

## HIDROGEOMORFOLOGIA E SUSCEPTIBILIDADE A EROSÃO DA BACIA DO RIO GURUPI (PA-MA)

## HYDROGEOMORPHOLOGY AND EROSION SUSCEPTIBILITY OF THE GURUPI RIVER BASIN (PA-MA)

## HIDROGEOMORFOLOGÍA Y SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO GURUPI (PA-MA)

Nicolau Akio Kubota<sup>1</sup>  
Tatiana Chagas Prata<sup>2</sup>  
Isabela Ferias Lima<sup>3</sup>  
Aline Maria Meiguins de Lima<sup>4</sup>

Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais<sup>1234</sup>  
nickubota@gmail.com<sup>1</sup>

### RESUMO

O rio Gurupi tem relevância como bacia de domínio Federal e de potencial econômico, este trabalho objetivou avaliar as características de erosão hídrica da bacia do rio Gurupi com base no seu comportamento hidrogeomorfológico. Adotando o método de análise multi-critério foram integrados um conjunto de atributos em função de sua resposta erosiva na bacia. Os resultados obtidos indicaram a compartimentação em 8 unidades de terreno, distribuídas segundo o Alto, Médio e Baixo Gurupi. O comportamento da erosividade foi crescente de SE para NW e da susceptibilidade a erosão heterogênea, porém marcando as diferenças destacadas pela distribuição das unidades de terreno, comportamento da vazão e pelo perfil de alteração (solo-rocha) presente.

**Palavras chaves:** análise espacial; uso da terra; unidades de terreno.

### ABSTRACT

The Gurupi has relevance as a Federal domain basin and economic potential, this work aimed to evaluate the water erosion characteristics of the Gurupi river basin based on its hydrogeomorphological behavior. By adopting the method of multi-criterion analysis was integrated as a function of its erosive response in the basin. The obtained results indicated 8 compartmentalization of land units, distributed according to the Upper, Middle and Lower Gurupi. The erosivity behavior was increasing from SE to NW and the erosion susceptibility was heterogeneous, however, highlighting the differences highlighted by the distribution of the terrain units, flow behavior and by the present alteration profile (soil-rock).

**Key words:** spatial analysis; land use; terrain unit.

### RESUMEN

El río Gurupi tiene relevancia como cuenca de dominio federal y de potencial económico. Este estudio tuvo como objetivo evaluar las características de erosión hídrica de la cuenca del río Gurupi en función de su comportamiento hidrogeomorfológico. Adoptando el método de análisis de criterios múltiples, se integró un conjunto de atributos en función de su respuesta erosiva en la cuenca. Los resultados obtenidos indicaron la compartimentación en 8 unidades de terreno, distribuidas de acuerdo con el Gurupi Alto, Medio y Bajo. El comportamiento de la erosividad estaba aumentando de SE a NO y la susceptibilidad a la erosión heterogénea, pero marcó las

diferencias resaltadas por la distribución de las unidades de tierra, el comportamiento del flujo y el perfil de alteración (suelo-roca) presente.

**Palabras clave:** análisis espacial; uso de la tierra; Unidades de tierra.

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de modelos de sistemas, para a compreensão do todo e das relações existentes entre os seus componentes, tem no estudo da paisagem um meio de análise e de delimitação de espaços; como exemplo tem-se que o sistema bacia hidrográfica passa a ser decomposto em sub-sistemas individualizados a partir de um conjunto de fatores que caracterizam dinâmicas ou paisagens distintas.

Segundo Tricart e Kilian (1982) discutir a paisagem passa pelo princípio que o homem é igual aos demais seres vivos, sendo um elemento da natureza, unido por vários vínculos de interdependência e integrante dos ecossistemas existentes; se caracterizando por estudar como ocorre esta integração e quais são seus condicionantes de funcionamento.

Nesta abordagem os termos unidade fisiográfica ou unidade de paisagem podem ser utilizados no sentido de gênese e evolução de formas de relevo, descrevendo uma divisão natural que corresponde a uma geoforma (*landform*), que representa um conjunto de atributos relacionados pelos mesmos processos genéticos e, portanto, permitem prever seu potencial enquanto meio físico, podendo ser descrito em função de seu conjunto mais amplo e de menor detalhamento (sistema de terreno), intermediário (unidade de terreno) e menor e de maior definição de formas, como elemento unitário (elemento de terreno); permitindo a individualização eficaz de suas similaridades, principalmente no estudo de bacias hidrográficas (PETAN et al., 2010).

A dinâmica evolutiva dos *landforms* depende de dois elementos principais: o sistema morfoclimático, que impulsiona processos exógenos em particular e o contexto tectônico junto as características estruturais em geral, que resultam de processos endógenos; as mudanças climáticas atuam como um dos principais controladores dos fatores que interferem na modelagem da paisagem levando os processos morfogenéticos a mudar de frequência e intensidade (ALMEIDA et al., 2009; PELFINI; BOLLATI, 2014).

Para Sidle e Onda (2004), a Hidrogeomorfologia, como o próprio nome indica, inclui as inter-relações entre diversos processos hidrológicos e geomorfológicos e pode ser definida como uma ciência interdisciplinar que se concentra na ligação e interação de processos hidrológicos com as formas da paisagem ou materiais terrestres e, ainda, a interação de processos geomorfológicos com as águas superficiais ou subsuperficiais em diferentes escalas espaciais e temporais.

Dessa maneira, para Goerl et al. (2012), um processo hidrológico propicia a modificação, evolução ou formação de uma feição que por sua vez condiciona a intensidade, magnitude, duração do processo hidrológico. Ou seja, o processo modifica a forma que por sua vez condiciona o processo. Neste contexto, pode ser analisado o potencial de erosividade (CASSOL et al., 2008), como um dos indicadores desta relação.

A erosividade da chuva é associada ao impacto direto das gotas de chuva e ao escoamento decorrente, segundo a carga de energia da chuva; logo, tem relação com a intensidade da chuva ou à sua quantidade total (VITTE; MELLO, 1992). Dessa forma, compreender a dinâmica da mesma é de suma importância, pois esta é o fator climático que mais contribui para a erosão dos solos, em especial, em especial nas regiões tropicais (GUERRA, 2007). A partir disso, Valle Junior (2008) afirma que os processos erosivos causados pela ação das águas pluviais dependem diretamente da intensidade, duração e frequência das chuvas, sendo, portanto, de suma importância sua quantificação, bem como ainda a análise de sua distribuição sazonal.

A intensidade dos processos erosivos varia de uma área à outra em resposta aos diferentes aspectos geológicos e climáticos de cada região e acelerados pela ação antrópica (LOLLO; SENA, 2013). A erosão hídrica causada pelo impacto das gotas de chuvas e pela ação do escoamento superficial é essencial para a compreensão do modelado do terreno nos componentes natural e antrópico. Disto, advém a importância de avaliar a relação da erosividade como condicionante hidrogeomorfológico na paisagem amazônica, que dada as suas dimensões necessita do apoio do emprego de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Estes tem mostrado eficiência na análise de áreas com potencial a erosão, visto que há a possibilidade de integração de diversos fatores que influenciam nos processos erosivos a partir da multi-análise, resultando em mapas e cartas que podem auxiliar em planejamento de escala regional (VALLADARES et al., 2012; LOLLO; SENA, 2013).

Segundo Brasil (2006) o rio Gurupi corre sobre um leito rochoso com várias cachoeiras, como as de Lavadeira, Madalena, Jacurecoaga, Canindé-Açu, Maria Suprema, Itapera, Mamuirá, Maguari, Omelar e Algibeira; onde após cumprir um percurso de mais de 400 km, desde a confluência com o rio Itinga, na qual constitui a linha limítrofe entre os Estados do Pará e do Maranhão, deságua no Oceano Atlântico, na baía de Gurupi. Sua escolha como área de trabalho justifica-se por sua relevância para o estado do Pará, como uma bacia partilhada com o estado do Maranhão, e por conter uma diversidade de ambientes caracterizados por fatores hidrológicos, geológicos e geomorfológicos que podem significar de forma integrada diferentes vulnerabilidades, principalmente quando associadas as formas de uso e cobertura da terra. Desta forma, teve-se como objetivo avaliar a hidrogeomorfologia da bacia do rio Gurupi (BHRG), considerando como fatores a susceptibilidade a erosão hídrica e a análise multi-critério integrando variáveis naturais e antrópicas.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização

A bacia hidrográfica do rio Gurupi (Figura 1) limita-se a norte com o oceano Atlântico, a sul e oeste com a bacia do Guamá-Capim. O limite a leste é marcado pela divisa com o estado do Maranhão. A área total é de 35.057,96 km<sup>2</sup>. Além do rio Gurupi destacam-se como principais redes de drenagem os rios: Açailândia, Itinga, Gurupizinho, Piriá e Uraim. Compõe uma unidade hídrica única, uma vez que deságua no oceano Atlântico. Em termos de gestão hídrica, pertence a Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste segundo a Resolução n. 04/2008 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Pará, e a Região Hidrográfica Atlântica Nordeste Ocidental segundo a Resolução n. 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.

