relevo e no comportamento da rede de drenagem.
Índice de Eficiência de Drenagem (IED)	$IED = G \times Dd$	
Rugosidade (Rn)	$Rn = \Delta a / Dd$	
Textura de Drenagem (Dt)	$Dt = n / P$	Quanto maior o valor, maior o grau de retrabalhamento da bacia pela rede de drenagem.
Razão de Textura (T)	$T = n_1 / P$	
Textura topográfica (Tt)	$Tt = 10^{(0,219649+1,115 \log Dd)}$	
Índice de Canal (Ci)	$Ci = Lu / E_{men}$	Quanto maior o valor, maior o recobrimento da rede de drenagem.
Razão de comprimento (Re)	$Re = Lb / P$	
Extensão do percurso superficial (Eps)	$Eps = A / 2Lu$	Quanto maior o valor, menor o recobrimento da rede de drenagem.
Número de Infiltração (If)	$If = Fs \times Dd$	Valores altos favorecem o potencial de infiltração.
Coeficiente de Manutenção (Cm)	$Cm = A / Lu$	Determina a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente.
Índice de sinuosidade (Si)	$Is = Lu / E_{max}$	Quanto maior o valor, mais o curso grada de sinuoso para meandrante. E quanto menor, mais retilíneo.
Relação de bifurcação ($Rb_{1,2}$)	$Rb_{1,2} = n_1 / n_2$	Quanto maior o valor, maior o controle estrutural.

De forma complementar foi trabalhada a textura da superfície do terreno (*Terrain Surface Texture*) de Iwahashi e Pike (2007), que representa um procedimento interativo (em ambiente QGis), que implementa a classificação da topografia contínua, com base em 3

critérios taxonômicos: gradiente topográfico, convexidade local e textura da superfície, calculados a partir de um modelo de elevação digital de elevação (MDE). A Figura 3 ilustra os procedimentos de análise adotados.

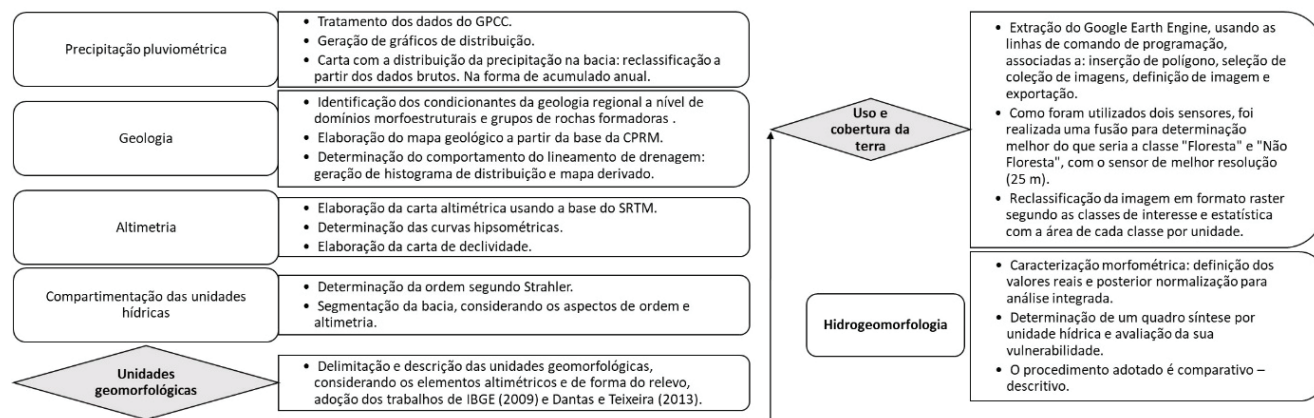


Figura 3 - Procedimentos adotados.

No presente trabalho, metodologicamente adotou-se a compartimentação da bacia em sub-unidades, que caracterizam as principais bacias afluentes e a segmentação do curso principal do rio Guamá, a mesma adotada por Rocha (2017). A primeira etapa foi a definição da Ordem dos Canais segundo o sistema de codificação de Strahler (1952). Ressalte-se que esta ordem é relativa à escala de trabalho, neste caso a rede foi adaptada (adensada) de IBGE (2017), originalmente foi digitalizada na escala 1:250.000, e a bacia do rio Capim não foi associada.

A base cartográfica passou a constituir um SIG onde na forma de tabelas, cujos dados vetoriais e rasterizados foram executados por meio de diversos procedimentos de análise (interseção, superposição cartográfica, reclassificação). Em relação ao suporte estatístico nas análises, foram usados os elementos de estatística básica: média, mediana, quartil e histogramas de distribuição; sendo que na análise da altimetria foram

elaboradas curvas hipsométricas, seguindo as orientações constantes em Pareta e Pareta (2012).

Resultados e discussão

A distribuição pluviométrica da região é apresentada em termos de médias mensais (Figura 4) e totais anuais (Figura 5) para o período de análise. Tais dados, contribuem para classificar o clima da região que pode variar entre *Af* (clima tropical úmido ou equatorial), *Aw* (clima subtropical com chuvas de inverno) e *Amw* (clima de monção com chuvas de inverno) conforme a classificação de Köppen, sendo compreendida como a Zona Tropical Chuvosa, com maior incidência de chuvas no período de janeiro a maio e o mais seco de agosto a outubro. As temperaturas variam de 38 °C a 22 °C, com precipitação média em torno de 2000 mm³.ano⁻¹ e unidade relativa do ar aproximada de 85% (FISCH *et al.*, 1998). A Figura 5 ilustra que os maiores volumes de chuva se concentram próximo a foz e os menores nas cabeceiras, que vão marcar o Alto rio Guamá.

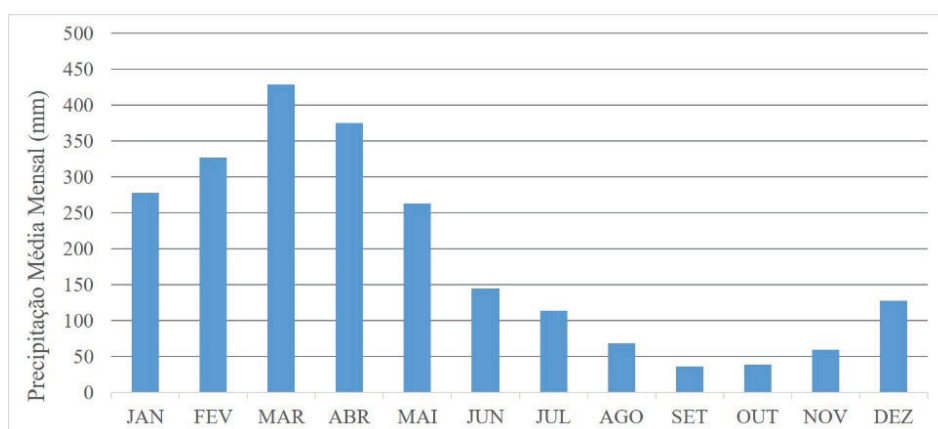


Figura 4 - Precipitação média mensal da série histórica de 1985-2015 e média da série histórica. Fonte: Base do GPCC.

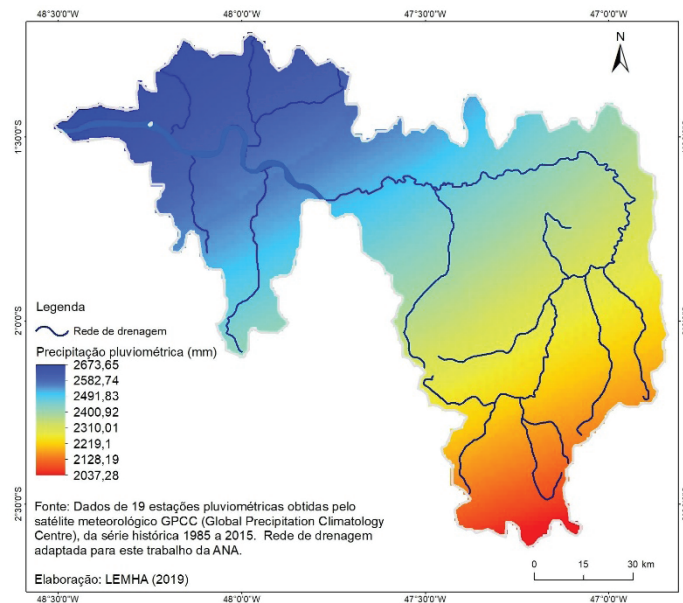


Figura 5 - Distribuição da Precipitação Pluviométrica na bacia do rio Guamá.

A região apresenta um período menos chuvoso de agosto a novembro e um período mais chuvoso de fevereiro a abril. No período menos chuvoso a precipitação média mensal fica em torno de 50,9 mm, enquanto no período mais chuvoso, a média mensal de chuva atinge 377 mm. Assim, o período chuvoso favorece o escoamento superficial, em decorrência do alto índice pluviométrico, mas depende da variabilidade da estrutura geológica da região, que pode induzir tanto o potencial direto de escoar, quanto o de infiltrar.

As unidades geológicas da bacia hidrográfica são representadas, segundo Vasquez e Costa (2008)

e Rocha (2017), por rochas da Bacia do Grajaú (S-ESE), Bacia do Marajó (WSW), Bacia do Parnaíba (N), Cinturão Gurupi (NE) e pela Plataforma do Pará e Bragançana (Figura 6). Rossetti (2006) compartimenta a região em: depósitos miocênicos representados pelas formações Pirabas (Neo-Oligoceno/Eomioceno) e Barreiras (Meso a Neomioceno), em diferentes contextos estruturais ao norte da Bacia de São Luís, centro-leste da sub-bacia de Cametá, na porção leste do Sistema de Graben do Marajó e na Bacia de Bragança-Vizeu; representando estruturas alongadas segundo a direção NE-SE (Figura 7).

