

Análise das características morfométricas e susceptibilidade a enchentes na bacia hidrográfica do Rio Caeté, Nordeste do Pará por intermédio do uso de geotecnologias

Tassio Koiti Igawa¹
Diego Luiz Pureza Barreiros¹

¹ Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA
Caixa Postal 917 - 66077-830 - Belém – PA, Brasil
tassio.igawa@gmail.com; d_barreiros@yahoo.com.br

Abstract. The study of the morphometric characterization is very important to understand the hydrological and environmental dynamics that occurs in the watershed. Thus, the present work aims at quantification for such morphometric characteristics (area, perimeter, length of all channels, drainage density, main course length, channel hierarchy, compactness coefficient, form factor, index of circularity, altimetry and slope) and from this, to carry out an analysis of the results presented with the purpose of determining the flood susceptibility, this data obtained were generated through the use of ArcGIS 10 software. In this way, to the geometric characteristics it was found 2,776.71 km² basin area, 392.79km perimeter, the coefficient of compactness was 2.36, the form factor was 0.17 and the index of circularity was 0.18. In relation to the characteristics of the drainage network it was found 542.66km extension of the water courses, 0.25 drainage density, 112.32km extension of the main river and the hierarchy of this watershed showed that the maximum classification of the channels was 4th order. In respect to the topographic characteristic, we identify that the hypsometric amplitude was 104 m and there is also predominance of flat surface. However, it was possible to verify that the watershed of the Caeté River has a low drainage density and according to the results of the topographic characteristic it was possible to determine that it has a low flow velocity and, in agreement with all the generated data, it was possible to classify the basin with low flood propensity.

Palavras chave: image processing, GIS, hidrology, processamento de imagens, SIG, hidrologia.

1. Introdução

A água doce é um recurso natural indispensável para o consumo humano, assim como para outras atividades que os mesmos necessitam para viver e produzir, como para uso industrial e agrícola (Rebouças, 2006). Além disso, pode servir como indicador ambiental, pois a água consegue realizar a interação com os diversos componentes do meio por onde passa o que possibilita a acumulação de toda a informação gerada por essas relações (Oki, 2002).

A lei nº 9.433 /1997, que também é conhecida como lei das águas, instituiu a Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (Singreh). Além disso, define que a água é um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico. Assim sendo, essa lei prediz que a gestão dos recursos hídricos deve ocorrer de forma descentralizada, participativa e integrada (Brasil, 2016). Nesse contexto, de acordo com Jacobi e Fracalanza (2005), a descentralização consiste na implementação da bacia hidrográfica como uma unidade de gerenciamento dos recursos hídricos.

O estudo biofísico da bacia hidrográfica é um importante instrumento para realizar as práticas de manejo. Dessa forma, a caracterização morfométrica é um elemento que pode ser usado para tal estudo. Pois, é um dos principais processos iniciais para realização de uma análise hidrológica ou ambiental e tem como escopo facilitar o entendimento em relação as modificações ambientais do local e da região a qual a bacia analisada pertence (Teodoro et al., 2007).

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi caracterizar a morfometria da bacia hidrográfica do Rio Caeté com o auxílio de geotecnologias para que com isso se torne

possível verificar a susceptibilidade que a mesma possui em relação a ocorrência de enchentes.

2. Metodologia

2.1. Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Caeté está localizada no nordeste paraense (Figura 01) mais precisamente entre os paralelos $0^{\circ}53'56''$ e $1^{\circ}34'33.8''S$ e $46^{\circ}35'03''$ e $47^{\circ}14'13.48''W$, possui uma área de 2.176,71 km² e está presente em sete municípios da mesorregião, cujos quais são Augusto Corrêa, Bonito, Bragança, Capanema, Ourém, Santa Luzia do Pará e Tracuateua.

