



PROD. TEC. ITV DS – N050/2022
DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.50.Silva

RELATÓRIO TÉCNICO ITV DS

DADOS MORFOMÉTRICOS DA BACIA DO RIO VERMELHO, SUDESTE DO ESTADO DO PARÁ, AMAZÔNIA ORIENTAL

RELATÓRIO FINAL DO PROJETO

Edilson Freitas da Silva

Mariana Maha Jana Costa de Figueiredo

José Tasso Felix Guimarães

Belém / PA

Novembro / 2022

Título: Dados morfométricos da Bacia do Rio Vermelho, sudeste do estado do Pará, Amazônia Oriental	
PROD. TEC. ITV DS N050/2020	Revisão 00
Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (x) Pública	

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados

Citar como

SILVA, Edilson Freitas da; FIGUEIREDO, Mariana Maha Jana Costa de; GUIMARÃES, José Tasso Félix. **Dados morfométricos da Bacia do Rio Vermelho, sudeste do estado do Pará, Amazônia Oriental.** Belém: 2022. (Relatório Técnico N050/2022) DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.50.Silva

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586 Silva, Edilson Freitas da.
 Dados morfométricos da Bacia do Rio Vermelho, sudeste do estado do Pará, Amazônia Oriental. / Edilson Freitas da Silva, Mariana Maha Jana Costa de Figueiredo, José Tasso Felix Guimarães - Belém: 2022.
 28 p. : il.
 Relatório Técnico (Instituto Tecnológico Vale) – 2022
 PROD.TEC.ITV.DS – N050/2022
 DOI 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2022.50.Silva
 1. Geomorfologia. 2. Degradação ambiental. 3. Amazônia oriental. I. Figueiredo, Mariana Maha Jana Costa de. II. Guimarães, José Tasso Félix. III. Título

Bibliotecário responsável: Eddie Saraiva / CRB 2 – 058P

RESUMO EXECUTIVO

A região sudeste paraense é mundialmente conhecida por possuir uma das províncias minerais mais expressivas do mundo. Com destaque para Bacia do Rio Itacaiúnas (BRI) que possui diversos depósitos minerais e um potencial metalogenético gigantesco, onde a Vale mantém as principais minas ativas de ferro, cobre, níquel e manganês. A Bacia do Rio Vermelho (BRV) está inserida nesse contexto, em que a mineração junto a expansão agropastoril e o crescimento de centros urbanos representam as principais atividades que ameaçam o equilíbrio ambiental.

Parte da BRV é ocupada por pessoas, essas áreas necessitam de estudos, como de morfometria que permitam os avanços necessários para a análise e monitoramento dos recursos hídricos. A respeito da geomorfologia, é possível descrever as fragilidades do terreno e suas potencialidades naturais, bem como os impactos das atividades humanas sobre cada unidade.

Esse relatório técnico está inserido no projeto “Monitoramento de eventos críticos e subsídios para gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Itacaiúnas”, em desenvolvimento pelo Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável, no qual se avaliou as características geométricas, de relevo e da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Vermelho. Assim, foi possível observar que em condições naturais, a BRV possui uma rede de drenagem que promove escoamento superficial e dissecação moderados, com ambiente relativamente seco na maior parte do ano. A maioria de suas micro e sub-bacias são alongadas e pouco sujeitas a enchentes, em condições normais de precipitação. Seu relevo possui dois domínios geomorfológicos, um caracterizado pelo predomínio de valores baixos de altitude e declividade, relevo suavemente ondulado a ondulado, e outro com valores maiores caracterizado como montanhoso.

A baixa susceptibilidade da BRV a enchentes é ameaçada pelos diferentes usos da terra que se utilizam da retirada de floresta, com destaque para pecuária extensiva, que intensifica o processo de erosão e expõe o solo. A exposição do solo, naturalmente enriquecidos por matais, permite o aumento do arraste superficial que contamina os cursos de água com o acréscimo exponencial do teor de elementos.

RESUMO

Para prevenir ou mitigar processos de degradação, como na Bacia do Rio Vermelho (BRV) é preciso apresentar uma conceituação detalhada da área para elaboração de um plano de manejo e conservação eficazes de recursos hídricos. A análise morfométrica estabelecendo indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e à composição integrada entre os elementos. Esses parâmetros podem revelar anomalias e alterações na paisagem, seja por fatores tectônicos, estruturais, climáticos ou, até mesmo, antrópicos. Frente a forte pressão antrópica exercida na área da BRV, este estudo foi realizado para compreender a dinâmica hidrossedimentológica, utilizando a caracterização morfométrica como ferramenta de análise. A partir da análise do Modelo Digital de Elevação (MDE) foram definidas as características geométricas, de relevo e da rede de drenagem da referida bacia. Os parâmetros de densidade, drenagem e hidrográfica mostraram diferenças quando avaliados por sub-unidades. Apresenta capacidade de drenagem moderada, como reforça os elevados tempos de concentração. A BRV possui hierarquia hídrica de 6º ordem de formato alongado e pouco eficiente na conservação de umidade. O avançado processo de desmatamento, resultado a intensa atividades agropastoris, são determinantes para intensificar o processo de erosão e arraste superficial, mesmo em áreas mais aplainadas como no domínio ocupado pela Formação Couto Magalhães, podendo causar inundações e alterar a qualidade da água. Porém, apesar da forte pressão antrópica, a BRV ainda apresenta condições naturais que indicam baixa susceptibilidade a enchentes e a processos erosivos. Sendo a recuperação de áreas de floresta a principal medida de mitigação desses eventos.

Palavras-chave: Geomorfologia; Degradação Ambiental; Amazônia Oriental.

ABSTRACT

In order to prevent or mitigate degradation processes, as in the Rio Vermelho Basin (BRV), it is necessary to present a detailed conceptualization of the area in order to prepare a plan for effective management and conservation of water resources. The morphometric analysis establishing indicators related to the form, the structural arrangement and the integrated composition between the elements. These parameters can reveal anomalies and alterations in the landscape, whether due to tectonic, structural, climatic or even anthropic factors. In view of the strong anthropic pressure exerted in the BRV area, this study was carried out to understand the hydrosedimentological dynamics, using morphometric characterization as an analysis tool. From the analysis of the Digital Elevation Model (DEM) the geometric, relief and drainage network characteristics of the aforementioned basin were defined. The density, drainage and hydrographic parameters showed differences when evaluated by sub-units. It has moderate drainage capacity, as it reinforces the high concentration times. BRV has a 6th order water hierarchy with an elongated shape and little efficiency in the conservation of moisture. The advanced process of deforestation, resulting from intense agropastoral activities, are crucial to intensify the process of erosion and surface drag, even in more flattened areas such as the domain occupied by the Couto Magalhães Formation, which can cause flooding and alter water quality. However, despite the strong anthropic pressure, the BRV still has natural conditions that indicate low susceptibility to floods and erosive processes. The recovery of forest areas is the main mitigation measure for these events.

Keywords: Geomorphology; Ambiental degradation; Eastern Amazon.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros morfométricos da Bacia do Rio Vermelho, PA. *Dados obtidos por geoprocessamento.....	18
Tabela 2 - Limites dos parâmetros morfométricos da Bacia do Rio Vermelho, PA...19	
Tabela 3 – Caracterização morfométrica da Bacia do Rio Vermelho, PA.....21	
morfométricos da Bacia do Rio Vermelho, PA.	19

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. a) Localização do Estado do Pará, e sua posição geográfica em relação ao Brasil; b) Localização da área de estudo em relação aos municípios do Estado do Pará; c) Mapa hipsométrico da área de estudo; d) Delimitação da área de estudo, com destaque para o rio principal.	13
Figura 2 – Visão geral da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho. A) Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho; B) Mapa do Brasil, com destaque para o Estado do Pará; C) Mapa do Estado do Pará, com destaque para o domínio Carajás (verde) e Cinturão Araguaia (laranja).	15
Figura 3 – Bacia do Rio Vermelho, PA. a) Relevo sombreado. b) Lineamento de relevo sombreado.	20
Figura 4 – Diagrama de roseta dos lineamentos extraídos Bacia do Rio Vermelho.	20
Figura 5 – Padrões de drenagem de micro e sub-bacias da Bacia do Rio Vermelho, PA.	22
Figura 5 – Diferentes parâmetros de análise de micro e sub-bacias da Bacia do Rio Vermelho, PA. a: Densidade de drenagem. b: Densidade hidrográfica. c: Coeficiente de manutenção.....	23
Figura 6 – Diferentes parâmetros de análise de micro e sub-bacias da Bacia do Rio Vermelho, PA. a: Índice de circularidade. b: Fator de forma com diferentes índices de risco a enchentes. c: Coeficiente de compacidade com diferentes índices de risco a enchentes.....	25
Figura 7 – Mapa hipsométrico (a) e de declividade (b) da Bacia do Rio Vermelho, PA..	26

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Geral	12
2.2. Específicos	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	12
3.1. Área de estudo	12
3.2. Clima.....	13
3.3. Geologia	13
3.4. Base de dados e modelo digital de elevação (MDE)	16
3.5. Tratamento de dados.....	17
3.6. Parâmetros morfométricos.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	28
REFERÊNCIAS.....	28

1. INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas podem ser conceituadas como áreas geográficas naturais, delimitadas pelos pontos mais altos do relevo, dentro dos quais a água proveniente de chuvas é drenada superficialmente por um curso de água principal até a saída da bacia para o local mais baixo do relevo. As ações antrópicas como o desmatamento, as práticas agrícolas, pecuária, mineração, urbanização e entre outros, em áreas adjacentes das bacias hidrográficas, pode promover rápidas mudanças nesses ambientes, acelera desequilíbrios nos solos, nas vertentes e encostas, vales fluviais e em toda a drenagem da bacia. (CUNHA e GUERRA, 1996).