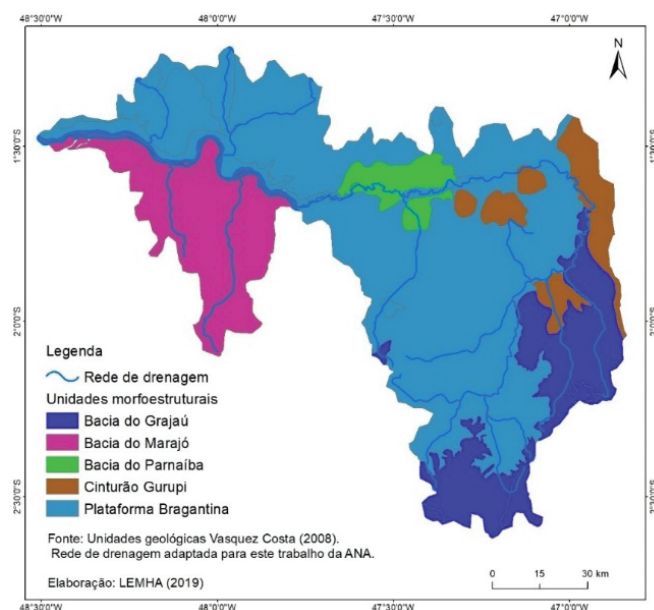


Figura 6 - Unidades Morfoestruturais componentes da bacia do rio Guamá.

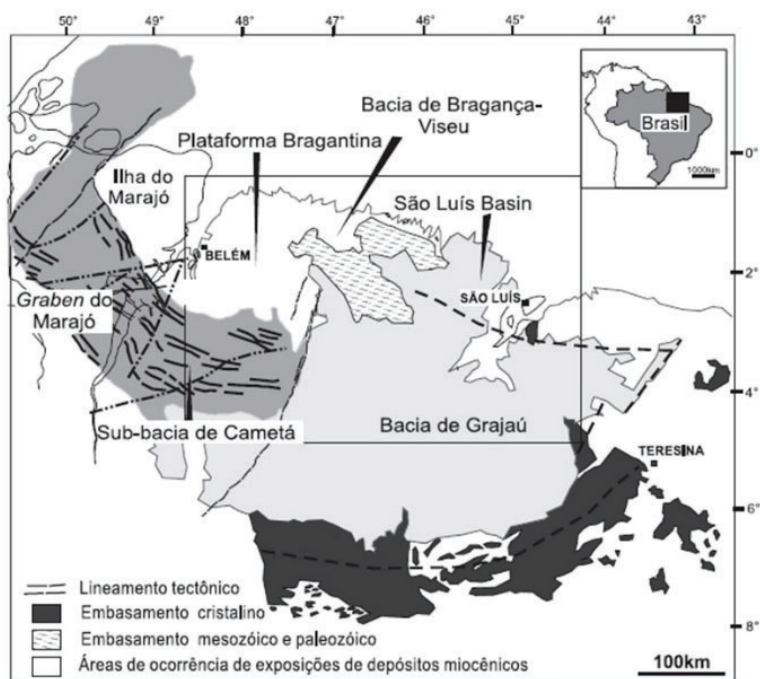


Figura 7 - Bacias sedimentares e plataformas na região nordeste do Pará e Oeste do Maranhão. Fonte: Rossetti (2006).

João *et al.* (2013) descrevem a mesma região como formada por domínios pré-cambrianos do Fragmento Cratônico São Luís, Cinturão Gurupi e da Província Parnaíba, sendo constituída principalmente pelas unidades: Plataformas Cenozoicas - Plataforma Pará (PPA) e Plataforma Bragantina (PBR); e pelas Bacias Sedimentares do Bacia do Parnaíba (BPR) e Bacia do Grajaú (BGR). A Figura 8 apresenta as unidades componentes

conforme descrito por Vasquez e Costa (2008). Estas representam coberturas sedimentares formadas por um conjunto heterogêneo (arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos), além de coberturas arenosas, de cascalho e lateríticas. A borda leste é predominantemente formada por rochas ígneas e metamórficas diversas vinculadas a Bacia do Grajaú e ao Cinturão Gurupí (Figura 9).

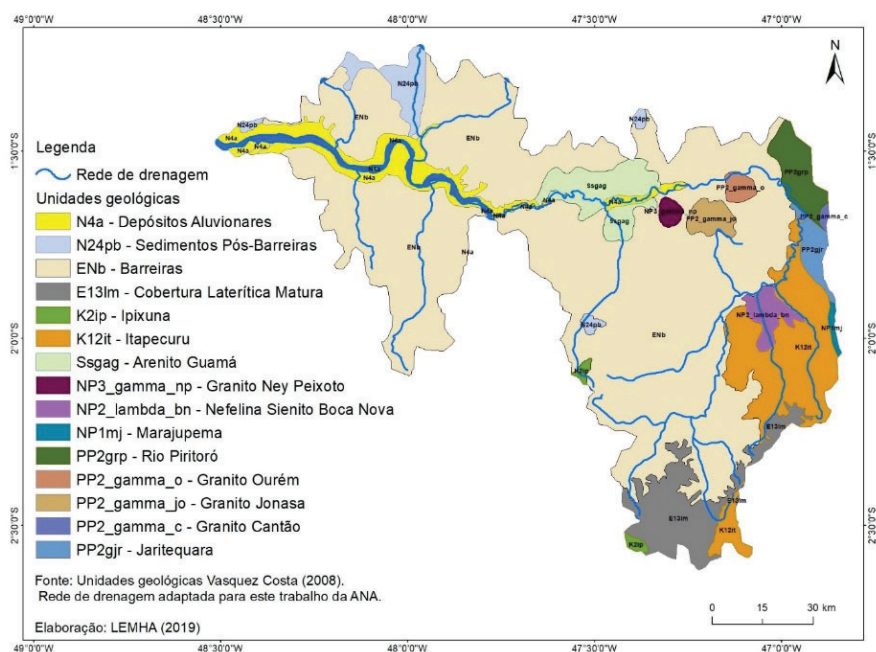


Figura 8 - Unidades geológicas componentes da bacia do rio Guamá.

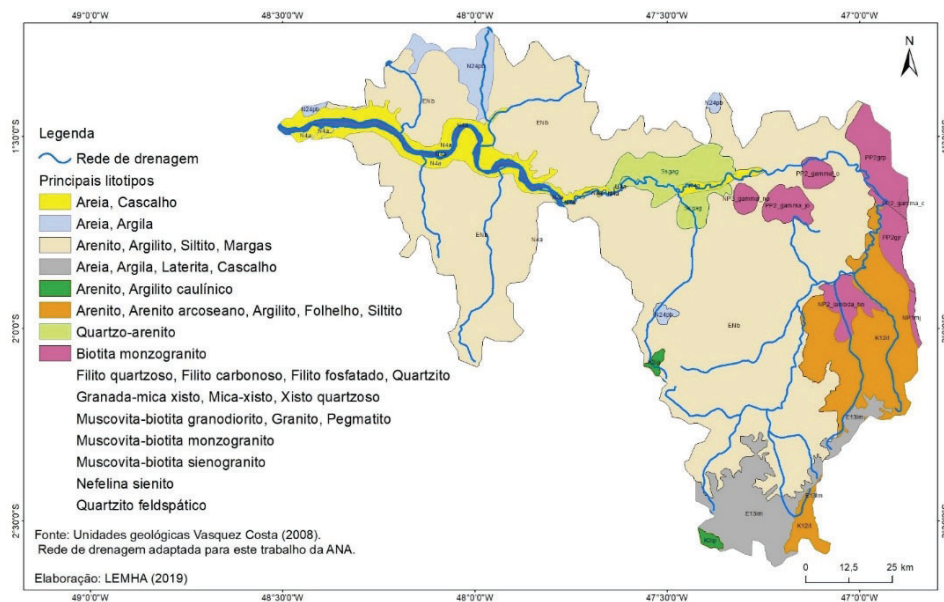


Figura 9 - Principais ocorrências de litotipos nas unidades geológicas componentes da bacia do rio Guamá.

O detalhamento da rede de drenagem permitiu identificar que o comportamento dos lineamentos de drenagem acompanha o padrão NW-SE, como destacado por Rossetti (2006), sendo em segundo plano, mas fortemente presente o comportamento NE-SW (Figura 10). Em termos de potencial erosivo, as coberturas predominantemente sedimentares na bacia favorecem o retrabalhamento das rochas a partir do escoamento superficial e ação das gotas de chuva (erosividade).

Outro fator associado é a presença de coberturas geradas pela ação do intemperismo, conforme eviden-

ciado por James *et al.* (2018), que descrevem também a ocorrência de pacotes sedimentares formados por arenitos argilosos maciços de coloração amarelada com marcas de raízes, fragmentos de lateritas de tamanho variando de seixos a blocos e relictos de lateritas colunar de coloração avermelhada; brecha maciça conglomerática de seixos de fragmentos de argilitos de coloração avermelhada; além de perfil de solo composto por arenitos argiloso, maciço de coloração avermelhada, representando a base do afloramento.

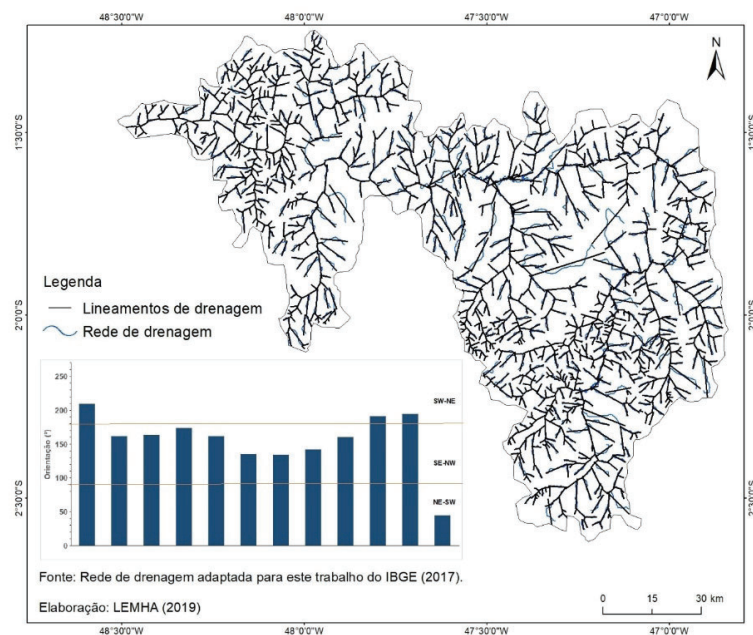


Figura 10 - Comportamento dos lineamentos de drenagem.

A Figura 11 apresenta a variação altimétrica da bacia, com os maiores valores marcando a porção extremo sul e os menores próximo a foz. Pareta e Pareta (2012) relacionam a hipsometria de uma bacia hidrográfica aos processos associados ao intemperismo das rochas, movimentos de massa e escoamento das águas, podendo definir regiões com diferentes estágios de desenvolvimento e estrutura geológica, sendo o Percentual Hipsométrico (H_i) a relação entre a altura relativa e área relativa em relação à altura total e à área total de uma bacia de drenagem; em que valores próximos de zero (0) implicam em menor volume de terreno disponível para erosão (áreas mais evoluídas, com formas mais aplainadas), e os mais próximos de um (1) implicam em maior retrabalhamento erosivo (áreas ativas com remoção e transporte de sedimentos). Para a totalidade da bacia do rio Guamá obteve-se um $H_i = 0,67$ o qual pode ser interpretado como moderado.

