



ISSN 2317-3122



GRUPO VERDE DE AGROECOLOGIA E AGRICULTURA

## Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Tauá, nordeste paraense

### *Morphometric characterization of the Tauá river watershed, northeast of the state of Pará*

Lorena Conceição Paiva de Ataíde<sup>1</sup>, Rodrigo Silvano Silva Rodrigues<sup>2</sup>, Francisco Carlos Lira Pessoa<sup>3</sup>

**Resumo:** As características físicas de uma bacia constituem elementos de grande importância para avaliação do seu comportamento hidrológico. Foi utilizado o Modelo Digital de Elevação (MDE) para o cálculo de variáveis associadas as características morfométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Tauá situada no nordeste paraense, afim de obter o conhecimento quantitativo das variáveis e planejar o gerenciamento deste recurso hídrico. Para realizar a caracterização da rede de drenagem, tomou-se os seguintes valores para o rio Tauá: Comprimento da rede de drenagem (Lu) de 177,96 km, sendo que seu canal principal possui 39,41 km; Comprimento axial da bacia (LB) de 29,30 km. Observou-se que as características de declividade da bacia informam que o relevo é predominante plano e uma forma alongada, possibilitando fácil escoamento das águas superficiais, sendo seu sistema de drenagem bem ramificado. Os resultados observados no presente trabalho podem ser utilizados para a análise da adequação do local das estruturas de conservação do solo e da água.

**Palavras-chave:** Bacia hidrográfica, morfometria, gestão de recursos hídricos, hidrologia.

**Abstract:** The physical characteristics of a basin are elements of great importance for the evaluation of its hydrological behavior. The Digital Elevation Model (MDE) was used to calculate variables associated with the morphometric characteristics of the Tauá river watershed located in the northeast of Pará, in order to obtain quantitative knowledge of the variables and plan the management of this water resource. To perform a characterization of the drainage network, the values for the Tauá river were taken: Length of the drainage network (Lu) of 177.96 km, its main channel having 39.41 km; Axial length of the basin (LB) of 29.30 km. It was observed that as slope characteristics of the basin stating that it is a predominant plane and a shape, allowing easy drainage of surface waters, and its drainage system is well branched. The results observed in the present work can be used to analyze the adequacy of the site of soil and water conservation structures.

**Keywords:** Watershed, morphometric, Water resources management, hydrology.

\*Autor para correspondência

Recebido para publicação em 19/06/2017; aprovado em 07/08/2017.

<sup>1</sup>Graduanda em engenharia sanitária e ambiental na Universidade Federal do Pará, Belém; Fone: (91) 98970-6878, Email: lorenaataide07@gmail.com.

<sup>2</sup>Engenheiro sanitário e ambiental, mestrando no Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, área Engenharia hídrica. E-mail: rcsr@ufpa.br

<sup>3</sup>Engenheiro sanitário, doutor em Engenharia de Recursos Naturais, professor da Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará. E-mail: fclpessoa@ufpa.br

## INTRODUÇÃO

O verdadeiro desafio no planejamento e gestão dos recursos naturais disponíveis a um nível micro é devido à alta precisão na exigência de dados (AHER et al., 2014). Para Aher et al. (2014), as unidades hidrológicas (sub-bacias hidrográficas) são escolhidas de maneira circunspecta para uma melhor abordagem de planejamento e gestão, resolvendo questões-chave como degradação do solo, erosão do solo, secas e inundações.

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (TEODORO et al., 2007).

As características de uma bacia compõem informações de grande importância para avaliação do seu comportamento hidrológico, como tendência de enchentes e direcionamento do escoamento. As características naturais da rede de drenagem, como morfologia, topografia, propriedades do solo, etc., têm impacto direto sobre a escolha e execução de medidas locais para conservação do solo e da água; tornando-se essenciais para o desenvolvimento de estas medidas (AHER et al., 2014). Destaca-se também sua importância nos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas (TEODORO et al., 2007).

As características físicas da bacia hidrográfica influenciam de maneira decisiva o seu comportamento hidrológico e dependem da morfologia, do tipo e uso do solo, da geologia, da cobertura vegetal, entre outros (NANÍA; VALENTIN, 2006). Desse modo, as características físicas e bióticas de uma bacia possuem importante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando dentre outros, a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e os escoamentos superficial e sub-superficial (TONELLO, 2005).

A água, oriunda dos fluxos de escoamentos, é direcionada a partir do modelo de terreno da bacia hidrográfica, os quais são formados a partir do tipo de solo, litologia, geologia e, ainda, em função do tempo (TUCCI, 1993). O uso de pesquisas, planejamento e políticas, envolvendo o uso e a disponibilidade de recursos hídricos, é uma forma de promover a gestão das águas de rios e lagos (BRAGA et al., 2005). Esse procedimento pode ser realizado tendo como base o gerenciamento de bacias hidrográficas.