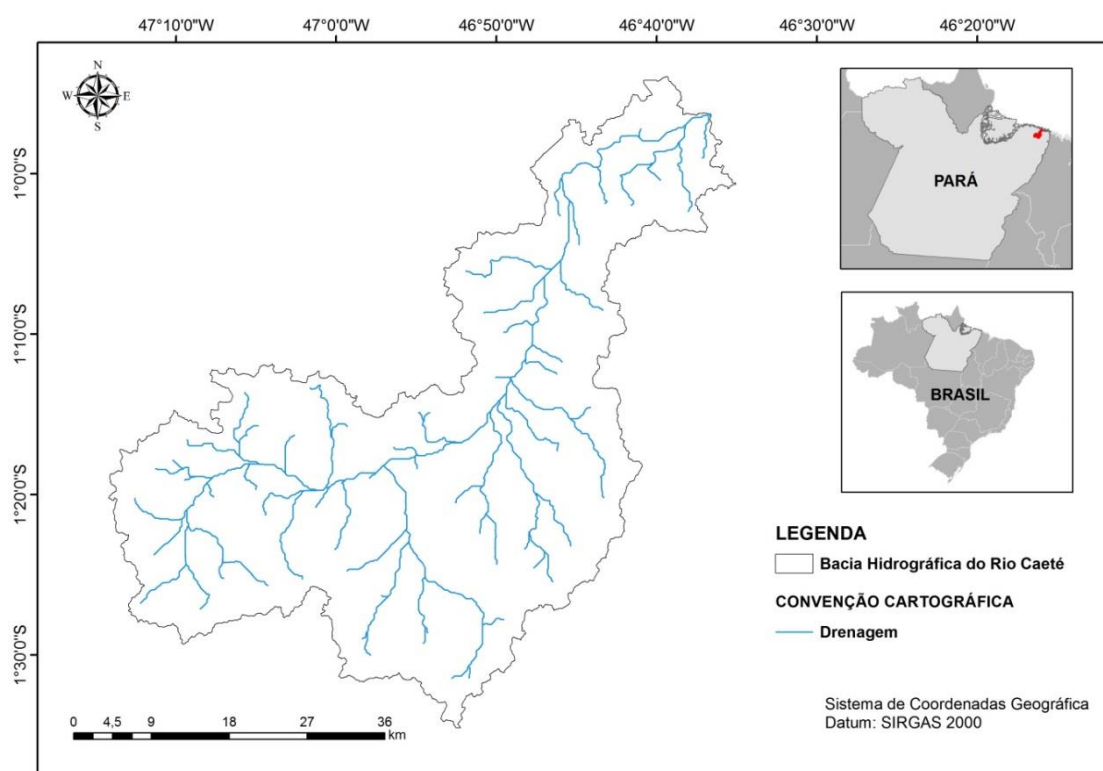


Figura 1: Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Caeté, PA.

O clima da mesorregião do nordeste paraense é tropical úmido com uma estação de seca que varia de um a três meses (IBGE, 1997). Sendo que, a região da bacia hidrográfica apresenta um regime de precipitação bem definido, cujo qual o primeiro semestre do ano é caracterizado com chuvas abundantes e o segundo, é definido com clima seco entre os meses de julho a dezembro, além disso, apresenta uma média anual de $26^{\circ}C$ (Gorayeb, 2008).

Segundo dados do IBGE (2016), o Produto Interno Bruto (PIB) referente aos sete municípios pertencentes a bacia hidrográfica, que é composto por serviços, agropecuária e indústria, representaram respectivamente, 46,77%, 37,31% e 15,92% do PIB da região.

2.2. Materiais e Métodos

Para a execução da análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Caeté foi necessário inicialmente, realizar a obtenção das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), cujos quais estão disponíveis no site do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) no projeto Topodata, que oferece o modelo digital de elevação, com resolução espacial de 30 metros. Diante disso, foi possível realizar a delimitação da bacia com a utilização do *software* ArcGIS 10, assim como a demarcação da rede de drenagem e as demais variáveis analisadas.

