

DELIMITAÇÃO E ANÁLISE DE INDICADORES FÍSICOS DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÍTIO – CE COM AUXÍLIO DE SOFTWARES LIVRES

ANA CAROLINA RIBEIRO DE PAULA

BRUNA DA SILVA FRANKLIN

Universidade Estadual do Ceará - UECE

Centro de Ciência e Tecnologias - CCT

Departamento de Geografia, Fortaleza, CE

paulacr.ana@gmail.com, bruna17dsf@hotmail.com

RESUMO - Este artigo pretende analisar indicadores físicos da microbacia hidrográfica do rio Sítio, usando software livre como auxílio à extração de alguns atributos necessários à caracterização física. Os softwares utilizados foram a caixa de ferramentas TauDEM versão 5.3.0, desenvolvida com direcionamento a análises hidrológicas, acoplada ao ambiente do QGIS versão 2.12. As variáveis mensuradas foram área, perímetro, forma da bacia, comprimento dos canais, hierarquia fluvial, relação de bifurcação, densidade de rios, densidade de drenagem e perfil topográfico do rio principal. Os principais resultados apontam para uma microbacia com pouca tendência a enchentes, devido sua forma irregular, baixa densidade de rios e de drenagem e alto coeficiente de manutenção, o que indica muita área necessária para manutenção dos canais.

ABSTRACT - This article aims to analyze physical indicators of Sítio river watershed, using free software as an aid to extracting some attributes necessary for physical characterization. The software used was the TauDEM toolbox version 5.3.0, developed with guidance to hydrological analysis, coupled with the QGIS version 2.12. The variables measured were area, perimeter, shape, length of channels, drain hierarchy, bifurcation ratio, density of rivers, drainage density and topographic profile of the main river. The main results show a watershed with little tendency to flood because of its irregular shape, low rivers density and rivers draining, and high coefficient of maintenance, which indicates much area required for maintenance of channels.

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é uma área drenada por um rio ou por um sistema fluvial, composta por um rio e seus afluentes, além de divisores topográficos, os quais determinam seus limites e a direção dos cursos de água que drenam para um ponto comum na direção do exultório (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUERRA E CUNHA, 2002; SANTOS, 2004). Esta, a depender do objetivo e da escala de estudo, pode ser subdividida em sub-bacias e microbacias hidrográficas.

A lei 9.433/1997 que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), conhecida como Lei das Águas, aponta em seu artigo 1º, inciso V, a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da PNRH e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SNGRH). Santos (2004) discorre sobre a importância de bacias hidrográficas para os estudos ambientais. Segundo esta autora, é comum que planejadores ambientais escolham a bacia hidrográfica como unidade de trabalho, tratando-se de aceitação universal. Embora haja limitações político-administrativas referente a este recorte, esta destaca alguns motivos para seu uso, quais sejam: constituir-se uma unidade naturalmente bem delimitada, uma unidade integradora de recursos naturais e uma unidade de fácil reconhecimento e caracterização.

Dada a importância desta unidade, faz-se necessário conhecimento de suas características, a fim de melhor compreender sua dinâmica natural e promover a gestão adequada dos recursos nela inseridos. Neste sentido, o presente trabalho tem por objetivo analisar alguns indicadores físicos referentes à microbacia hidrográfica do rio Sítio, com o auxílio de softwares livres.

Software livre é o software que se pode executar, estudar e mudar o código fonte, redistribuir cópias exatas e distribuir versões modificadas, independente da forma como foi adquirido, ações estas consideradas as quatro liberdades essenciais do usuário (STALLMAN, 2015). Andrade (2011) aponta que, devido à evolução da interface, cada vez mais amigável, e das funcionalidades, permitindo cada vez mais operações mais complexas, os softwares livres têm apresentado crescente competitividade em relação aos proprietários.

O software utilizado para a realização deste trabalho é o QGIS versão 2.12, auxiliado pela caixa de ferramentas TauDEM (*Terrain Analysis Using Digital Elevation Models*) versão 5.3.0, desenvolvida pela Universidade de Utah (*Utah State University*), nos Estados Unidos. Esse conjunto de ferramentas é voltado para construção de análises hidrológicas com base em Modelos Digitais de Elevação (MDEs).

