

INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE



**PROD. TEC. ITV DS - N001/2019**  
**DOI: 10.29223/PROD.TEC.ITV.DS.2019.1.PinaNeto**

## **PRODUÇÃO TÉCNICA ITV DS**

**ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS E DE  
SUSCEPTIBILIDADE A ENCHENTES DA SUB-BACIA DO RIO  
PARAUPEBAS, AMAZÔNIA ORIENTAL**

Projeto Itacaiúnas II

Acácio Nunes de Pina Neto  
Renato Oliveira Silva Júnior  
Marcio Sousa da Silva

Belém - Pará  
Março / 2019

|   |                |
|---|----------------|
| <b>Título:</b> Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental |                |
| <b>PROD. TEC. ITV DS N001/2019</b>  | <b>Revisão</b> |
| <b>Classificação:</b> ( ) Confidencial ( ) Restrita ( ) Uso Interno ( x ) Pública   | <b>00</b>      |

**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

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P645 Pina Neto, Acácio Nunes.

Análise das características morfométricas e de susceptibilidade a enchentes da sub-bacia do Rio Parauapebas, Amazônia Oriental. / Acácio Nunes Pina Neto, Renato Oliveira Silva Júnior, Marcio Sousa da Silva – Belém: ITV, 2019.  
22 p. : il.

1. Análise morfométrica. 2. Hidrologia – Rio Parauapebas. 3. Geoprocessamento. I. Silva Júnior, Renato Oliveira. II. Silva, Marcio Sousa da. III. Título

CDD 23. ed. 551.48098115

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves / CRB 2 - 525

## RESUMO

Uma análise morfométrica representa um dos primeiros procedimentos executados em análises hidrológicas/ambientais, incluindo estudos de vulnerabilidade, a fim de compreender processos geológicos e alterações antropogênicas através da determinação e combinação de diversos parâmetros morfométricos. Desta forma, este estudo buscou analisar morfometricamente a sub-bacia do rio Parauapebas, região sudeste do Pará. Os parâmetros utilizados na análise foram divididos da seguinte forma: características geométricas (área, perímetro, comprimento, fator de forma, índice de circularidade e coeficiente de compacidade), da rede de drenagem (nº total de canais, comprimento da rede hídrica, comprimento do canal principal, hierarquia hídrica, densidade de drenagem, densidade hidrográfica e coeficiente de manutenção) e de relevo (declividade média da rede hídrica, declividade do canal principal, tempo de concentração, altitude máxima e mínima, amplitude hipsométrica, altitude média, altitude mais frequente e declividade média). Estes foram determinados com auxílio do *software* ArcGis 10.3. A bacia em estudo apresenta área de aproximadamente 9604,42 km<sup>2</sup>, perímetro de 952,57 km e comprimento de 184 O rio Parauapebas possui extensão de 269 km e sua bacia é descrita como excepcionalmente bem drenada e classificada como de 9ª ordem. As altitudes variam de 101 a 882 m e o relevo é predominantemente classificado em suavemente ondulado a ondulado, exceto na porção central onde é montanhoso e com maiores altitudes. Os resultados para fator de forma e índice de circularidade foram muito baixos, o que indica o formato mais alongado da bacia. Enquanto o coeficiente de compacidade apresentou um valor alto, o que caracteriza uma baixa propensão à ocorrência de enchentes em condições normais de precipitação. Entretanto, a subida dos níveis dos rios e a ocorrência de enchentes já foram constatadas. Nesse sentido, fatores antrópicos como a apropriação desordenada do uso e ocupação do solo podem estar favorecendo a ocorrência de cheias na região, além de indicar a possibilidade do assoreamento dos rios e a intensificação das cheias.

**Palavras-Chave:** Análise morfométrica. Hidrologia. Geoprocessamento. Parauapebas.

## **ABSTRACT**

A morphometric analysis represents one of the first procedures performed in hydrological / environmental analyzes, including vulnerability studies, in order to understand geological processes or anthropogenic changes through the determination and combination of several morphometric parameters. The parameters used in the analysis were divided as follows: geometric characteristics (area, perimeter, length, shape factor, circularity index and compactness coefficient), drainage network (total number of channels, water network length, main channel length, water hierarchy, drainage density, hydrographic density and maintenance coefficient) and relief (mean slope of the water network, slope of main channel, concentration time, maximum and minimum altitude, hypsometric amplitude, average altitude, more frequent altitude and average slope). These were determined using the ArcGis 10.3 software. The basin under study has an area of approximately 9604.42 km<sup>2</sup>, a perimeter of 952.57 km and a length of 184 km. The Parauapebas River has an extension of 269 km and its basin is described as exceptionally well drained and classified as 9th order. The altitudes vary from 101 to 882 m and the relief is predominantly classified in gently corrugated to corrugated, except in the central portion where it is mountainous and with higher altitudes. The results for form factor and circularity index were very low, indicating the more elongated shape of the basin. While the coefficient of compactness presented a high value, which characterizes a low propensity to the occurrence of floods in normal conditions of precipitation. However, the rise in river levels and the occurrence of floods have already been observed. In this sense, anthropic factors such as the disorderly appropriation of land use and occupation may be favoring the occurrence of floods in the region, besides indicating the possibility of silting rivers and intensifying floods.