As variáveis definidas para a análise morfométrica foram aquelas que caracterizam a geometria, rede de drenagem e o relevo. Dessa forma, os elementos analisados foram a área, perímetro, comprimento total dos canais, hierarquização dos canais, fator de forma, coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius, densidade de drenagem e índice de circularidade, já para o relevo as duas variáveis analisadas foram a altimetria e a declividade.

Para a determinação da área, perímetro e comprimento dos rios foi utilizada a ferramenta *Calculate Geometry* disponível no programa ArcGIS 10. Já a hierarquização dos canais foi definida de acordo com a classificação de Stralher (1957), cujo mesmo conceitua o rio de primeira ordem aquele que não possui afluentes, já os de segunda, são aqueles formados pela junção de dois rios de primeira ordem, os de terceira, são originados pela união de dois cursos de segunda ordem e assim sucessivamente.

A densidade de drenagem foi determinada de acordo com a Equação 1, e classificada conforme Vilella e Mattos (1975), no qual consideram as bacias pouco drenadas aquelas que possuem índice de 0,5km/km² e com boa drenagem as que possuem valores de densidade de 3,5 km/km² ou superior a esse valor, sendo que quanto maior for esse índice maior será a capacidade da bacia de escoar suas enchentes.

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \quad (1)$$

onde Dd é a densidade de drenagem, L é o comprimento total (km) e A consiste na área da bacia (km²).

O fator de forma consiste na relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia (Equação 2), o qual é caracterizado como o curso d'água que possui maior comprimento e que é medido da nascente até a foz. Segundo Vilella e Mattos (1975), a bacia que apresenta o fator de forma baixo indica que possui menor propensão a enchentes do que outras que apresentam valores maiores, pois indica que a bacia possui o formato mais arredondado, isso caracteriza que o escoamento direto não promove uma rápida concentração e devido a isso é possível afirmar que existe uma menor propensão a enchentes.

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

sendo: Kf é o fator de forma, A é a área da bacia (km²) e L é o comprimento axial da bacia hidrográfica (km).

O índice de compacidade foi calculado de acordo com a Equação 3, com intuito de caracterizar o potencial da ocorrência de enchente. Dessa forma, segundo Villela e Mattos (1975), os valores mais próximos a 1 define que a bacia possui o formato mais arredondado, porém quando o valor do índice está mais distinto de 1, evidencia que a bacia possui o formato mais irregular e alongado, com isso há uma menor propensão a enchente.

$$Kc = \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

sendo que Kc é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro (km) e A é a área da bacia (km²).

O índice de circularidade está relacionado com a tendência para a unidade, ao passo que a bacia hidrográfica se aproxima da forma circular e se distancia desse valor quando o formato se torna alongado (Cardoso et al., 2006). Para tal medição foi aplicada a equação evidenciada a seguir:

$$Ic = 12,57 \frac{A}{P^2} \quad (4)$$

onde Ic é o índice de circularidade, A é a área da bacia (km^2) e o P é o perímetro da bacia (km).

Os dados obtidos relacionados a declividade e a altimetria da bacia hidrográfica foram gerados com a utilização das imagens STRM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Com isso, estabeleceram-se as classes de declividade segundo a classificação da Embrapa (2006) e a partir disso, permitiu a realização da elaboração do mapa com a utilização das ferramentas *fill* e *slope*, cujas quais são disponibilizadas no ArcGIS 10. Já o mapa hipsométrico foi classificado de acordo com o método *Natural Breaks*, sendo definido na aba *symbolology* no *software* ArcGIS 10.

3. Resultados e Discussão

Os resultados gerados por meio do uso dos métodos de caracterização morfométrica da bacia estão expressos na Tabela 1. Diante disso, pode ser observado que a bacia hidrográfica do Rio Caeté de acordo com a classificação de Vilella e Mattos (1975) é pouco drenada, pois possui um valor de densidade de drenagem abaixo de 0,5.