Bordallo (1995) afirma que a utilização da bacia hidrográfica, como unidade de estudo, para a gestão das distintas formas de atividade e uso das potencialidades ambientais, tem como finalidade projetar, interceder, executar e manusear as melhores formas de apropriação e exploração de seus recursos naturais. Isso porque a bacia hidrográfica possui características essenciais, que permitem a integração multidisciplinar entre diferentes sistemas de gerenciamento, estudo e atividade ambiental, especialmente por ser um processo descentralizado de conservação e proteção do ambiente (BERNARDI et al., 2013).

Buscando analisar as inter-relações existentes entre os fatores da bacia e os processos hidrológicos, é necessário expressar suas características quantitativamente. De acordo com Neto et al. (2013), a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é o ponto de partida para

estudos referentes à dinâmica ambiental da mesma, possibilitando o melhor gerenciamento e aproveitamento de seus recursos naturais.

As características morfométricas do padrão de drenagem e do relevo refletem algumas propriedades do terreno, como infiltração e deflúvio das águas das chuvas, e expressam estreita correlação com a litologia, geológica e formação superficial dos elementos que compõem a superfície terrestre (PISSARA et al., 2004). A combinação dos diversos dados morfométricos permite a diferenciação de áreas homogêneas (ANTONELLI; THOMAZ, 2007).

A utilização de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em geomorfologia permite o cálculo de variáveis associadas ao relevo com rapidez e precisão, tendo em vista que o crescimento da capacidade de processamento e armazenamento de dados dos computadores e a evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) encontram-se em um estágio no qual é possível trabalhar em extensas áreas com alta resolução espacial, sem perda significativa do tempo de processamento envolvido (GROHMANN et al., 2008).

Para gerenciamento dos recursos hídricos, as imagens orbitais são fontes de dados de grande importância. Entre estes, estão os dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Esses dados são exemplos de imagens obtidas através de satélites e são procedentes de levantamentos realizados pela NASA e outros organismos internacionais, que abrangem mais de 80% do globo terrestre (NETO et al., 2013). Segundo Vital et al. (2010), os dados derivados do radar SRTM, tem sido uma tendência bastante atual para a interpretação geomorfológica.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) e as técnicas de sensoriamento remoto são ferramentas eficientes para estudos morfométricos e priorização de sub-bacias hidrográficas (AHER et al., 2014).

Este trabalho associa informações de parâmetros morfométricos para bacias hidrográficas na Região Metropolitana de Belém (RMB), a fim de subsidiar ferramentas para tomadas de decisões na gestão e planejamento de recursos hídricos, visando a preparação contra eventos extremos, principalmente de inundações, tendo em vista que a região não dispõe de estudos e índices que possam subsidiar o emprego de ações e medidas para soluções convencionais e/ou não convencionais para controle de enchentes, inundações e alagamentos.

Este estudo associa informações morfométricas para bacia do rio Tauá, de modo a promover o conhecimento quantitativo destas características como ferramenta de subsídio ao planejamento e gerenciamento destes recursos hídricos, para tomadas de decisões visando a preparação contra eventos extremos, principalmente de inundações, tendo em vista que a região não dispõe de estudos e índices que possam subsidiar o emprego de ações e medidas para soluções convencionais e/ou não convencionais para controle de enchentes, inundações e alagamentos.

## MATERIAL E MÉTODOS

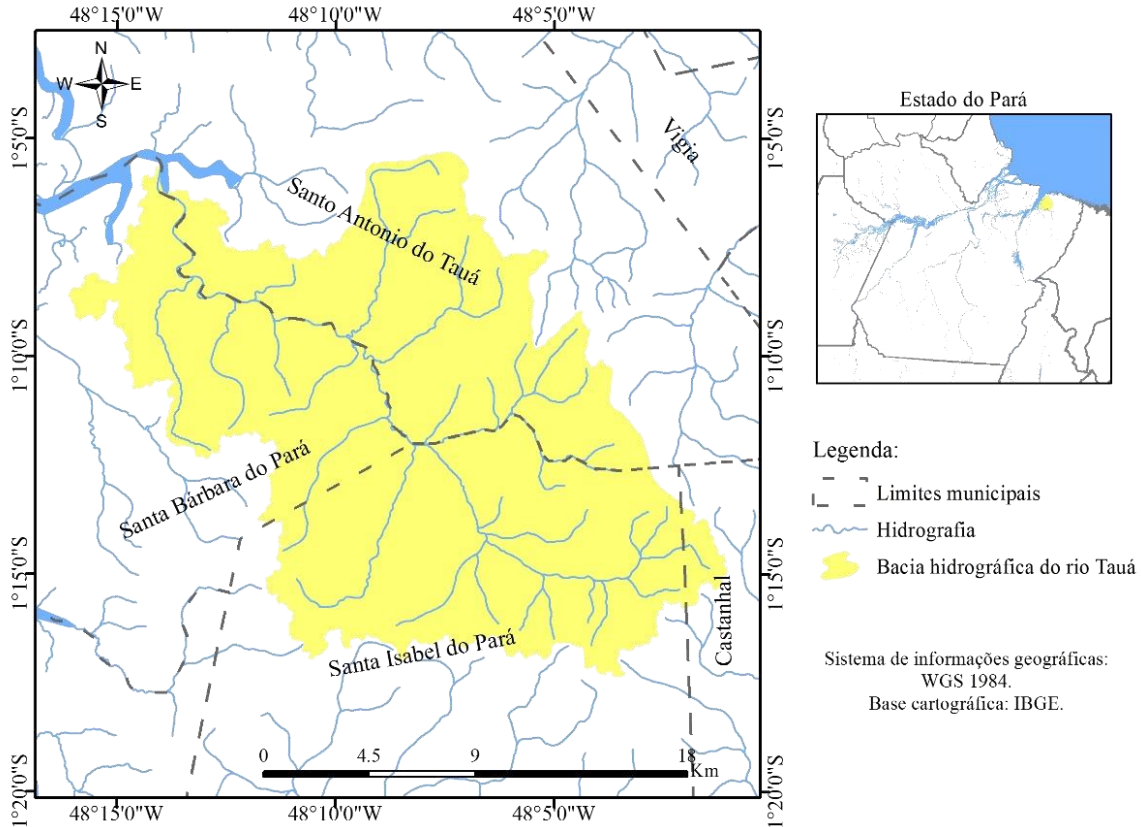
O estudo morfométrico é referente à bacia hidrográfica do Rio Tauá (Figura 1). Suas coordenadas geográficas compreendem 1°5'42,5''S de latitude e 48°13'58,8''W de longitude. Esta bacia localiza-se entre os municípios