A caracterização física da área de estudo foi feita considerando os seguintes atributos: área, perímetro, forma da bacia, comprimento dos canais, hierarquia fluvial, relação de bifurcação, densidade de rios, densidade de drenagem e perfil topográfico do rio principal. Todos esses indicadores foram feitos a partir de processos realizados com o Modelo Digital de Elevação (MDE) TOPODATA, produzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que possibilitou a identificação e delimitação automática dos limites da microbacia, bem como a extração da drenagem.

O MDE TOPODATA é um dado derivado do MDE da *Suttle Radar Topography Mission* (SRTM), primeiramente disponibilizado na resolução de 90 x 90m. Em trabalho do INPE, o MDE SRTM foi convertido para resolução 30m e ajustado para toda a América do Sul.

A área de estudo está localizada no Estado do Ceará, abrangendo parte dos municípios de Canindé e Paramoti, entre as coordenadas E 451.346,11 / N 9.527.180,52 e E 462.628,61 / N 9.537.801,15, na zona UTM 24S (Figura 1). A microbacia é parte integrante da sub-bacia do Rio Batoque que, por sua vez, compõe o alto curso da bacia hidrográfica do Rio Curu, importante região hidrográfica do Estado.

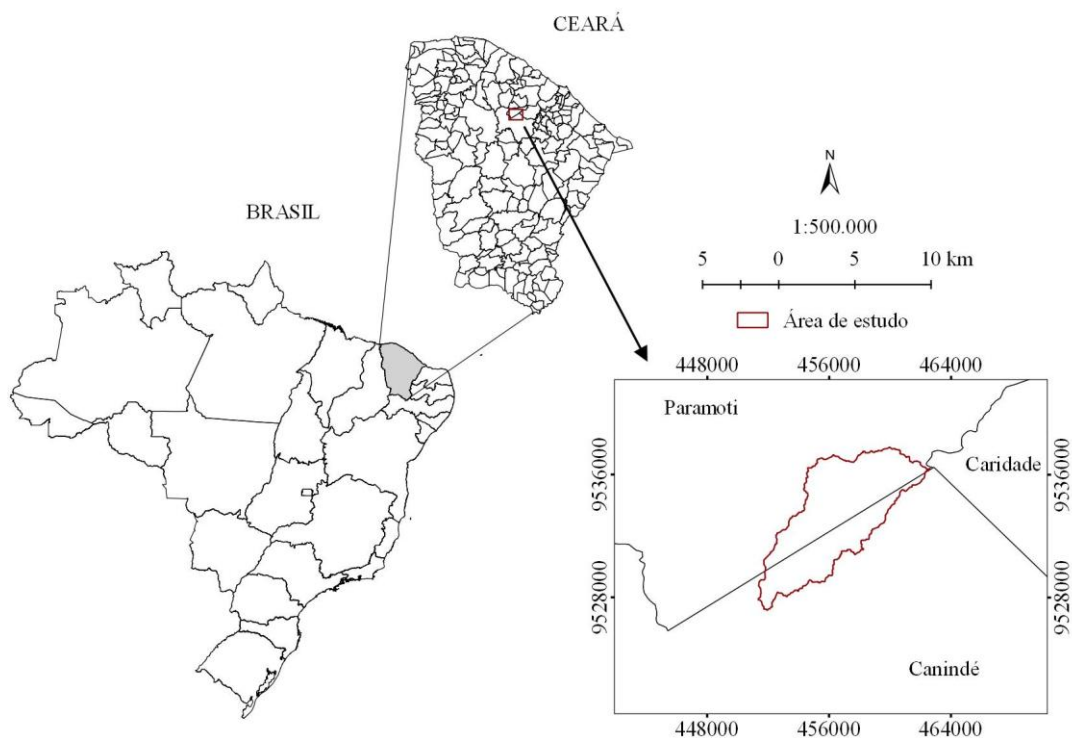


Figura 1 – Localização da área de estudo.