**Keywords:** Morphometric analysis. Hydrology. Geoprocessing. Parauapebas.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|                   |   |           |
|-------------------|---|-----------|
| <b>Figura 1 -</b> | Mapa de localização da BHRI e suas subdivisões com destaque para a sub-bacia do rio Parauapebas.  | <b>08</b> |
| .....             |   |           |
| <b>Tabela 1 -</b> | Caracterização morfométrica da sub-bacia do Rio Parauapebas.....  | <b>14</b> |
| <b>Tabela 2 -</b> | Hierarquia Hídrica da Sub-bacia do Rio Parauapebas. ....  | <b>15</b> |
| <b>Tabela 3 -</b> | Resultados da Análise hipsométrica.   | <b>15</b> |
| .....             |   |           |
| <b>Figura 2 -</b> | Curva Hipsométrica e Frequência de altitudes da Sub-bacia do Rio Parauapebas, geradas a partir das altitudes e suas respectivas áreas acumuladas. | <b>16</b> |
| .....             |   |           |
| <b>Tabela 4 -</b> | Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Parauapebas.   | <b>17</b> |
| .....             |   |           |
| <b>Figura 3 -</b> | Mapa hipsométrico e de declividade da sub-bacia do rio Parauapebas. ....  | <b>18</b> |

## SUMÁRIO

|          |                                     |           |
|----------|-------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>                   | <b>07</b> |
| .....    |                                     |           |
| <b>2</b> | <b>MATERIAL E MÉTODOS</b>           | <b>08</b> |
| .....    |                                     |           |
| 2.1      | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO    | 08        |
| .....    |                                     |           |
| 2.2      | PROCESSAMENTO DOS DADOS ALOS PALSAR | 08        |
| .....    |                                     |           |
| 2.3      | MORFOMETRIA DA BACIA                | 09        |
| .....    |                                     |           |
| 2.3.1    | Características geométricas         | 09        |
| .....    |                                     |           |
| 2.3.2    | Características da rede de drenagem | 10        |
| .....    |                                     |           |
| 2.3.3    | Características do relevo           | 11        |
| .....    |                                     |           |
| <b>3</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>       | <b>12</b> |
| .....    |                                     |           |
| <b>4</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>         | <b>19</b> |
| .....    |                                     |           |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b>                  | <b>20</b> |
| .....    |                                     |           |

## 1 INTRODUÇÃO

Uma bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento propõe uma visão abrangente incluindo em seu plano estudos, políticas públicas, tecnológicas e de educação a fim de promover a solução de problemas, a otimização de recursos e a garantia dos usos múltiplos da água (NASCIMENTO E VILAÇA, 2008). Nesse contexto, a análise morfométrica surge como uma importante ferramenta haja vista que busca estabelecer relações entre a fisiografia da bacia e sua dinâmica hidrológica (SANTOS *et al.*, 2012). As características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para a avaliação de seu comportamento hidrológico (VILLELA & MATOS, 1975), sendo fundamentais para a preservação de eventos hidrometeorológicos, como enchentes e estiagens (LINDNER *et al.*, 2007).

Uma análise morfométrica representa um dos primeiros procedimentos executados em análises hidrológicas/ambientais, incluindo estudos de vulnerabilidade, a fim de compreender fenômenos geológicos e identificar alterações naturais ou antropogênicas (TEODORO *et al.*, 2007; PISSARRA *et al.*, 2010) através da determinação e combinação de diversos parâmetros morfométricos classificados em geométricos, de relevo e de rede de drenagem (TONELLO, 2005).

A combinação desses parâmetros permite a diferenciação de áreas homogêneas, revelam indicadores físicos específicos que caracterizam alterações ambientais (ANTONELLI & THOMAZ, 2007), além de propriedades do terreno como infiltração e deflúvio das águas das chuvas que expressam estreita correlação com a litologia, estrutura geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre (PISSARRA *et al.*, 2004).