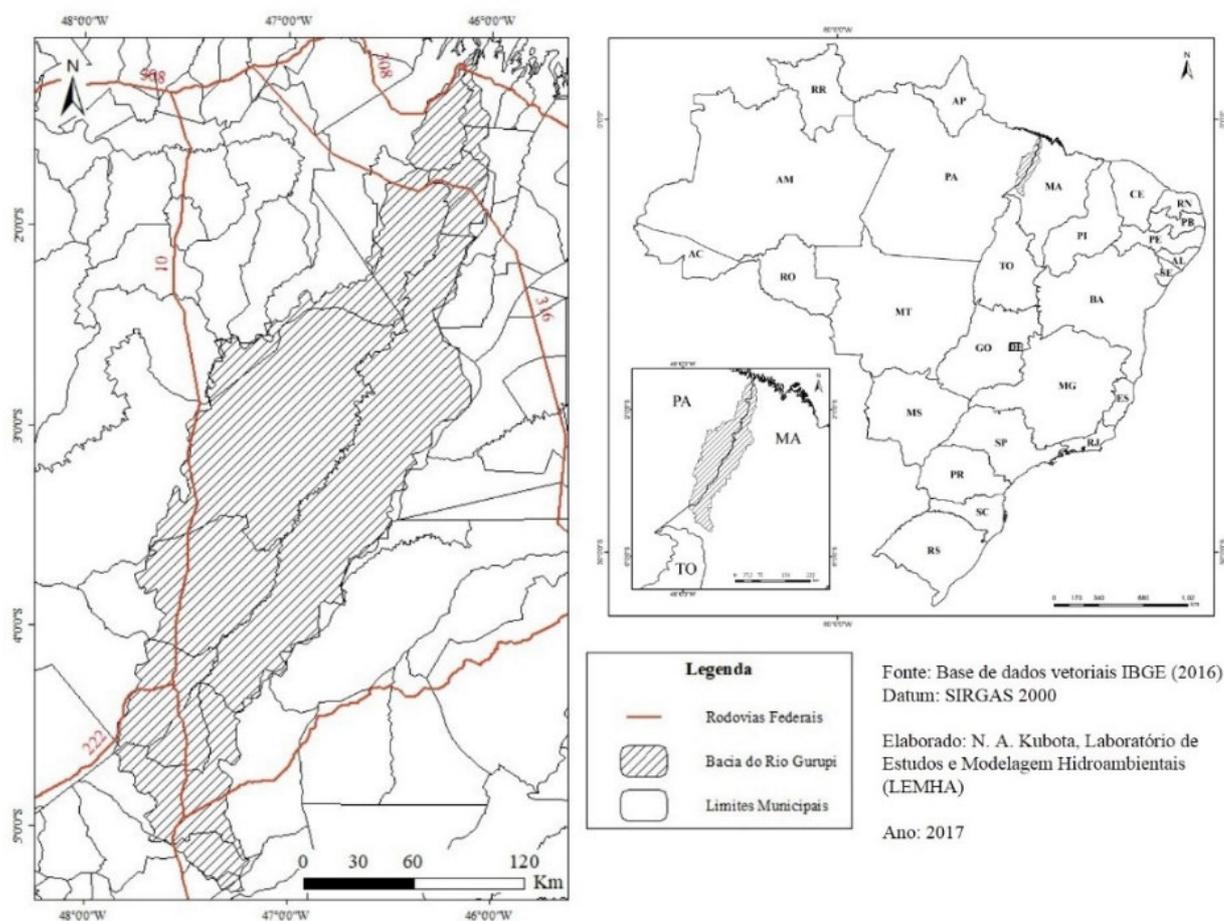


Figura 1. Mapa de localização da bacia do rio Gurupi.

As bases de dados utilizadas foram:

- 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*).
- Carta da rede de drenagem e limites de unidades hidrográficas, derivada do modelo de Otto Bacias da ANA (Agencia Nacional das Águas), na escala 1: 250.000.
- Dados de 4 estações pluviométricas obtidos do sistema de informações pluviométricas da ANA, série histórica 1995 a 2017, disponível no site da mesma e tratados em planilha de base de dados.
- Dados de 23 pontos da grade (1,0° x 1,0°) de coleta pluviométrica obtidas pelos satélites do GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*), série histórica 1995 a 2017, disponível no domínio da ESRL (NOAA *Earth System Research Laboratory - Physical Sciences Division*), tratados em planilhas de base de dados.
- Base vetorial do projeto TerraClass (2014), disponibilizado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/EMBRAPA), que teve por objetivo entender a dinâmica de uso e cobertura da terra. E imagem MCD12Q1.006 MODIS *Land Cover Type Yearly Global* (500 m), ano 2016, disponibilizado pelo sistema *Google Earth Engine* (gerado no *Land Processes Distributed Active Archive Center - LP DAAC, U.S. Geological Survey - USGS e National Aeronautics and Space Administration - NASA*), este produto fornece tipos de cobertura global da terra em intervalos anuais derivados de seis esquemas de classificação diferentes, usando classes supervisionadas de dados de refletância MODIS Terra e Aqua.
- Mapa pedológico, na escala de 1:250.000, elaborado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística), no Projeto de Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais da Amazônia Legal.

- Mapa geológico dos estados do Pará e do Maranhão, elaborados 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.

- Na análise do comportamento da vazão (e cotas) foram utilizadas duas estações fluviométricas: Fazenda Rural Zebu cod. 32540000 (série histórica 1996 - 2015) e Cafezal cod. 32550000 (série histórica 1986 - 2012). As séries históricas adotadas são as de melhor representatividade e continuidade obtidas. Foi utilizada a estação pluviométrica associada para efeito comparativo das chuvas, adotando a mesma série da vazão.

### Geração da Carta de Unidades de Terreno

A metodologia de classificação de terrenos baseia-se na obtenção de atributos das formas de terrenos, que caracterizam unidades de mapeamento de terrenos ou simplesmente Unidades de Terreno (UT), estas compõem uma associação natural em termos de geologia, geomorfologia e distribuição de solos, correspondem a classificações paramétricas ou geomorfométricas, que contém algumas variáveis ou atributos tais como: amplitude de relevo, micro-relevo, declividade das encostas, classes de vertentes e padrão de geoforma (PETAN et al., 2010; WILLIAMS et al., 2012; PELOGGIA et al., 2014; GUILBERT et al., 2016).

No relativo a rede de drenagem foram determinados Ordem dos Canais e Densidade de drenagem. Na definição da Ordem os segmentos de canais formadores sem tributários são denominados de primeira ordem, a partir da confluência de dois canais de primeira ordem forma-se a segunda ordem, da confluência de dois canais de segunda ordem forma-se a terceira ordem e assim por diante, de tal forma que a maior ordem somente recebe afluentes de ordens inferiores (STRAHLER, 1952; CUNHA; GUERRA, 2001).

Tabela 1. Formulação de parâmetros morfométricos.

Parâmetros morfométricos	Fórmulas	
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = Lu/A$	A = Área da bacia (km <sup>2</sup> ) P = Perímetro (km) $\Delta G$ = Variação altimétrica Lb = Comprimento de maior eixo da bacia
Índice de Rugosidade (Ir)	$Ir = \Delta G \cdot Dd$	
Razão de circularidade (Rc)	$Rc = 4 \cdot \pi \cdot A / P^2$	Lu = Comprimento total dos canais Cl = Comprimento do canal principal N1 = Número de canais de primeira ordem
Razão de Textura (Rt)	$Rt = N1/P$	
Coefficiente de Manutenção (Cm)	$Cm = 1/Dd$	

Fator de Forma ( $Rf$ )	$Rf = A/Lb^2$
Índice de sinuosidade ( $Is$ )	$Is = Cl/Lb$

Fonte: Pareta e Pareta (2012) e Altaf et al. (2013).

De forma complementar, para melhor caracterização da bacia foram definidos conforme formulação descrita em Pareta e Pareta (2012) e Altaf et al. (2013): Área, Comprimento do eixo da bacia, Número de canais, Perímetro, Comprimento total dos canais, Comprimento do canal

principal, Densidade de Drenagem (D), Índice de Rugosidade (Ir), Razão de circularidade (Rc),

Razão de Textura (Rt), Coeficiente de Manutenção (C), Fator de Forma ( $Rf$ ) e Índice de sinuosidade (Si) (Tabela 1).

Esta rotina já está formatada em planilha de tabulação de dados e automatizada sem SIG específico de geoprocessamento, segundo método definido no Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA). Os índices calculados foram agrupados por meio de análise hierárquica, conforme procedimento adotado em Santos et al. (2017). De forma complementar foi gerado um modelo de distribuição da rede de drenagem a partir do indicador de Densidade de Kernel que calcula a magnitude por unidade de área; Silverman (1988) aborda seu contexto teórico e Couto et al. (2011) exemplificam sua aplicação.

### Elaboração da carta de erosividade

Visando analisar o potencial erosivo anual da chuva, foram utilizados os dados pluviométricos de 23 pontos que recobrem a área de estudo pelo GPCC. O método adotado foi o de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) para a área de estudo a partir dos valores de precipitação média em um período de 22 anos (série histórica de 1995 a 2017). Este método foi admitido o mais adequado, considerando a área total da bacia estudada. Sua aplicação pode também ser observada nos trabalhos de Vieira e Lombardi Neto (1995), Saito et al. (2009) e Miqueloni et al. (2012).

Inicialmente foi calculado o Coeficiente de Chuva (equação 01), seguido do EI mensal (equação 02) e depois somado os todos valores de EI mensal (equação 03). A partir disso foi possível espacializar os dados de erosividade interpolando pelo método de krigagem linear, permitindo estimar os valores para as áreas não amostradas e indicar áreas homogêneas aos valores do Fator R (SILVA et al., 2010). Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) consideram o Fator R como o índice de erosão da chuva de um local, onde esse índice representaria uma avaliação numérica do valor médio anual da chuva de um local, expressando a capacidade daquela chuva de erodir o solo de um terreno desprotegido de vegetação.

$$Cc_i = p_i^2 / P_i \quad \text{eq. 01} \quad EI_i = 68,730(Cc_i)^{0,841} \quad \text{eq. 02} \quad \text{Fator R} = \sum_{n=i} \sum EI \quad \text{eq. 03}$$

Onde:  $i$  = estação ou ponto de coleta de dados de chuva; Cc = coeficiente de chuva;  $p$  =

precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm); EI = média mensal do índice de erosão (Mj.mm/ha.h.mês); Fator R = índice de erosão médio anual (Mj.mm/ha.h.ano).

### Elaboração da Carta de Susceptibilidade a Erosão Hídrica

Com o objetivo de elaborar a carta de susceptibilidade foram analisadas as variáveis que influenciam no processo de erosão hídrica, dos quais foram selecionados os temas: erosividade, declividade (modelada a partir da interpretação da altimetria fornecida pelas imagens SRTM), unidades geológicas, cobertura de solos, unidades de terreno e uso e ocupação da terra.

Todos os temas foram transformados para arquivos do tipo *raster* e reclassificados, para valores de 1 a 5, onde 1 equivale a susceptibilidade muito baixa e 5 para susceptibilidade muito alta (Tabela 2). Os critérios de reclassificação adotados foram adaptados do proposto por Crepani et al. (2001) para os temas declividade e geologia. Para os demais (erosividade, uso e cobertura da terra e unidades de terreno) foram atribuídos valores a partir de análise qualitativa de cada classe, segundo sua contribuição ou potencial para ocorrência de processos erosivos.

Tabela 2. Classes de susceptibilidade adaptadas dos valores atribuídos por Crepani et al. (2001) para classes de 1 a 5 no presente trabalho.