O índice de circularidade apresentou valor distinto do unitário o que o caracterizou a bacia segundo a classificação de Cardoso et al. (2006) como alongada. Já o fator de forma mostrou um resultado quantitativamente baixo, com isso foi possível determinar que a bacia possui um formato menos arredondado. Em relação à quantificação do coeficiente de compacidade mostrou resultado elevado o que segundo a classificação de Vilella e Mattos (1975) a caracteriza como uma bacia alongada e irregular.

Portanto, os resultados obtidos por esses três índices mostraram que a bacia possui um formato mais alongado e irregular o que a caracterizou como sendo de baixa propensão a enchente e é possível de ser comprovado pela observação dos mapas gerados a partir do uso das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), cujas quais permitiram a delimitação da bacia pelos divisores topográficos e com isso possibilitou a identificação do formato da bacia.

Tabela 1: Resultados da quantificação das características morfométricas.

Características Geométricas		
Parâmetros	Resultado	Unidades
Área de Drenagem	2176,71	km ²
Perímetro	392,79	km
Fator de Forma	0,17	F
Índice de Circularidade	0,18	IC
Coeficiente de Compacidade	2,36	Kc
Características da Rede de Drenagem		
Comprimento total de Todos os Canais	542,66	km
Comprimento do Curso Principal	112,32	km
Densidade de Drenagem	0,25	km/km ²

Conforme a Figura 2, pode-se observar que a bacia hidrográfica é de quarta ordem, a qual possui 60 cursos de primeira ordem com 303,71 km de extensão equivalente a 55,97% de toda a rede hidrográfica, 15 cursos d'água de segunda ordem com comprimento de 123,33 km e

isso corresponde a 22,73% da rede hidrográfica, 2 cursos de terceira ordem o qual possui uma extensão total de 45,12 km, cujo qual compõe 8,31% da rede hidrográfica e 1 curso de quarta ordem com 70,5 km equivalente a 12,99% da rede hidrográfica. Portanto, essa bacia possui 78 cursos d'água com 542,66 km de extensão. Apesar disso, quando relacionada com a área da bacia apresentou valor baixo de densidade de drenagem como exposto anteriormente.