A Figura 12 mostra que as maiores variações de declividade estão situadas na borda leste, coincidindo com as maiores altitudes. O principal agrupamento corresponde a faixa inferior a 3° (55,4%), seguido do percentual entre 3° a 5° (25,9%), caracterizando o domínio de declividades suaves em cerca de 80% da bacia.

Ressalta-se que a relativa homogeneidade do relevo é decorrente da compartimentação regional na qual é inserida, em quase a sua totalidade, nos tabuleiros da zona Bragantina (DANTAS; TEIXEIRA, 2013).

A bacia do rio Capim, segundo Lima e Ponte (2012), deságua no rio Guamá na 6ª Ordem (escala 1:250.000), assim pode-se considerar que ao receber o rio Capim a sua Ordem passa para a 7ª Ordem, até a foz, uma vez que segundo Ferreira *et al.* (2020) a bacia do rio Moju é de 5ª Ordem (escala 1:250.000) e de acordo com Dias e Lima (2019) a bacia do rio Acará é de 4ª Ordem (escala 1:250.000), em ambos os casos a maior ordem não iria ser afetada (Figura 13). A unidade hídrica adotada seguiu os conceitos discutidos em Teodoro *et al.* (2007) na categoria de sub-bacia, estas foram justificadas a partir da altimetria e das maiores ordens. Segmentando desta forma a bacia em 8 sub-bacias: Alto Guamá (28%); Médio Guamá Leste (16%); Baixo Guamá (13%); Rio Mãe do Rio (13%); Médio Guamá Oeste (12%); Rio Bujarú (8%); Rio Apeú (6%); e Rio Sujo (4%). Considerando as Unidades Taxonômicas de IBGE (2009) e elementos descritivos do terreno que constam em Dantas e Teixeira (2013) foram compartimentadas 24 Unidades Geomorfológicas (UG) (Figura 14).

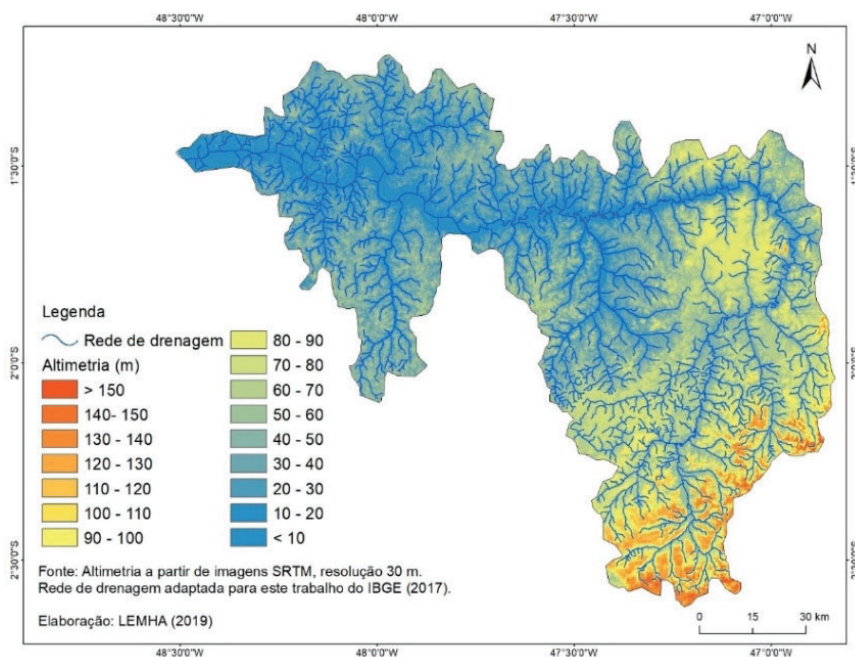


Figura 11 - Comportamento da altimetria na bacia do rio Guamá.

A Plataforma do Pará e Bragantina (60%) representa a unidade dominante, seguida da Bacia do Grajaú (15%) e da Bacia do Marajó (15%). No referente as sub-bacias há uma elevada fragmentação, com poucas

unidades ocorrendo como dominantes, destacando-se: o Alto Guamá, representado principalmente pelas Unidades I (7,24%) e XX (8,88%); o rio Sujo pela Unidade II (2,24%); o rio Mãe do Rio pela Unidade XXII (6,93%);

o Médio Guamá Leste pelas Unidades VII (2,04%), XX (2,86%) e XXI (2,07%); o Médio Guamá Oeste pela Unidade XXII (5,69%); o rio Bujarú pela Unidade XVII (6,65%); o rio Apeú pela Unidade XXII (5,93%); e o Baixo Guamá pelas Unidades XVII (4,16%) e XXII (5,59%). A variação hipsométrica calculada da bacia também reflete a heterogeneidade dos modelados. A

bacia do rio Guamá apresentou um valor de H_i de 0,67 considerado como um comportamento mediano, embora as variações de modelados de maior e menor estabilidade na bacia tenham sido registradas. Os valores mais próximos de 0 foram observados no rio Bujarú (0,19), Médio Guamá Oeste (0,25) e Baixo Guamá (0,31) e de 1 no Alto Guamá (0,62) (Figura 15).

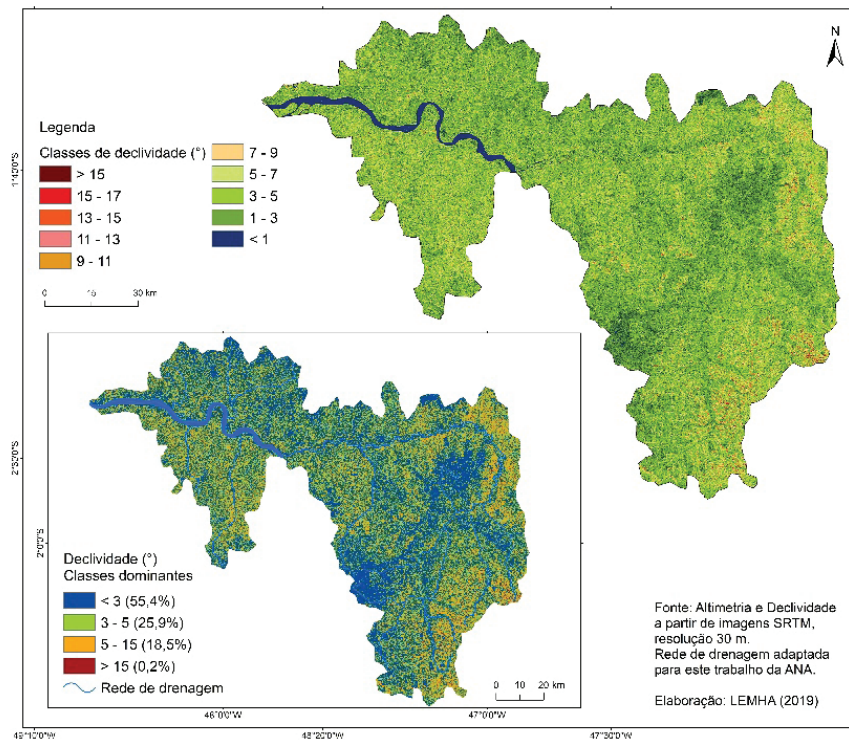


Figura 12 - Classes de declividade identificadas na bacia do rio Guamá.

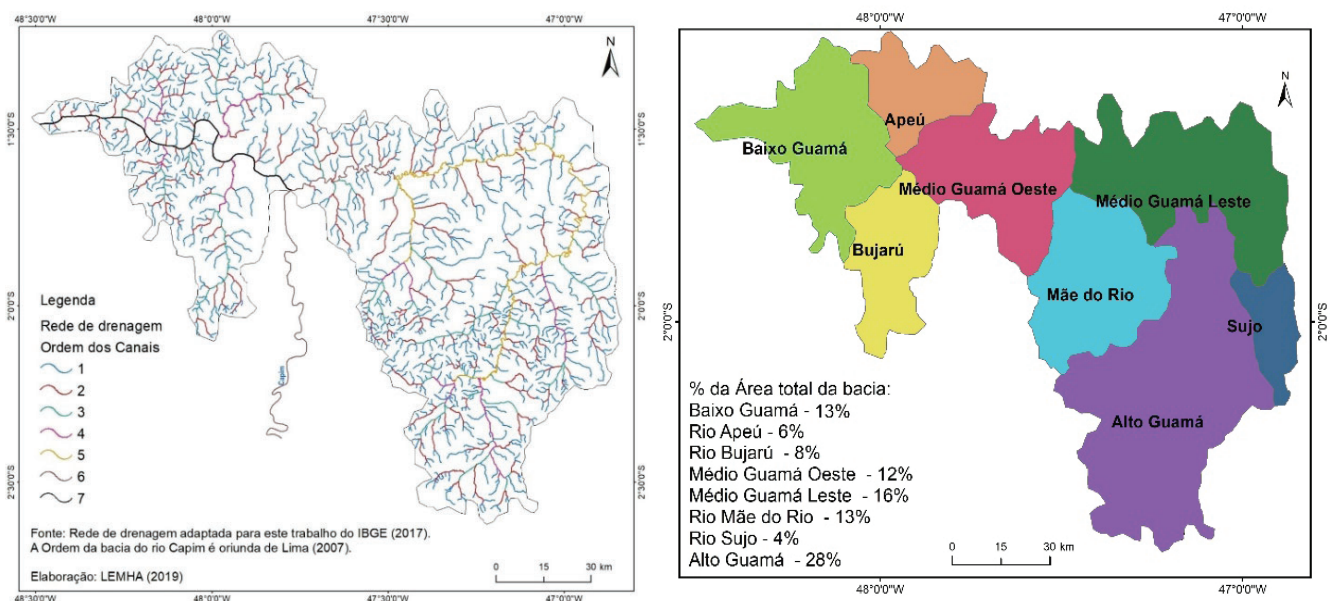


Figura 13 - Ordem dos canais e sub-divisão adotada.