Estas ações, em especial dos setores produtivos, quando desenvolvidas nas bacias hidrográficas alteram as dinâmicas de acumulação que agem como agente acelerador dos processos de desequilíbrios da paisagem. Nos últimos três séculos, as atividades humanas têm aumentado a sua influência sobre as bacias de drenagem e, por conseguinte, sobre os canais constituintes. Quando podemos considerar que a bacia hidrográfica funciona como unidade integradora já que entre um divisor de águas e outro, sempre começa e termina uma bacia ou microbacia hidrográfica (CUNHA, 1994).

O diagnóstico morfométrico em áreas rurais e urbanas, como na área de influência da Bacia do Rio Vermelho (BRV), são fundamentais para uma análise dos impactos e características dos recursos hídricos e de relevo para detectar as causas de desequilíbrios e degradações provocadas pela ação humana. Para prevenir ou mitigar processos de degradação, como na BRV é preciso apresentar uma conceituação detalhada das áreas de interesse para elaboração de um plano de manejo e conservação eficazes de recursos hídricos.

As análises quantitativas na Geomorfologia, que incluem a morfometria, têm por objetivo caracterizar os aspectos geométricos e altimétricos das bacias, estabelecendo indicadores relacionados à forma, ao arranjo estrutural e à composição integrada entre os elementos. Esses parâmetros podem revelar anomalias e alterações na paisagem, seja por fatores tectônicos, estruturais, climáticos ou, até mesmo, antrópicos (CHEREM, et al. 2020).

A análise morfométrica explica como os fatores geométricos se inter-relacionam em diferentes escalas espaço-temporais e controlam o comportamento hidrológico e erosivo das bacias hidrográficas. As correlações entre parâmetros morfométricos da rede de drenagem revela a atuação dos processos geomorfológicos

nas bacias hidrográficas, pois os canais e a rede hidrográfica são os elementos da paisagem com ações morfogenéticas mais ativas na superfície terrestre (CHEREM, et al. 2020). Sendo assim, frente a forte pressão antrópica exercida na área da BRV, este estudo foi realizado para compreender a dinâmica hidrossedimentológica, utilizando a caracterização morfométrica como ferramenta de análise.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Analisar características geométricas, de relevo e da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Vermelho utilizando dados de sensoriamento remoto para o entendimento da dinâmica hidrossedimentológica da região.

2.2. Específicos

- Descrever e caracterizar, utilizando dados morfométricos, a rede de drenagem e o relevo;
- Correlacionar parâmetros morfométricos da rede de drenagem com dados geomorfológicos;
- Analisar as possíveis causas de desequilíbrio ambiental e suas conexões com as características morfométricas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

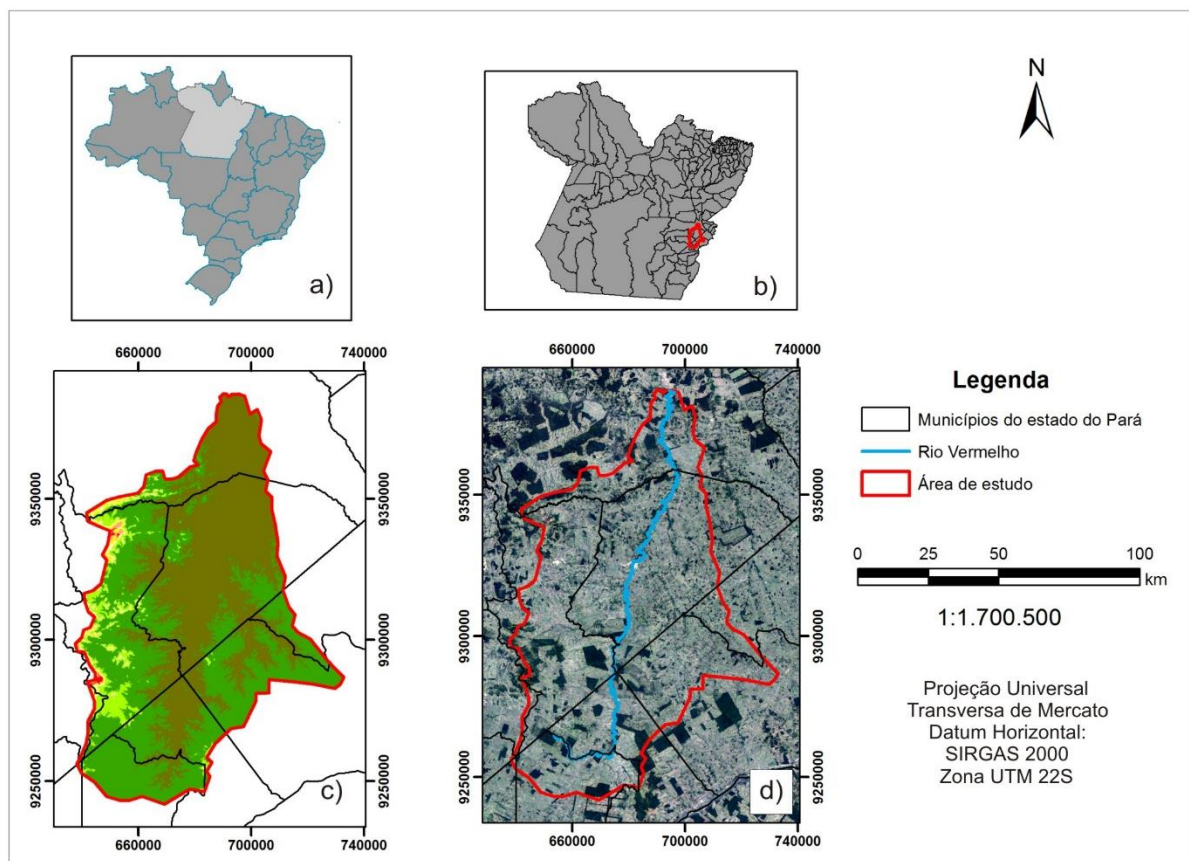
A área de estudo está localizada na porção sudeste do Estado do Pará, abrangendo áreas dos Municípios de Marabá, Curionópolis, Eldorado dos Carajás, São Geraldo do Araguaia, Piçarra, Xinguara e Sapucaia (ALMEIDA et al., 2020; Figura 1). Apresenta uma área de 7566,59 km², sendo o Rio Vermelho sua drenagem principal. Suas nascentes estão situadas no município de Sapucaia, em uma elevação de aproximadamente 200 m e sua foz, situa-se a uma elevação de aproximadamente 70 m (GUIMARÃES et al., 2019).

A BRV passou por um grande processo de desmatamento desde a década de 1970. De sua área total, cerca de 76.8% são áreas desmatadas. O restante corresponde a áreas de floresta (23%) e uma pequena parcela de áreas urbanas (0.2%; GUIMARÃES et al., 2019)

3.2. Clima

O clima regional é de monções tropicais, com uma média anual da temperatura de aproximadamente 26°C (ALVARES et al., 2013). A precipitação total anual foi de 1792 mm (calculada no período entre 1973-2016; XAVIER et al., 2017), com um total de ~ 1564 mm durante a estação chuvosa (novembro a maio) e ~ 228 mm durante a estação seca (junho a outubro) (CAVALCANTE et al., 2019).