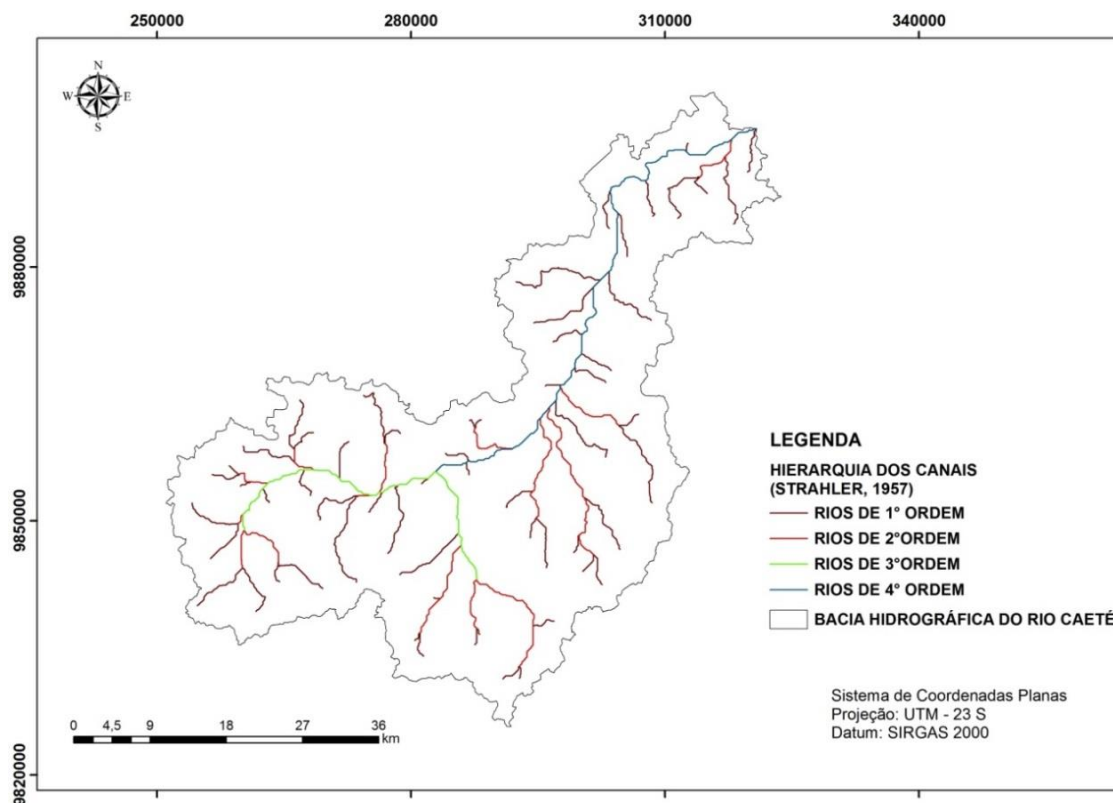


Figura 2: Mapa de hierarquização dos canais da bacia hidrográfica do rio Caeté, PA.

As áreas com altitude de até 22 metros constituem 344,38km² (15,82% do total), locais com altitude entre 23 e 38 metros representam 516,6km² (23,74% do total). Essas duas localizações estão mais próximas ao leito do rio com exceção das nascentes. Já as áreas com altitude entre 39 e 104 metros representam 60,44% do total da bacia hidrográfica e se encontram principalmente, na porção mais próxima as nascentes dos afluentes do rio Caeté. Portanto, é possível comprovar a direção do fluxo de água, já que as áreas com maior altitude estão situadas nas nascentes e as porções mais baixas na foz da bacia.

A altitude da bacia varia de 0 a 104 metros como evidenciado na Figura 3, com isso, possui uma amplitude hipsométrica equivalente a 104 metros, e isso contribui para baixa velocidade de escoamento, pois já que a amplitude altimétrica é baixa então a energia potencial que possui uma relação diretamente proporcional a essa variação de altitude também terá valores menores o que resultará em baixos valores de energia cinética, ou seja, haverá uma reduzida velocidade de escoamento.

A declividade interfere na relação direta da dinâmica entre a precipitação e o deflúvio da bacia hidrográfica, por influência do aumento da velocidade de escoamento superficial (Cardoso et al., 2006). De acordo com a Figura 4, pode-se observar que a maior parte da bacia é composta por solo plano ou suave ondulado. Além disso, a quantificação dessas áreas mostra que 40,62% é composta por solo plano, 50,15% por suave ondulado, 9,2% por ondulado e 0,03% por forte ondulado. Dessa forma, se torna possível inferir que a bacia hidrográfica do rio Caeté possui uma baixa velocidade de escoamento em grande parte da sua

rede de drenagem já que a maior parte da área da bacia é composta por relevo plano ou suave ondulado como supracitado.