Valores	Categorias propostas	Valores de susceptibilidade	Classes de susceptibilidade
1 - 1,3	Estável	1	Muito baixa
1,4 - 1,7	Moderadamente estável	2	Baixa
1,8 - 2,2	Medianamente estável/vulnerável	3	Moderada
2,3 - 2,6	Moderadamente vulnerável	4	Alta
2,7 - 3	Vulnerável	5	Muito alta

O método de análise multi-critério (AMC) compreende a classificação com base na ponderação de critérios para se obter uma avaliação parcial ou completa, tendo como expressão a ordenação prioritária do desempenho (neste trabalho de valores de 1 a 5); a formulação a partir da atribuição de pesos ponderada envolve a transformação medidas de desempenho em unidades proporcionais, multiplicando-se por pesos de critérios e, em seguida, somando para pontuação de desempenho para cada variável (HAJKOWICZ, 2007), neste trabalho foi admitida a classificação por especificação ordinal da importância dos critérios para o problema proposto (Figura 2). Com isso, aplicando a álgebra de mapas a partir da AMC, foi executada carta de susceptibilidade a erosão hídrica (CSEH) com as classes (*c*) adotadas, admitindo “*i*” as variáveis classificadas e “*p*” os pesos atribuídos (equação 04).

$$CSEH = \sum_{n=i} (c_i \times p_i) \quad \text{eq. 04}$$

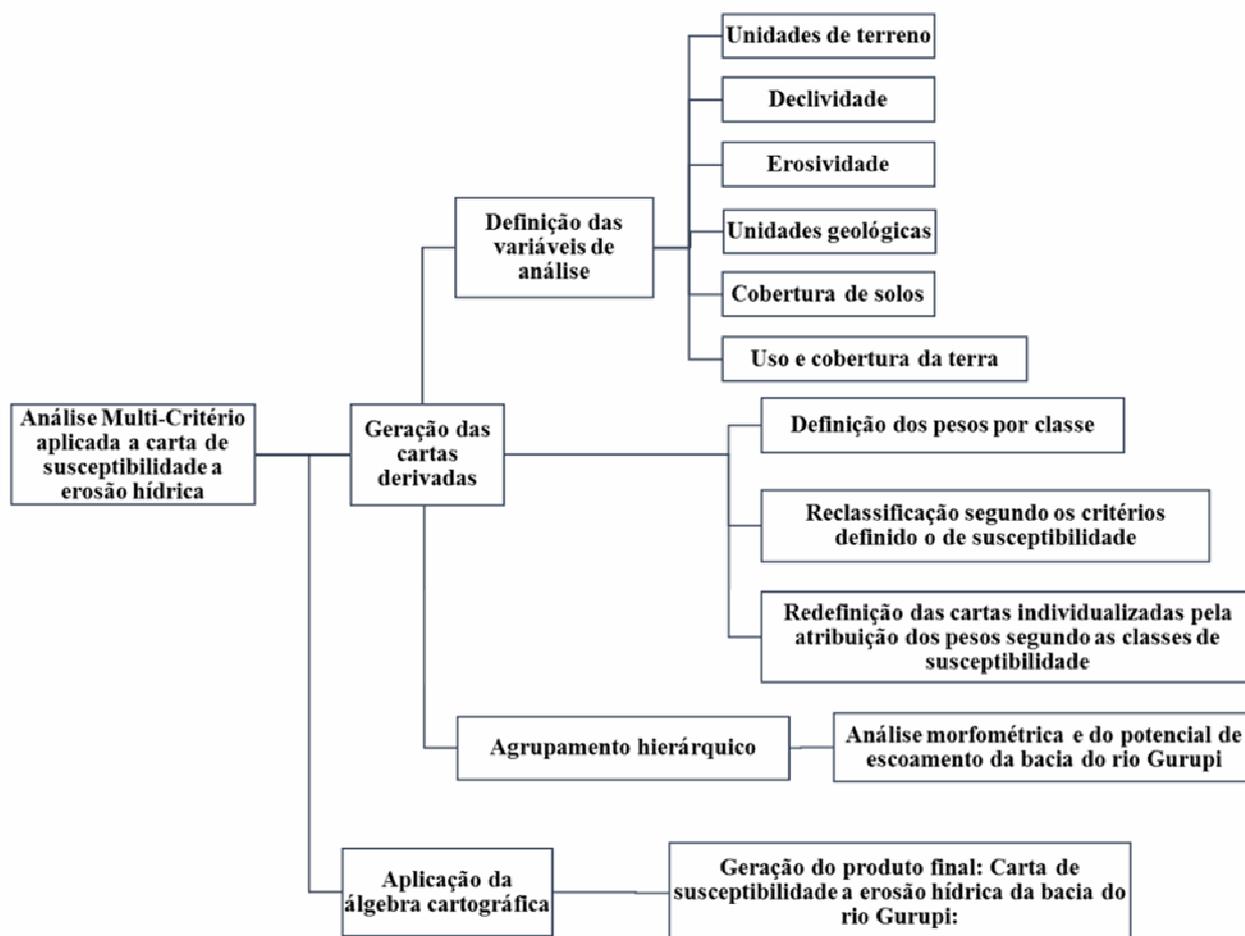


Figura 2. Fluxo de análise adotado para geração da Carta de susceptibilidade a erosão hídrica da bacia do rio Gurupi.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Unidades de Terreno

A bacia do rio Gurupi compõe uma a rede de drenagem (na escala adota) de 5ª ordem (Strahler), sendo principalmente N-S (canal principal), com variações para NE-SW e NW-SE; com padrão treliça/angular, localmente paralelo; e maior densidade na porção ocidental (Figura 3). Sendo composto pelas sub-bacias do: Rio Açailândia, Rio Itinga, Alto Gurupi, Rio Gurupizinho, Rio Piriá, Médio Gurupi, Rio Uraim e Baixo Gurupi.

O controle tectônico é evidente na bacia, tanto pela sua forma alongada e encaixada, quanto pela forte orientação dos lineamentos de drenagem. Favorecem este argumento o comportamento do fator de forma (Rf), que pode ser admitido como (SUKRISTIYANTI et al., 2017):  $Rf < 0,78$  = alongado; e  $Rf > 0,78$  = circular; ou simplesmente alongada para 0 ou valores baixos e circular quanto mais próximo de 1. E pela razão de circularidade (Rc), onde valores baixos, médios e altos de Rc mostram as fases jovem, madura e antiga (respectivamente) do ciclo de vida de uma bacia hidrográfica, considerando o maior potencial de escoamento hídrico para valores menores que 0,4 e quanto mais próximo de 1, classifica materiais geológicos homogêneos, com menor potencial de escoamento (RAI et al., 2018).

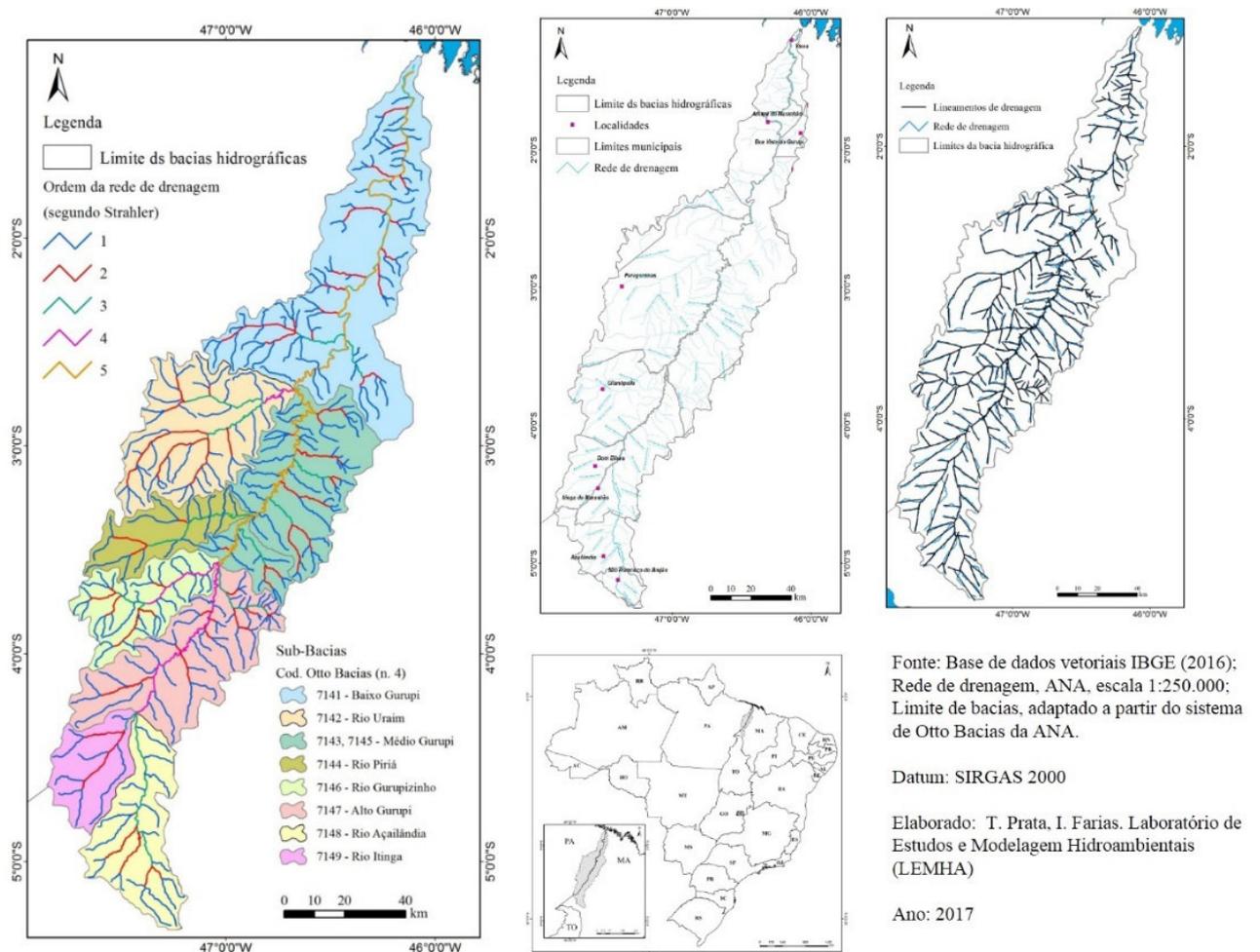


Figura 3. Caracterização da rede de drenagem da bacia do rio Gurupi.

Os valores obtidos de  $R_c$  e  $R_f$  para a bacia do rio Gurupi correspondem ao padrão indicado, denotando a forma alongada favorável as condições de escoamento e estágio ainda jovem, de retrabalhamento da superfície (Tabela 3).