2 METODOLOGIA

Integração do TauDEM ao QGIS

O provedor TauDEM pode ser encontrado para descarregar no site oficial (<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/downloads2.html>), no qual também constam descritos os pré-requisitos, instruções para instalação e orientações de uso. Após descarregar o arquivo e executar, será necessário fazer ativação

dentro do ambiente do QGIS, assim como informar alguns caminhos necessários ao funcionamento da ferramenta no software, conforme demonstrado a seguir (Figura 2). As janelas mostradas abaixo são encontradas no menu “Processar”.

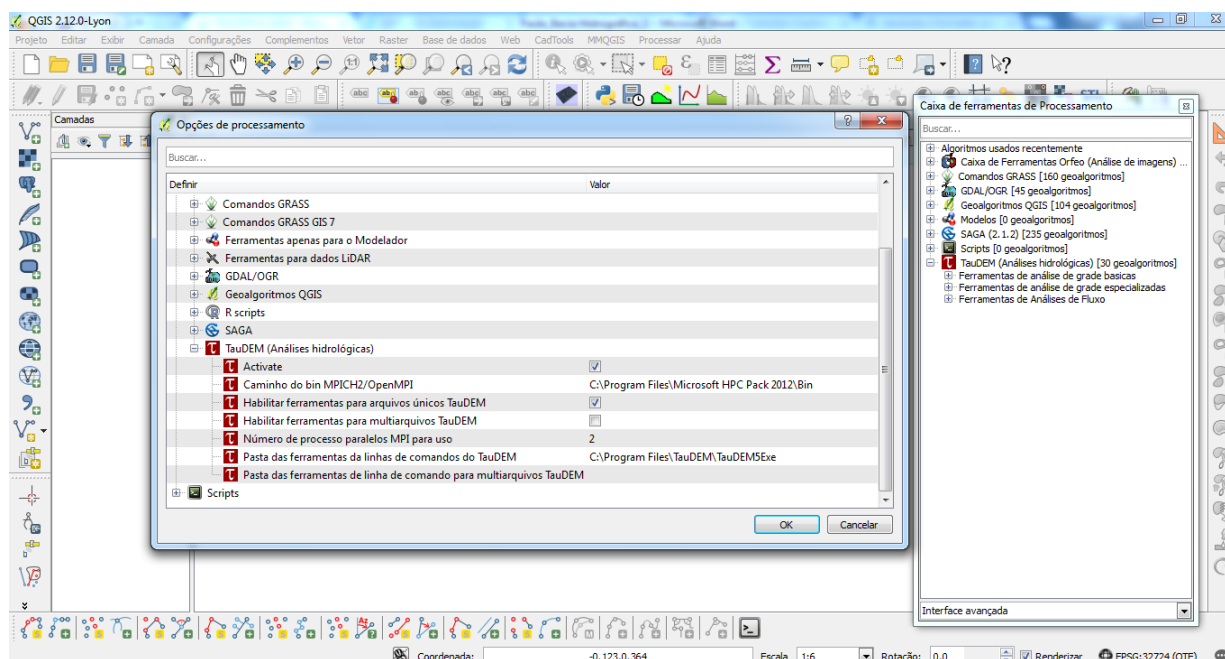


Figura 2 – Integração do provedor TauDEM ao software QGIS.

Aquisição de dados

O dado que serviu de base para a delimitação da área de estudo foi obtido no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>), a partir de imagem com resolução de 30 x 30m do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA), identificada como 04S405.

Delimitação da área de estudo e extração de drenagem

A área de estudos foi delimitada automaticamente com auxílio da caixa de ferramentas TauDEM, dentro do ambiente do software QGIS versão 2.12. Os processos realizados foram: 1) remoção de depressões (*Remover depressão*), a fim de produzir um MDE hidrológicamente correto; 2) definição da direção do fluxo (*Direções de Fluxo D8*); 3) criação de raster para definição do limite das bacias hidrográficas e melhor visualização da drenagem (*Área de Contribuição D8*); 4) criação de raster contendo a rede de drenagem (*Definição de limiar para fluxo*); 5) criação de um ponto em shapefile para indicar o exutório da área de estudo; 6) Execução novamente dos comandos descritos 3 e 4 (*Área de Contribuição D8 e Definição de limiar para fluxo*), agora com indicador do exutório para definição dos limites da microbacia; 7) exportação da drenagem em shapefile, criação de um raster contendo hierarquia fluvial e criação de raster com limites da microbacia (*Alcance e fluxo de Bacias Hidrográficas*) (Figura 3).