Santo Antônio do Tauá, Santa Bárbara do Pará, Santa Izabel do Pará e uma pequena porção em Castanhal, todos situados na Mesorregião do nordeste Paraense e na Microrregião de Castanhal.

O município principal da bacia, Santo Antônio do Tauá, possui área aproximada de 539 km<sup>2</sup> e apresenta clima tipo Ami, segundo a classificação de Köppen, com os maiores índices de pluviosidade de janeiro a maio e os menores

de agosto a novembro (ARAÚJO et al., 2013), com totais pluviométricos anuais oscilando de 1500 mm a 3500 mm, e Megatérmico, pois apresenta temperaturas elevadas o ano todo, e médias anuais entre 26° C e 28° C (IBGE, 1990). As principais atividades econômicas da região são a agricultura, pecuária e pelas culturas de dendê, maracujá, cupuçu, além de outras.

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica do Rio Tauá.



Fonte: Autores (2017).

As características ambientais (solo, cobertura vegetal, estrutura geológica e hidrologia) são apresentadas no estudo da FAPESPA (2016).

Os solos presentes no município caracterizam-se pelo Latossolo Amarelo distrófico textura média e Concrecionários Lateríticos Indiscriminados distróficos. Há, também, solos hidromórficos indiscriminados eutróficos e distróficos textura indiscriminada nas áreas aluviais.

A cobertura vegetal predominante é de Florestas Secundárias que substituíram a antiga Floresta Densa dos baixos platôs, da qual restam, ainda, alguns tratos preservados. Tal ocorrência deve-se ao intenso processo de desmatamento para a implantação de cultivos itinerantes de espécies agrícolas de subsistência (milho, arroz, feijão e mandioca). Ao longo dos cursos d'água, encontra-se a mata ciliar, ainda preservada. Ao norte do município, há, também, uma pequena extensão de campos naturais, conhecidos como "Campos do Tauá".

A estrutura geológica é constituída, predominantemente, pelos sedimentos da Formação Barreiras, do terciário, exceto nas áreas margeantes aos rios e igarapés que apresentam sedimentos quaternários inconsolidados. O relevo manifesta-se bastante singular, em decorrência de sua

geologia, representado por tabuleiros aplainados, terraços e várzeas, que, morfo estruturalmente, fazem parte do planalto Rebaixado da Amazônia (da Zona Bragantina).

Na hidrografia do município, o rio mais importante é o Tauá, que nasce no município de Santa Isabel do Pará e corre na direção SE-NW, em curso sinuoso, servindo de limite com o município de Benevides, desde a foz do igarapé São Francisco, seu afluente direto, até a baía do Sol.

#### Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE utilizado neste estudo é um SRTM, disponibilizado na base de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) na plataforma Earth Explorer. A projeção foi definida de GCS\_WGS1984 com referência geográfica em UTM Datum SIRGAS 2000 - Zona 22s (esta é a projeção plana da Região Metropolitana de Belém).

Após obter o arquivo "s02\_w048\_1arc\_v3", com resolução espacial de 30m do SRTM, procedeu-se ao pré-processamento dos dados digitais de elevação e drenagem. A geração dos dados e as análises foram produzidas através do sistema de informações geográficas (SIG), utilizando-se os softwares ArcGis 10.1 e ArcHydro Tools.

*Caracterização Morfométrica da Bacia*

Após a delimitação da área da bacia, os procedimentos seguintes consistem na definição das características físicas, como: área da bacia, perímetro, coeficiente de compactidade, fator de forma, índice de circularidade, declividades, altitudes, densidade de drenagem e ordem dos cursos d'água.