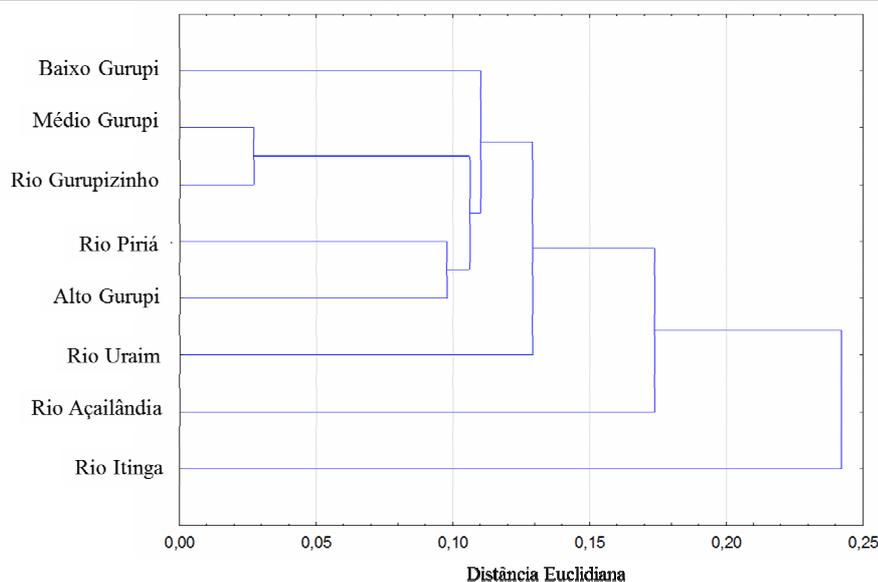
Considerando a Razão de Textura ( $R_t$ ) a relação entre o número de canais de primeira ordem e o perímetro da bacia e o Índice de Rugosidade ( $I_r$ ) a associação entre a Amplitude Altimétrica da Bacia e a Densidade de Drenagem, observa-se que os baixos valores de  $R_t$  e altos de  $I_r$  indicam o escoamento potencial potencializado pelo gradiente de relevo. A mesma relação inversa destes fatores também foi observada por Pareta e Pareta (2012). O resultado da análise hierárquica aproxima o comportamento das sub-bacias segundo os indicadores morfométricos, com dois agrupamentos principais: Médio Gurupi e Gurupizinho e Rio Piriá e Alto Gurupi. As sub-bacias principais de cabeceira, o Baixo Gurupi e a sub-bacia do rio Uraim, vão apresentar um comportamento com maior diferença entre si.

A Tabela 4 (Figura 4) apresenta as Unidades de Relevo individualizadas na bacia do rio Gurupi. Segundo IBGE (2003, 2009) as unidades presentes representam um conjunto que pode ser classificado considerando:

Tabela 3. Parâmetros morfométricos da Bacia do Rio Gurupi.

	Densidade de drenagem	Fator de forma	Razão de circularidade	Razão de Textura	Coefficiente de manutenção	Índice de Rugosidade	Índice de Sinuosidade
	Dd (m.km <sup>-1</sup> )	Rf	Rc	Rt	Cm (m)	Ir	Si
<b>Rio Gurupi</b>	2941,1850	0,2078	0,2163	0,0002	339,9990	1314709,73	1,7709
<b>Baixo Gurupi</b>	137,0390	0,3454	0,2650	0,0001	7297,1885	27133,74	1,7478
<b>Rio Uraim</b>	152,8299	0,5288	0,3553	0,0001	6543,2184	34998,07	1,4143
<b>Médio Gurupi</b>	148,8859	0,4067	0,3451	0,00007	6716,5494	43325,82	1,3749
<b>Rio Piriá</b>	181,7646	0,2756	0,2939	0,0001	5501,6187	43260,00	1,1963
<b>Rio Gurupzinho</b>	143,1623	0,4073	0,3603	0,00007	6985,0776	39083,32	1,1713
<b>Alto Gurupi</b>	197,6418	0,3454	0,3280	0,0001	5059,6567	67791,16	1,2134
<b>Rio Itinga</b>	158,3094	0,4929	0,5879	0,0001	6316,7424	58732,81	1,2924
<b>Rio Açailândia</b>	252,1872	0,3316	0,3765	0,0002	3965,3073	112727,71	1,4134

**Resultado da análise hierárquica por agrupamento segundo os índices morfométricos, por sub-bacia**



(a) Chapadas da Bacia Sedimentar do Meio-Norte: superfícies de aplainamento parcialmente preservadas ou pouco dissecadas, delimitadas por escarpas que podem chegar a 55°, associadas às unidades de terreno I e VI. No Alto Gurupi e sub-bacias dos rios Açailândia e Itinga ocorrem formas de pediplanos degradados (inumado, nas vertentes e topos) marcados por superfícies de aplainamento parcialmente conservadas, com ocorrências de coberturas detríticas e/ou de alteração, constituídas de Latossolos. E pediplanos retocados (desnudado, nos vales) definindo superfícies de aplanamentos associadas a fases sucessivas de retomada de erosão, indicando a ocorrência de processos de aplainamento que desnudaram o relevo, dominam os níveis de erosão inferiores ao longo dos vales.

(b) Depressões da Bacia Sedimentar do Meio-Norte: superfícies de planos inclinados e levemente convexas com declividades mais amenas, com rochas truncadas pelos processos de aplainamento que desnudam o relevo, ocorrendo no sopé de escarpas, sendo relacionadas nas sub-bacias do Alto Gurupi, Gurupzinho, Piriá e Médio Gurupi (unidades de terreno II, III, IV, V). Destacam-se também a presença de formas de dissecação tabular associadas a convexas, com ocorrência de topos tabulares com rampas suavemente inclinadas denotando eventual controle estrutural, marcam a ocorrência de menor densidade de drenagem e processos de dissecação, atuando sobre uma superfície aplanada. As litologias dominantes pertencem ao Grupo Itapecuru e a Formação Ipixuna (VASQUEZ et al., 2008). Na sub-bacia do rio Uraim ocorrem principalmente formas de dissecação convexa, caracterizadas por vales bem definidos e vertentes de declividades variadas, entalhadas por sulcos e cabeceiras de drenagem de primeira ordem.

Tabela 4. Descrição detalhada das unidades de terreno da Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi.

Subdomínio Morfoestrutural <sup>1</sup>	Unidade de Terreno	Descrição	Exemplos de perfis observados	
Bacia Sedimentar do Meio-Norte	Chapada	I	Relevo levemente ondulado, em regiões de alta altitude, constituído por topos tabulares delimitados por escarpas, com declividades que chegam a 55°. Próximo a nascente há morros residuais alongada de topos tabulares a angulosos.	
		II	Relevo levemente ondulado, constituído de topo tabulares delimitados por escarpas com altos valores de declividade (até 55°) na porção leste da unidade e topos tendendo a arredondados delimitados por vertentes de menor declividade na porção oeste.	
	Depressão	III	Relevo ondulado formado por vales abertos, com fundo em forma de "V", com vertentes côncavas de altas declividades. Com forte aprofundamento das incisões próximo a nascente e com incisões mais suaves ao afastar-se desta.	
		IV	Relevo suavemente ondulado formado por vale aberto de vertentes predominantemente retilíneas de declividade alta a oeste e vertentes côncavas de declividade moderada a leste. O grau de aprofundamento de incisões é fraco a médio.	
		V	Relevo suavemente ondulado, constituído por vales abertos de vertentes côncavas de declividade média e localmente vertentes retilíneas de alta declividade com aprofundamento das incisões fracas e presença de morros residuais com vertentes de altas declividades a sudeste.	
		VI	Relevo de superfície aplainada, suavemente ondulado, constituída por vale aberto de vertentes côncavas, com presença de morros residuais de topo anguloso de vertentes retilíneas de declividade alta a média e grau de aprofundamento das incisões fraco.	
		VII	Relevo suavemente ondulado, constituído por vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas e convexo-retilíneas variando de declividades altas a moderadas e aprofundamento das incisões fracas a médias.	
		VIII	Relevo ondulado, caracterizado por um vale aberto com morros residuais angulosos a arredondados com vertentes retilíneas de alta declividade, localmente apresenta morros residuais de crista alongada com orientação NW-SE, os quais não apresentam grandes influência sobre a drenagem. Finaliza com formas de acumulação flúvio-marinha próximo a foz com o oceano Atlântico.	
Faixas de Dobramento do Gurupi				

<sup>1</sup> Indicadas a partir da classificação de IBGE (2003, 2009).

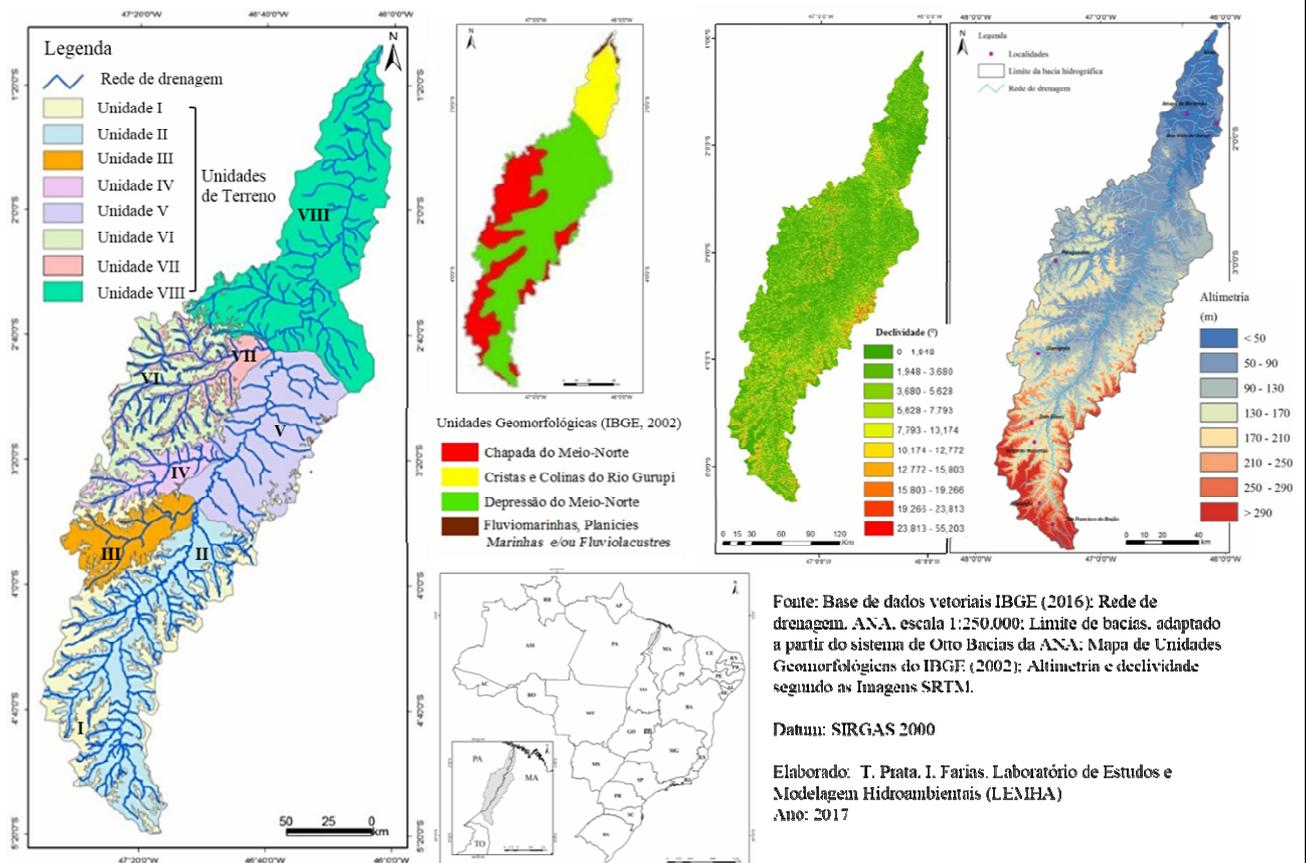


Figura 4. Unidades de Terreno, variação altimétrica e classes de declividade da bacia do rio Gurupi.