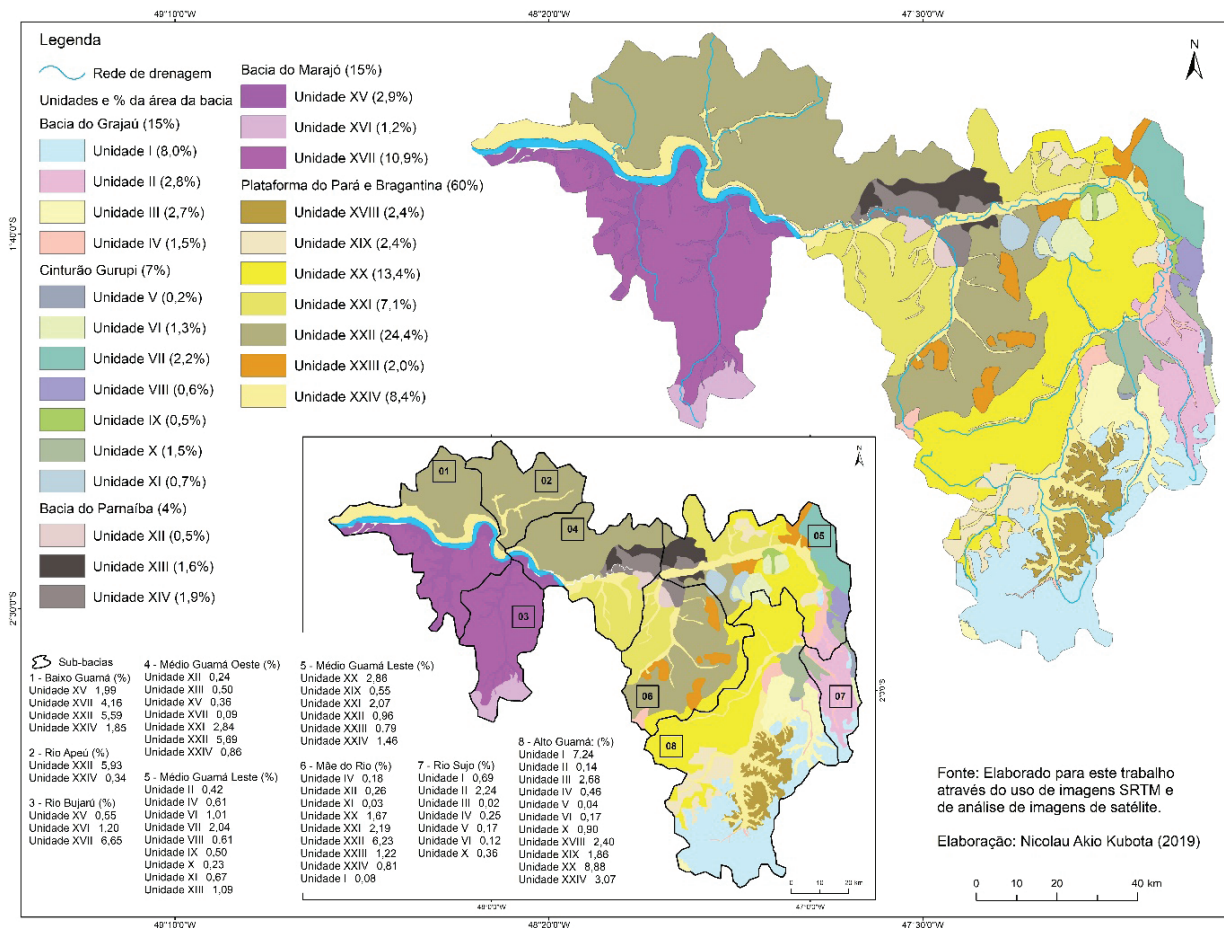


Figura 14 - Mapa geomorfológico com as 24 unidades geomorfológicas propostas.

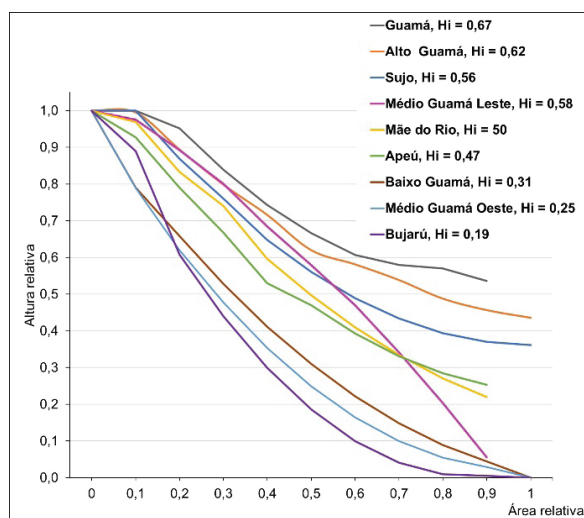


Figura 15 - Comportamento hipsométrico da bacia do rio Guamá.

As unidades foram identificadas e descritas em função dos diferentes Domínios Morfoestruturais (DM) que estão inseridos, entretanto existem UGs que apresentam semelhanças entre as mesmas (Quadro 1). Constatou-se uma forte complexidade do relevo em direção à porção oriental da bacia, que abrange principalmente o

Médio Guamá Oeste e o Alto Guamá (incluindo a bacia do rio Sujo), coincidindo com o divisor topográfico que marca o limite com a bacia do rio Gurupi. O predomínio nesta área é de formas de dissecação, enquanto que o Baixo Guamá é marcado por uma ampla área com formas de acumulação.

Quadro 1: Descrição segundo os Domínios Morfoestruturais (DM) das diferentes Unidades Geomorfológicas (UG) formadoras da bacia do rio Guamá. E sua representatividade percentual no total da área da bacia.

DM	UG	Descrição
Bacia do Grajaú (15%)	I (8,0%)	Área com maiores altitudes apresentando orientação em N-S e NE-SW. Possui superfícies suavemente onduladas. Apresenta escarpas abruptas e suavemente inclinadas. São caracterizadas ainda por formas de topo sinuosos, com vertentes convexo-retilíneas e vales abertos em forma de U, quando associados a cursos de água de 1ª ordem podem apresentar vales em forma de V.
	II (2,8%)	Relevo suavemente ondulado a plano, constituído por vales abertos, localmente fechados, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topos semiangulares e localmente planos.
	III (2,7%)	Relevo suavemente ondulado, constituído por um conjunto de morros com vales abertos, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topo planos a arredondados.
	IV (1,5%)	Relevo suavemente ondulado, localmente plano, constituído por um conjunto de morros com vales fechados, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topo arredondados e localmente angulares.
Cinturão Gurupi (7,0%)	V (0,2%)	Região de elevadas altitudes apresentando morros com orientação em N-S e E-W. Possui superfícies suavemente onduladas. É caracterizado por formas de topo angulosos, com vertentes retilíneas a côncavas formando vales abertos.
	VI (1,3%)	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por colinas de baixa amplitude e áreas aplainadas. Estas possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado.
	VII (2,2%)	Relevo ondulado, representado por colinas de baixa amplitude com topos arredondados e localmente angulares. Estas possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	VIII (0,6%)	Relevo ondulado, localmente aplainado, representado por morros de baixa amplitude com topos arredondados. Possuem vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas.
	IX (0,5%)	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por morrotes e áreas aplainadas. Estas possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo arredondado.
	X (1,5%)	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por extensas colinas de baixa amplitude. Estas possuem vales fechados e localmente abertas, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado.
	XI (0,7%)	Relevo suavemente ondulado constituído por colinas com vales abertos, vertentes retilíneas e côncavas, bem como formas de topo arredondado e, localmente, plano.
Bacia do Parnaíba (4,0%)	XII (0,5%)	Relevo ondulado, representado por morros de topos arredondados a planos. Estas possuem vales fechadas e localmente abertas, com vertentes convexo-retilíneas.
	XIII (1,6%)	Relevo ondulado a suavemente ondulado, representado por morros de topos arredondados a planos e pontualmente angulares. Estas possuem vales fechados e localmente abertos, com vertentes convexo-retilíneas.
	XIV (1,9%)	Relevo suavemente ondulado a plano, caracterizadas por vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado e localmente angulares, além de áreas aplainadas.
Bacia do Marajó (15%)	XV (2,9%)	Relevo plano em regiões de planície, propício a acumulação de sedimentos e inundações, caracterizadas por vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a suavemente arredondado.
	XVI (1,2%)	Relevo ondulado a suavemente ondulado, representado por elevações de topos arredondados e pontualmente angulares. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XVII (10,9%)	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por morros de topos arredondados a plano. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
Plataforma do Pará e Bragançinha (60%)	XVIII (2,4%)	Relevo ondulado constituído por serras associadas a regiões de planalto. Estas feições apresentam vales abertos, vertentes côncavo-convexas e formas de topo arredondado.
	XIX (2,4%)	Relevo suavemente ondulado e localmente plano, representado por chapadas e morros de topos arredondados angulares. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XX (13,4%)	Relevo suavemente ondulado e localmente ondulado, representado por platôs e morros de topos arredondados e angulares. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXI (7,1%)	Relevo ondulado e suavemente ondulado, representado por morros de topos arredondados e angulares. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXII (24,4%)	Relevo suavemente ondulado a ondulado, representado por morros de topos arredondados e localmente com regiões aplainadas. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXIII (2,0%)	Relevo ondulado a plano, representado por morros de topos arredondados. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXIV (8,4%)	Relevo plano em regiões de planície, propício a acumulação de sedimentos e inundações, caracterizadas por vales abertos e localmente fechados com vertentes que variam em côncavo-retilíneas a côncavo - retilíneas e formas de topo plano a suavemente arredondado.

Como discutido por Minár e Evans (2008), as formas de cobertura são condicionantes que interferem no modelado, por propiciarem uma maior/menor ação dos agentes intempéricos. Na bacia do rio Guamá prenomina áreas alteradas, com as manchas associadas a áreas com cobertura vegetal restritas de forma mais densa no Baixo Guamá, em decorrência da presença de áreas protegidas. Observa-se como fator positivo a manutenção da cobertura

vegetal também na bacia do rio Bujarú, conforme já apresentado por Rocha e Lima (2020). O Médio Guamá Oeste e o Alto Guamá são as regiões de maior comprometimento, juntamente com a área delimitada pela sub-bacia Mãe do Rio (Tabela 3, Figuras 16 e 17). A relação entre o modelado natural e os agentes naturais e antrópicos de maior intervenção na paisagem, tem como resultado a variabilidade espacial da rede de escoamento (drenagem) na bacia.