*Características Geométricas*

Os valores de área e perímetro foram adquiridos diretamente pela ferramenta de cálculo no ArcMap, utilizando as referências geográficas em UTM. A largura é a relação geométrica entre a área (A) e o comprimento da bacia (LB), conforme Equação 1.

$$La = A / LB \quad (\text{Eq. 1})$$

Segundo Villela e Mattos (1975) o Coeficiente de compactidade (Kc) ou índice de Gravelius é a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual a área da bacia. O Kc é um valor adimensional que varia com a forma da bacia, assim quanto mais irregular a bacia, maior será o coeficiente de compactidade e menor a tendência a enchentes. A bacia será mais suscetível a enchentes quando o valor de Kc se aproximar de 1. O Este coeficiente é determinado com base na Equação 2.

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que, P é o perímetro (km) e A é a área de drenagem (km<sup>2</sup>).

Outro indicador de menor ou maior tendência de enchentes em bacias hidrográficas é o fator de Forma (F), onde quanto mais baixo é menos sujeito a enchentes quanto outra do mesmo tamanho com fator de forma maior (VILLELA; MATTOS, 1975). Este é obtido através da Equação 3.

$$F = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

Em que, A é a área de drenagem (km<sup>2</sup>) e L é o comprimento do eixo da bacia (km).

Com os valores da bacia, outro índice geométrico à ser calculado é o de circularidade. Este tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada (TONELLO et al., 2006). Para obter o valor de Ic utiliza-se a Equação 4.

$$Ic = 12,56 \cdot \frac{A}{P^2} \quad (\text{Eq. 4})$$

Em que A é a área de drenagem (km<sup>2</sup>) e P é o perímetro (km).

Tonello et al. (2006) informam que simultaneamente ao coeficiente de compactidade, o índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada.

Outro índice importante é o de alongamento (Ia) que indica quanto menor este índice menor o risco de cheias na bacia hidrográfica. Obtido através da Equação 5.

$$Ia = 2 \cdot \frac{\sqrt{A}}{LB} \quad (\text{Eq. 5})$$

Em que A é a área da bacia e LB o comprimento da bacia.

*Rede de drenagem*

Neste estudo foi utilizada a classificação apresentada por Strahler, em que os canais sem tributários são denominados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. Os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente (SILVEIRA, 2001).

O número de segmentos da bacia é o total de segmentos, considerando cursos d'água permanentes e temporários. Bem como o comprimento da rede de drenagem, que envolve todos os cursos d'água independente de sua permanência.

A relação de bifurcação (Rb) indica o grau de dissecação da bacia hidrográfica, quanto maior for o valor do índice de bifurcação, maior será o grau de dissecação, valores geralmente abaixo de 2 indicam relevo montanhoso. É adquirida pela relação entre o número total de segmentos de determinada ordem e o número total dos segmentos da ordem imediatamente superior, como pode ser visto na Equação 6.

$$Rb = \frac{N}{N+1} \quad (\text{Eq. 6})$$

O índice de sinuosidade é diretamente proporcional a inundações e inversamente proporcional ao tempo de concentração. Mansikkaniemi (1970) estabeleceu cinco classes de sinuosidade: I = muito reto (<20%), II = reto (20, - 29,9%), III = divagante (30,0 – 39,9), IV = sinuoso (40,0 – 49,9) e V = muito sinuoso (50,0). Obtém-se tal índice seguindo a Equação 7.

$$Si = 100 \cdot \frac{L-LB}{L} \quad (\text{Eq. 7})$$

Em que, L é o comprimento do canal principal e LB comprimento da bacia.

O tempo de concentração (Tc) é o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto mais desfavorável topograficamente da bacia hidrográfica até a secção de referência. Sendo o tempo de concentração uma grandeza fundamental para a compreensão do escoamento produzido na bacia e também para o dimensionamento de sistemas de drenagem, armazenamento e controle, a sua determinação deve ser mais precisa possível. Para bacias com áreas de drenagem superiores a 100 ha, o Tc será calculado pela fórmula de KIRPICH Modificada, expressa pela Equação 8.

$$Tc = 85,2 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right) \cdot 0,385 \quad (\text{Eq. 8})$$



Em que  $t_c$  é o Tempo de concentração (min),  $L$  é o comprimento do curso d'água (km) e  $H$  é o desnível médio do curso d'água (m).

#### Textura de drenagem

A densidade de segmentos ( $F_s$ ) relaciona a quantidade de segmentos existentes em uma determinada bacia por unidade de área. Segundo Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento superficial, e por tanto, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia. Esse índice pode variar de 0,5 km/km<sup>2</sup> em bacias com drenagem pobre a 3,5 ou mais nas bacias excepcionalmente bem drenadas. Assim, tem-se a Equação 9.

$$F_s = \sum_{i=1}^K \left( \frac{Nu \text{ 1}^\circ \text{ ordem}}{A} \right) \quad (\text{Eq. 9})$$

A densidade de drenagem ( $D_d$ ) é expressa pela relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede (perenes, intermitentes ou temporários) e a área total da bacia. Para o cálculo da densidade de drenagem foi utilizada a Equação 10 (COSTA; LANÇA, 2001).

$$D_d = \frac{L_t}{A} \quad (\text{Eq. 10})$$

Em que  $D_d$  a densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>),  $L_t$  comprimento total de todos os canais (km) e  $A$  a área de drenagem (km<sup>2</sup>).