(c) Faixa de Dobramentos Gurupi, é caracterizada por dissecação em colinas e cristas alongadas, com vertentes de declividade chegando a  $55^\circ$ , de orientação preferencial NW/SE, com relevo chegando a 200 m de altitude. Este subdomínio constitui a porção norte da unidade de terreno VIII, sendo associada faixas de dobramento e exposição de rochas metamórficas e ígneas, associadas a cobertura sedimentar. No extremo norte próximo a foz apresenta morfologia característica de depósitos sedimentares litorâneos inconsolidados Terciários ou Quaternários, característico de planícies marinhas e flúvio-marinhas, que constituem áreas planas resultantes da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, sujeitas a inundações periódicas.

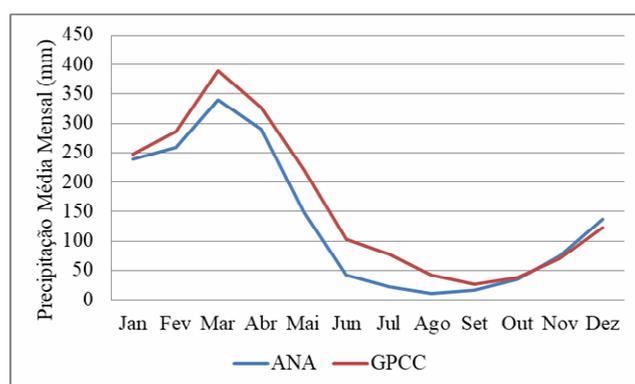
Na Tabela 5 é apresentada a distribuição das classes para as tipologias unidades de terreno e declividade, segundo os critérios descritos na Figura 4.

## Erosividade

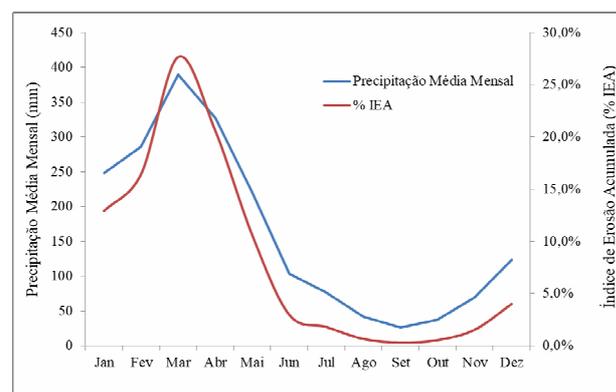
Na bacia do rio Gurupi as maiores precipitações estão entre os meses de Fevereiro e Abril; e o período mais seco entre Julho e Setembro com uma maior aproximação entre as médias no período menos chuvoso do que no mais chuvoso. Com máximos superiores a 300 mm e mínimos menores que 100 mm, média mensal (Figura 5). Aplicando-se a proposta de Lombardi Neto e Moldenhaur (1992), os índices de erosividade da chuva obtidos pontualmente para cada estação pluviométrica que contempla a bacia do rio Gurupi indicam que os valores de erosividade média anual esperados variam entre 57126,85 a 126763,6  $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ , sendo o valor médio de 82390,69  $\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

Tabela 5. Classes de susceptibilidade: quanto as unidades de terreno e de declividade, conforme a Figura 3.

Unidades de terreno	Valores	Classes
I e II	2	Baixa
III, IV e VI	3	Moderada
V e VII	4	Alta
VIII	5	Muito alta
Declividade (°)		
< 3,739	1	Muito baixa
3,739 - 8,101	2	Baixa
8,01 - 13,918	3	Moderada
13,918 - 22,019	4	Alta
> 22,019	5	Muito alta



(a)



(b)

Escala de Erosividade (Mj.mm/ha.h.ano)	Valores	Classes
69.165 - 76.169	2	Muito baixa
76.169 - 82.212	3	Baixa
82.212 - 88.392	3	Moderada
88.392 - 94.298	3	Alta
94.298 - 104.186	4	Muito alta

Figura 5. (a) Média de precipitação mensal referente aos dados do GPCC e ANA, durante a série histórica 1995 - 2017. (b) Precipitação média mensal e índice de erosão acumulado para os dados do GPCC.

A estimativa de erosão durante a série histórica analisada (1995-2017) foi feita por meio do cálculo do Índice de Erosividade Acumulada (IEA) mensal e anual nos mostrando a taxa total de erosão (Índice de Erosividade Acumulada - %IEA) em relação à precipitação. Diante disso, percebeu-se que o período de maior precipitação média mensal possui maiores índices de erosividade mensal, sendo o contrário também verdadeiro.

As regiões com valores mais baixos são concentradas na porção N-NW da bacia, enquanto os valores mais altos concentram-se na região S-SE. Quanto à média mensal, esta tem sua variação em decorrência dos períodos mais chuvoso e menos chuvoso, com seu pico em Março, apresentando valor de 22.785,8 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e seu mínimo em Setembro com índice de 249,569 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. A interpolação dos dados (método da krigagem) gerou cinco classes de erosividade (Figura 6), representadas pelo Índice de Erosão ou Fator R, sendo que o

intervalo de 94.299 - 104.190 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> indica a área de maior potencial e o intervalo de 69.165 - 76.169 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> a de menor potencial a erosividade hídrica.

### Carta de Susceptibilidade a Erosão Hídrica

Para geração da carta de susceptibilidade a erosão hídrica os temas geologia, cobertura de solos (Figura 7), unidades de terreno, declividade (Figura 4), erosividade (Figura 6) e uso da terra (Figura 8), foram reclassificados segundo suas classes de susceptibilidade definidas na escala de 1 a 5.

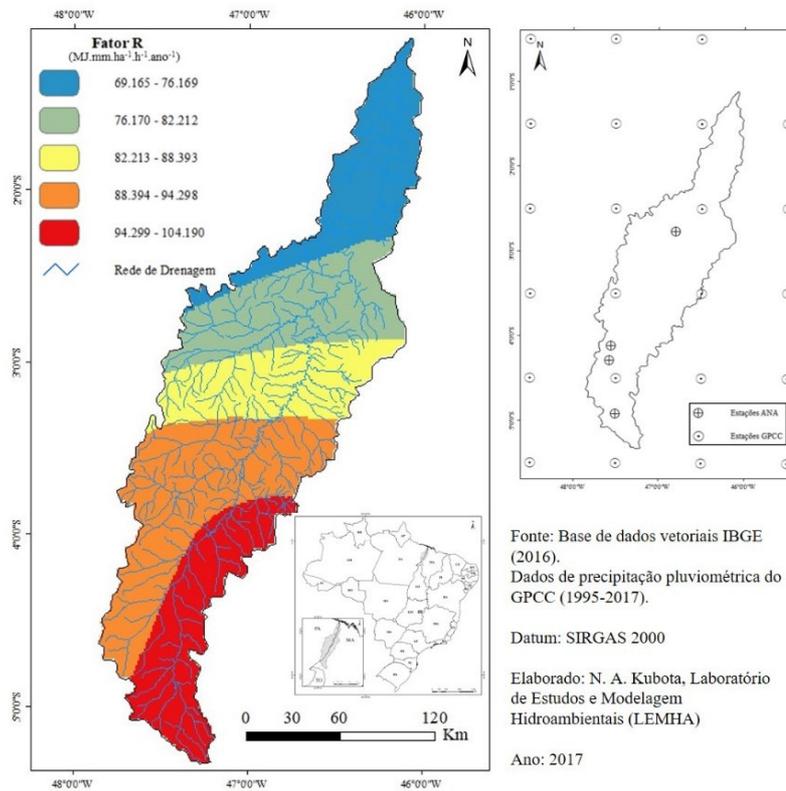


Figura 6. IE anual ou Fator R (MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) em classes de erosividade na bacia do rio Gurupi.

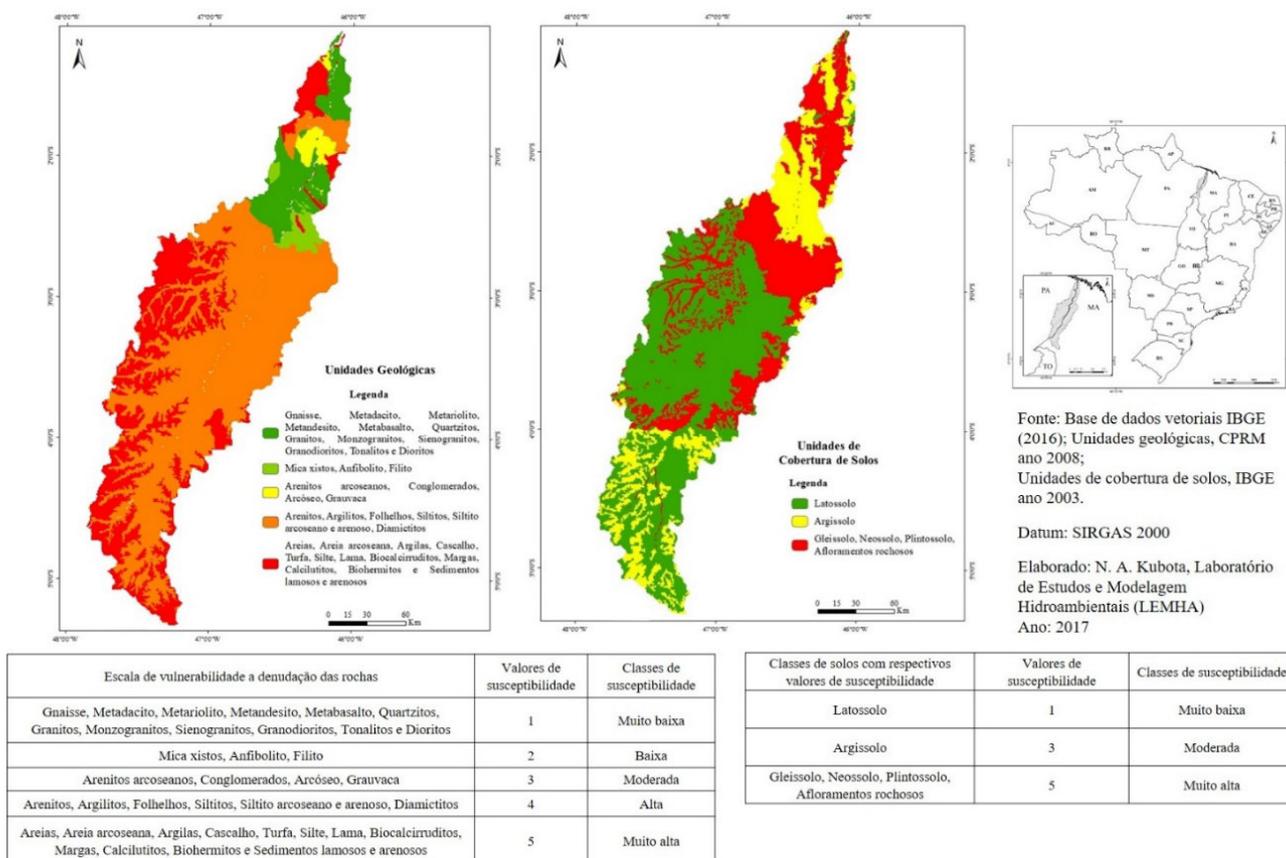


Figura 7. Unidades geológicas e de cobertura de solos componentes da bacia do rio Gurupi. E sua classificação quanto à susceptibilidade a erosão hídrica.