O limite da microbacia foi posteriormente convertido para shapefile (*poligonizar*) e generalizado (*simplificar feições*), usando agora comandos do próprio QGIS, a fim de desconstruir o efeito serrilhado da delimitação. Os nomes dos comandos utilizados estão indicados entre parênteses em itálico. O mapeamento que será apresentado foi produzido no software QGIS.

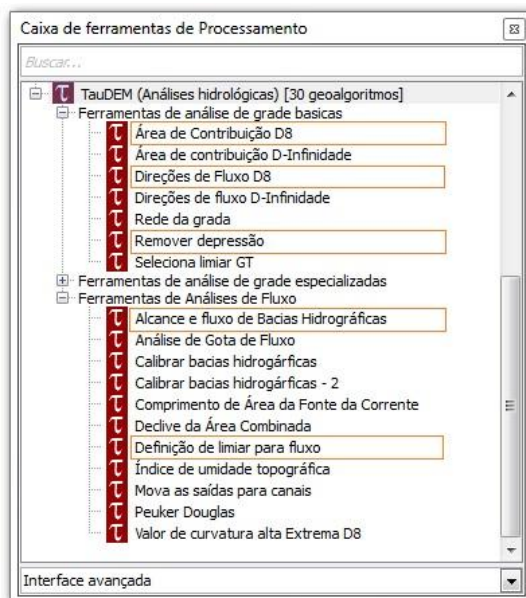


Figura 3 – Comandos usados para delimitação da microbacia hidrográfica no provedor TauDEM.

Características físicas

Com o objetivo de analisar as características físicas da microbacia hidrográfica estudada, baseando-se em trabalhos de Villela e Mattos (1975) e Christofolletti (1980), recorreu-se às variáveis a seguir:

- A. Área de drenagem e perímetro, elementos básicos para o cálculo de outras variáveis físicas. Foi definido por meio de expressão automática na Calculadora Raster do software QGIS.
- B. Forma da bacia, importante para entender o tempo que a água leva para percorrer a bacia a partir do início da precipitação, desde as nascentes até a desembocadura. Para este trabalho, foram utilizados dois indicadores, quais sejam:
 - I. Coeficiente de capacidade, expresso pela fórmula:

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

Em que, Kc = Coeficiente de capacidade e P = Perímetro da bacia; A = Área da bacia.

Conforme Villela e Mattos (1975), quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de capacidade e a tendência para enchentes é mais acentuada quanto mais próximo de 1 for o valor desse coeficiente.

- II. Fator de forma, expresso pela fórmula:

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

Em que, Kf = Fator de forma, A = Área da bacia e Lb = Comprimento da bacia.

É considerado outro índice importante para entender a menor ou maior propensão a enchentes de uma bacia. É a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia, medido a partir da desembocadura até o limite mais distante. Quanto mais próximo de 1, maior a tendência a enchentes (VILLELA e MATTOS, 1975).

- C. Definição do comprimento dos canais. O comprimento foi calculado automaticamente utilizando a calculadora de campo do QGIS. É outro elemento auxiliar no cálculo de outras variáveis que auxiliam na compreensão do desenvolvimento do sistema fluvial.
- D. Hierarquia fluvial, que foi determinada de acordo com o sistema de Strahler (1964), em que os rios de primeira ordem são as nascentes e não recebem nenhum tributário, os de segunda ordem derivam do encontro de dois ou mais rios de primeira ordem, os de terceira ordem derivam do encontro de dois ou mais rios de segunda ordem, e assim por diante, até o rio principal, de maior ordem (VILLELA e MATTOS, 1975; CHRISTOFOLETTI, 1980). Utilizando este sistema, a quantidade total de rios é dada pelo número de canais de primeira ordem, pois se considera que um rio começa na nascente. Já o número de segmentos é dado pela soma do total de canais computados na hierarquia.
- E. Relação de bifurcação, expressa pela fórmula:

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}} \quad (3)$$

Em que, Rb = Relação de bifurcação, N_u = Número de segmentos de determinada ordem e N_{u+1} = Número de segmentos de ordem imediatamente superior.