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo. a) Localização do Estado do Pará, e sua posição geográfica em relação ao Brasil; b) Localização da área de estudo em relação aos municípios do Estado do Pará; c) Mapa hipsométrico da área de estudo; d) Delimitação da área de estudo, com destaque para o rio principal.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

3.3. Geologia

A bacia do Rio Vermelho (BRV) está instalada no Cráton Amazônico, uma das principais unidades geotectônicas da Plataforma Sul-Americana, constituído pelos

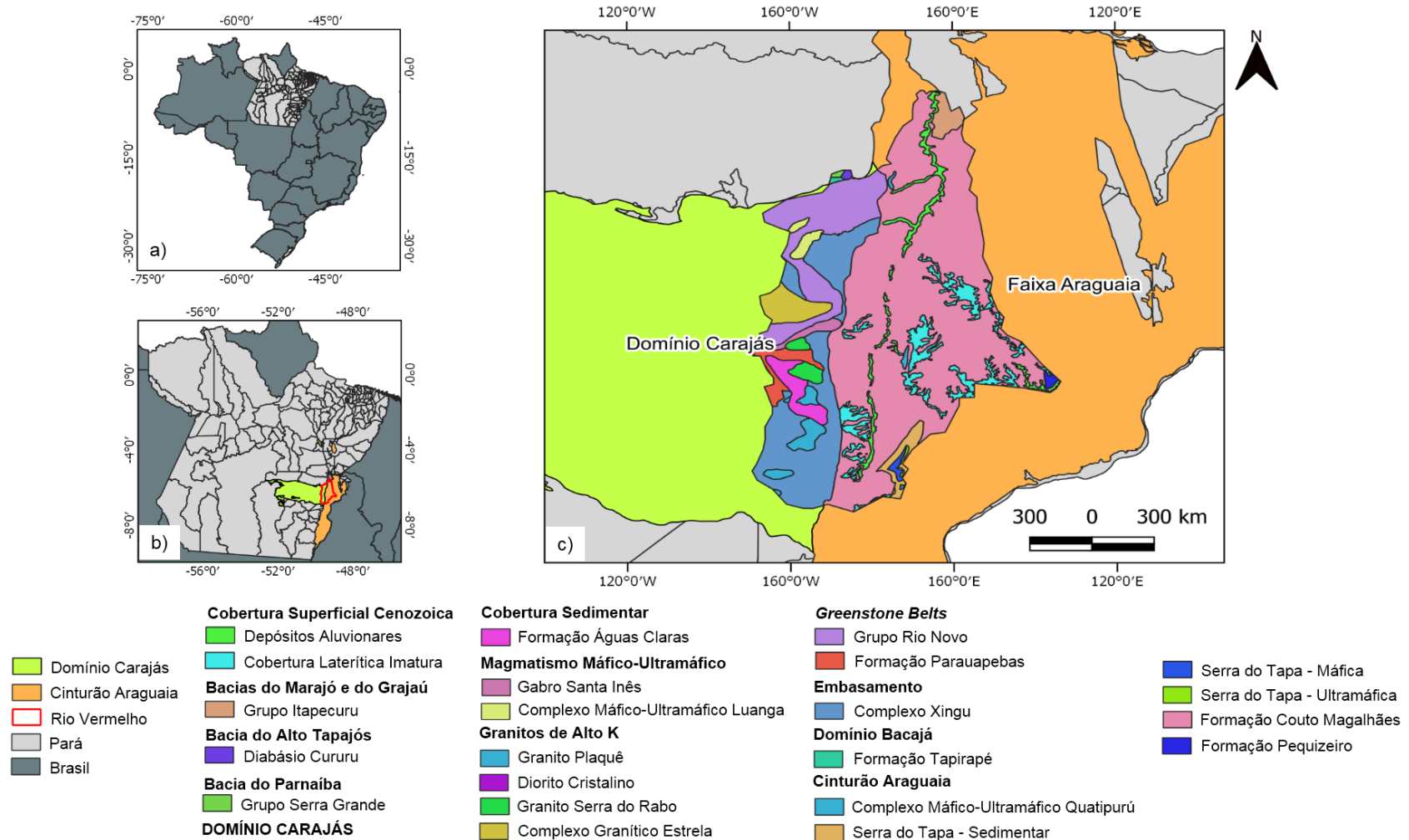
escudos das Guianas e Brasil Central, separados pela expressiva faixa sedimentar das Bacias do Amazonas e Solimões. A BRV se localiza entre o Cinturão Orogênico Araguaia, uma importante unidade geotectônica do Neoproterozoico pertencente ao Sistema Orogênico Tocantins, e Província Parnaíba (SILVA *et al.*, 2003), a qual abrange quatro bacias sedimentares originadas a partir de fases tectônicas com estilos e idades distintas (Grajaú, Espigão Mestre, Alpercatas e Parnaíba; GÓES, 1995).

O cinturão Araguaia margeia a borda leste do Cráton Amazônico, desde o extremo norte do estado do Tocantins até o noroeste de estado Goiás. A leste, o Cinturão Araguaia é recoberto por rochas sedimentares fanerozoicas da Bacia do Parnaíba. Na BRV, as unidades representativas do Cinturão Araguaia são: 1) Formação Couto Magalhães, representada por rochas predominantemente metassedimentares terrígenas, com rochas carbonáticas subordinadas, cujos protólitos sedimentares foram depositados em ambientes marinho raso com praia e plataforma restritas, talude e bacia marinha, caracterizando um sistema de margem passiva; 2) Os corpos máfico-ultramáficos dos complexos Quatipuru e Serra do Tapa, incluídos na unidade Litotectônica Ofiolitos e Rochas Relacionadas, ambas associadas à fase pré-orogênica do Ciclo Brasileiro; e 3) Formação Pequizeiro.

Os complexos máfico-ultramáficos Quatipuru e Serra do Tapa, ocorrem em corpos alongados de direção preferencial N-S, associados às rochas metassedimentares da Formação Couto Magalhães, os quais têm sido interpretados como remanescentes de complexos ofiolíticos ou, alternativamente, como corpos magmáticos de origem mantélica, sem crosta oceânica associada (GORAYEB *et al.*, 2001, PAIXÃO e NILSON, 2002).

O complexo máfico-ultramáfico Quatipuru (757 ± 49^6 Ma - método Sm-Nd; MOURA *et al.*, 2005) representa uma sequência ofiolítica com gênese em zona de cordilheira meso-oceânica (PAIXÃO e NILSON, 2002), enquanto que o complexo máfico-ultramáfico Serra do Tapa (2052 ± 5^5 Ma - método Pb-Pb em zircônio; TEXEIRA e MOURA, 2001), pode representar remanescentes de fundo oceânico da fase rifte da evolução neoproterozóica do Cinturão Araguaia (ALVARENGA *et al.*, 2000) ou corpos alóctones paleoproterozóicos (GORAYEB *et al.*, 2001).

Figura 2 – Visão geral da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho. A) Mapa do Brasil, com destaque para o Estado do Pará; B) Mapa do Estado do Pará, com destaque para o domínio Carajás (verde) e Cinturão Araguaia (laranja); C) Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho.



Fonte: Modificado do Serviço Geológico do Brasil

A Formação Couto Magalhães é constituída predominantemente por filitos, metassiltitos e metargilitos, correspondendo a uma associação de litofácies caracteristicamente pelítica. Faixas consideráveis de conglomerados polimíticos e metarcóseos, associados a zonas de cisalhamento, e possivelmente correspondem à sedimentação da fase *rift* do desenvolvimento inicial da bacia (SOUZA, 2001).

Os filitos têm cores variadas, textura lepidoblástica fina a milonítica, estrutura orientada e quartzo, plagioclásio e sericita como constituintes majoritários. Os metassiltitos têm cor cinza-esverdeado, textura granolepidoblástica fina, estrutura foliada e minúsculos grãos de quartzo e plagioclásio envolvidos por palhetas de sericita associadas à clorita e argilominerais. Os metargilitos mostram-se mais ricos em argilominerais e sericita (SOUZA, 2001).

Faixa de metaconglomerados desorganizados e alterados formados por clastos de gnaisses, rochas básicas, quartzitos, minério de ferro (especularita), quartzo e silito ocorrem na Formação. O tamanho dos clastos varia de grânulos a blocos, e são suportados por uma matriz arcossiana fina. Blocos soltos de metaconglomerados de cor cinza, estrutura maciça, formados por grânulos e seixos arredondados em matriz arcossiana afloram no limite com a Folha Serra dos Carajás e representam fácies de leques aluviais (SOUZA, 2001).