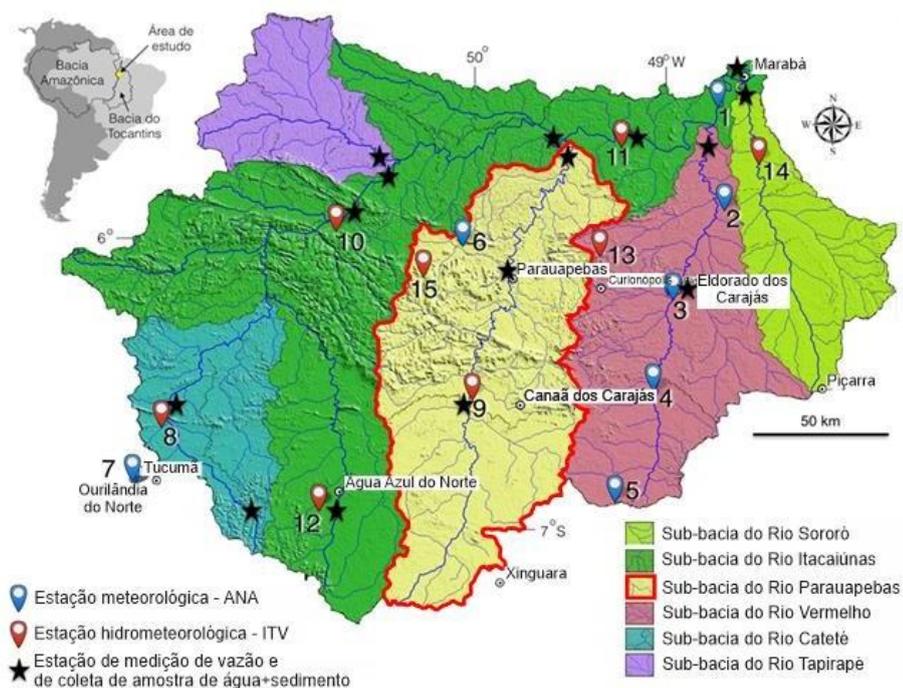
Na bacia do rio Parauapebas e em outras adjacentes, tem havido a substituição da floresta por grandes extensões de pastos e culturas, principalmente nas últimas quatro décadas. Essa apropriação progressiva e desordenada da terra contribuiu para um aumento das vazões e nos níveis dos rios, além de aumentar a temperatura e umidade relativa do ar (SOUZA FILHO *et al.*, 2016). Essas mudanças podem refletir na intensificação dos processos erosivos na área, no incremento das descargas sólidas, no assoreamento dos rios e, conseqüentemente, no aumento do risco de cheias e grandes inundações. Nesse sentido, o conhecimento do relevo e de outros parâmetros morfométricos da bacia se faz necessário para o entendimento da energia e da dinâmica hidrossedimentológica da região e constitui uma etapa preliminar nas análises que serão realizadas posteriormente.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é representada pela sub-bacia hidrográfica do rio Parauapebas, uma das seis que, reunidas, integram a Bacia Hidrográfica do Rio Itacaiúnas (BHRI). Localizada na região sudeste do Estado do Pará, engloba os municípios de Marabá, Parauapebas, Curionópolis, Canaã dos Carajás, Água Azul do Norte e uma pequena parte de Xinguara. A área é limitada pelas latitudes 05°30' a 07°11,5' S e longitudes 49° 30' a 50°21,5' O.

**Figura 01** – Mapa de localização da BHRI e suas subdivisões com destaque para a sub-bacia do rio Parauapebas



**Fonte:** Relatório Interno do Projeto Itacaiúnas.

A região é caracterizada por um clima de monção tropical (Am), segundo Alvares *et al.* (2013), e possui uma sazonalidade bem marcada onde os meses de novembro a abril são classificados como úmidos, pois apresentam valores de precipitação acima da média anual (148, 8 mm), com destaque para o mês de março que atinge a média de 299,1 mm. O período de seca situa-se entre maio e outubro, o mês de julho, o mais seco, apresenta média de 20,52 mm (SILVA JÚNIOR *et al.* 2017).

## 2.2 PROCESSAMENTO DOS DADOS ALOS PALSAR

Para a realização da análise morfométrica foram utilizadas as bases hidrográfica e hipsométrica geradas a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) ALOS do sensor PalSAR (*Advanced Land Observing Satellite*) com resolução de 30 metros e elipsóide de referência WGS84, disponibilizados gratuitamente pela Agência Aeroespacial Japonesa (JAXA). A escolha dos dados ALOS/PalSAR em detrimento dos dados da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) foi embasada no fato que o primeiro sensor trabalha no comprimento de onda na ordem de 23 cm (banda L), enquanto o segundo opera na ordem de 5cm (banda C) e, por esse motivo, são mais susceptíveis a interações que podem “mascarar” reais resultados de bacias hidrográficas.

O processamento foi realizado com auxílio do software Arc.Gis 10.3/ ArcMap® (ESRI, 2015), através das extensões (*plugins*) *Spatial Analyst*, *Hydrology* e *3D Analyst Tools*. Inicialmente procedeu-se com a delimitação da bacia hidrográfica através dos seguintes procedimentos: *Fill* (preencher a superfície do MDE removendo pequenas imperfeições, caso contrário, o estudo do escoamento superficial da área poderia ser prejudicado), *Flow Direction* (avaliação de direção de fluxo), *Flow Accumulation* (cálculo do fluxo acumulado), *Watershed* (delimitação da bacia) e *Raster to Features* (transformação para polígono). A partir desses dados foi possível dar início à análise morfométrica propriamente dita.

## 2.3 MORFOMETRIA DA BACIA

A morfometria da bacia hidrográfica do rio Parauapebas foi realizada com base na divisão proposta por Tonello (2005). Segundo esse autor, as características morfométricas podem ser divididas em: *geométricas*, *do relevo* e *da rede de drenagem*.

### 2.3.1 Características Geométricas

Na análise geométrica da bacia, baseada em Christofolletti (1969) e Tonello (2005), foram analisados a morfologia da bacia, através da determinação de parâmetros como área (km<sup>2</sup>), perímetro (km), comprimento da bacia, Fator de Forma (Kf), Índice de circularidade (Ic) e Coeficiente de Compacidade (Kc).

A área e o perímetro da bacia foram os primeiros parâmetros gerados de modo automáticos a partir da função *Calculate Geometry* do software Arcgis 10.3. Enquanto o comprimento da bacia (C) foi determinado com utilização da ferramenta *Measure* considerando a distância medida em linha reta acompanhando paralelamente o rio principal. Em seguida,

esses dados foram utilizados para o cálculo dos índices, a seguir, muito utilizados para a previsão de enchentes em bacias hidrográficas.