Beltrame (1994) sugeriu uma classificação em faixas para a densidade de drenagem onde quando  $D_d$  é menor que 0,50 é considerada baixa, entre 0,50 e 2,00 é mediana, entre 2,01 e 3,50 é alta, e maior que 3,50 é muito alta.

A definição do padrão de drenagem seguiu a classificação apresentada por Christoletti (1980), podendo ser:

- Dendrítica: seu desenvolvimento assemelha-se à configuração de uma árvore;
- Em Treliça: as confluências formam ângulos retos;
- Retangular: consequência da influência exercida por falhas ou pelo sistema de juntas ou de diáclases;
- Paralela: os cursos de água escoam paralelamente uns aos outros;
- Anelar: esse padrão assemelha-se a anéis. São típicas das áreas dômicas profundamente entalhadas;
- Radial: apresenta-se composta por correntes fluviais que se encontram dispostas como os raios de uma roda, em relação a uma ponto central;
- Desarranjadas ou irregulares: são aquelas que foram desorganizadas por um bloqueio ou erosão.

O coeficiente de manutenção ( $C_m$ ) é a área mínima necessária para a manutenção de um metro de escoamento. Evidencia áreas de recarga, podendo ser associada ao índice de impermeabilização do solo e ao tipo de substrato rochoso, permitindo avaliar o risco de disponibilidade hídrica. Este índice representa uma medida de textura, semelhante à densidade de drenagem, com a finalidade de fornecer a área mínima necessária para a manutenção de um metro de canal de escoamento permanente. Assim, tem-se o  $C_m$  pela Equação 11.

$$C_m = \left( \frac{1}{D_d} \right) \cdot 1000 \quad (\text{Eq. 11})$$

#### Características de relevo

A orientação da bacia hidrográfica refere-se à exposição aos raios solares, tendo como referência os pontos cardeais. No Hemisfério Sul, as bacias com orientação norte recebem maior quantidade de calor do que as de orientação sul (TONELLO et al., 2006).

As características de relevo, como elevações (médias, mínima e máxima) e declividades (média, mínima e máxima) são obtidas diretamente do processamento dos MDE junto ao ArcMap através da ferramenta Spatial Analyst Tools > Surface > Aspect.

O MDE foi utilizado como base para a geração do mapa de declividade reclassificado em seis intervalos distintos sugeridos pela Embrapa (1979) que são Relevo plano (0 a 3%), Relevo suavemente ondulado (3 a 8%), Relevo ondulado (8 a 20%), Relevo fortemente ondulado (20 a 45%), Relevo montanhoso (45 a 75%) e Relevo montanhoso (acima de 75%), adotando a metodologia apresentada por Tonello et al. (2006), utilizando no ArcMap a ferramenta Spatial Analyst Tools > Surface > Slope. Segundo Tonello et al. (2006) a declividade média do curso d'água principal é outro aspecto relevante da morfometria, pois interfere na velocidade do escoamento da água no curso.

O índice de rugosidade (Equação 12) é adimensional e expressa a relação da densidade de drenagens com a amplitude altimétrica. Elevados valores de  $I_r$  indicam bacias sujeitas a cheias rápidas, devido a grandes desníveis entre a cabeceira e seção de referência associados a densa rede de drenagem (DINIZ, 2008).

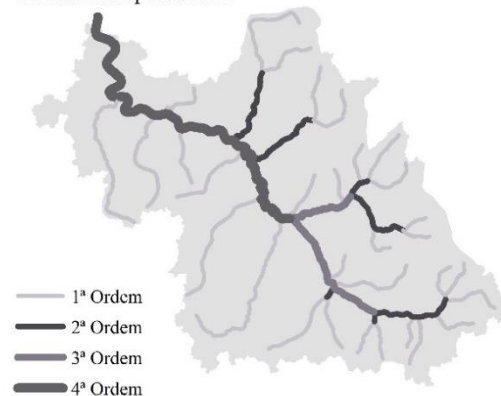
$$I_r = D_d \cdot H \quad (\text{Eq. 12})$$

Em que  $D_d$  é a densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>), e  $H$  é a amplitude altimétrica da bacia de drenagem (km).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo ordenamento de Strahler (1964) o rio Tauá mostra-se de quarta ordem, apresentando considerável ramificação para a escala utilizada, conforme se apresenta na Figura 2.

Figura 2. Ordenamento da bacia hidrográfica do rio Tauá. Ordenamento por Strahler



Fonte: Autores (2017).

Para realizar a caracterização da rede de drenagem, tomaram-se os seguintes valores para o rio Tauá: Comprimento da rede de drenagem (Lu) de 177,96 km, sendo que seu canal principal possui 39,41 km; Comprimento axial da bacia (LB) de 29,30 km e índice de sinuosidade (Si) no valor de 25,65% (classificado como reto). Na Tabela 1 apresentam-se os valores de Número de segmentos (Nu) e Relação de bifurcação (Rb).