Estruturas primárias, como estratificações plano-paralelas, *sand waves*, estratificações cruzadas tangenciais e *herringbone*, foram preservadas em metarcóseos da Formação Couto Magalhães. Baseado nos litotipos, geometria e nas estruturas primárias, admite-se que os metassedimentos se depositaram em um ambiente marinho mais profundo (SOUZA, 2001).

A Formação Pequizeiro é formada principalmente por clorita xistos, que afloram na porção ocidental, próximo ao contato com a Formação Couto Magalhães, de cor cinza-esverdeado, textura lepidoblástica fina, estrutura foliada e crenulação bem marcante. São formados, predominantemente, por clorita, muscovita e sericita. SOUZA *et al.* (1988), ao analisarem 36 amostras deste grupo indicando que a formação Pequizeiro derivada de sedimentos imaturos, e ressaltam sua composição predominantemente ácida.

3.4. Base de dados e modelo digital de elevação (MDE)

Para a realização do presente estudo e levantamento das informações, utilizou-se imagem de radar do sensor ALOS PALSAR-FBS com resolução espacial de 12,5 m, utilizada para a construção do MDE e consequentemente obtenção das demais informações, adquirida no sistema *Alaska Satellite Facility* operado e distribuído pelo *EarthData/National Aeronautics and Space Administration* (2022), cujas imagens permitiram a obtenção da delimitação da bacia e a geração da declividade. A imagem obtida foi submetida a uma correção de Datum, de WGS 1984 para SIRGAS 2000.

3.5. Tratamento de dados

Para obtenção da rede de drenagem foi utilizado o software QGIS 3.34.1 (QGIS DEVELOPEMENT TEAM, 2015). Na execução desta análise foi aplicada a ferramenta GRASS e a função *r.fill.dir* para eliminar pixels espúrios corrigindo o MDE. Para delimitação das microbacias foi aplicada a ferramenta *r.watershed* no MDE corrigido com o valor de resolução do raster (tamanho do pixel) como referência, além das microbacias foi salvo arquivo de fluxo de acumulação. Com a ferramenta *r.stream.extract* foi obtida a rede de drenagem e o arquivo de direção de fluxo utilizando o MDE corrigido e o arquivo de fluxo de acumulação. A conversão do arquivo raster da drenagem para vetor foi feita com a ferramenta *r.to.vect*.

Utilizando a função *Calculate Geometry* do software Arcgis 10.3 / ArcMap® (ESRI, 2015), foram calculadas a área (A) em Km² e o perímetro da bacia (P) em Km. O comprimento do rio principal (Rio Vermelho) foi utilizado para determinar o comprimento da bacia em Km, obtido através da função “*Calculate Geometry/Lenght*” na tabela de atributos.

Para determinar o número de canais da bacia, comprimento total dos canais e a hierarquia hídrica. Foi utilizada a ferramenta *Raster Calculator* para identificar a rede hídrica, em seguida para garantir a continuidade dos canais a ferramenta *Stream Link* e o *Stream Order* do conjunto de ferramentas *Spatial Analyst (Hidrology)* para a obtenção da hierarquia hídrica do software Arcgis 10.3.

Para dados de elevação foi gerado mapa hipsométrico utilizando a ferramenta *Calculate Statistic*, depois *Reclass by ASCII File* com intervalos de altitudes definidos.

O mapa de declividade foi confeccionado a partir do MDE no software Arcgis 10.5, utilizando-se o comando *Slope* disponível na extensão *Spatial Analyst Tools* da

interface ArcToolbox. Em seguida, foi feita uma reclassificação das classes de valores de declividade em seis intervalos distintos (0-3%, 3-8%, 8-20%, 20-45%, 45 a 75% e >75%), conforme proposto por Embrapa (1979). Para isso, utilizou-se o comando Reclassify (Spatial Analyst Tools/Reclass/Reclassify).

A consulta estatística das informações relativas às características do relevo e do canal principal foi feita através da ferramenta “Zonal Statistics as Table”, disponível na extensão Spatial Analyst Tools – Zonal, utilizando-se o shape de drenagem da área de estudo e o mapa de declividade.

3.6. Parâmetros morfométricos

Os parâmetros morfométricos analisados foram: área, perímetro e comprimento da bacia, fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, número de canais, comprimento total dos canais, comprimento do canal principal, hierarquia hídrica, densidade hidrográfica e de drenagem, coeficiente de manutenção, tempo de concentração, amplitude altimétrica, altitude máxima, mínima, média e mais frequente (Tabela 1).

Tabela 1 – Parâmetros morfométricos da Bacia do Rio Vermelho, PA. *Dados obtidos por geoprocessamento.

CARACTERÍSTICAS	PARÂMETRO	SIGLA	EQUAÇÃO	AUTOR
Geométrica	Área da bacia	A	*	-
	Perímetro da bacia	L	*	-
	Comprimento da bacia	C	*	-
	Fator de forma	Kf	$Kf = A/C^2$	VILLELA e MATTOS (1975)
	Coeficiente de compacidade	Kc	$Kc = 0,28x \frac{P}{\sqrt{A}}$	VILLELA e MATTOS (1975)
	Índice de circularidade	Ic	$Ic = 12,57x \frac{A}{P^2}$	SCHUMM (1956)
Rede de Drenagem	Número de canais	N	*	-
	Comprimento total dos canais	Lt	*	-
	Comprimento do Canal principal	L	*	-
	Hierarquia hídrica	-	*	STRAHLER (1957)
	Densidade hidrográfica	Dh	$Dh = \frac{N}{A}$	LOLLO (1995)

	Densidade de drenagem	Dd	$Dd = \frac{Lt}{A}$	VILLELA e MATTOS (1975)
	Coeficiente de manutenção	Cm	$Cm = \frac{1}{Dd} \times 1000$	SCHUMM (1956)
	Tempo de concentração (PICKERING)	Tc₁	$Tc = \left(\frac{0,87 \times L^3}{H} \right)^{0,385}$	MATA-LIMA et al. (2007)
	Tempo de concentração (GIANDOTTI)	Tc₂	$Tc = \left(\frac{4\sqrt{A} + \frac{3}{2} \times L}{0,8x\sqrt{Hm}} \right)$	MATA-LIMA et al. (2007)
Relevo	Altitude máxima	AM	*	-
	Altitude mínima	Am	*	-
	Altitude média	Hm	*	-
	Altitude mais frequente	-	*	-
	Amplitude altimétrica	H	$H = AM - Am$	-

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Os valores dos parâmetros fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, densidade hidrográfica, de drenagem e índice de relevo, foram classificados com base na literatura (Tabela 2).

Tabela 2 - Limites dos parâmetros morfométricos da Bacia do Rio Vermelho, PA.