É a relação entre os canais de determinada ordem e os de ordem imediatamente superior.

- F. Densidade de rios, expressa pela fórmula:

$$Dr = \frac{N}{A} \quad (4)$$

Em que, Dr = Densidade de rios, N = Número total de rios e A = Área da bacia.

É a relação entre o número de rios e a área da bacia hidrográfica. Tem a finalidade de comparar a quantidade de cursos de água em uma área de tamanho padrão, como o metro quadrado por exemplo. O cálculo da densidade dos rios é importante porque representa o comportamento hidrográfico de determinada área por meio da capacidade de gerar novos cursos de água (CHRISTOFOLETTI, 1980).

- G. Densidade de drenagem, expressa pela fórmula:

$$Dd = \frac{Lt}{A} \quad (5)$$

Em que, Dd = Densidade de drenagem, Lt = Comprimento total dos canais e A = Área da bacia.

É a relação entre o comprimento total dos canais de uma bacia e sua área total. É uma boa indicação do desenvolvimento de um sistema de drenagem. De acordo com Villela e Matos (1975), esse índice varia de 0,5 km / km², para bacias de drenagem pobre, a 3,5 ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas.

- H. Extensão média do escoamento superficial, expressa pela fórmula:

$$Em = \frac{A}{4Lt} \quad (6)$$

Em que, Em = Extensão média do escoamento superficial, A = Área da bacia e Lt = Comprimento total dos canais.

É a distância média em que a água da chuva teria que escoar sobre os terrenos de uma bacia, caso o escoamento se desse em linha reta, desde onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso de água qualquer da bacia. Esse índice constitui uma indicação da distância média do escoamento superficial.

I. Coeficiente de manutenção, expresso pela fórmula:

$$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000 \quad (7)$$

Em que, Cm = Coeficiente de manutenção e Dd = Densidade de drenagem.

Tem a finalidade de mensurar a área mínima necessária para a manutenção de um metro de escoamento.

J. Perfil topográfico do rio principal, foi feito por meio do *plugin ProfileTool* no ambiente do QGIS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A microbacia estudada apresentou área de captação de 51,77 km² e perímetro de 41,98 km. Em relação à forma, o coeficiente de capacidade (Kc) apresentou valor 1,63 e o fator de forma (Kf) apresentou valor 0,25, ambos os valores com certo distanciamento da unidade, de modo que se pode concluir pouca propensão a enchentes, dada sua forma irregular.

Acerca de indicadores que tratam do sistema de drenagem, foram mapeados 13 rios, que formam uma rede de drenagem de 40,59 km de comprimento, tendo o rio principal 16,55 km (Tabela 1).

Tabela 1: Hierarquia fluvial conforme Strahler (1964) e comprimento dos canais.

Hierarquia fluvial e comprimento dos canais		
Ordem	Quantidade de canais	Comprimento (km)
1	13	21,73
2	2	14,53
3	1	4,34
Total de segmentos	16	40,59
Total de rios = 13		
Comprimento total (km) = 40,59		
Comprimento do rio principal (km) = 16,55		

A figura a seguir mostra a representação espacial da drenagem.

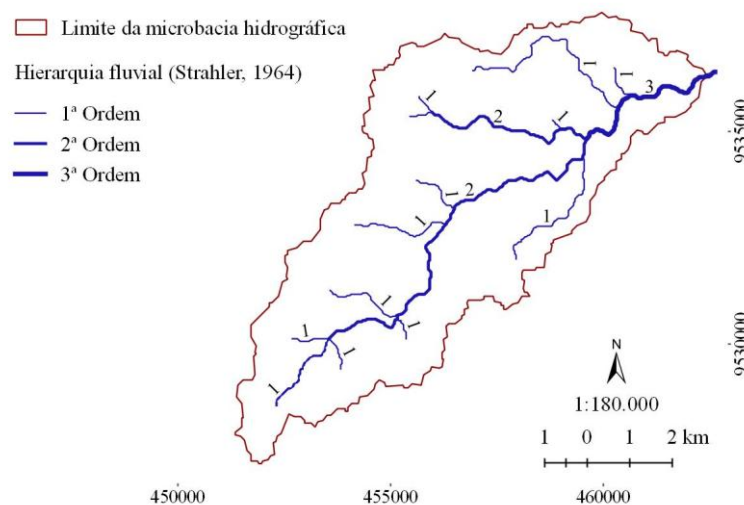


Figura 4 – Hierarquia fluvial da microbacia hidrográfica do Rio Sítio.