Tabela 1. Número de Segmentos (Nu) e Relação de Bifurcação (Rb) da bacia hidrográfica do rio Tauá.

Ordem	Nu	Rb
1°	31	4,43
2°	7	3,5
3°	2	2
4°	1	-

Fonte: Autores (2017).

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que a bacia hidrográfica do Rio Tauá apresenta pouca suscetibilidade de enchentes em condições normais de precipitação, sejam eles, exceto os eventos extremos de pluviosidade. Isto diz-se por consequência de seu coeficiente de compacidade e fator de forma apresentarem valor afastados da unidade, 2,49 e 0,38, respectivamente. Assim, é possível a comparação da tendência à enchentes com bacias de dimensões semelhantes. As características geométricas da bacia hidrográfica do rio Tauá estão dispostas na Tabela 2.

Tabela 2. Características geométricas da bacia hidrográfica do rio Tauá.

Características Geométricas	Resultados
Área (A)	333,041 km <sup>2</sup>
Perímetro (P)	162,78 km
Largura (La)	11,37 km
Coef. de Compacidade (Kc)	2,49
Fator de Forma (Fa)	0,38
Índice de Circularidade (Ic)	0,16
Índice de Alongamento (Ia)	3,81

Fonte: Autores (2017).

A bacia do rio Tauá apresenta uma forma alongada, tal forma confirma-se pelo resultado elevado do índice de alongamento (3,83) e baixo valor de índice de circularidade (0,16). Em bacias com forma circular a probabilidade de chuvas intensas advirem simultaneamente em toda a sua extensão são maiores, o que concentra maior volume de água no afluente principal.

A bacia em questão apresenta baixa densidade de segmentos. A densidade de drenagem calculada foi de 0,534 km/km<sup>2</sup>. Segundo estudo realizado por Villela e Mattos (1975) esta possui baixa capacidade de drenagem, entretanto, conforme a análise de Beltrame (1994) a mesma possui mediana capacidade de drenagem.

O desenvolvimento da bacia mostra um sistema de drenagem análogo à configuração de uma árvore indicando em que os padrões de drenagem são dendríticos. O valor elevado do coeficiente de manutenção (1872,659) indica que grandes áreas são necessárias para conservar cada metro de canal. Os resultados para textura de drenagem estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 3 – Características da Textura de Drenagem da bacia hidrográfica do rio Tauá.

Características Geométricas	Resultados
Padrão de Drenagem	Dendrítica
Coeficiente de Manutenção (Cm)	1872,659 m <sup>2</sup>
Densidade de Segmentos (Fs)	0,093 rios/km <sup>2</sup>
Densidade de Drenagem (Dd)	0,534 km/km <sup>2</sup>

Fonte: Autores (2017).

Com o valor baixo do índice de rugosidade (0,008) pode-se concluir que a bacia não está sujeita a cheias rápidas, ou seja, não possui grandes desníveis. Os resultados referentes às características de relevo esta apresentado na Tabela 4.

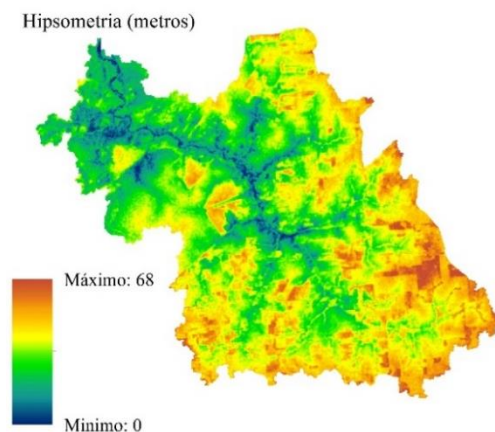
Tabela 4. Características de Relevo da bacia hidrográfica do rio Tauá.

Características de Relevo	Resultados
Altitude Mínima (m)	0
Altitude Média (m)	31,71
Altitude Máxima (m)	68
Declividade Mínima (%)	0
Declividade Média (%)	3,54
Declividade Máxima (%)	31,29
Índice de Rugosidade	0,008

Fonte: Autores (2017).

A distribuição das altitudes na bacia hidrográfica do rio Tauá configura-se uma altitude média de 31,71 m, com amplitude altimétrica de 68 m, onde maior parte está compreendida entre 30 a 68 metros. A distribuição hipsométrica da bacia do rio Tauá está representada na Figura 3.

Figura 3. Distribuição das altitudes da bacia hidrográfica do rio Tauá.



Fonte: Autores (2017).

As informações apresentadas na Tabela 5 referem-se ao percentual quantitativo relacionado à cada declividade da bacia em análise. Verifica-se que o relevo predominante está discriminado como plano (53,72%). Seguindo a classificação da EMBRAPA (1979), esta possui média declividade com relevo suavemente ondulado.