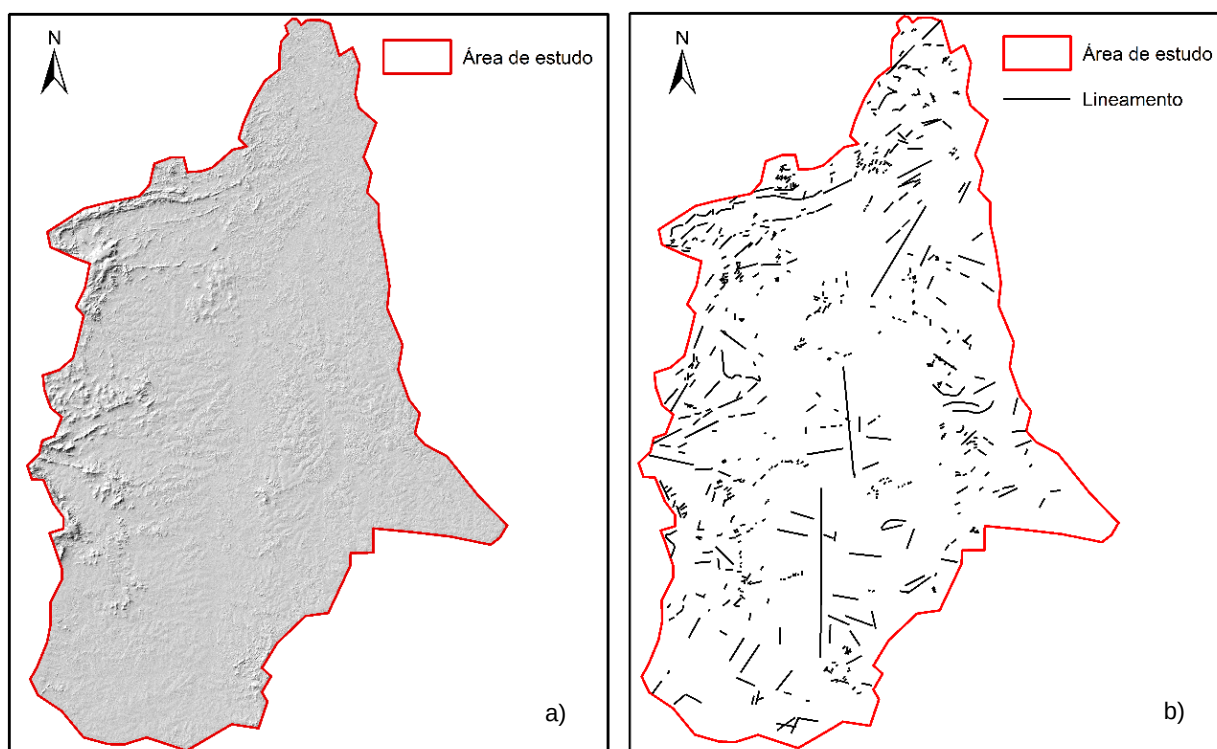
PARÂMETRO	UNID.	LIMITE	CLASSE	AUTOR
Fator de forma	-	<0,50 0,50 – 0,75 0,76 – 1,00	Não sujeito a enchentes Risco médio a enchentes Alto risco de enchente	LIMA JÚNIOR et al. (2012)
Coeficiente de compacidade	-	1,00 – 1,25 1,26 – 1,50 >1,50	Alto risco de enchente Risco médio a enchente Não sujeito a enchente	LIMA JÚNIOR et al. (2012)
Índice de circularidade	-	0,36 – 0,50 0,51 – 0,75 0,76 – 1,00	Forma alongada Forma intermediária Forma circular	SILVA (2012)
Densidade hidrográfica	canais/ km ²	<3 3 – 7 7 – 15 >15	Baixa Média Alta Muito alta	VILLELA, MATTOS (1975)
Densidade de drenagem	canais/ km ²	<0,50 0,50 – 2,00 2,01 – 3,50 >3,50	Baixa Média Alta Muito alta	BELTRAME (1994)
Relevo	%	0 – 3 3 – 8 8 – 20 20 – 45 45 – 75	Plano Suave ondulado Ondulado Forte ondulado Montanhoso	SANTOS et al. (2013)

Fonte: elaborado pelos autores (2022).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

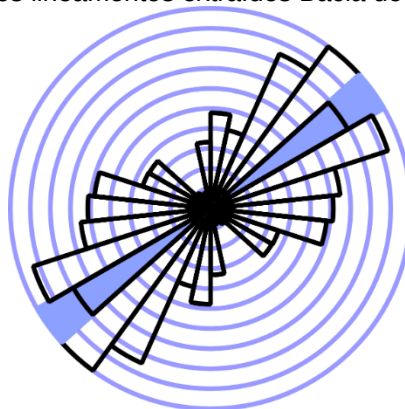
Na imagem de relevo sombreado é possível observar as principais direções de alinhamento do relevo (Figura 3). A imagem utilizada para o estudo apresenta ângulo de iluminação a 45° de elevação, 0° de azimute, que compuseram uma rosácea com direção preferencial NE-SW (Figura 4). Entretanto, numa visão geral há predomínio de um sistema multidirecional, relacionado as principais direções.

Figura 3 – Bacia do Rio Vermelho, PA. a) Relevo sombreado. b) Lineamento de relevo sombreado.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Figura 4 – Diagrama de roseta dos lineamentos extraídos Bacia do Rio Vermelho.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

A área da Bacia do Rio Vermelho (BRV) é de 7566,59 km² com perímetro de 453,39 km. Sua rede de drenagem alcança até a 6ª ordem na classificação de Strahler (1957), contando com 57725 canais e canal principal que alcança 245,29 Km de extensão a soma de todos os canais chega a 8638,86 Km (Tabela 3).

Tabela 3 – Caracterização morfométrica da Bacia do Rio Vermelho, PA.

CARACTERÍSTICAS	PARÂMETRO	SIGLA	VALORES
Geométrica	Área da bacia	A	7566,59 km ²
	Perímetro da bacia	L	453,39 km
	Comprimento da bacia	C	150 km
	Fator de forma	Kf	0,33
	Coeficiente de compacidade	Kc	1,45
	Índice de circularidade	Ic	0,46
Rede de Drenagem	Número de canais	-	57725
	Comprimento total dos canais	Lt	8638,86 Km
	Comprimento do Canal principal	L	259,35 Km
	Hierarquia hídrica	-	6º
	Densidade hidrográfica	Dh	7,62 canais/km ²
	Densidade de drenagem	Dd	1,14 canais/km ²
	Coeficiente de manutenção	Cm	875,87 m ²
	Tempo de concentração (PICKERING)	Tc₁	46,71 h
Relevo	Tempo de concentração (GIANDOTTI)	Tc₂	71,20 h
	Altitude máxima	-	751 m
	Altitude mínima	-	51 m
	Altitude média	Hm	167,39 m
	Altitude mais frequente	-	145 m
	Amplitude altimétrica	H	700 m

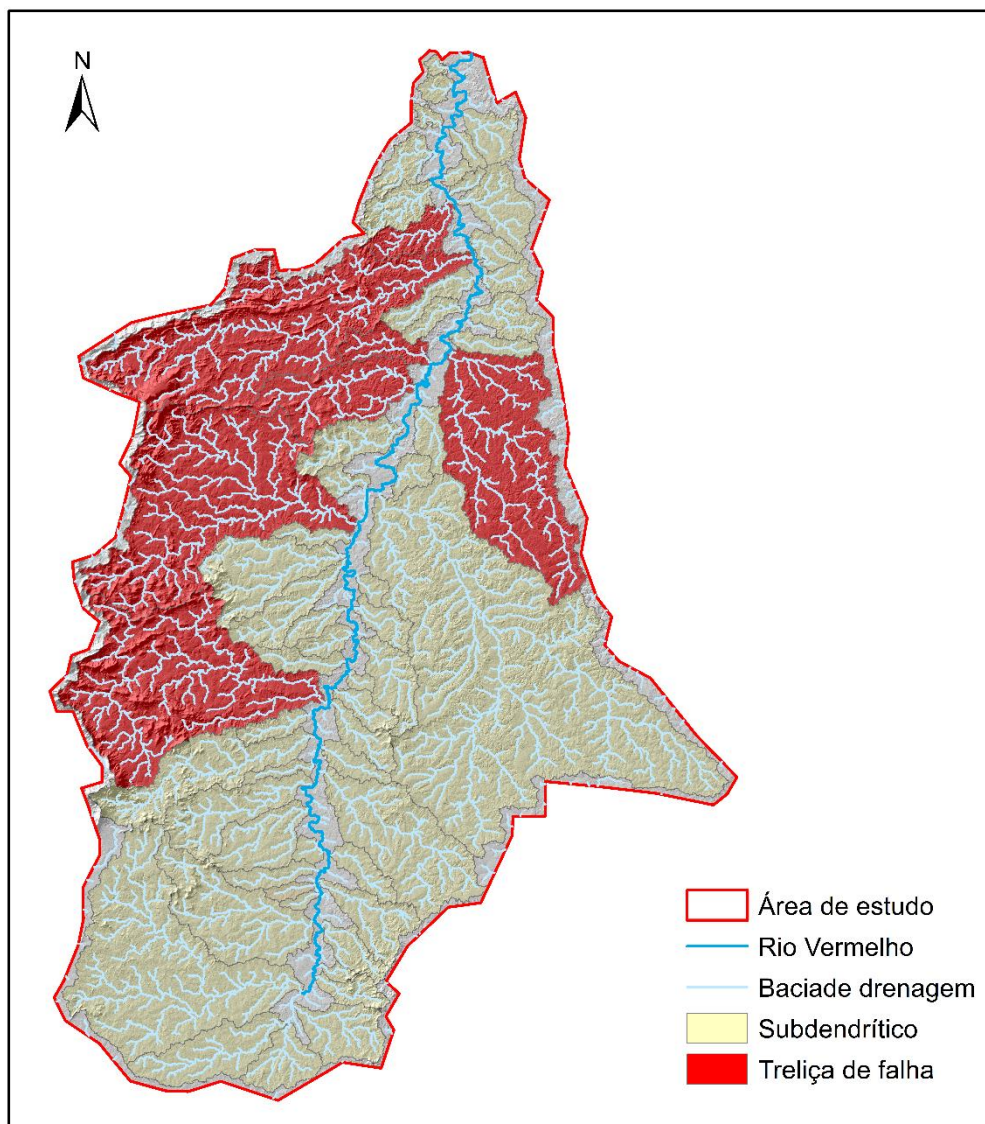
Fonte: Elaborada pelo próprio autor (2022).