Tabela 3: Distribuição das principais classes de cobertura e uso da terra, no total da bacia e por unidade hídrica (SB). (1) Cobertura vegetal, (2) Cobertura vegetal com ocorrência de áreas alteradas, (3) Agropecuária, (4) Áreas de ocupação (cidades, vilas, povoados), (5) Massa d'água.

Classes	Área total (km ²)	Área (%) total	SB Alto Guamá (%)	SB Baixo Guamá (%)	SB Rio Apeú (%)
1	4391	34,90	29,1	55,0	39,3
2	3466	27,54	16,5	30,9	35,9
3	4485	35,64	54,2	4,2	23,0
4	142	1,13	0,2	5,3	1,8
5	99	0,79		4,6	
Classes (%)	SB Rio Mãe do Rio (%)	SB Médio Guamá Leste (%)	SB Médio Guamá Oeste (%)	SB Rio Bujarú (%)	SB Rio Sujo (%)
1	19,5	33,6	29,2	46,5	41,0
2	19,9	23,1	43,0	50,6	30,7
3	60,6	43,2	24,8	2,9	28,3
4		0,2	1,7	0,1	
5			1,4		

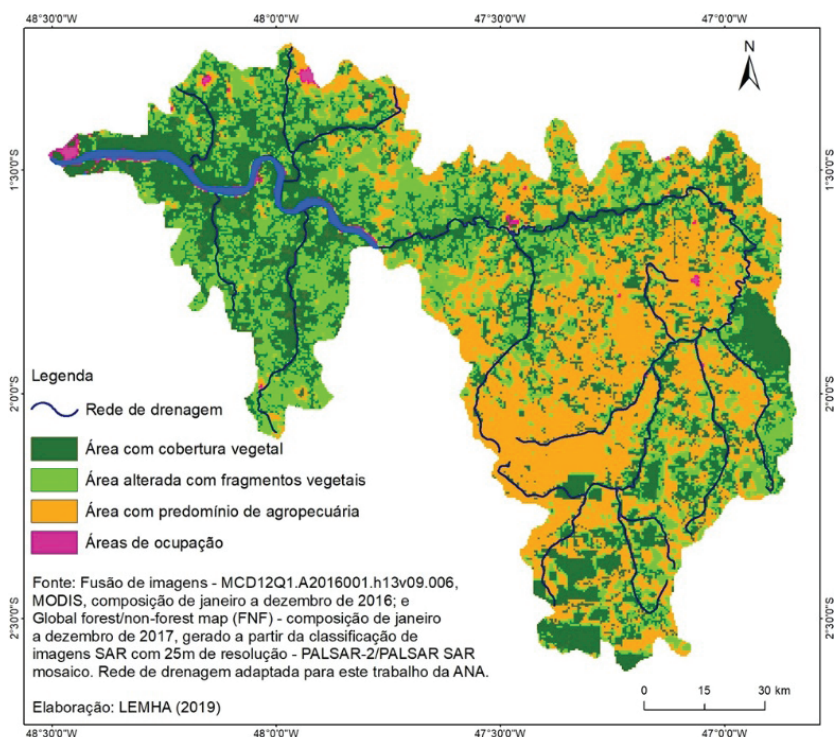


Figura 16 - Padrão de uso e cobertura da terra.

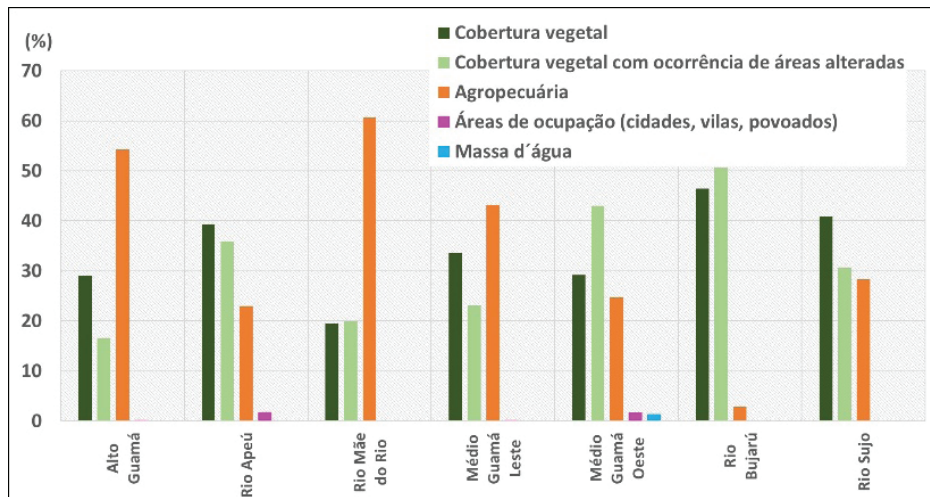


Figura 17 - Comportamento do uso e cobertura da terra na bacia do rio Guamá, por unidade hídrica.

A segmentação do curso do rio Guamá em Alto, Médio (Oeste e Leste) e Baixo Guamá, mostra diversificação, pois além do efeito do vale principal, encontram-se somados os relativos às bacias de primeira a terceira ordem componentes. Com relação à forma (Figura 18), as formas mais irregulares (afastadas do padrão circular) irão potencializar o escoamento su-

perficial (ORUONYE *et al.*, 2016; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017)). Os indicadores de Fator de forma (K), Índice de forma (Sw), Razão de Circularidade (Rcn), Índice de Circularidade (Rc) e Índice de forma equivalente (Kc), todos apresentaram valores menores que 0,5, sendo Rcn e Kc bem sensíveis ficando em todos os casos inferiores a 0,2.

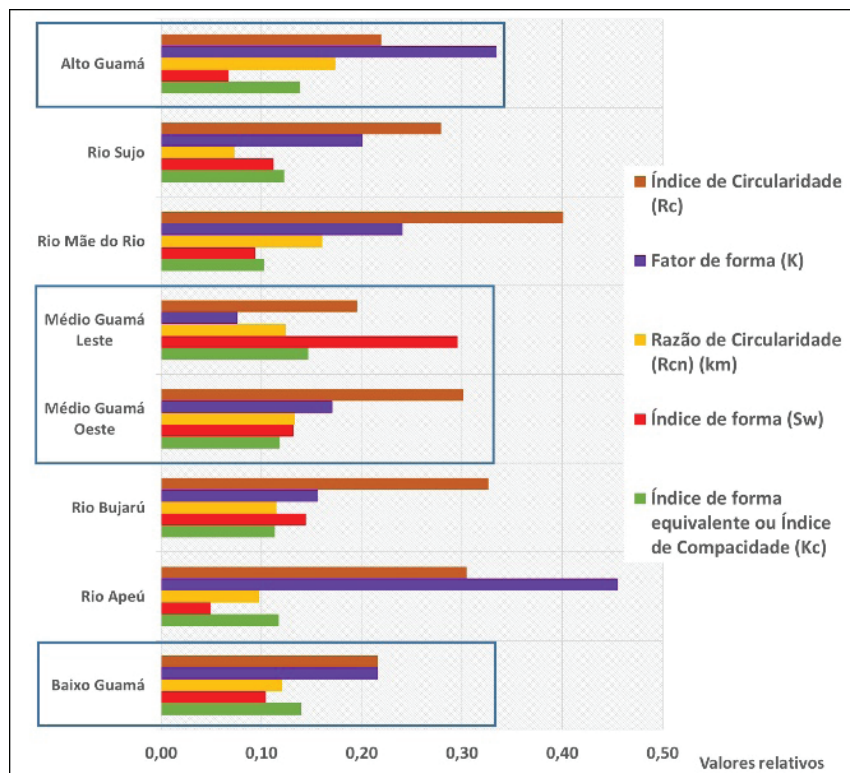


Figura 18 - Avaliação segundo: Fator de forma (K), Índice de forma (Sw), Razão de Circularidade (Rcn), Índice de Circularidade (Rc) e Índice de forma equivalente (Kc) (valores normalizados para 0 a 1).

A Tabela 4 apresenta também esse contexto, indicando que a relação entre o maior e o menor eixo da bacia. Em algumas situações o maior eixo chega a ser quase 50% superior ao menor. Tal comportamento também é compatível com o observado quanto aos lineamentos de drenagem, que acompanham prefe-

rencialmente a direção do maior eixo de cada unidade (Figura 19). Essa associação reforça a interpretação do comportamento do escoamento superficial e sua relação com o padrão de geoformas no terreno, por interferir diretamente na tendência espacial de incidência dos processos de dissecação/acumulação.

Tabela 4: Descrição geométrica geral.

Unidades hídricas (Sub-bacias)	Área (Km ²)	Perímetro (km)	Maior eixo (m)	Menor eixo (m)	Relação entre os eixos (%)	Orientação do eixo da bacia (°)	
Rio Guamá	12583,88	1064,08	86771,46	46169,67	46,79	148,95	NW-SE
Baixo Guamá	1705,39	314,64	25514,77	21148,83	17,11	122,65	NW-SE
Rio Apeú	793,17	180,86	17967,89	14006,67	22,05	176,69	NW-SE
Rio Bujarú	1020,83	198,20	25801,11	12541,84	51,39	82,68	NE-SW
Médio Guamá Oeste	1487,99	248,99	25673,37	18464,04	28,08	151,12	NW-SE
Médio Guamá Leste	1994,70	358,00	34233,65	18687,41	45,41	161,23	NW-SE
Rio Mãe do Rio	1622,58	225,45	25321,75	20446,84	19,25	70,38	NE-SW
Rio Sujo	483,44	147,41	19056,71	8016,11	57,94	100,08	NW-SE
Alto Guamá	3475,79	445,95	46472,45	23821,77	48,74	72,18	NE-SW