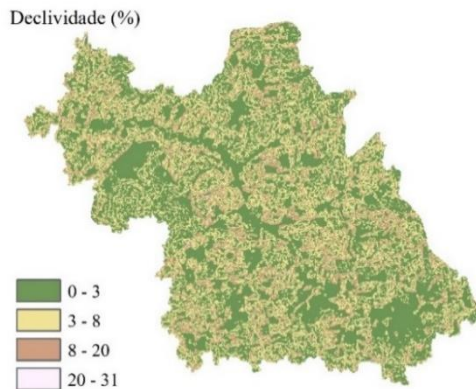
Tabela 5. Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Tauá.

Declividade	Discriminação	%	Área (km <sup>2</sup> )
0-3	Relevo Plano	53,72	178,90
3-8	Relevo Suavemente Ondulado	36,10	120,22
8-20	Relevo Ondulado	10,02	33,36
20-31	Relevo Fortemente Ondulado	0,17	0,56

Fonte: Autores (2017).

O valor da declividade sugere o comportamento de velocidade baixa no escoamento superficial, por conseguinte, maior possibilidade de infiltração da água no solo, aumentando a recarga dos aquíferos. A distribuição da declividade está representada na Figura 4.

Figura 4. Distribuição da declividade da bacia hidrográfica do rio Tauá.



Fonte: Autores (2017).

As vertentes de orientação do terreno são bem distribuídas, considerando que o escoamento do curso d'água principal da bacia é em direção ao oeste, ligeiramente para noroeste, e a ramificação de drenagem é bem disseminada entre seu lado leste e oeste (Tabela 6).

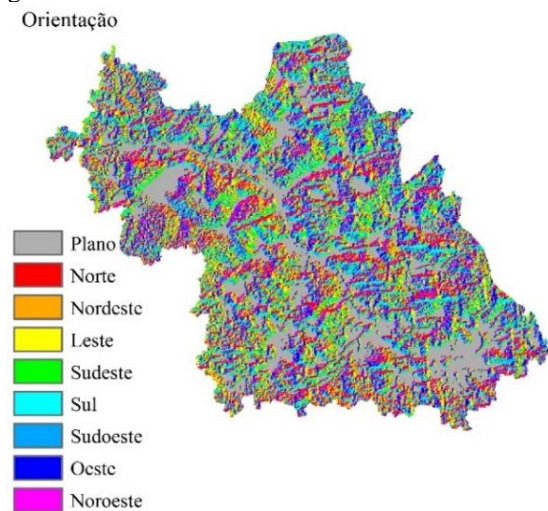
Tabela 6. Distribuição das classes de orientação do terreno da bacia hidrográfica do rio Tauá.

Orientação do Terreno (graus)	%	Área (km <sup>2</sup> )
Relevo Plano (-1)	17,65	58,79
Norte (0 – 22,5)	6,13	20,40
Nordeste (22,5 – 67,5)	9,51	31,69
Leste (67,5 – 112,5)	9,59	31,95
Sudeste (112,5 – 157,5)	10,68	35,55
Sul (157,5 – 202,5)	10,25	34,15
Sudoeste (202,5 – 247,5)	10,06	33,49
Oeste (247,5 – 292,5)	10,48	34,89
Noroeste (292,5 – 337,5)	11,26	37,49
Norte (337,5 – 360)	4,39	14,63

Fonte: Autores (2017).

A distribuição da orientação do terreno das bacias está exposta na Figura 5.

Figura 5. Distribuição da orientação do terreno na bacia hidrográfica do rio Tauá.



Fonte: Autores (2017).

A declividade média do curso d'água principal é de 0,0011 km/km. Este valor indica tendências de baixas velocidades e elevados tempos de concentração no escoamento superficial, onde se obteve um Tc de 1.382 minutos para esta bacia, este tempo de concentração associado à forma superficial da bacia hidrográfica é importante para se compreender o comportamento das precipitações visando o tempo que o curso d'água leva a água dos limites da bacia para chegar ao exutório.

Considerando outros estudos realizados em áreas adjacentes, Rodrigues et al. (2016) e Santos et al. (2017) realizaram a análise espacial de microbacias hidrográfica no nordeste paraense, seguindo os mesmos procedimentos metodológicos adotado neste estudo, observando características semelhantes às alcançadas para a bacia do rio Tauá.

## CONCLUSÕES

Este trabalho é útil, em nível local, para o gerenciamento de recursos naturais visando o desenvolvimento sustentável por planejadores e tomadores de decisão em um programa de gerenciamento de bacias hidrográficas.

Observou-se que as características de declividade da bacia hidrográfica do rio Tauá informam que o relevo é predominante plano. Constituindo uma forma alongada, possibilitando fácil escoamento das águas superficiais, sendo esta afirmação evidenciada pelos resultados de coeficiente de compacidade, fator de forma e índice de circularidade.

Como se pode verificar a bacia hidrográfica do rio Tauá é de quarta ordem, sendo seu sistema de drenagem bem ramificado. Complementa-se que a densidade de drenagem de 0,534 km/km<sup>2</sup>, indica que a bacia em estudo apresenta sua precipitação de forma perene durante maior período, entretanto com alguns trechos de cabeceiras com chuvas temporários em sua rede de drenagem, admitindo-se ainda, que esta possui elevado tempo de concentração.