A BRV segue ao sentido norte até alcançar o Rio Itacaúnas (Figura 4). Representaria uma aparente anomalia, pois seria esperado fluir rumo a nordeste, ao encontro do Rio Araguaia. Porém, existe um divisor entre ambos sistemas fluviais formado por uma saliência muito baixa e influenciada por uma série de falhas e zonas de cisalhamento de direção geral NNW-SSE e NW-SE (SAADI, 2021).

Foram avaliadas 61 micro e sub-bacias, com dois padrões diferentes de drenagem o subdendrítico e a treliça de falha. A rede de drenagem apresenta forte assimetria e angularidade média, tropia multidirecional ordenada, as formas anômalas encontradas são drenagens dendríticas com treliças e alguns meandros isolados. As micro e sub-bacias a direita do Rio Vermelho são mais alongadas, com densidade e

estruturação média, fracamente estruturada e com forte assimetria na maior parte da área. A esquerda do canal principal as micro e sub bacias são mais curtas, de densidade média e assimétricas (Figura 5).

Figura 5 – Padrões de drenagem de micro e sub-bacias da Bacia do Rio Vermelho, PA.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

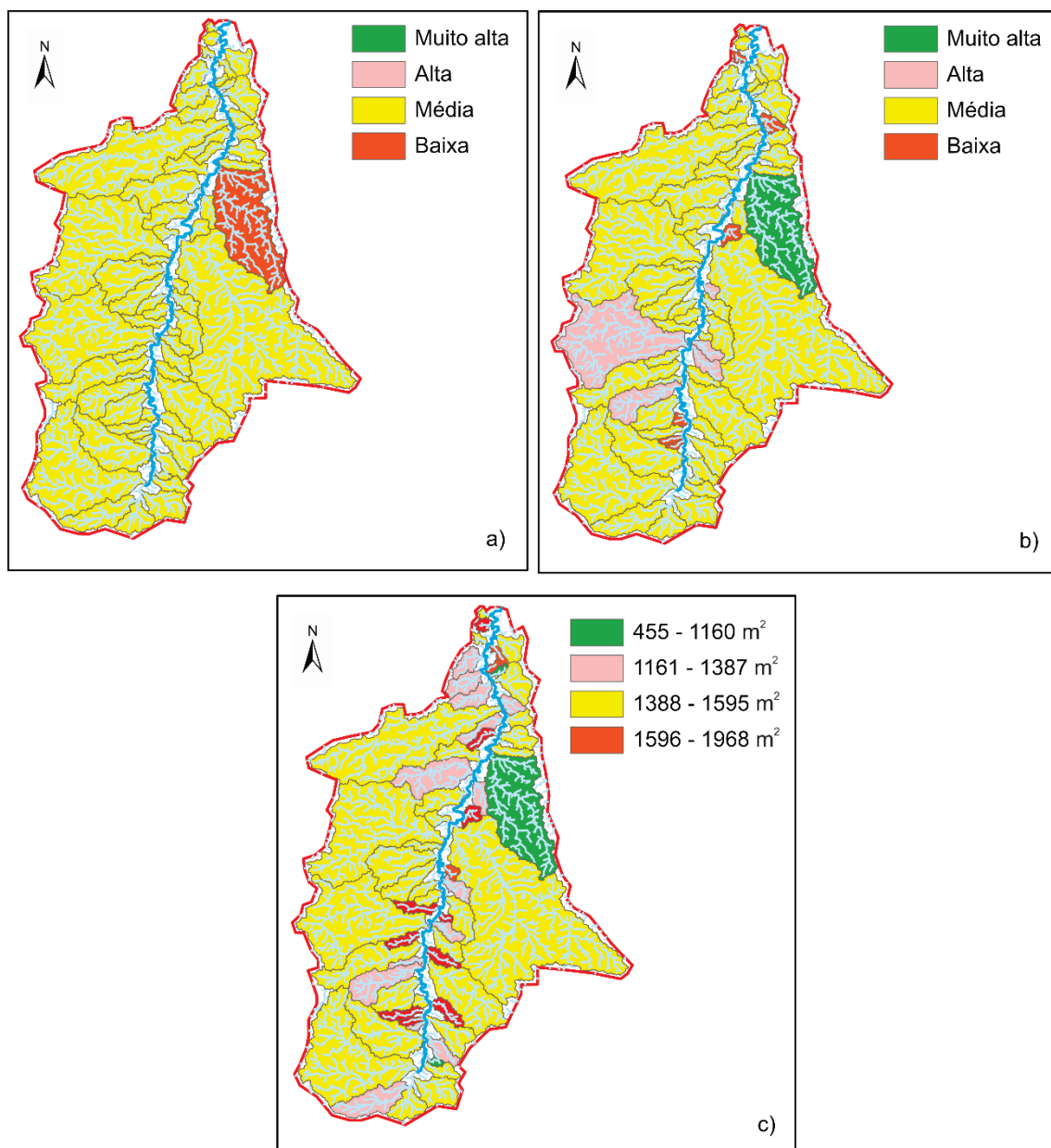
A BRV apresenta densidade de drenagem média e hidrográfica alta, contando com 1,14 e 7,62 canais/km², respectivamente. Porém, quando a avaliação é individualizada por micro e sub-bacias a Dd varia de 0,5 a 2,2 canais/km² e a Dh de 1,26 a 19,66 canais/km², significa que a maior parte da área apresenta Dd e Dh média (VILLELA e MATTOS, 1975; BELTRAME, 1994; Figura 5). Estes valores indicam que a rede de drenagem promove escoamento superficial e dissecação moderados. Essa

variável se relaciona diretamente com os processos climáticos atuantes na área estudada, os quais influenciam o fornecimento e o transporte de material detrítico até os cursos de água ou indicam o grau de manipulação antrópica (SANTOS et al., 2012).

O coeficiente de manutenção demonstra que para manter um metro de canal fluvial perene é necessária cerca de 875 m². Com relação as micro e sub-bacias o coeficiente de manutenção varia de 454 m² a 1967 m², mas maioria das áreas necessitam de 1388 m². Uma sub-bacia da porção nordeste apresenta os maiores valores de Dd e Dh e menor valor de Cm (Figura 6).

A precipitação total anual é de 1792 mm (Xavier et al., 2015). Na estação chuvosa ~ 1564 mm (novembro a maio) e ~ 228 mm durante a estação seca (junho a outubro; Cavalcante et al., 2019). Os elevados valores de Cm indicam que a área de estudo é relativamente seca durante maior parte do ano. Isso faz com que haja condições menos propícias ao escoamento do que à infiltração. Logo, o tipo de uso e cobertura da terra pode influenciar na capacidade de produção de água da bacia, sendo importante manter seu estado de conservação.