A Figura 7 apresenta a classificação adotada segundo a associação das unidades geológicas e cobertura de solos. Esta deriva da interpretação do comportamento destas em função da sua resposta aos processos erosivos, admitindo-se 3 conjuntos distintos (IBGE, 2003, VASQUEZ et al., 2008):

- (a) o Baixo Gurupi formado por argissolos, neossolos, plintossolos, gleissolos e afloramentos de rocha, esta variabilidade justifica-se pela presença na base de um conjunto de rochas ígneas e metamórficas, destacando as unidades Itapeva e Tromai, além de coberturas sedimentares recentes próximo a foz;
- (b) o Médio Gurupi, junto com as sub-bacias dos rios Uraim, Piriá e Gurupzinho são cobertos principalmente por uma ampla área de latossolos, sendo a base desta formada principalmente pelas rochas sedimentares da Formação Itapecuru (conglomerado, arenito, arenito arcoseano, argilito, folhelho, silito) e da Formação Ipixuna (arenito, argilito caulínico); e
- (c) no Alto Gurupi, junto com as sub-bacias dos rios Itinga e Açailândia mantem-se as coberturas de latossolos, alternados a argissolos, vinculadas as mesmas formações do Médio Gurupi, destacando a presença de coberturas lateríticas que marcam o divisor topográfico da bacia.

A Figura 8 apresenta as formas de uso e cobertura da terra segundo as duas escalas de mapeamento adotadas: a base vetorial do projeto TerraClass (2014) e a Imagem MCD12Q1.006 MODIS *Land Cover Type Yearly Global* (2016). Os dois levantamentos apresentam diferenças quanto a escala de mapeamento e segundo as classes avaliadas.

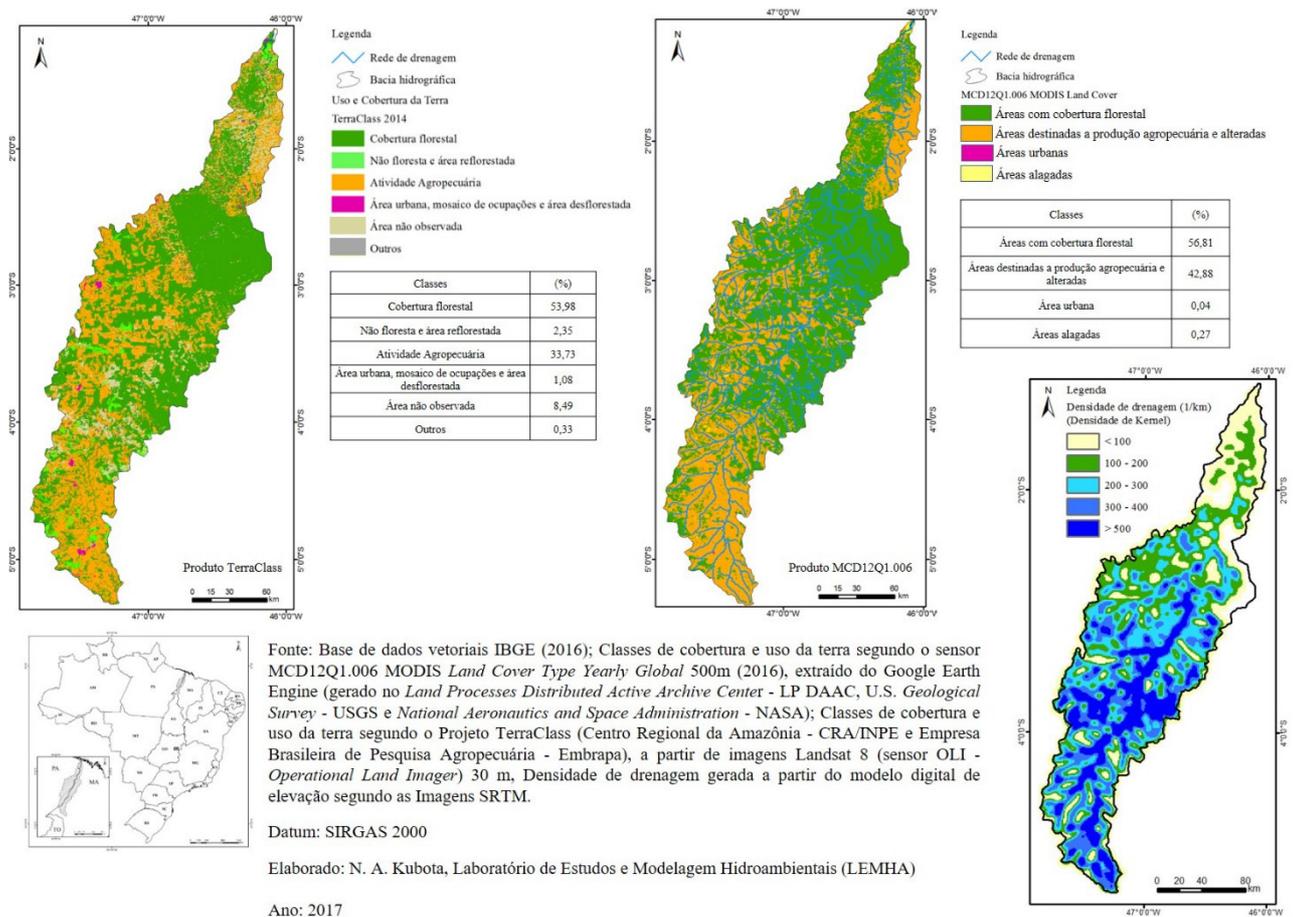


Figura 8. Carta de uso e cobertura da terra da bacia do rio Gurupi.

O TerraClass classifica em 12 e o MCD12Q1.006 em 17 classes (ADAMI et al., 2010; DINIZ et al., 2015; ALMEIDA et al., 2016; SULLA-MENASHE; FRIEDL, 2018), o que tornou necessário a reclassificação por agrupamento de categorias de maior afinidade (ex. diferentes categorias de pastos) ou síntese (ex. a tipologia “Outros” que agrupou as áreas de mineração), focando apenas as tipologias de maior significado para a análise de susceptibilidade e maior representatividade espacial. De forma geral os dois sensores apresentaram para 2014 e 2016 respostas próximas para as categorias de maior expressão espacial, com cerca de (TerraClass e MCD12Q1.006 respectivamente): 54% e 57% para áreas com cobertura florestal e 34% e 42% para atividade agropecuária.

Observou-se também a relação destas classes com o grau de potencial de escoamento da bacia, simbolizado pela distribuição da densidade de drenagem (avaliada a partir da densidade de Kernel). O Alto Gurupi, junto com as sub-bacias dos rios Itinga e Açailândia, e a transição para o Médio Gurupi apresentaram a maior densidade e a maior concentração de áreas alteradas. A transição entre o Médio e o Baixo Gurupi contém a maior cobertura florestal e a menor densidade do escoamento. Tais características auxiliaram na construção do critério de distribuição de pesos. Para as áreas que apresentam cobertura vegetal foram adotados os menores graus de susceptibilidade já que protegem o solo do impacto direto da precipitação. Para as classes “Área não observada” e “Outros” foram adotados os valores intermediários e não nulos. Em função da escala foi utilizado para o processamento da carta de susceptibilidade o produto do TerraClass (Tabela 6).

Tabela 6. Classes de susceptibilidade do uso e cobertura do solo.

Uso e cobertura da terra	Valores	Classes
Floresta e Reflorestamento	1	Muito baixa
Vegetação secundária	2	Baixa
Área não observada e outros	3	Moderada
Ocupações	4	Alta
Agricultura, Área Urbana, Desflorestamento, Mineração e Pasto	5	Muito alta

O produto final foi processado (Figura 9) integrando as variáveis descritas por meio de uma análise baseada na ponderação de critérios, vinculada a uma ordenação prioritária do desempenho (valores de 1 a 5).

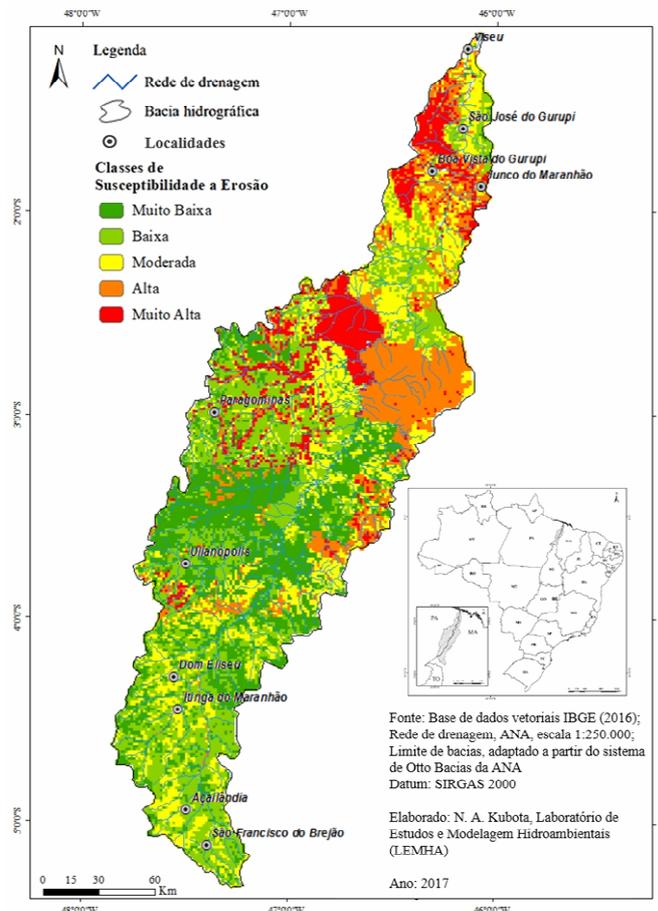


Figura 9. Carta de susceptibilidade a erosão hídrica da bacia do rio Gurupi.