Os resultados observados no presente trabalho podem ser utilizados para a análise da adequação do local das estruturas de conservação do solo e da água e posteriormente, esses parâmetros podem ser integrados com outras informações hidrológicas, tais como o uso e cobertura do



solo, geologia, nível de água, no domínio GIS para chegar a uma decisão local adequada para estruturas de conservação de solo e água.

## REFERÊNCIAS

- AHER, P. D.; ADINARAYANA, J.; GORANTIWAR, S. D. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. **Journal of Hydrology**, v. 511, p. 850–860, 2014.
- 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, p46-58, jun. 2007.
- ARAÚJO, P. P.; MATOS, F. de A.; CARMONA, K. M.; CARNEIRO, B. S.; MEDEIROS, A. C. Classificação das águas subterrâneas rasas na bacia hidrográfica do rio Tauá, nordeste do Pará. In: Congresso Internacional de Meio Ambiente Subterrâneo. **Anais...** ABAS: São Paulo, 2013.
- BARBOSA, E. J. S.; FRANÇA, C. F. Compartimentação morfológica dos municípios costeiros de Colares e Santo Antônio do Tauá, Pará. In: Simpósio Nacional de Geomorfologia. **Anais...** Goiânia, 2006.
- BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994.
- BERNARDI, E. C. S.; PANZIERA, A. G.; BURIOL, G. A.; SWAROWSKY, A. Bacia hidrográfica como unidade de gestão ambiental. **Disciplinarum Scientia**. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 159-168, 2013.
- BORDALLO, C. L. A. **A Bacia Hidrográfica como Unidade de Planejamento dos Recursos Hídricos**. Belém: NUMA/UFPA, 1995.
- BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p.
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SA 24 Fortaleza**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981. 483p. (Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, 21).
- BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAMBRASIL. **Folhas SA 23 São Luis e parte da Folha SA 24 Fortaleza**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro. 1973. paginação irregular (Projeto RADAMBRASIL. Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- DINIZ, L. S. **Regionalização de parâmetros de modelo chuva vazão usando redes neurais**. 2010. 213f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
- EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p.
- FAPESPA. **Estatísticas Municipais Paraenses**: Santo Antônio do Tauá. Governo do Estado do Pará. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Belém, 2016.
- GROHMANN, C. H.; RICCOMINI, C.; STEINER, S. S. Aplicações dos modelos de elevação SRTM em geomorfologia. **Rev. Geogr. Acadêmica**, v. 2 n. 2, p. 73-83, 2008.
- IBGE. **Projeto Zoneamento das Potencialidades dos Recursos Naturais da Amazônia Legal**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. 212p.
- SANTOS, L. L. M.; RODRIGUES, R. S. S.; BITTENCOURT, G. M. Morfometria das bacias hidrográficas dos rios Caraparu e Maguari-Açú, Região Metropolitana de Belém, Pará, Brasil. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental** (Pombal - PB - Brasil), v. 11, n. 01, p. 66 - 75, jan-dez, 2017.
- NANÍA, L. S.; VALENTÍN, M. G. **Ingeniería hidrológica**. 2ed. Granada: Grupo Editorial Universitario, 2006.
- NETO, A. F. da S.; GUIMARÃES, C. L.; ARAÚJO, J. S. de; ARAÚJO, J. D. de. Geotecnologias para a caracterização morfométrica de bacia hidrográfica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2013.
- PISSARA, 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.
- RODRIGUES, R. S. S.; FERNANDES, L. L.; CRISPIM, D. L., VIEIRA, A. S. A, PESSOA, F. C. L. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço – Pará – Brasil. **Revista Verde**. Pombal, v. 11, n.3, p.143-150, 2016.
- RODRIGUES, T. E.; SANTOS, P. L. dos; VALENTE, M. A.; SILVA, J. M. L. da; ROLLIM, P. A. M.; SANTOS, E. S. **Caracterização e classificação de solos do município e Santo Antônio do Tauá**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2004.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. São Paulo: EDUSP, 2001, p 35-51.



- STRAHLER, A. N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. **Handbook of Applied Hydrology**, New York, McGraw Hill Book Company, 1964. 411p.
- TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara** n° 20, 2007.
- TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões, MG.** 2005. 69p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- TONELLO, K. C.; DIAS, H. C. T.; SOUZA, A. L.; RIBEIRO, C. A. A.; LEITE, F. P. Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhões - MG. **Rev. Árvore**, v.30, n.5, p.849-857, 2006.
- TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre, RS: ABRH-Edusp, 1993.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada.** Editora Mc Graw Hill, São Paulo, 1975, 245p.
- VITAL, S. R. O.; SILVEIRA, T. A.; ALENCAR, H. M. Q.; FERREIRA, B. Uso de imagem SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) para o mapeamento geomorfológico na microbacia do açude Taperoá II, Paraíba, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife. **Anais...** Recife: SBCGTG, 2010