A partir do cálculo da relação de bifurcação (Rb), pode-se concluir que, em média, na área de estudo, para cada canal de terceira ordem, há dois de segunda ordem, e, para cada canal de segunda ordem, há 6,5 canais de primeira ordem.

A área de estudo apresentou densidade de rios (Dr) no valor de $0,25/\text{km}^2$, evidenciando uma rede de drenagem com poucas nascentes. Em relação à densidade de drenagem (Dd), obteve-se o valor de $0,78$, de modo que, ao se considerar a escala de $0,5$ a $3,5$, apresentada por Villela e Mattos (1975), pode-se inferir que é uma bacia com drenagem pobre ou mal drenada. Christofolletti (1980) afirma que, à medida que aumenta o valor da densidade de drenagem, há diminuição quase que proporcional do tamanho dos cursos de água. Esta afirmação é comprovada na área de estudo ao se observar o tamanho dos rios em contrapartida da pouca ocorrência de nascentes expressivas.

Para extensão média do escoamento superficial (Em), obteve-se o valor de $0,32$ km, que significa uma estimativa da distância que a água precisa percorrer, desde onde a chuva caiu até o ponto mais próximo no leito de um curso de água qualquer da bacia. Para o coeficiente de manutenção (Cm), obteve-se o valor de $1.282,05$ m², que representa a área necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento.

O perfil topográfico (Figura 5) mostrou que o rio principal apresenta cotas que vão de 121 a 197 metros de altitude no máximo. Pode-se perceber baixa variação desde a nascente até o exutório. Uma representação hipsométrica foi adicionada para melhor visualização do comportamento do relevo (Figura 6).

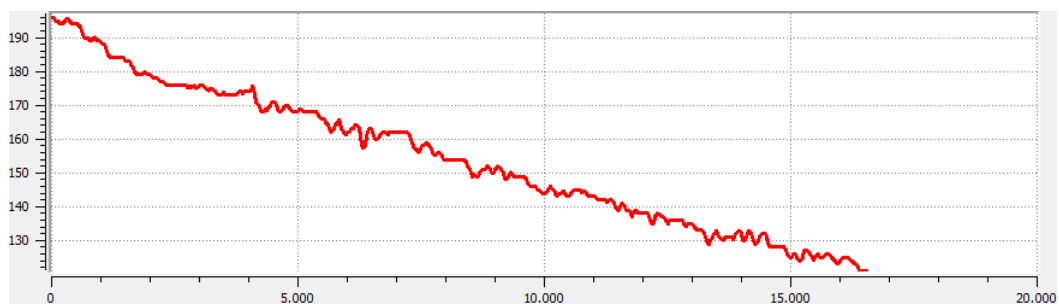


Figura 5 – Perfil topográfico do rio Sítio (rio principal).

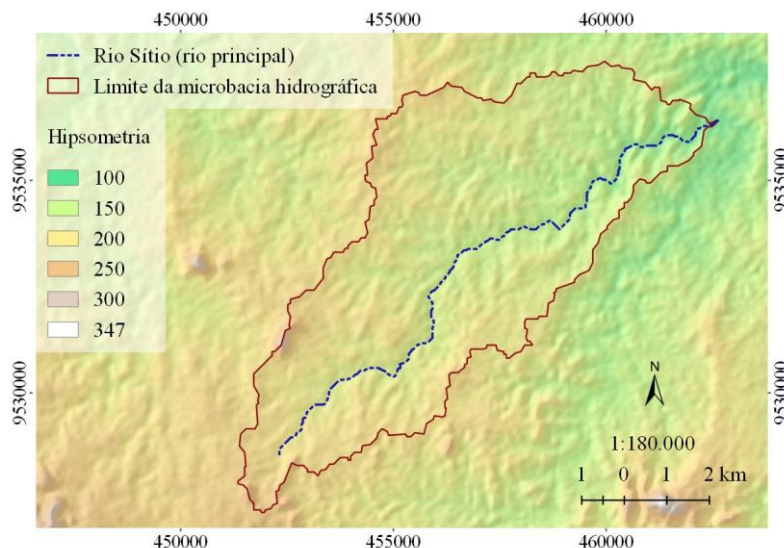


Figura 6 – Mapa hipsométrico da microbacia hidrográfica do rio Sítio.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados apontam para uma microbacia hidrográfica com pouca tendência a enchentes, devido sua forma irregular. A baixa densidade de rios e de drenagem, em relação à área de captação, acarreta um alto coeficiente de manutenção, o que indica muita área necessária para manutenção dos canais.