De forma geral as características que marcam as variáveis naturais (erosividade da chuva, geomorfologia, cobertura de solos e geologia) foram as mais atuantes. As áreas que foram classificadas como de susceptibilidade baixa a muito baixa possuem maior espessura de cobertura de de solos, o que dificulta a sua saturação e consequente desagregação das partículas, tornando-os menos susceptíveis a ações da erosão (CREPANI et al., 2001). O inverso pode ser expresso no caso de solos menos evoluídos, como os neossolos e plintossolos, os quais são menos resistentes a ação da erosão.

A compartimentação da bacia em sub-bacias refletiu uma tendência de comportamento mais uniforme para as sub-bacias dos rios Açailândia, Itinga e parte do Alto Gurupi; sub-bacias dos rios Gurupizinho, Piriá e o Médio Gurupi; sub-bacia do rio Uraim; e o Baixo Gurupi. Este último coincide com a presença da faixa de ruptura entre um pacote tipicamente sedimentar para uma área de influência de rochas cristalinas, resultando em uma composição heterogênea de

cobertura de solos, associada ao comportamento dos lineamentos da rede de drenagem, o que torna o zoneamento da bacia fortemente influenciado pela associação destes parâmetros.

A presença de relevos levemente ondulados, topos tabulares a angulosos e declividades variadas nas Unidades I e II que marcam as sub-bacias dos rios Açailândia, Itinga e parte do Alto Gurupi tiveram sua resposta quanto ao potencial erosivo amenizada pela formação do perfil de alteração (rocha-solo) existente, além da presença de coberturas lateríticas que marcam o divisor topográfico da bacia, porém tal relação não impede a ocorrência de feições erosivas de grande porte como as voçorocas descritas no município de Açailândia (MA) (MARÇAL; GUERRA, 2003; CPRM, 2017). O que demonstra que o detalhamento do potencial erosivo no nível de sub-bacias deve ser realizado para o atendimento de planos diretores municipais.

A morfogênese, associada as unidades de terreno, também atua no controle dos processos erosivos principalmente aliada a declividade suavizando o recuo das vertentes com a diminuição de seu potencial (SANTOS et al., 2013). Barbosa (2015) apresenta áreas de planaltos dissecados e residuais na fronteira entre os municípios de Paragominas e Ulianópolis (PA), estas exemplificam a situação em que áreas florestadas e de recuperação favorecem a preservação em relação aos processos erosivos, pois as coberturas vegetais impedem o impacto direto da chuva no solo diminuindo o efeito de sua ação e a consequente desagregação das suas partículas causadas pela lixiviação, mantendo um processo natural de erosão com os processos pedogenéticos (OLIVEIRA et al., 2010; SANTOS et al., 2010). A interface entre as coberturas de plintossolo e o latossolo associada a altas declividades podem contribuir para a maior susceptibilidade, como ocorre no município de Paragominas (PA).

Na região ao norte da bacia, nas redondezas da cidade de Boa Vista do Gurupi (MA) ocorrem unidades litológicas (margas e bio/calciruditos) que favorecem a maior susceptibilidade na região. Demarchi et al (2013) destaca a importância de se contemplar o conjunto de fatores que vão desde as forças ativas (chuva, declividade e comprimento do declive do terreno e a capacidade do solo de absorver água) às passivas (resistência do solo à ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal) no processo de avaliação do potencial erosivo. Sendo admitido como agentes intervenientes as atividades agrícolas, ocupação de espaços pelo homem, incluindo a retirada da vegetação natural, o manejo incorreto dos solos, a exploração inadequada de terras marginais, o uso intensivo das terras com potencial natural de erosão elevado e a falta de planejamento da ocupação (BATISTA; VERÍSSIMO, 2012).

Em síntese a bacia do rio Gurupi apresenta uma resposta hidrogeomorfológica com vários condicionantes de comportamento. A ação do escoamento associada a precipitação pluviométrica é intensa no Baixo Gurupi onde ocorre maior diversidade do perfil de alteração solo-rocha e uma mudança geométrica da bacia que se torna mais estreita e com um alinhamento N-S. E menor nas cabeceiras, que concentram declividades variadas e uma maior homogeneidade do perfil solo-rocha. O reflexo disto pode ser observado em termos de vazões e cotas, considerando a estação fluviométrica localizada próximo a foz do rio Piriá com o rio Gurupi e a existente na sub-bacia do rio Uraim, antes de sua foz com o rio Gurupi (Figura 10).

A vazão no rio Gurupi, antes dele receber as águas do rio Uraim é de cerca de 195 m<sup>3</sup>/s no mês de Abril que marca o pico do período chuvoso. Depois de receber as águas do rio Uraim (responsável por um incremento de aproximadamente 141 m<sup>3</sup>/s) a vazão no rio Gurupi torna-se superior a 300 m<sup>3</sup>/s exatamente na passagem para o Baixo Gurupi que marca a mudança textural e morfológica da bacia. Destaca-se também que a variação de nível observada nas duas estações é superior a 500 cm.

Outro fator que traduz a necessidade de maior detalhamento do comportamento da bacia, principalmente das formas de uso e cobertura da terra, para avaliação do seu efeito é a defasagem de 1 mês entre o pico da vazão (Abril) e o máximo de chuva (Março) no rio Gurupi, compatível com o observado para chuva e erosividade. O mesmo efeito não é observado no rio Uraim, onde ambos coincidem em Abril. Tal fator é identificado por Borga et al. (2014), Naylor et al. (2017) e Beskow et al. (2018) como indicador de vulnerabilidade hídrica a eventos

climáticos extremos, que podem tornar mais agravantes os efeitos de cheias e estiagens em decorrência das variações das condições de fluxo, incluindo a magnitude, velocidade e outras características hidráulicas.

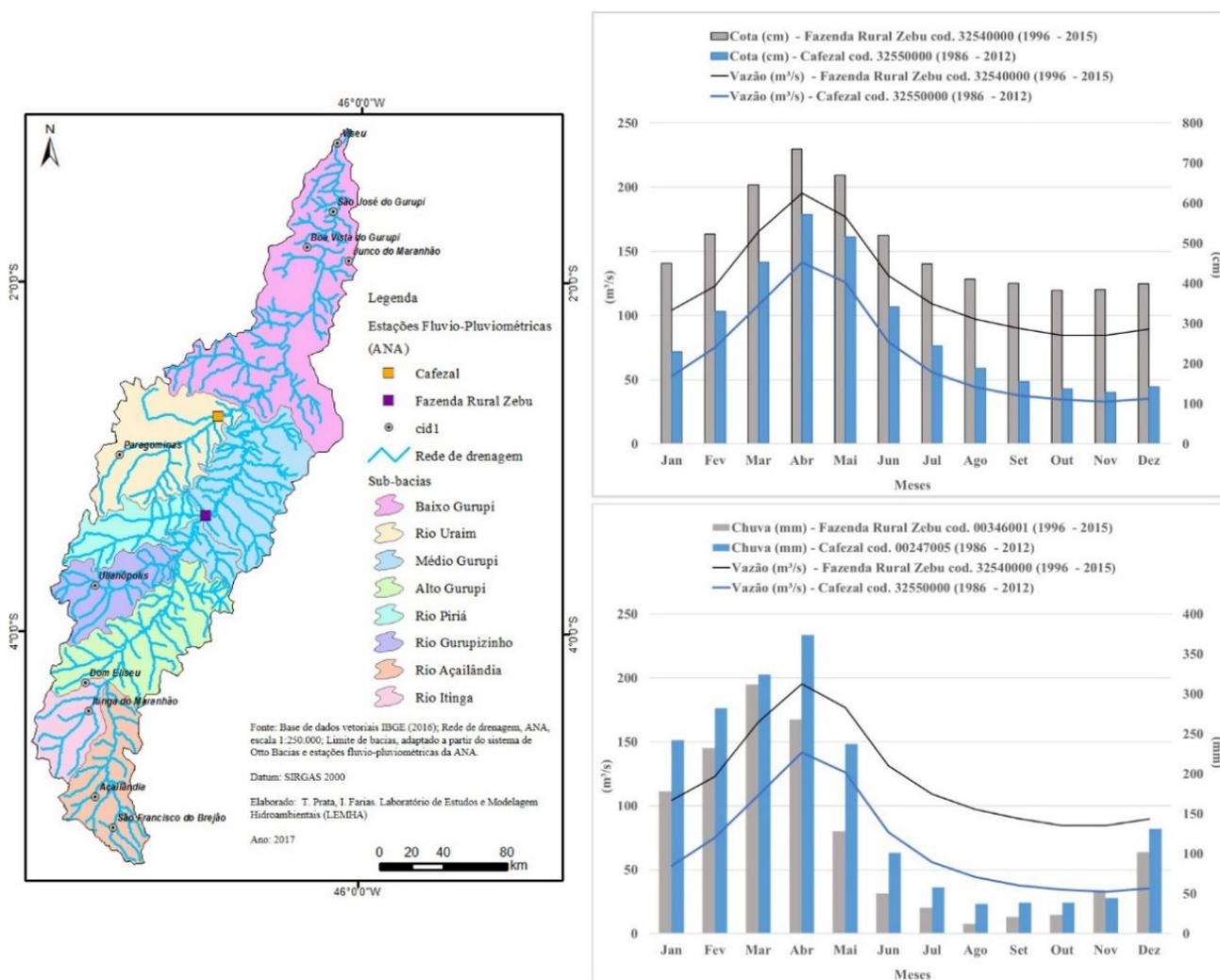


Figura 10. Comportamento chuva-cota-vazão (média mensal do período) na bacia do rio Gurupi., considerando as estações fluviométricas e pluviométricas Fazenda Rural Zebu (no rio Gurupi) e Cafezal (no rio Uraim).

Desta forma, o comportamento hidrogeomorfológico da bacia do rio Gurupi pode responder, em relação a produção de sedimentos e o grau de retrabalhamento das formas de relevo, em função de fatores como a relação área drenada/área alagada, gradiente de relevo, erodibilidade dos componentes e erosividade (SIDLE; ONDA, 2004; GOERL et al., 2012; PELOGGIA et al., 2014). Como existe influência da maré próximo a foz, ainda ocorre a ação desta no comportamento do escoamento e conseqüente morfodinâmica da paisagem.

## Conclusão

A bacia do rio Gurupi, localizada na divisa entre os estados do Pará e Maranhão, configura uma região limítrofe tanto nos aspectos político administrativos quanto ambientais. Por estar na transição entre o ambiente de cobertura de florestas amazônicas, para os componentes da região do semi-árido brasileiro, com diferenciações topográficas e geológicas, apresenta características hidrológicas com forte influência dos elementos morfogenéticos do relevo.