- a) Fator de forma (Kf): Relaciona a forma da bacia com a de um retângulo. Pode ser influenciada pela geologia e influenciar no comportamento hidrológico da bacia, pois quanto mais próximos de 1 seus valores estiverem maior suscetibilidade da bacia a enchentes, sendo descrito pela seguinte equação (VILLELA & MATTOS 1975):

$$Kf = A/C^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

Sendo: Kf é adimensional; A = área (km<sup>2</sup>) e C = comprimento da bacia (km).

- b) Índice de circularidade (Ic): Relaciona a forma da bacia com a de um círculo. Schumm (1956) atribui valores maiores que 0,51 para a tendência ao formato circular, favorecendo os processos de inundação. Ao passo que valores menores que 0,51 sugerem que a bacia tende a ser mais alongada, contribuindo para o processo de escoamento. Esse índice pode ser calculado da seguinte forma:

$$Ic = 12,57 \times A/P^2 \quad (\text{Eq. 2})$$

em que: A = área (km<sup>2</sup>) e P = perímetro (km).

- c) Coeficiente de compacidade (Kc): Também relaciona a forma da bacia com a de um círculo. Segundo a proposta de Villela e Mattos (1975), para coeficientes acima de 1,5, a bacia irá apresentar baixa suscetibilidade de ocorrência de inundações; por sua vez, quanto menor for o valor desse coeficiente (números próximos de zero), mais arredondada será a bacia e mais sujeita a enchentes ela estará. Pode ser obtido através da equação abaixo:

$$Kc = 0,28 \times P/\sqrt{A} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde: P = perímetro (km) e A = área da bacia (km<sup>2</sup>).

### 2.3.2 Características da Rede de Drenagem

Para a análise dos parâmetros da rede de drenagem foram determinados inicialmente o número de canais, o comprimento total e de cada canal (km), e a hierarquia hídrica. Para a obtenção do total e o comprimento de cada canal, incluindo o principal, e da hierarquia dos canais de drenagem foram utilizadas as ferramentas *Flow Length* e *Stream Order* do conjunto de ferramentas *Spatial Analyst (Hydrology)*, respectivamente. A hierarquização dos canais segue a metodologia proposta por Horton (1945) modificada por Strahler (1957), onde nascentes são consideradas como canais de primeira ordem, os canais de segunda ordem são gerados a partir da confluência de dois canais de primeira ordem, os canais de terceira ordem surgem a partir da confluência dos canais de segunda ordem; e assim sucessivamente.

Em seguida, foram obtidos e avaliados a densidade hidrográfica, densidade de drenagem, coeficiente de manutenção e o tempo de concentração.

- a) Densidade de drenagem (Dd): Para Christofolletti (1969) uma densidade de drenagem elevada implica em uma maior possibilidade de esculturação do relevo através de maior escoamento superficial e, conseqüentemente, baixo potencial para infiltração. Bacias com baixa densidade possuem índices de 0,5 km/km<sup>2</sup> enquanto que aquelas excepcionalmente bem drenadas ultrapassam 3,5 km/km<sup>2</sup> (Villela & Mattos, 1975). Esses valores podem ser obtidos através da seguinte equação:

$$Dd = Lt/A \quad (\text{Eq. 4})$$

onde: Lt = comprimento total dos canais (km) e A = área da bacia (km<sup>2</sup>).

- b) Densidade Hidrográfica (Dh): Indica a capacidade de gerar novos cursos d'água na bacia, sendo calculado através da equação abaixo:

$$Dh = N/A \quad (\text{Eq. 5})$$

Sendo: N = nº de canais e A= área da bacia (km<sup>2</sup>).

- c) Coeficiente de Manutenção (Cm): É utilizado para determinar a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente através da seguinte fórmula.

$$Cm = 1/Dd \times 1000 \quad (\text{Eq. 6})$$

d) Tempo de Concentração (Tc): Segundo Silveira (2010), corresponde ao tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais remoto da bacia se desloque até o curso principal, e assim contribua para o incremento da vazão. É utilizado para compreensão do escoamento em estudos hidrológicos através da estimativa de vazões máximas e pode ser obtido através de modelos empíricos e semi-empíricos (MATA LIMA *et al.*, 2007) . Neste trabalho optou-se pela fórmula de Pickering e de Giandotti, onde:

$$Tc = \left( \frac{0,87xL^3}{H} \right)^{0,385} \quad (\text{Eq. 7}) \quad Tc = \frac{4\sqrt{A+\frac{3}{2}}xL}{0,8x\sqrt{Hm}} \quad (\text{Eq. 8})$$

Sendo, L = comprimento do canal principal (km); H= amplitude altimétrica (m); A= Área (km<sup>2</sup>); Hm= altitude média da bacia.

### 2.3.3 Características do Relevo

A determinação das características do relevo é fundamental em uma análise morfométrica, pois influencia diretamente no processo de escoamento, por exemplo. De posse do MDE, inicialmente foi confeccionado um mapa hipsométrico, de onde foram retirados os valores de altitude (máxima, média e mínima) e posterior cálculo da amplitude altimétrica através da diferença altimétrica entre a altitude de desembocadura e a altitude do ponto mais alto situado em qualquer lugar da divisória topográfica.

Os dados de declividade também foram gerados a partir do MDE, utilizando as ferramentas *Spatial Analyst Tools / Surface / Slope* e, em seguida, foi realizada uma reclassificação para 6 classes percentuais (0-3%, 3-8%, 8-20%, 20-45%, 45 a 75% e >75%) através da ferramenta *Spatial Analyst Tools / Reclass / Reclassify*. E, por fim, produziu-se um mapa de declividades.