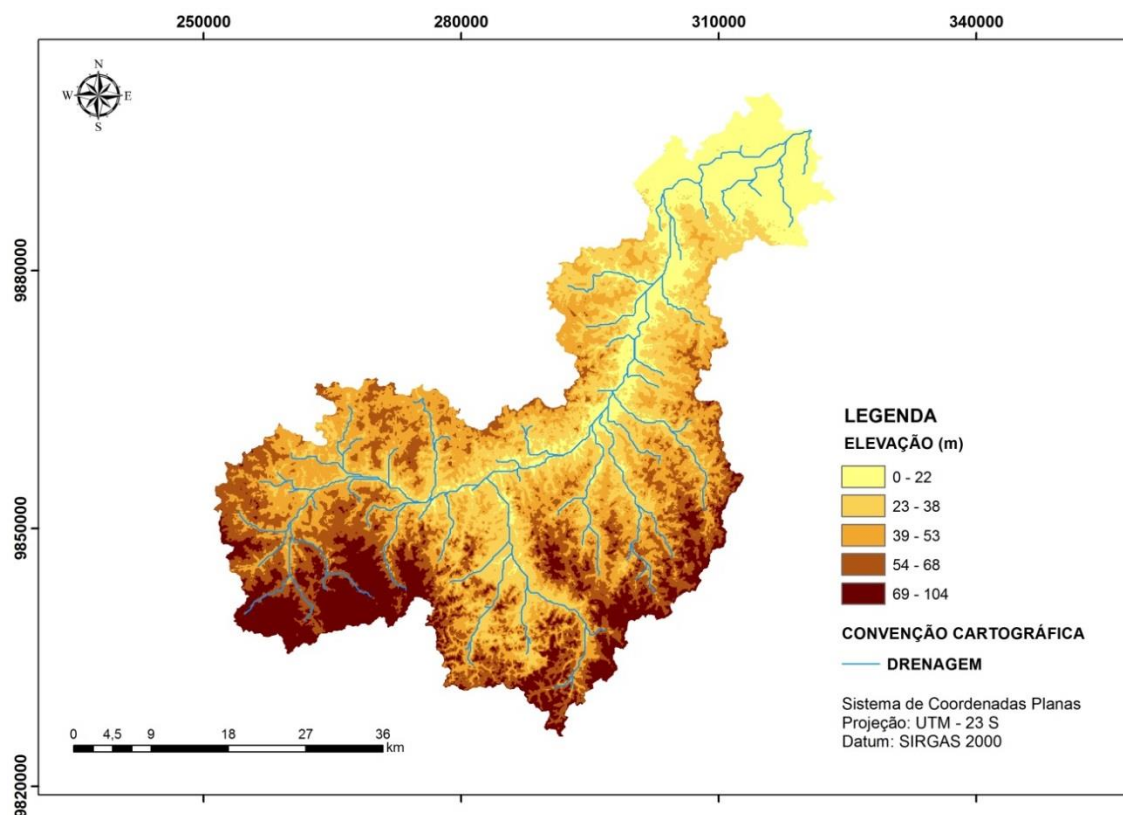


Figura 3: Mapa altimétrico da bacia hidrográfica do rio Caeté, PA.