Christofolletti (1980) afirma que, à medida que aumenta o valor da densidade de drenagem, há diminuição quase que proporcional do tamanho dos cursos de água. Esta afirmação é comprovada na área de estudo ao se observar o tamanho dos rios, 2,54 km em média, em contrapartida da ocorrência pouco expressiva de rios.

O perfil topográfico, em conjunto com o mapa hipsométrico apresentado, demonstra a baixa variação na altitude do rio principal e de toda a microbacia, apresentando uma área de captação com aspectos planos e suave-ondulados.

Abaixo, segue tabela com resumo dos resultados obtidos para a área de estudo.

Tabela 2: Resumo das características físicas da microbacia hidrográfica do rio Sítio.

Área	51,77 km ²
Perímetro	41,98 km
Coeficiente de capacidade	1,63
Fator de forma	0,25
Número total de rios	13
Hierarquia Fluvial	-
1ª Ordem	13
2ª Ordem	2
3ª Ordem	1
Total de segmentos	16
Relação de bifurcação	-
1/2	6,5
2/3	2
Comprimento total dos canais	40,59 km
Comprimento médio dos canais	2,54 km
Comprimento do rio principal	16,55 km
Densidade de rios	0,25
Densidade de drenagem	0,78
Extensão média do escoamento superficial	0,32 km
Coeficiente de manutenção	1282,05 m ²

É sabido que certamente não se esgotam as possibilidades nem os estudos das características físicas da área de estudo com este trabalho. Os indicadores analisados e seus resultados oferecem uma boa resposta para avaliar o comportamento da microbacia, no entanto muitas outras variáveis precisam ser mensuradas e analisadas, tanto em aspectos quantitativos, quanto qualitativos, a fim de possibilitar de maneira mais abrangente a compreensão de sua dinâmica.

REFERÊNCIAS

_____. Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 10 jul. 2015.

ANDRADE, E. L. Redescobrimo os SIG com software livre. **Revista FOSSGIS: Georreferenciando o conhecimento**. n. 1, p. 19-22, mar/2011. Disponível em: <<http://www.fossGISbrasil.com.br>>. Acesso em: 07 out. 2015.

VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife - PE, 24-25 de agosto de 2016.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. A análise de bacias hidrográficas. In: CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**. 2ª edição. São Paulo: Blucher, 1980. p. 102-127.

CUNHA, Sandra Baptista da. Geomorfologia Fluvial. In: GUERRA, Antonio José Teixeira e CUNHA, Sandra Baptista da (orgs). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. p. 157-189.

SANTOS, Jorge. **Delimitação de Bacias Hidrográficas com TauDEM**. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2015/04/10/qgis28-delimitacao-de-bacias-hidrograficas-com-taudem/>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

SANTOS, Jorge. **Instalação do TauDEM 5.1.2 para Delimitação de Bacias Hidrográficas no QGIS**. Disponível em: <<http://www.processamentodigital.com.br/2015/03/20/instalacao-do-taudem-512-para-delimitacao-de-bacias-no-qgis/>>. Acesso em: 22 mar. 2015.

SANTOS, Rozely Ferreira dos. Área, escala e tempo: paradigmas do planejamento. In: SANTOS, Rozely Ferreira dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.p. 39-56.

STALLMAN, Richard. **Whats is free software?** Disponível em: <<http://www.gnu.org/philosophy/free-sw.html.en.>> Acesso em: 10 set. 2015.

UTAH STATE UNIVERSITY. **Terrain Analysis Using Digital Elevation Models (TAUDEM)**. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. Bacia Hidrográfica. In: VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. p. 06-28.