A consulta estatística das informações relativas às características do relevo foi realizada através da ferramenta *Spatial Analyst Tools / Zonal / Zonal Statistics as Table* e possibilitaram a obtenção de valores como número de ocorrências e área (km<sup>2</sup>) para cada classe de altitude e declividade, bem como declividade média da bacia e da rede hídrica e na determinação da curva hipsométrica, a partir de dados de frequência e área acumulada das altitudes.

A declividade média da bacia foi calculada com base na seguinte fórmula de média ponderada:

$$Dméd = \frac{\sum_{i=1}^m ni * Si}{N} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde,  $m$  é o número de intervalos;  $n_i$  corresponde ao número de ocorrências de cada intervalo;  $S_i$  é o gradiente médio do intervalo e  $N$  é o número total de ocorrências.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sub-bacia do rio Parauapebas apresenta uma área aproximada de 9604,42 km<sup>2</sup>, perímetro de 952,57 km e 184 km de comprimento (Tabela 1). Os outros parâmetros geométricos, da rede de drenagem e do relevo, obtidos através da análise morfométrica, podem ser observados na Tabela 1. A compreensão desses parâmetros é fundamental haja vista que fornecem importantes indicadores da atual dinâmica do uso e ocupação da bacia.

Observando os valores encontrados para o fator de forma e índice de circularidade, nota-se que estes foram muito baixos (0,28 e 0,13, respectivamente), o que pode ser entendido como um primeiro indicativo para um formato mais alongado para a bacia. O coeficiente de compacidade demonstra a baixa susceptibilidade de ocorrência de enchentes, em condições normais de precipitação, confirmando o formato alongado da bacia. Essa relação é explicada porque, em uma bacia estreita e alongada, o processo de escoamento é favorecido e há menor possibilidade de ocorrência de chuvas intensas cobrindo simultaneamente toda sua extensão (LORENZON *et al.*, 2015a).

Outro parâmetro fundamental em projetos hidrológicos é o tempo de concentração. Geralmente é utilizado na estimativa de vazões máximas, auxiliando na prevenção e minimização das consequências de desastres naturais e na poluição pontual nos recursos hídricos (ALMEIDA *et al.*, 2013). Na bacia, o tempo de concentração foi de 46,7 e 50,7 horas. Em bacias alongadas, como a do rio Parauapebas, esse tempo elevado é esperado, haja vista que os afluentes entram em contato com o principal curso d'água em diversos locais durante o fluxo. Em bacias circulares, a concentração do deflúvio ocorre em um só ponto, pois o divisor de águas responde mais rapidamente ao evento de precipitação, diminuindo o tempo de concentração e aumentando as chances de ocorrência de enchentes (SINGH *et al.*, 2014).

**Tabela 1** - Caracterização morfométrica da sub-bacia do Rio Parauapebas

| CARACTERÍSTICA | PARÂMETRO | SIGLA | VALORES |
|----------------|-----------|-------|---------|
|----------------|-----------|-------|---------|

|                                   |                                   |             |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| <b>Geométrica</b>                 | <b>Area da bacia</b>              | <b>A</b>    | <b>9604,42 km<sup>2</sup></b>     |
|                                   | Perímetro da bacia                | P           | 952,57 km                         |
|                                   | Comprimento da bacia              | C           | 184 km                            |
|                                   | Fator de Forma                    | Kf          | 0,2836                            |
|                                   | Índice de Circularidade           | Ic          | 0,1334                            |
|                                   | Coeficiente de Compacidade        | Kc          | 2,7215                            |
| <b>Rede de Drenagem</b>           | Nº Total de Canais                | -           | 339689                            |
|                                   | Comprimento da Rede Hídrica       | Lt          | 57987,05 km                       |
|                                   | Comprimento do Canal principal    | L           | 268,8 km                          |
|                                   | Hierarquia Hídrica                | -           | 9ª Ordem                          |
|                                   | Densidade de Drenagem             | Dd          | 6,0375 km/km <sup>2</sup>         |
|                                   | Densidade Hidrográfica            | Dh          | 35,3679<br>canais/km <sup>2</sup> |
|                                   | Coeficiente de Manutenção         | Cm          | 165,63 m <sup>2</sup>             |
|                                   | Gradiente médio da rede hídrica   | -           | 1,98%                             |
|                                   | Gradiente do canal principal      | -           | 2,91 m/km                         |
|                                   | Tempo de concentração (PICKERING) | -           | 46,67 horas                       |
| Tempo de concentração (GIANDOTTI) | -                                 | 50,71 horas |                                   |
| <b>Relevo</b>                     | Altitude Máxima                   | Hmáx        | 882 m                             |
|                                   | Altitude Mínima                   | Hmin        | 101 m                             |
|                                   | Amplitude Altimétrica             | Hm          | 781 m                             |
|                                   | Altitude Média (Centroide)        | Hméd        | 384,28 m                          |
|                                   | Altitude mais frequente           | Hmf         | 197,5 m                           |
|                                   | Gradiente médio da bacia          | -           | 14,28%                            |

**Fonte:** próprio autor, (2019).

A análise das características de drenagem revelou um padrão dendrítico com um total de 339689 canais totalizando 57987,05 km de comprimento. O comprimento do canal principal, nesse caso, o rio Parauapebas é de aproximadamente 269 km e a rede hídrica é classificada como de 9ª ordem, segundo a classificação de Strahler (1957; Tab. 2).