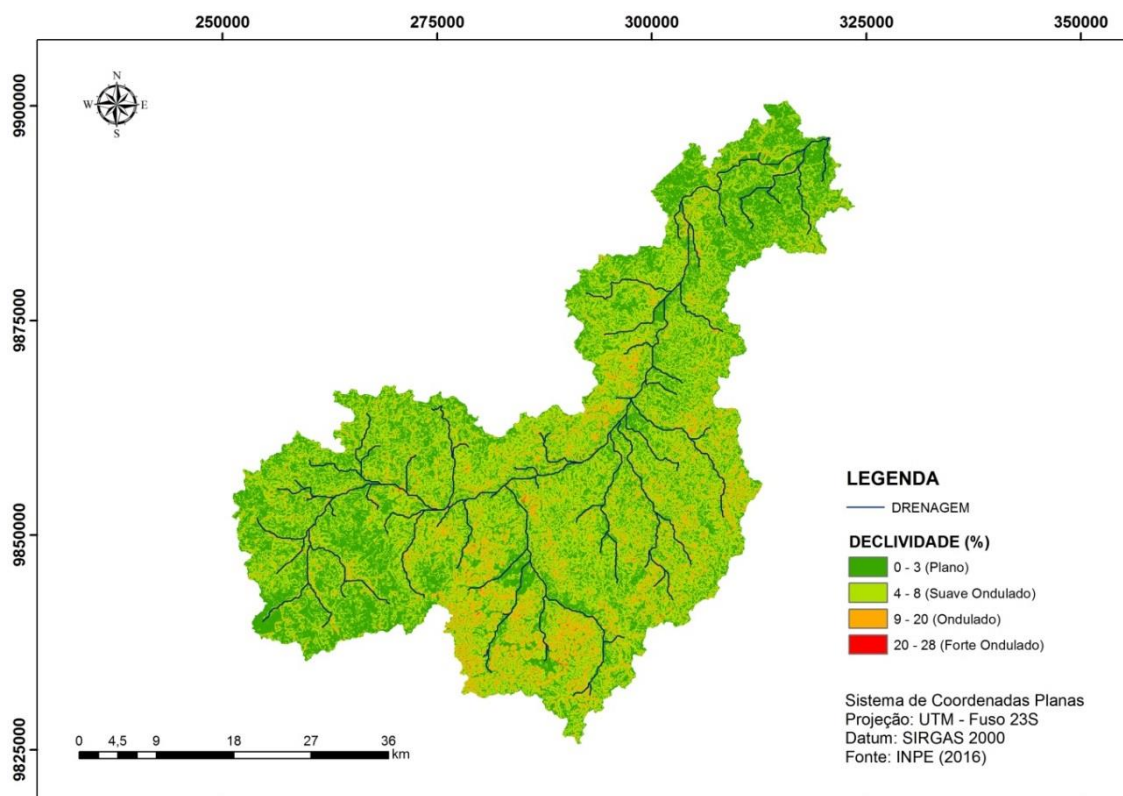


Figura 4: Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Caeté, PA.

4. Conclusão

Os resultados obtidos referente as características morfométricas da bacia hidrográfica do Rio Caeté possibilitaram indicar que é pouco drenada e possui um formato alongado e irregular isso evidencia a baixa propensão a enchentes. Assim como, baixa amplitude hipsométrica e predominância de relevo plano e suave ondulado que promove a baixa velocidade de escoamento superficial.

O uso de geotecnologias foi de fundamental importância para a obtenção dos resultados referente as características morfométricas (geométrica, rede de drenagem e relevo) e também possibilitaram a comprovação da referida conformação da bacia.

Contudo, a análise morfométrica de bacia hidrográfica se mostrou como um componente bastante importante para entender a dinâmica hidrológica e ambiental, que possibilitou indicar a susceptibilidade a enchentes da bacia hidrográfica estudada.

Referências Bibliográficas

Brasil. Lei nº 9433. 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 1997.** Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>> Acesso em: 20 out. 2016.

Cardoso, C. A. Dias, H. C. T. Soares, C. P. B. Martins, S. V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 241-248, 2006.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília: Serviço de Produção de Informação, 2006. 228-229 p.

Gorayeb, A. Análise integrada da paisagem na bacia hidrográfica do Rio Caeté – Amazônia Oriental – Brasil, 2008. 52-53 p. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Recursos naturais e meio ambiente: uma visão do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1997. 208 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Disponível em:< <http://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 21 out. 2016.

Jacobi, P. R.; Fracalanza, A. P. Comitês de bacias hidrográficas no Brasil: desafios de fortalecimento de gestão compartilhada e participativa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 11-12, p. 41-49, 2005.

Oki, V. K. **Impactos da colheita de *Pinus taeda* sobre o balanço hídrico, a qualidade da água e a ciclagem de nutrientes em microbacias.** 2002. 71p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

Rebouças, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: Rebouças, A. C.; Braga, B.; Tundisi, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras Editora e Distribuição de Livros, 2006. cap. 1, p.1-35.

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). Disponível em:< <http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 20 out. 2016.

Strahler, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction, American Geophysical Union**, v.36, n.6, p. 913-920, 1957.

Teodoro, V. L. I. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica do ambiente local. **Revista Uniara**. n. 20, p. 137-155, 2007.

Vilella, S. M.; Mattos, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGRAWHill do Brasil, 1975. 245p.