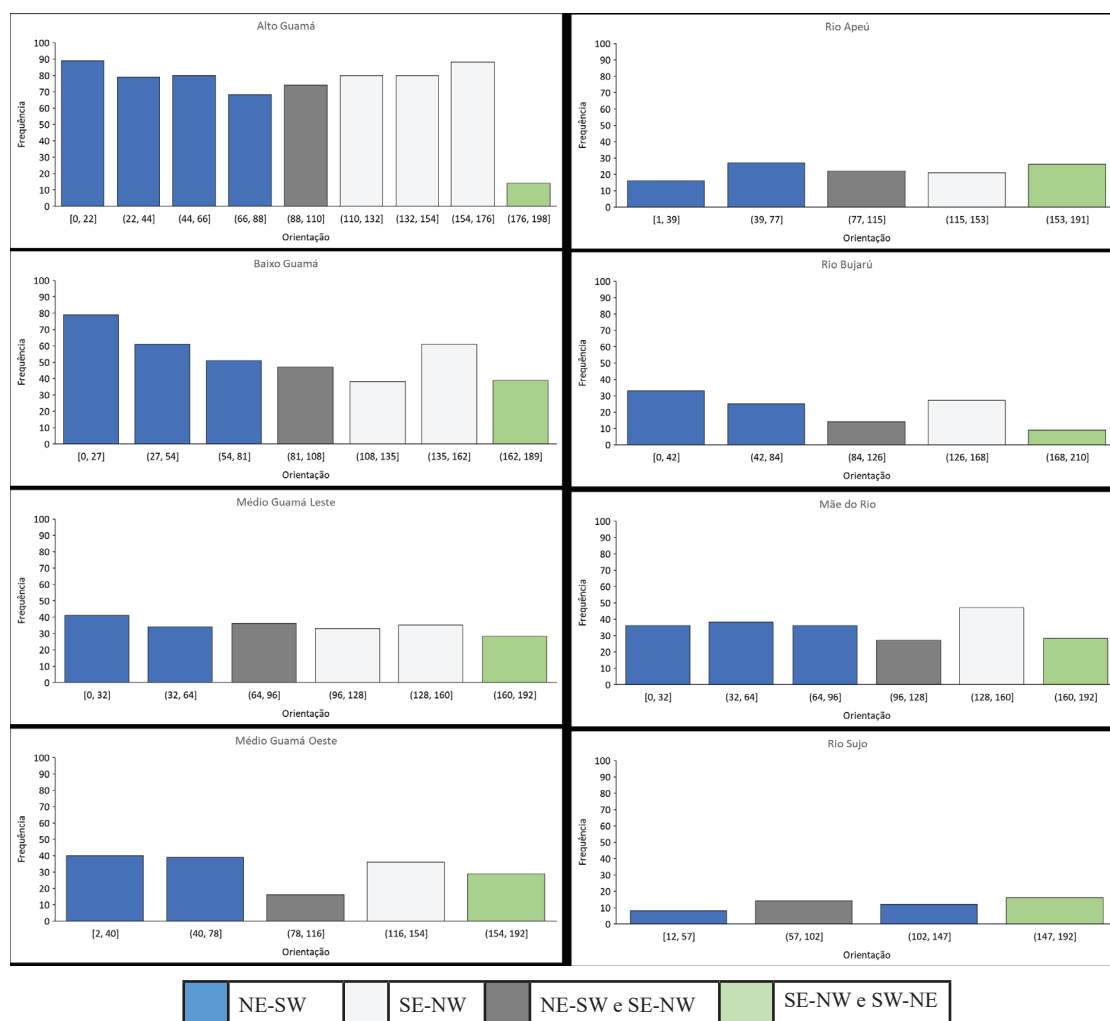


Figura 19 - Histograma de distribuição dos lineamentos de drenagem.

Os índices de: Lemniscate's (k), Razão de elongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais (Fs) e Intensidade de Drenagem (Di) tendem a caracterizar a maior homogeneidade da distribuição da rede na área da bacia (ALTAF *et al.*, 2013). Quando a relação é comprimento de canais pela área da bacia o resultado é mais evidente, se comparado quando o

elemento de análise é o número de canais pela área da bacia (Figura 20). Como o número de canais depende da escala de análise este pode variar. A Tabelas 5 ilustra a influência da determinação da primeira ordem, quanto ao comprimento/número total de canais, em todos os casos avaliados. Quanto ao comprimento da 1º Ordem, estes chegam a ser superiores a 50%.

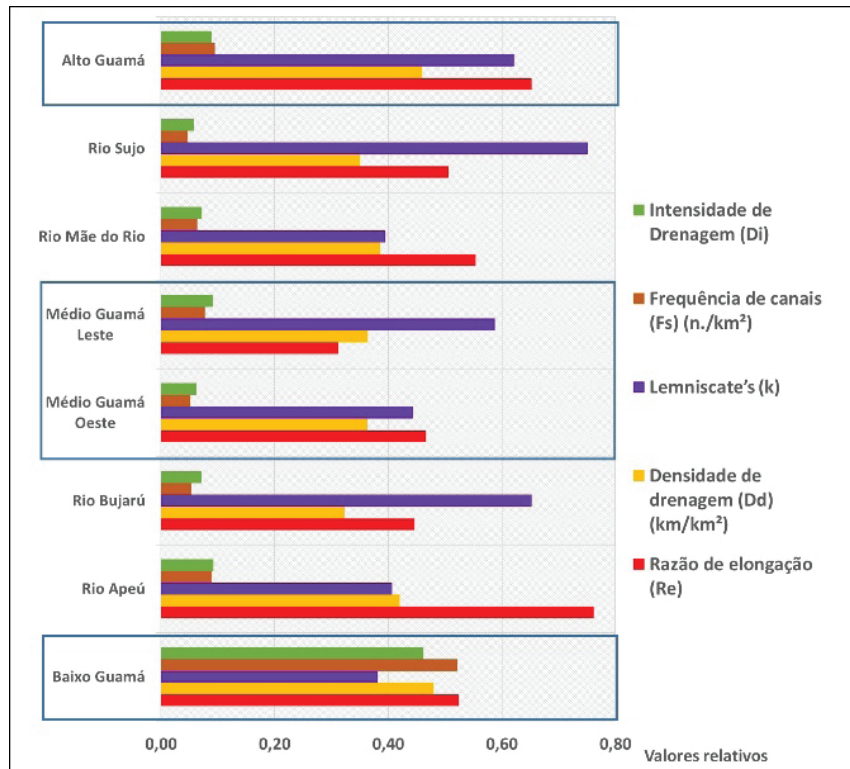


Figura 20 - Avaliação segundo: Lemniscate's (k), Razão de elongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais (Fs) e Intensidade de Drenagem (Di) (valores normalizados para 0 a 1).

Tabela 5: Percentual (%) do comprimento dos canais (Lu) e do número de canais (n) por Unidade Hidrica segundo a Ordem dos canais

	Lu							n						
(%)	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
Rio Guamá	57,8	20,9	8,4	3,9	5,8	1,1	2,2	49,8	24,1	11,3	5,0	5,6	2,8	1,4
Baixo Guamá	59,3	20,6	5,0	4,2		0,1	10,8	54,7	26,6	11,0	5,6		0,2	2,0
Rio Apeú	56,6	21,5	12,3	9,7				42,6	18,4	31,9	7,1			
Rio Bujarú	56,6	21,9	15,5	6,0				49,5	25,2	21,5	3,7			
Médio Guamá Oeste	55,7	23,4	5,6			10,5	4,8	49,0	24,8	8,5			10,5	7,2
Médio Guamá Leste	55,9	19,6	2,9		21,6			32,5	17,4	2,6		47,5		
Rio Mãe do Rio	57,5	22,3	9,7	3,8	6,7			51,0	26,2	13,1	4,4	5,3		
Rio Sujo	68,1	18,2	13,8					51,1	31,1	17,8				
Alto Guamá	58,1	20,1	10,1	5,7	6,1			52,5	23,1	11,2	7,7	5,5		

A Figura 21 apresenta o comportamento relativo a Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn), os quais traduzem o grau de retrabalhamento do relevo pelos processos de denudação, principalmente

pela ação do escoamento superficial na topografia (PARETA; PARETA, 2012). Observou-se uma certa regularidade nas sub-bacias dos rios Apeú/Bujarú e Mãe do Rio/Sujo, que têm relação com a variação altimétrica registrada nestas unidades, quando comparada com a declividade média calculada (Tabela 6).

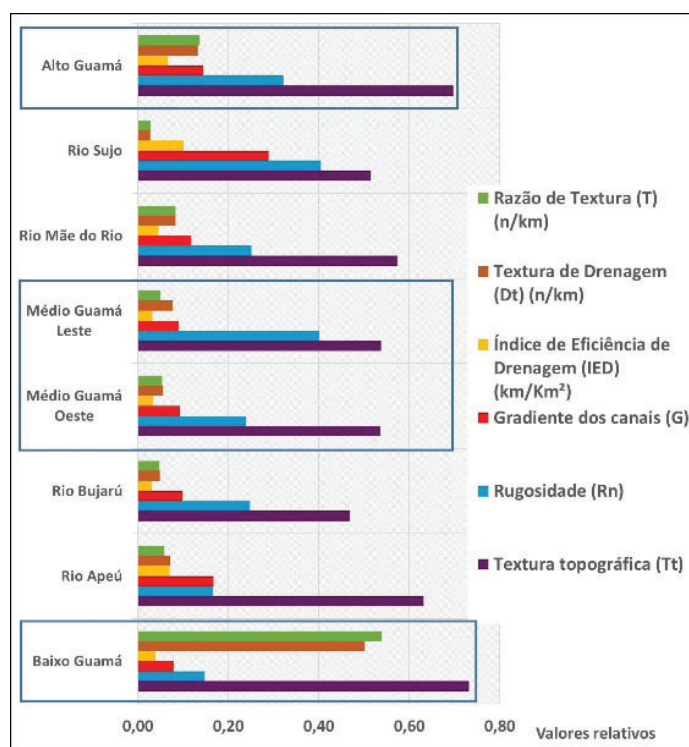


Figura 21 - Avaliação segundo: Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn) (valores normalizados para 0 a 1).

Tabela 6: Comportamento altimétrico segundo as unidades hídricas definidas: % da área total (A); Altura Média (Amed); Altura máxima (Amax); Altura mínima (Amin); Amplitude (Ap); Declividade (média) (dcv).

Unidades hídricas	A (%)	Amed (m)	Amax (m)	Amin (m)	Ap (m)	dcv (°)
Baixo Guamá	13	25	71	0	71	40,6
Rio Apeú	6	32	71	1	70	20,3
Rio Bujarú	8	39	80	0	80	24,0
Médio Guamá Oeste	12	31	87	0	87	31,3
Médio Guamá Leste	16	52	147	1	146	28,9
Rio Mãe do Rio	13	43	98	1	97	26,2
Rio Sujo	4	78	174	32	142	27,8
Alto Guamá	28	80	172	24	148	36,1

Nos segmentos do curso do rio Guamá do Médio ao Alto Guamá o comportamento foi próximo, variando no Baixo Guamá, onde os índices Dt e T foram significativos, pois ambos consideram o número de canais pelo perímetro da bacia, o que é compatível com o observado

na Figura 20, em que ocorre o mesmo destaque para os índices Frequência de canais (Fs) e Intensidade de Drenagem (Di). Na Figura 22 observa-se a distribuição com base no Coeficiente de manutenção (Cm), na Extensão do percurso superficial (Eps), no Índice de sinuosidade

do canal principal (Is), na Relação de bifurcação (Rb) - 1°/2° Ordem, no Índice de Canal (Ci), na Razão de comprimento (Re) e no Número de Infiltração (If), os quais tentem a indicar a tendência de escoamento superficial ou acumulação (KULKARNI, 2013; ORUONYE *et al.*,

2016). Admitindo o comportamento do curso principal representado pelo rio Guamá, segundo Pareta e Pareta (2012), valores de Is superiores a 1,5 classificam o curso como meandrante, o qual foi marcante no Médio Guamá Leste (4,72) e menor no Alto Guamá (2,19).