O coeficiente de manutenção encontrado demonstra que basta uma área de cerca de 165 m<sup>2</sup> para manter um metro de canal fluvial perene na bacia. A densidade hidrográfica revela a existência de aproximadamente 35 canais/km<sup>2</sup>, conectados entre si e capazes de drenar a água superficial da bacia. Além disso, o valor de densidade de drenagem é de aproximadamente 6 km/km<sup>2</sup>, bem acima do limite mínimo de 3,5 km/km<sup>2</sup>, considerado por Villela & Mattos (1975) para aquelas bacias excepcionalmente bem drenadas. Portanto, essas elevadas densidades refletem um relevo dissecado controlado por fatores climáticos, geológicos e/ou antrópicos que favorecem o escoamento superficial em detrimento da infiltração (CHRISTOFOLETTI, 1969), proporcionando a atuação de processos erosivos e, conseqüentemente, no fornecimento e transporte de material detrítico ao longo da bacia.

**Tabela 2** – Hierarquia Hídrica da Sub-bacia do Rio Parauapebas

| <b>ORDEM DOS CURSOS D'ÁGUAS</b> | <b>QUANTIDADE</b> | <b>L (km)</b>   |
|---------------------------------|-------------------|-----------------|
| 1                               | 172397            | 32242,70        |
| 2                               | 79708             | 13345,91        |
| 3                               | 40679             | 6046,02         |
| 4                               | 23506             | 3209,99         |
| 5                               | 12080             | 1635,46         |
| 6                               | 5853              | 786,62          |
| 7                               | 3116              | 405,84          |
| 8                               | 1179              | 153,57          |
| 9                               | 1171              | 160,94          |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>339689</b>     | <b>57987,05</b> |

**Fonte:** próprio autor, (2019).

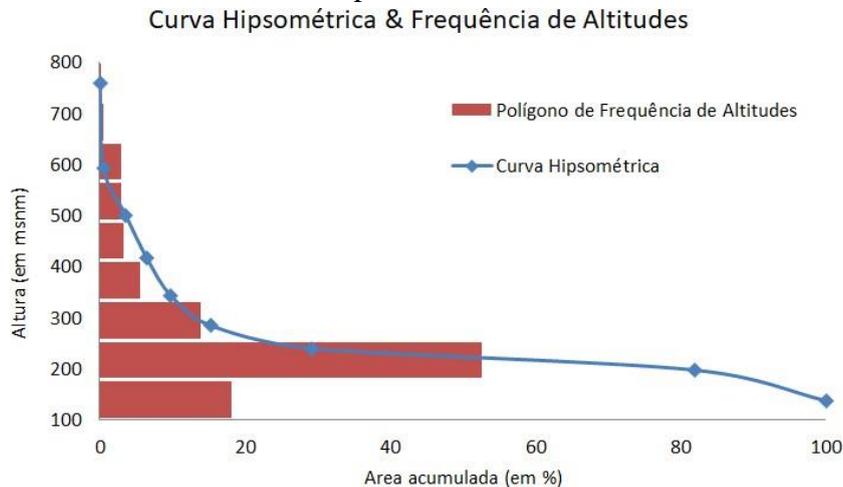
A análise hipsométrica mostra que as altitudes na bacia variaram de 101 m a 882 m, correspondendo a uma amplitude hipsométrica de 781 m. A altitude média, utilizando o centroide como referência, é de 384 m e a cota mais frequente identificada foi de 197,5 (Tab. 3 e Fig. 3).

**Tabela 3** – Resultados da análise hipsométrica

| <b>COTA</b>   |               |               | <b>ÁREA (km<sup>2</sup>)</b> |                  |               |                |
|---------------|---------------|---------------|------------------------------|------------------|---------------|----------------|
| <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> | <b>Média</b>  | <b>Intervalo</b>             | <b>Acumulado</b> | <b>% Acum</b> | <b>% Inter</b> |
| 101           | 174           | 137,50        | 1740,92                      | 9604,42          | 100,00        | 18,13          |
| <b>174</b>    | <b>221</b>    | <b>197,50</b> | <b>5061,13</b>               | <b>7863,50</b>   | <b>81,87</b>  | <b>52,70</b>   |
| 221           | 259           | 240,00        | 1330,90                      | 2802,36          | 29,18         | 13,86          |
| 259           | 310           | 284,50        | 529,96                       | 1471,47          | 15,32         | 5,52           |
| 310           | 377           | 343,50        | 314,78                       | 941,51           | 9,80          | 3,28           |
| 377           | 455           | 416,00        | 281,76                       | 626,72           | 6,53          | 2,93           |
| 455           | 546           | 500,50        | 293,63                       | 344,97           | 3,59          | 3,06           |
| 546           | 638           | 592,00        | 49,18                        | 51,34            | 0,53          | 0,51           |
| 638           | 882           | 760,00        | 2,16                         | 2,16             | 0,02          | 0,02           |

**Fonte:** próprio autor, (2019).

**Figura 2** – Curva Hipsométrica e Frequência de altitudes da Sub-bacia do Rio Parauapebas, geradas a partir das altitudes e suas respectivas áreas acumuladas



**Fonte:** próprio autor, (2019).

Cardoso *et al.* (2006) e Tonello *et al.* (2006) afirmam que a declividade de uma bacia hidrográfica está relacionada diretamente com a velocidade do escoamento superficial. Em áreas com declividades elevadas o escoamento superficial é maior e a infiltração de água no solo é menor, reduzindo a capacidade de armazenamento superficial. Desta forma, se promove uma maior ramificação e densidade da rede hidrográfica, o que favorece significativamente na ocorrência de picos de enchentes e de processos erosivos, principalmente naquelas regiões onde há pouca ou nenhuma vegetação (PISSARRA *et al.*, 2010).