O resultado desta interação mostrou ser responsável pela compartimentação em segmentos da bacia, que individualizaram 8 unidades de relevo distribuídas nas suas sub-bacias componentes, que além de dividirem a bacia segundo Alto, Médio e Baixo Gurupi, possibilitaram a caracterização de outras bacias afluentes pertencentes aos rios: Açailândia, Itinga, Gurupizinho, Piriá e Uraim.

O potencial de erosividade pela água das chuvas grada de SE para NW, coincidindo próximo a foz com uma mudança na geometria da bacia, que fica mais estreita, intensificando assim a magnitude do escoamento fluvial, que recebe também a contribuição das marés. O efeito da cobertura florestal também pode ser evidenciado, como uma contribuição positiva, principalmente na região intermediária da bacia, destacando que a redução do percentual desta tornaria a bacia mais susceptível a erosão hídrica, uma vez que se observou uma maior resposta nas áreas onde as formas de uso da terra foram mais intensas.

Os produtos gerados indicam que a bacia do rio Gurupi precisa de detalhamento quanto ao potencial erosivo, principalmente nas sedes municipais, uma vez que a mesma mostrou uma variabilidade de resposta quanto a susceptibilidade condicionada por fatores naturais, o que a torna mais apta a responder a intensificação do uso da terra e a variabilidade climática.

### Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio a realização da pesquisa.

### Referências

ADAMI, M.; GOMES, A. R.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ALMEIDA, C.A.; VALERIANO, D.M.; ESCADA, M.I.S.; RENNÓ, C.D. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. *Acta Amazônica*, v. 40, n. 2, p.289-302, 2010.

ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazônica*, v. 46, p. 291-302, 2016.

ALMEIDA, D. A.; PARENTE JÚNIOR, W. C.; BESERRA NETA, L. C.; COSTA, M. L. Erodibilidade do solo e erosividade da chuva na Serra do Tepequém – Roraima. *Revista Acta Geográfica*, n. 6, p. 39-46, 2009.

ALTAF, F.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A. Morphometric Analysis to Infer Hydrological Behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India. *Geography Journal*, v. 2013, p. 1-14, 2013.

BARBOSA, E. J. S. **Formação de georrelevos antrópicos na Amazônia: estudo de caso na rodovia Belém-Brasília (BR010)**. 2015. 272 f. Tese (Doutorado), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo-SP.

BATISTA, C. T.; VERÍSSIMO, C. U. V. Vulnerabilidade geoambiental da Região Metropolitana de Fortaleza: análise comparativa de dois métodos com enfoque a processos erosivos. *Geociências*, v. 31, n. 1, p. 47-56, 2012.

BESKOW, S.; NUNES, G. S.; MELLO, C. R.; CALDEIRA, T. L.; NORTON, L. D.; STEINMETZ, A. A.; VARGAS, M. M.; ÁVILA, L. F. Geomorphology-based unit hydrograph models for flood risk management: case study in Brazilian watersheds with contrasting physiographic characteristics. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 90, n. 2, p. 1873-1890, 2018.

BORGA, M.; STOFFEL, M.; MARCHI, L.; MARRA, F.; JAKOB, M. Hydrogeomorphic

response to extreme rainfall in headwater systems: Flash floods and debris flows. **Journal of Hydrology**, v. 518, p. 194-205, 2014.

BRASIL. **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2006, 128 p.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1239-1251, 2008.

COUTO, E. V.; MANIERI, D. D.; MANOSSO, F. C.; Fortes, e. correlação morfoestrutural da rede de drenagem e lineamentos da Borda Planáltica, Faxinal, Paraná. **Geociências**, v. 30, n. 3, p. 315-326, 2011.

CPRM. **Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes: Açailândia - Maranhão**. Brasília - DF: Serviço Geológico do Brasil, 2017, 38 p.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos - SP: Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, 2001, 103p.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001, 472p.

DEMARCHI, J. C.; PISANI, R. J.; ZIMBACK, C. R. L. Análise da vulnerabilidade à erosão da sub-bacia do Ribeirão das Perobas por meio de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento. **Geografia e Pesquisa**, v. 7, p. 6-37, 2013.

DINIZ, C. G.; SOUZA, A. A. A.; SANTOS, D. C.; DIAS, M. C.; LUZ, N. C. L.; MORAES, D. R. V.; MAIA, J. S.; GOMES, A. R.; NARVAES, I. S.; VALERIANO, D. M.; MAURANO, L. E. P.; ADAMI, M. DETER-B: The New Amazon Near Real-Time Deforestation Detection System. **IEEE Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing**, v. 8, n. 7, p. 3619-3628, 2015.

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.

GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil 3ed., 2007, 340p.

GUILBERT, E.; MOULIN, B.; MURCIA, A. C. A 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, p. 15-22, 2016.

HAJKOWICZ, S. A comparison of multiple criteria analysis and unaided approaches to environmental decision making. **Environmental Science & Policy**, v. 10, p. 177-184, 2007.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos de Geociências. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, n. 45, 2009, 182 p.

IBGE. **Mapa geomorfológico do Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base Digital, 2003.

IBGE. **Mapa pedológico**. Projeto de Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais da Amazônia Legal, escala de 1:250.000. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Base Digital, 2003.

LOLLO, J. A.; SENA, J. N. Estabelecimento de suscetibilidade a erosão - diferentes técnicas

- para diferentes etapas de tomada de decisão. **AUGMDOMUS**, v. 5, p. 197 - 212, 2013.
- LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas (SP). **Bragantia**, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.
- MARÇAL, M. S.; GUERRA, A. J. T. Indicadores Ambientais Relevantes para a Análise da Suscetibilidade à Erosão dos Solos em Açailândia (MA). **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2003.
- MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1358 - 1367, 2012.
- NAYLOR, L. A.; SPENCER, T.; LANE, S. N.; DARBY, S. E.; MAGILLIGAN, F. J.; MACKLIN, M. G.; MÖLLER, I. Stormy geomorphology: geomorphic contributions in an age of climate extremes. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 42, p. 166-190, 2017.
- OLIVEIRA, C. A.; KLIEMANN, H. J.; CORRECHEL, V.; SANTOS, F. C. V. Avaliação da retenção de sedimentos pela vegetação ripária pela caracterização morfológica e físico-química do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 12, p.1281-1287, 2010.
- 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. 41-56, 2012.
- PELFINI, M.; BOLLATI, I. Landforms and geomorphosites ongoing changes: concepts and implications for geoheritage promotion. **Quaestiones Geographicae**, v. 33, n. 1, p. 131-143, 2014.
- PELOGGIA, A. U. G.; SILVA, E. C. N.; NUNES, J. O. R. Technogenic landforms: conceptual framework and application to geomorphologic mapping of artificial ground and landscape as transformed by human geological action. **Quaternary and Environmental Geosciences**, n. 05, v. 2, p. 67-81, 2014.
- PETAN, S.; MIKO, M.; PAIS-BARBOSA, J. Modelação da erosão do solo da bacia hidrográfica do Rio Leça, com a equação RUSLE e SIG. **Revista Recursos Hídricos**, v. 31, n. 1, p.: 99-110, 2010.
- RAI, P. K.; CHANDEL, R. S.; MISHRA, V. N.; SINGH, P. Hydrological inferences through morphometric analysis of lower Kosi river basin of India for water resource management based on remote sensing data. **Applied Water Science**, v. 8, n. 15, 2018.
- SAITO, N. S.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. E. M.; SANTOS, A. R.; GARCIA, G. O. Uso da geotecnologia na estimativa da erosividade das chuvas e sua relação com o uso e ocupação do solo para o Espírito Santo. **Revista Verde**, v. 4, n. 2, p. 51 - 63, 2009.
- SANTOS, E. H. M.; GRIEBELER, N. P.; OLIVEIRA, L. F. C. Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 8, p. 826-834, 2010.
- SANTOS, H. L. et al. Erosion factors and magnetic susceptibility in differet compartments of a slope in Gilbués-PI, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 64-74, 2013.
- SANTOS, M.G. F.; MATUCK, C.; ADAMI, F.; REIS, K.; BARRELLA, W. Análise de Agrupamento Hierárquico Aglomerativo aplicada à Ecologia – Teoria e Prática. **UNISANTA Bioscience**, v. 6, n. 1, p. 68-77, 2017.
- SIDLE, R. C.; ONDA, Y. Hydrogeomorphology: overview of an emerging science. **Hydrological Processes**, n. 18, p. 597-602, 2004.

- SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S. S.; OLIVEIRA, R. B. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas para o estado do Espírito Santo, Brasil. **Irriga**, v. 15, n. 3, p. 312-323, 2010.
- SILVERMAN, B. W. Density estimation for statistics and data analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v. 83, n. 401, p. 269-270, 1988.
- STRAHLER, A. N. Dynamic Basis of Geomorphology. **Geological Society American Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952.
- SUKRISTIYANTI, S.; MARIA, R.; LESTIANA, H. Watershed-based Morphometric Analysis: A Review. **IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science**, v. 118, p. 1-6, 2018.
- SULLA-MENASHE, D.; FRIEDL, M. A. **User Guide to Collection 6 MODIS Land Cover (MCD12Q1 and MCD12C1) Product**. Land Processes Distributed Active Archive Center - LP DAAC, U.S. Geological Survey - USGS e National Aeronautics and Space Administration – NASA, 2018, 18p.
- TERRACLASS. **Mapeamento do uso e da cobertura da terra na Amazônia Legal Brasileira**: 2014. Brasília, DF; Belém: Embrapa, INPE, 201. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/>.
- TRICART, J.; KILIAN, J. **La Eco-Geografía y La Ordenación del Medio Natural**. Barcelona: Editorial Anagrama, 1982, 288 p.
- VALLADARES, G. S.; GOMES, A. S.; TORRESAN, F. E.; RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R. Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1376-1383, 2012.
- VALLE JUNIOR, R. F. **Diagnostico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. 222f. Tese (Doutorado em Agronomia), Faculdades de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, São Paulo.
- VASQUEZ, M. L.; SOUSA, C. S.; CARVALHO J. M. A. **Mapa Geológico e de Recursos Minerais do Estado do Pará** - escala 1:1.000.000. Programa Geologia do Brasil (PGB), Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais. CPRM- Serv. Geol. Brasil, Superintendência Regional de Belém – PA, 2008.
- VIEIRA, S. R.; LOMBARDI NETO, F. Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 54, n. 2, p. 405 - 412, 1995.
- VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, v. 2, n. 2, p. 107 - 132, 2007.
- WILLIAMS, M.; KUHN, W.; PAINHO, M. The influence of landscape variation on landform categorization. **Journal of Spatial Information Science**, n. 5, p. 51-73, 2012.