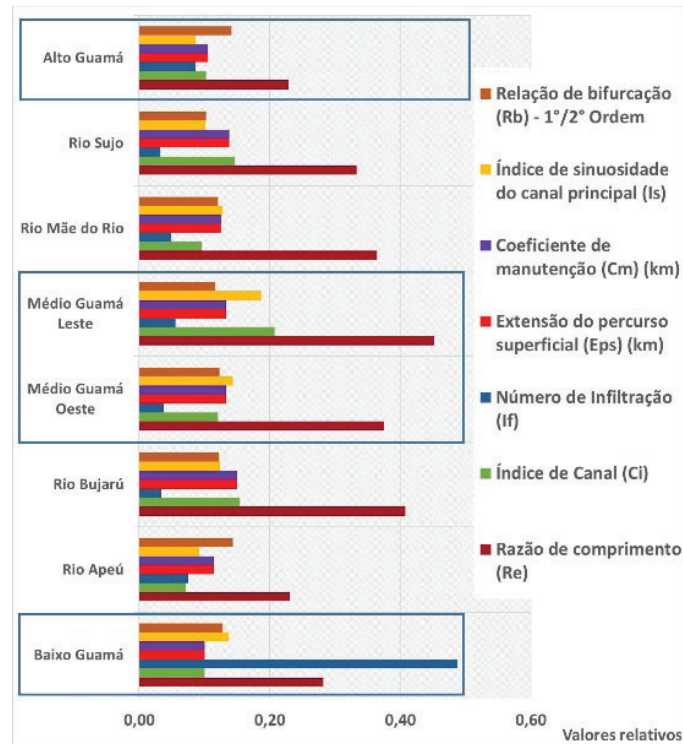


Figura 22 - Avaliação segundo: Coeficiente de manutenção (Cm), Extensão do percurso superficial (Eps), Índice de sinuosidade do canal principal (Is), Relação de bifurcação (Rb) - 1°/2° Ordem, Índice de Canal (Ci), Razão de comprimento (Re) e Número de Infiltração (If) (valores normalizados para 0 a 1).

A Figura 23 apresenta a avaliação da textura do terreno obtida pelo processamento realizado no modelo digital de elevação (IWAHASHI; PIKE, 2007), que reforça a faixa de maior variação da rugosidade que marca o Alto-Médio Guamá Oeste, que delimita a zona limítrofe entre as unidades geológicas Plataforma Bragantina (predominantemente sedimentar) e Cinturão Gurupi e Bacia do Grajaú (ígneas e metamórfica), coincidindo com a relação mais potencial entre os índices de rugosidade (Rn) e textura topográfica (Tt).

A bacia do rio Guamá apresentou assim um comportamento heterogêneo considerando as unidades hídras como unidades de paisagem, onde são associados os condicionantes do meio físico naturais e os fatores antrópicos de uso e cobertura da terra. A avaliação efetuada possibilitou uma visão sistêmica relacionada ao conceito de sensibilidade da paisagem, discutido

por Lima e Ponte (2012), Schirmer e Robaina (2013) e Almeida e Corrêa (2020), em que é ponderada a resistência do sistema às mudanças, e como os modelados respondem a elas. A técnica adotada partiu da categorização das unidades de relevo, sendo que as unidades geomorfológicas foram associadas, identificando o que Guilbert *et al.* (2016) chamam de Padrão de Design de Ontologias (ODP), que seriam elementos que especificam o contexto e definem um quadro de referência que caracteriza uma dada unidade de paisagem.

Minár e Evans (2008) afirmam que os indivíduos geomórficos podem ser descritos como de “origem natural”, sendo um máximo de mudança de caráter genético, geométrico e processual; permitindo sua contextualização em termos de gênese, dinâmica e cronologia, havendo desta forma os chamados modelos “ideais” e os “reais”.

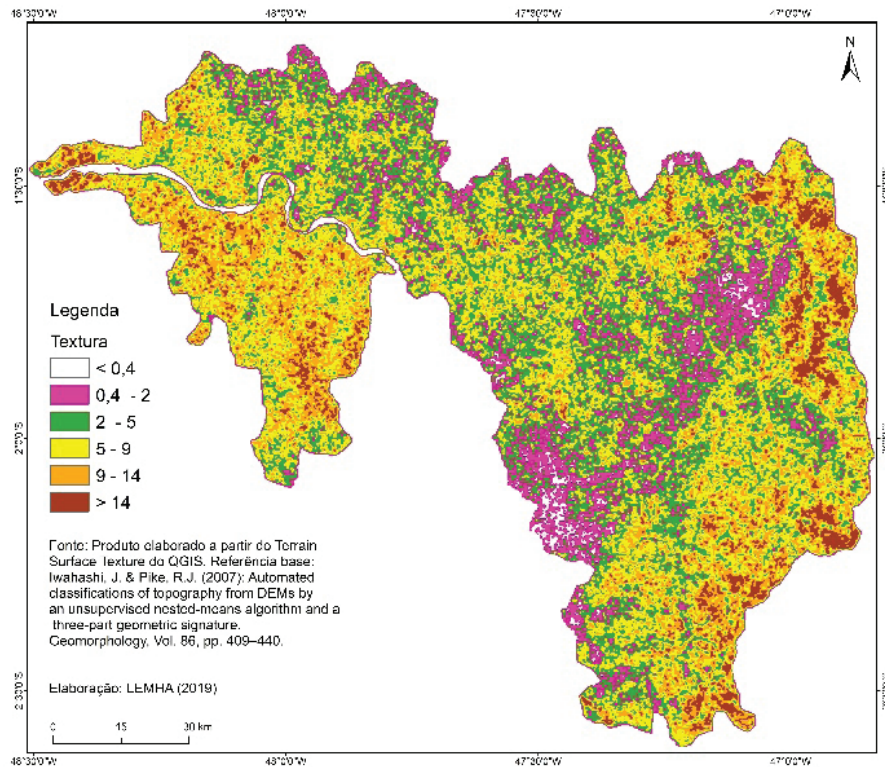


Figura 23 - Comportamento do índice Textura, gerado pelo modelo digital de elevação.

A avaliação segmentada dos condicionantes do meio físico seguida da avaliação de uso da terra evidencia essa transição, em que inicialmente se deseja distinguir os condicionantes produtos do meio, daqueles de interface com o meio. Os resultados obtidos ilustram que para a bacia do rio Guamá há uma forte imposição do ambiente, dada sua condicionante geológica marcante, que interfere diretamente na geometria do relevo e na drenagem.

O Alto Guamá, Médio e Baixo Guamá apresentam um comportamento que gradou de alta a baixa vulnerabilidade relativa aos processos de modificação do relevo a partir da intensificação da remoção, transporte e deposição de sedimentos. Isoladamente as sub-bacias de Sujo, Mãe do Rio, Bujarú e Apeú variaram por constituírem unidades mais individualizadas, sendo fortemente dependentes do processo de uso da terra que ocorre nas mesmas (Quadro 2). A distribuição quantitativa seccionou o potencial de retrabalhamento das formas do relevo em: alto - 41% (Alto Guamá, Rio Mãe do Rio); moderado - 34% (Médio Guamá Leste, Médio Guamá Oeste, Rio Apeú); e baixo - 25% (Rio Bujarú, Baixo Guamá, Rio Sujo). Posicionando espacialmente a bacia, com um comportamento que varia de alto a

moderado, de resposta aos processos que controlam seu comportamento hidrogeomorfológico.

Goerl *et al.* (2012) apresentam como processos hidrogeomorfológicos as inundações, deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos (*debris flow*); além disto, destacam como elementos a serem pontuados na sua caracterização: características hidrológicas do terreno (área de infiltração média, baixa ou muito baixa); morfologia fluvial; cobertura vegetal; elementos estruturais; e topografia. A única componente não explorada neste trabalho, ficando para uma proposta complementar, foi o comportamento de vazão e cotas do rio Guamá e sua contribuição para a formação da planície de inundação. Esta abordagem necessita de modelo específico, pois a bacia somente é monitorada por postos fluviométricos até o limite do Alto com o Médio Guamá, dada a influência de maré que sofre.

Rocha (2017) utilizando o método Curva Número (CN), obteve os números apresentados na Tabela 7 para a ação do escoamento superficial (contribuição das chuvas no terreno) das sub-bacias. Para a análise dos efeitos de deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos, o escoamento (valores médios) contribui de forma significativa principalmente nas unidades:

Rio Bujarú, Rio Apeú e Baixo Guamá. Se estes dados forem somados aos resultados obtidos com a análise hidrogeomorfológica (Quadro 2), estas 3 unidades deveriam ser reclassificadas como moderadas, alterando a

distribuição percentual, mas não o caráter de moderado a alto, relativo ao potencial de retrabalhamento do relevo. E no caso específico do Baixo Guamá, ainda é incluída a variação de nível do rio influenciada pelas marés.

Quadro 2: Síntese do comportamento hidrogeomorfológico.

Unidades hídricas	Classificação Proposta
Alto Rio Guamá	Vulnerabilidade alta aos processo erosivos – dinâmica da paisagem ativa, com processos favoráveis a dissecação das formas de relevo e alta interferência de condicionantes de alteração da cobertura da terra (>50%), com forte atuação das formas de uso e ocupação.
Rio Sujo	Vulnerabilidade baixa aos processo erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).
Rio Mãe do Rio	Vulnerabilidade alta aos processo erosivos – dinâmica da paisagem ativa, com processos favoráveis a dissecação das formas de relevo e alta interferência de condicionantes de alteração da cobertura da terra (>50%), com forte atuação das formas de uso e ocupação.
Médio Guamá Leste	Vulnerabilidade moderada aos processo erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.
Médio Guamá Oeste	Vulnerabilidade moderada aos processo erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.
Rio Bujarú	Vulnerabilidade baixa aos processo erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).
Rio Apeú	Vulnerabilidade moderada aos processo erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.
Baixo Guamá	Vulnerabilidade baixa aos processo erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).