As informações quantitativas referentes à declividade da bacia (Tab. 4 e Fig. 4) apontam que a maior parte do relevo está compreendida, de acordo com a classificação da EMBRAPA (2013), na classe suavemente ondulada (33,88%) e ondulada (26,61%), e apresenta declividade média de 14,28%. Portanto, descrevem a ocorrência de valores baixos de declividade, indicando regiões com baixa velocidade de escoamento, com maior tempo de concentração e menor pico de descarga superficial, constituindo áreas mais favoráveis à cultura agrícola e pastagem, atividades que acabam tornando o solo mais susceptível à erosão.

**Tabela 4** - Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Parauapebas

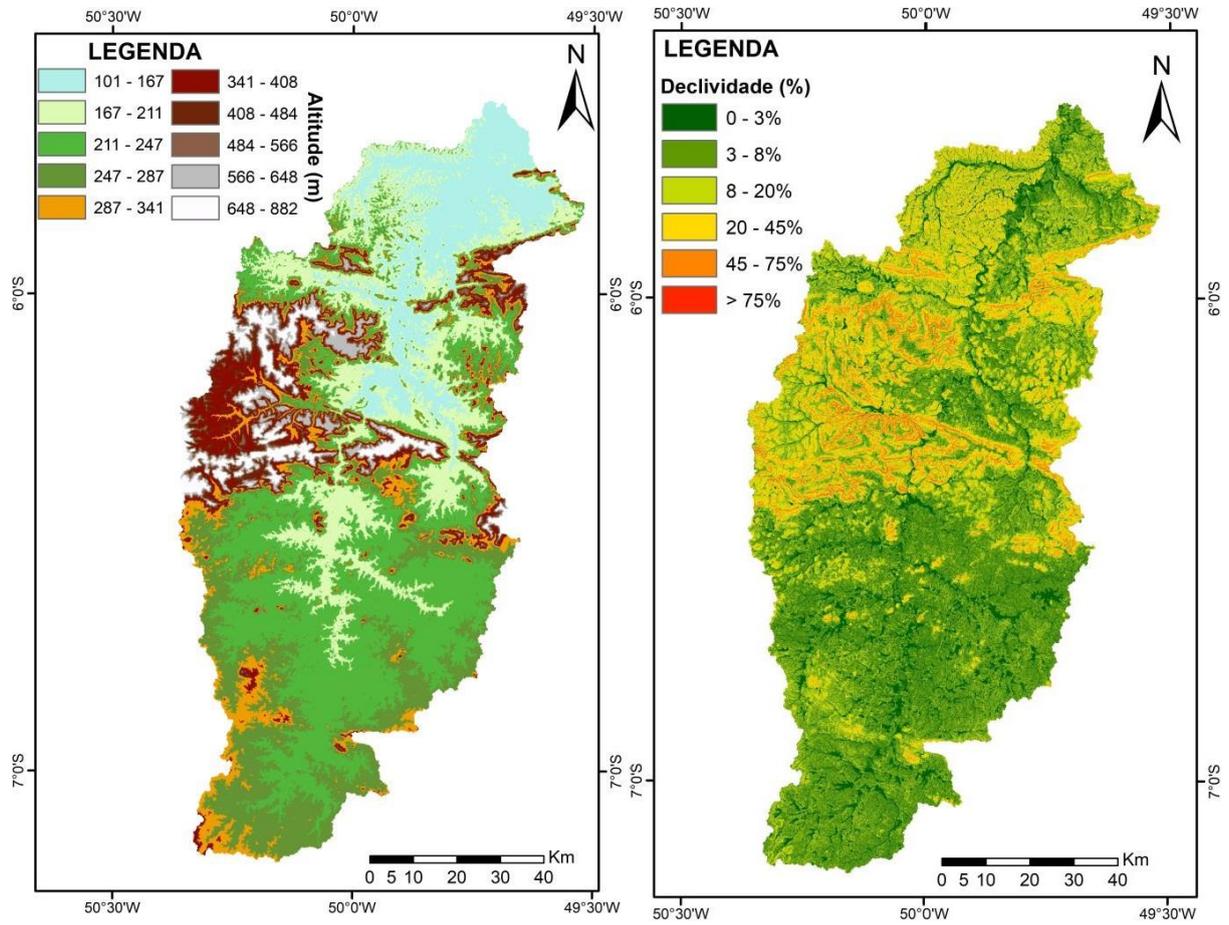
| DECLIVIDADE (%) | RELEVO | OCORRÊNCIAS | % | ÁREA (km <sup>2</sup> ) |
|-----------------|--------|-------------|---|-------------------------|
|-----------------|--------|-------------|---|-------------------------|

|                |                            |          |        |        |
|----------------|----------------------------|----------|--------|--------|
| 0 - 3          | Plano                      | 12260339 | 19,95  | 1915,7 |
| 3 - 8          | Suavemente Ondulado        | 20827545 | 33,88  | 3254,3 |
|                | 8 - 20Ondulado             | 16357927 | 26,61  | 2555,9 |
|                | 20 - 45Fortemente Ondulado | 9380540  | 15,26  | 1465,7 |
|                | 45 - 75Montanhoso          | 2347624  | 3,82   | 366,8  |
|                | Fortemente                 |          |        |        |
| >75            | Montanhoso                 | 294139   | 0,48   | 46,0   |
| <b>TOTAL =</b> |                            | 61468114 | 100,00 | 9604,4 |