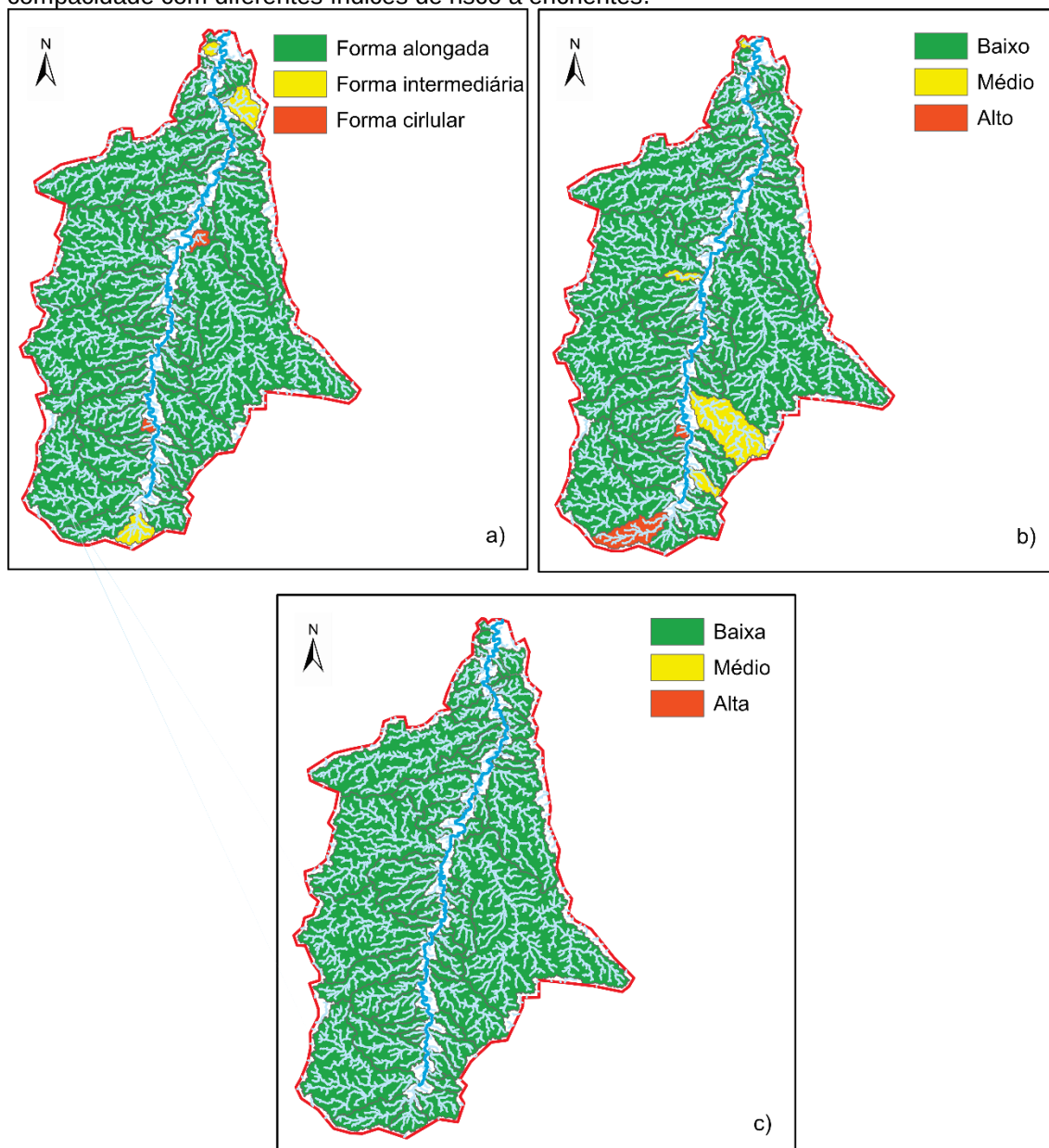
Figura 6 – Diferentes parâmetros de análise de micro e sub-bacias da Bacia do Rio Vermelho, PA. a: Densidade de drenagem. b: Densidade hidrográfica. c: Coeficiente de manutenção.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

O índice de circularidade de 0,46 representa que a BRV possui forma alongada, e que não está sujeita a enchentes em condições normais de precipitação, como reforçado pelos valores de fator de forma de 0,33 e coeficiente de compacidade de 1,45. Estes valores corroboram os dados obtidos para micro e sub-bacias (Figura 6). A forma alongada quando comparada com a circular, para microbacias de mesma área, tende a ser mais extensa, reduzindo a probabilidade de ocorrência simultânea de precipitação em toda rede de drenagem (LORENZON et al., 2015).

Figura 7 – Diferentes parâmetros de análise de micro e sub-bacias da Bacia do Rio Vermelho, PA. a: Índice de circularidade. b: Fator de forma com diferentes índices de risco a enchentes. c: Coeficiente de compacidade com diferentes índices de risco a enchentes.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

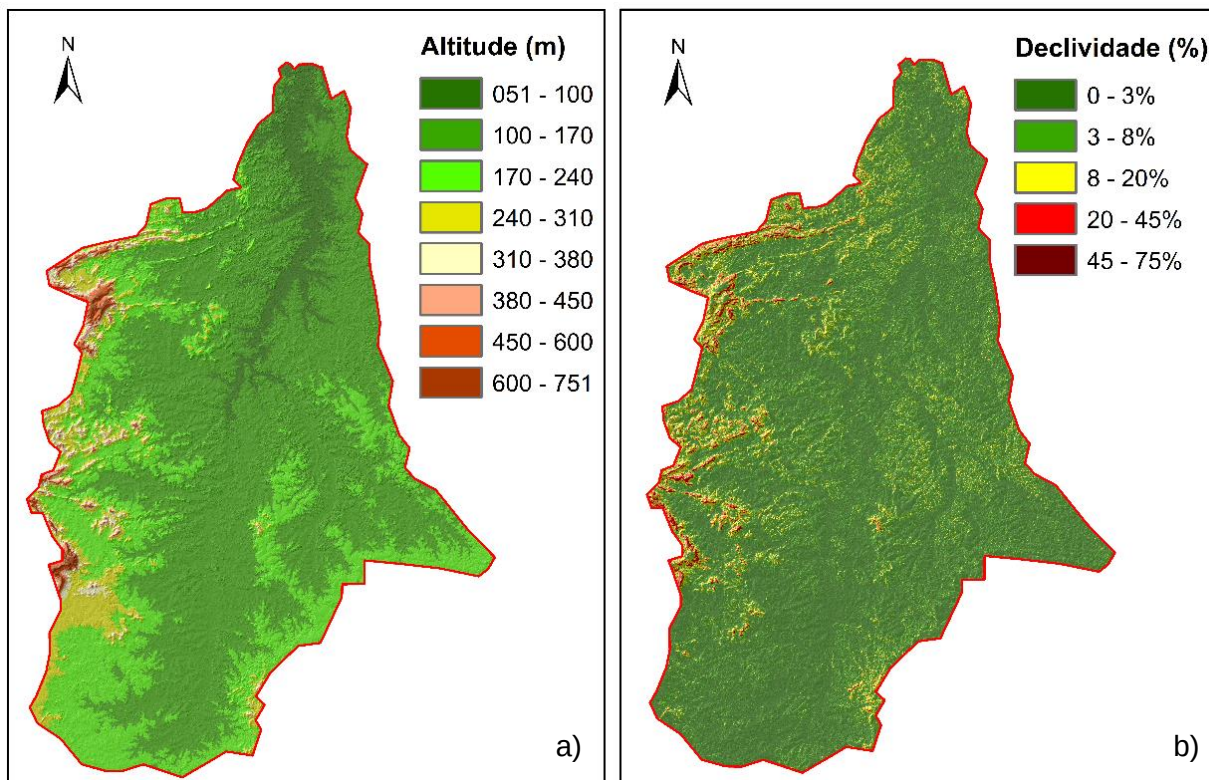
A partir dos mapas hipsométricos e de declividades é possível o reconhecimento de dois domínios geomorfológicos. O primeiro está localizado na maior parte da BRV, se estende do extremo norte a sul, incluindo toda porção leste. É caracterizado predominantemente por uma faixa de altitude de 51 a 100 m com baixas colinas e lombadas e uma estreita faixa de 170 a 240 m, com raros picos que atingem 380 m. A declividade predominante de até 8% podendo alcançar 20% e nos morros residuais até 45%. Essa área apresenta relevo suavemente ondulado a

ondulado (SANTOS et al., 2013). Além disso, maior parte dessa área pode ser classificada com fragilidade muito baixa (0-6%) a baixa (6-12%; ROSS, 1994). O que indica baixa susceptibilidade a processos erosivos.

Esse domínio é coberto em sua maior parte por rochas da Formação Couto de Magalhães, onde predominam cotas menores de altitude e declividade (Figuras 2 e 7). A diferença altimétrica entre os talvegues e os fundos dos vales é muito reduzida, com um incipiente encaixamento das drenagens, seus componentes obedecem ao controle estrutural. A retirada de floresta que protege o substrato favorece a ocorrência de processos erosivos resultando no entulhamento das áreas mais baixas (SAADI, 2021). Além disso, as rochas metamórficas da Formação Couto de Magalhães são pouco permeáveis aumentando a possibilidade de ocorrência de enchentes, em especial na área urbana que registra os maiores níveis de precipitação pluviométrica (OLIVEIRA e ALMEIDA, 2018).

O segundo domínio está localizado próximo aos limites da área de estudo, de noroeste a oeste. Caracteriza-se por apresentar altitudes na faixa de 310 a 650 m, com picos de 751 m. O relevo é montanhoso com declividade de 20 a 75% (Figura 7). O grau de fragilidade é de alto (20-30%) a muito alto (>30%; ROSS, 1994). As regiões com elevada declividade estão sujeitas a provocar maior arraste superficial e depósitos de sedimentos. Assim, a degradação das condições naturais dessas áreas ou de suas proximidades pode intensificar esses processos (SILVA et al., 2021).

Figura 8 – Mapa hipsométrico (a) e de declividade (b) da Bacia do Rio Vermelho, PA.



Fonte: elaborado pelos autores (2022).