Tabela 7: Contribuição do escoamento superficial (Q) por sub-bacia e reclassificação a partir da respectiva influência, com indicação da representação (%) espacial por sub-bacia.

Sub-bacia	Q (mm) (média)	Q (mm) (área vegetada)	Classificação admitindo a vulnerabilidade erosiva e %		Classificação admitindo a vulnerabilidade erosiva e o volume de escoamento superficial e %	
Alto Guamá	578,39	1039,36	Alto	41	Alto	41
Rio Mãe do Rio	683,74	1142,03	Alto		Alto	
Médio Guamá Leste	668,42	1383,89	Moderado	34	Moderado	55
Médio Guamá Oeste	724,29	1606,51	Moderado		Moderado	
Rio Apeú	954,64	2048,87	Moderado		Moderado	
Rio Bujarú	814,12	1886,70	Baixo	25	Moderado	
Baixo Guamá	767,70	2109,52	Baixo		Moderado	
Rio Sujo	610,62	1362,32	Baixo		Baixo	4

Fonte: Adaptado de Rocha (2017).

Conclusões

A partir da análise integrada verifica-se que a bacia do rio Guamá apresenta uma variação altimétrica que é mais expressiva do Alto em direção ao Baixo Guamá. A textura é marcante, principalmente, nas bordas das sub-bacias; a declividade é variável; há forte controle estrutural. É composta por 24 unidades geomorfológicas que se distribuem em 5 domínios estruturais: Plataforma do Pará e Bragantina (60%), Bacia do Marajó (15%), Bacia do Grajaú (15%), Cinturão Gurupi (7,0%) e Bacia do Parnaíba (4,0%).

Apresenta um potencial moderado a alto (mais que 70% da área total da bacia) para sofrer processos hidrogeomorfológicos, influenciado pelo índice pluviométrico e pelo impacto das ações antrópicas. Porém, a análise das unidades hídricas adotadas na forma de sub-bacias, indica que existe uma variabilidade que torna algumas delas mais vulneráveis: Alto Guamá, Rio Mãe do Rio, Médio Guamá Leste, Médio Guamá Oeste e Rio Apeú.

Uma forma de interpretar tais diferenciações é por meio da associação com as condições de risco geológico, uma vez que efeitos hidrogeomorfológicos (inundações, deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos) tornam as áreas urbanizadas próximas vulneráveis a perdas humanas e econômicas. Como a bacia do Guamá envolve a Região Metropolitana de Belém e soma cerca de 19 municípios, devem ser ponderadas as consequências sociais destes processos. Estes resultados representam relevância por integrarem diversas informações físicas da bacia, que podem ser utilizadas para auxiliar na caracterização regional e apoiar o planejamento regional, visando o controle do uso da terra frente à ocupação do território da bacia hidrográfica.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências Bibliográficas

ABDEL-FATTAH, M.; SABER, M.; KANTOUSH, S. A.; KHALIL, M. F.; SUMI, T.; SEFELNASR, A. M. A hydrological and geomorphometric approach to understanding the generation

of wadi flash floods. **Water**, v. 9, n. 553, p. 1-27, 2017. <http://doi.org/10.3390/w9070553>

ALTAF, F.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A. Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India. **Geography Journal**, id. 178021, p. 1-14, 2013. <http://doi.org/10.1155/2013/178021>

ALMEIDA, J. D. M.; CORRÊA A. C. B. Conectividade da Paisagem e a Distribuição de Plainos Aluviais em Ambiente Semiárido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1, p. 171-183, 2020. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1663>

ANA. **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia Tocantins-Araguaia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), Agência Nacional de Águas, 2004, 136p.

APARNA, P.; NIGEE, K.; SHIMNA, P.; DRISSIA, T. K. Quantitative analysis of geomorphology and flow pattern analysis of Muvattupuzha River Basin using Geographic Information System. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 609-616, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.079>

ARAÚJO, I. B.; LIMA, A. M. M.; SANTOS, C. A. Caracterização hidrogeomorfológica das paisagens componentes da bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 3301-3327, 2015.

ARAVINDA, T.; BALAKRISHNA, H. B. Morphometric analysis of vrishabhavathi watershed using remote sensing and GIS. **Int. Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 02, n. 8, p. 514-522, 2013. <http://doi.org/10.15623/ijret.2013.0211077>

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1980, 150p.

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das paisagens. In: JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do Pará**. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. Belém: CPRM - Serv. Geol. Brasil, p. 25-49, 2013.

DIAS, F. G.; LIMA, A. M. M. Caracterização espaço-temporal da precipitação da bacia hidrográfica do rio Acará/PA. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: UFC, e-book, ISBN: 978-85-7282-778-2, 2019, p. 1-12.

FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M. CORRÊA, J. A. M. Indicators of hydrological sustainability, governance and water resource regulation in the Moju river basin (PA) - Eastern Amazonia. **Journal of Environmental Management**, v. 263, n. 110354, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110354>.

- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998. <http://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 103-111, 2012. <http://doi.org/10.20502/rbg.v13i2.166>
- GUILBERT, E.; MOULIN, B.; MURCIA, A. C. Conceptual model for the representation of landforms using ontology design patterns. **Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. III-2, p. 15-22, 2016. <http://doi.org/10.5194/isprsannals-III-2-15-2016>
- HORTON, R. E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. **Geological Society of American Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. [http://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos de Geociências. Rio de Janeiro, 2009. n. 5, 182p.
- IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology**, v. 86, p. 409-440, 2007. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012>
- JAMES, M. J.; SANTOS JÚNIOR, A. E. A.; COSTA, J. S. Aspectos estratigráficos e análise de minerais pesados das formações Ipixuna, Barreiras e Pós-Barreiras, entre as cidades de Jacundá e Goianésia do Pará, sub-bacia de Mocajuba, sudeste do estado do Pará. **Geociências**, v. 37, n. 4, p. 759-773, 2018.
- JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do Pará**. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. Belém: CPRM - Serv. Geol. Brasil, 2013, p. 25-49.
- KULKARNI, D. M. The basic concept to study morphometric analysis of river drainage basin: a review. **International Journal of Science and Research**, n. 4, v. 7, p. 2277-2280, 2015.
- LIMA, A. M. M.; PONTE, M. X. Dinâmica da Paisagem da Bacia do Rio Capim-Pa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 127-142, 2012. <http://doi.org/10.26848/rbgf.v5.1.p127-142>
- MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **R. RA'E GA**, v. 8, p. 83-91, 2004. <http://doi.org/10.5380/raega.v8i0.3391>
- MINÁR, J.; EVANS, I. S. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. **Geomorphology**, v. 95, p. 236-259, 2008. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.003>
- MOKARRAM, M.; AMOORTHY, D. S. Morphometric analysis of hydrological behavior of north fars watershed, Iran. **European Journal of Geography**, v. 6, n. 4, p. 88-106, 2015.
- NEGRÓN-JUARÉZ, R. I.; LI, W.; FU, R.; FERNANDES, K.; OLIVEIRA CARDOSO, A. Comparison of precipitation datasets over the Tropical South American and African Continents. **Journal of Hydrometeorology**, v. 10, n. 1, p. 289-299, 2009. <http://doi.org/10.1175/2008JHM1023.1>
- NIKHIL RAJ, P. P.; AZEEZ, P. A. Morphometric Analysis of a Tropical Medium River System: A Case from Bharathapuzha River Southern India. **Open Journal of Modern Hydrology**, v. 2, n. 4, p. 91-98, 2012. <http://doi.org/10.4236/ojmh.2012.24011>
- ORUONYE, E. D.; EZEKIEL, B. B.; ATIKU, H. G.; BABA, E.; MUSA, N. I. Drainage basin morphometric parameters of river Lamurde: implication for hydrologic and geomorphic processes. **Journal of Agriculture and Ecology Research**, v. 5, n. 2, p. 1-11, 2016. <http://doi.org/10.9734/JAERI/2016/22149>
- PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H. P. India. **International Journal of Remote Sensing and GIS**, v. 1, n. 1, p. 47-62, 2012.
- PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 247-253, 2004. <http://doi.org/10.1590/S1415-43662004000200013>
- RAI, P. K.; MOHAN, K.; MISHRA, S.; AHMAD, A. A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. **Appl Water Sci**, v. 7, p. 217-232, 2017. <http://doi.org/10.1007/s13201-014-0238-y>
- ROCHA, N. C. V. **Avaliação da sustentabilidade hídrica segundo os modelos de uso e ocupação do território na bacia do rio Guamá - Pará, Amazônia Oriental**. 98f. 2017. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2017.
- ROCHA, N. C. V.; LIMA, A. M. M. A sustentabilidade hídrica na bacia do rio Guamá, Amazônia Oriental/Brasil. **Sociedade e Natureza**, v. 32, p. 141-160, 2020. <http://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-45694>
- ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992. <http://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0002>

- ROSSETTI, D. F. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 6, n. 2, p. 7-18, 2006. <http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300003>
- SCHNEIDER, U.; BECKER, A.; FINGER, P.; ANJA, M.-C.; RUDOLF, B.; ZIESE, M. GPCC Full Data Reanalysis Version 7.0 at 0.5°: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data. Global Precipitation Climatology Centre, 2015. http://dx.doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V7_050 (for 0.5° resolution)
- SCHUMM, S. A. Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1963\)74\[1089:SOAROT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2)
- SHIMADA, M.; ITOH, T.; MOTOOKA, T.; WATANABE, M.; TOMOHIRO, S.; THAPA, R.; LUCAS, R. New Global Forest/Non-forest Maps from ALOS PALSAR Data (2007-2010). **Remote Sensing of Environment**, v. 155, p. 13-31, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.014>
- SCHIRMER, G. J.; ROBAINA, L. E. S. Compartimentação de unidades geomorfológicas do município de Agudo/RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 3-12, 2013.
- STRAHLER, A. N. Dynamics basis of geomorphology. **Geophysical Society of American Bulletin**, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952. [http://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2)
- SUKRISTİYANTI, S.; MARIA, R.; LESTIANA, H. Watershed-based Morphometric Analysis: A Review. **Earth and Environmental Science**, v. 118, p. 1-6, 2018. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012028>
- TEODORO, V. L. J.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 20, p. 136-156, 2007.
- VASQUEZ, M. L.; COSTA, L. T. R. **Mapa Geológico do Estado do Pará**, escala: 1.000.000. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008.