**Fonte:** próprio autor, (2019).

A partir dos mapas hipsométricos e de declividades (Fig. 4) é possível o reconhecimento de dois domínios geomorfológicos na bacia. O primeiro domínio está localizado na região central da bacia, onde se assenta a Serra dos Carajás. É caracterizado predominantemente por uma faixa de altitude de 340 m a 800 m e picos que tingem 880 m. Além de declividades maiores que 45% (relevo montanhoso) e destaca-se por apresentar elevado potencial erosivo. Outro domínio geomorfológico evidente na bacia abrange faixas de declividade acima de 20% para as formas residuais de relevo, e abaixo de 20% (suavemente ondulado a ondulado), para as áreas rebaixadas e contidas nas primeiras. Esse domínio é observado na parte sul e extremo norte da bacia e estende-se ao longo de linhas de serras estruturais. Tais regiões caracterizam-se por apresentar altitudes compreendidas na faixa de 100 m a 280 m, podendo atingir 400 nos morros residuais.

**Figura 3** - Mapa hipsométrico e de declividade da sub-bacia do rio Parauapebas



Fonte: próprio autor, (2019).

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O uso de geotecnologias neste estudo foi de fundamental importância por permitir que as análises morfométricas e de susceptibilidade da bacia fossem realizadas com eficiência e eficácia. A sub-bacia do rio Parauapebas é considerada uma grande bacia, com uma área total de 9604,42 km<sup>2</sup>. É densamente drenada, sendo formada por cerca de 340 mil canais, cuja hierarquia máxima é de 9<sup>a</sup> ordem.

A análise das características morfométricas da mesma demonstrou que, em condições naturais, apresenta baixa susceptibilidade a enchentes, corroborada pelos valores obtidos de coeficiente de compacidade, coeficiente de forma, densidade de drenagem e índice de circularidade, bem como, pelas características hipsométricas e de declividade observadas. Entretanto, a subida dos níveis dos rios e a ocorrência de enchentes já foram constatadas. Nesse sentido, fatores antrópicos como a apropriação desordenada do uso e ocupação do solo podem estar favorecendo a ocorrência de cheias na região, além de indicar a possibilidade do assoreamento dos rios e a intensificação das cheias. Portanto, estudos hidrológicos e hidrossedimentológicos futuros, no que concerne a análise da produção e transporte de sedimentos, fazem-se necessários para o correto dimensionamento dos processos erosivos e dos danos potenciais à saúde humana e às atividades econômicas desenvolvidas na região.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. K. Estimativa de tempo de concentração em bacia hidrográfica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** Bento Gonçalves: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013.
- ANTONELI, V; THOMAZ, E. L. Caracterização do meio físico da bacia do Arroio Boa Vista, Guamiranga-PR. **Rev. Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 8, n. 21, p. 46-58, jun. 2007.
- CARDOSO, A. C. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**. Curitiba, v. 30, p. 241-248. mar./abril 2006.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Blücher, 1981.
- HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 56, n. 3, p. 275-370, mar. 1945.
- LINDNER, E. A.; GOMIG, K.; KOBIYAMA, M. Sensoriamento remoto aplicado à caracterização morfométrica e classificação do uso do solo na bacia rio do Peixe/SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Inpe, 2007. p. 3405-3412.
- 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**, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 196-206, jan./mar. 2015b.
- 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, n. 3, p. 525-536, 2007.
- NASCIMENTO, W. M.; VILAÇA, M. G. **Bacia hidrográfica: planejamento e gerenciamento**. Três Lagoas: [s.n.], 2008. 20 p.
- PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Rev. Bras. Ciências do Solo**, Viçosa, n. 28, p. 297-305, 2004.
- PISSARRA, T. C. T. *et al.* Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 34, n. 4, p. 669-676, jul./ago. 2010.
- SANTOS, A. M. *et al.* Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.
- SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society of America Bulletin**, New York, v. 67, n. 5, p. 597-646, May 1956.
- SIGH, P.; GUPTA, A.; SINGH, M. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. **The Egyptian Journal of**

**Remote Sensing and Space Science**, Cairo, v. 17, n. 2, p. 111-121, dez. 2014.

SILVA JÚNIOR, R. O. *et al.* Estimativa de precipitações e vazões médias para a bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas (BHRI) – Amazônia Oriental – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia (RBGF)**, v. 10, n. 5, 2017.

SILVEIRA, G. M., **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. 2010. 243 f. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.

SOUZA FILHO, P. W. M. *et al.* O. Four decades of land-cover, land-use and hydroclimatology changes in the Itacaiúnas River watershed, southeastern Amazon. **Journal of Environmental Management**, v. 167, p. 175-184, 2016.

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957.

TEODORO, V. L. I. *et al.* O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, n.20, 2007.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TONELLO, K. C. *et al.* Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães- MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, set./out. 2006.

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