Os baixos valores de declividade e o formato alongado das micro e sub-bacias, corroboram os elevados tempos de concentração 46,71 h (Tc1) e 71,20 h (Tc2). Essa baixa velocidade de escoamento, com maior tempo de concentração e menor pico de descarga superficial, são características de áreas que favorecem à cultura agrícola e pastagem (PINA-NETO, 2019). Os elevados valores de Tc, são também favorecidos pelo formato alongado da bacia, haja vista que os afluentes entram em contato com o principal curso de água em diversos locais durante o fluxo.

Desde 1970 a BRV passou por um intenso processo de desmatamento, com a perda de 76,8% de sua área de floresta, contando com 0,2% de áreas urbanas e apenas 23% de floresta (GUIMARÃES et al., 2019). Presume-se, que eventos de inundação, favorecidos também pela presença de Depósitos Aluvionares que coincidem com os cursos do rio, e de processos de movimento de massa causado pelo rompimento no limite solo-rocha não sejam eventos casuais.

Já são conhecidos aumentos tanto em períodos secos como nos chuvosos de minerais, naturalmente encontrado na área, e turbidez dos cursos de água muito acima do permitido pelo CONAMA 357/05. Causados pelo garimpo e, principalmente pelo desmatamento que no período seco com o solo argiloso exposto se expandem

quando alcançam os trechos de rio aumentando sua turbidez. No período chuvoso, o aumento do escoamento superficial favorece o transporte de materiais dissolvidos e particulados para as drenagens (COSTA et al. 2022).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Os resultados demonstram a necessidade de avaliar as subunidades que compõem a bacia hidrográfica. Parâmetros como a densidade de drenagem e hidrográfica mostraram-se especialmente sensíveis a adoção deste procedimento. Os resultados da Dh e Dd são fundamentais para interpretar a eficiência dos cursos de água no transporte de sedimentos.
- A capacidade de drenagem da BRV é moderada, como reforça os elevados tempos de concentração. As características da rede de drenagem, como ramificação (6° ordem) e formato alongado da área total e de suas micro e sub-bacias, reforçam que o sistema de drenagem é pouco eficiente para conservação de umidade.
- Os diferentes usos da terra que se utilizem de desmatamento, como a pecuária extensiva que ocupa grande parte da área, são determinantes para intensificar o processo de erosão e arraste superficial, mesmo em áreas mais aplainadas como no domínio ocupado pela Formação Couto Magalhães que aumenta, em períodos mais chuvosos, a possibilidade de transbordamento que pode alcançar moradores das áreas urbanas e afetam a qualidade da água.
- Os dados encontrados, incluindo hipsometria e declividade indicam que a BRV, apesar da forte pressão antrópica, ainda apresenta condições naturais que indicam baixa susceptibilidade a enchentes e a processos erosivos. Sendo a recuperação de áreas de floresta a principal medida de mitigação desses eventos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J.A.C. José de Arimatéia Costa de et al. Zircon geochronology and geochemistry of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: implications for the growth of the Archean crust of Carajás Province, Brazil. **Precamb. Res.** v. 120, p. 235-257, 2011.

ALVARES, Clayton Alcarde et al. Köppen's Climate Classification Map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVARENGA, C. J. S. *et al.* Paraguay and Araguaia Belts. In: CORDANI, U.G. *et al.* (Ed.). **Tectonic Evolution of South America**. Rio de Janeiro: 31. International Geological Congress, 2000. p. 183-193.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994. 112 p.

CAVALCANTE, Rosane Barbosa Lopes *et al.* Opposite Effects of Climate and Land Use Changes on the Annual Water Balance in the Amazon Arc of Deforestation. **Water Resources Research**, v. 5, n. 4, p. 3092-3106, 2019.

CHEREM, Luís Felipe Soares *et al.* Análise morfométrica em bacias hidrográficas. In: MAGALHÃES, JR. Antônio Pereira. **Hidrogeomorfologia**: Formas, processos e registros sedimentares fluviais. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2020.

CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia Fluvial. In: **Geomorfologia: Uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p. 211-252. 1994.

CUNHA, Sandra Baptista da, GUERRA, Antonio José Teixeira. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. Súmula da 10. reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro. 1979.

ESRI. **ArcGIS for Windows Version 10.3**. Licence type ArcInfo. [S.l]: ESRI - Enviromental Systems Research Institute. 2015.

GÓES, A.M. **A Formação Poti (Carbonífero Inferior) da Bacia do Parnaíba**. 1995. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GORAYEB, P. S. S. *et al.* Idades Paleoproterozóicas em zircão dos *pillows* basaltos da Serra do Tapa (Cinturão Araguaia) – Município de Sapucaia, PA. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém.

GUIMARÃES, José Tasso Félix. **Caracterização morfológica e determinação das manchas de inundação na área de entorno do Rio Vermelho sobre a EFC**. Relatório técnico. Instituto Tecnológico Vale, Belém, 2019.

LIMA JÚNIOR, J. C. *et al.* **Determinação das características morfométricas da sub-bacia do Riacho Madeira Cortada, Quixelô, CE**. VII Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas-TO: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. 2012.

LOLLO, J. A. **O uso da técnica de avaliação do terreno no processo de elaboração do mapeamento geotécnico: sistematização e aplicação na quadrícula de Campinas**. 1995. Tese de Doutorado em Geotecnia. Universidade de São Paulo.

LORENZON, A.S. et al. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 1, p. 196-206, 2015.

MATA-LIMA, H. et al. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Rev. Esc. Minas** v. 60, p. 525-536. 2007.

MOURA, C. A. V. et al. Sedimentary provenance and paleoenvironment of the Baixo-Araguaia Supergroup: constraints on paleogeographic evolution of the Araguaia Belt and assembly of the Gondwana. In: SYMPOSIUM WESTERN GONDWANA – THE TIES THAT BIND, 2005, Mendoza-Argentina.

OLIVEIRA, H. R. N.; ALMEIDA, J. A. C. Apontamentos preliminares para estabelecimento de áreas de risco ambiental em Eldorado do Carajás/PA. III Encontro de Pós-graduação. Unifesspa. 2018.

PAIXÃO, M. A. P.; NILSON, A. A. Fragmentos ofiolíticos da Faixa Araguaia: caracterização geológica e implicações tectônicas. In: KLEIN, E. L.; VASQUEZ, M. L.; ROSA-COSTA, L. T. (Ed.). **Contribuições à geologia da Amazônia**. Belém: SBG-Núcleo Norte, v. 3, 2002.

PINA-NETO, A.N.; SILVA-JÚNIOR, R.O.; SILVA, M.S. **Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do rio Parauapebas, Amazônia Oriental**. Belém: ITV. 2019.

Qgis Development Team. QuantumGIS 2.8.8, 2015. Disponível em: <<http://www.qgis.org/en/site/>>.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento Geografia – USP**, v. 8, p. 63-74, 1994.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N.W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambiente-Água**, v. 7, n. 3, p. 195-211., 2012

SANTOS, P.A.; FEIO, G.R.L.; DALL'AGNOL, R., HILTON, T.C.; LAMARÃO, C.N.; GALARZA, M.A. Petrografia, suscetibilidade magnética e geoquímica do Granito Rio Branco, Província Carajás, sudeste do Pará, **Brazil Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 1, p. 2-15, 2013.

SANTOS, R.D.; GALARZA, M.A.; OLIVEIRA, D.C. Geologia, geoquímica e geocronologia do Diopsídio-Norito Pium, Província Carajás. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat., Belém, 8(3): 355-382, set.-dez. 2013.

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

SILVA, A. J. P. et al. Bacias sedimentares paleozóicas e meso-cenozóicas interiores. In: BIZZI, L.A. et al. (Ed.). **Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil**: texto, mapas e SIG. Brasília: CPRM, 2003.

SANTOS, R. D. et al. . Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2013.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**: Universidade Estadual Paulista. 2012.

SILVA, K. N.; FERREIRA, E. C.; LOUREIRO, G. E. Fragilidade Ambiental da Sub-Região Hidrográfica Itacaiúnas (SRHI). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 1-21, 2021.

SOUZA, S. L. A. **Distribuição do ouro no perfil laterítico do depósito Piaba, Aurizona, Estado do Maranhão, Brasil**. 2001. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Geophysical Union Trans.**, v. 38, p. 912-920, 1957.

TEIXEIRA, K. S. L.; MOURA, C. A. V. Idades Pb-Pb em monocristais de zircão em quartzitos do Cinturão Araguaia: resultados preliminares e sua aplicação em estudos de proveniência. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 7., 2001, Belém.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1975.

XAVIER, Alexandre Cândido et al. 2017. An update of Xavier, King and Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil. In: **Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto –SBSR**, Santos/SP, 2017.