

ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS E DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DA BACIA DO CARÃO, CEARÁ

Brennda Bezerra Braga^{1}; Thais Rodrigues Almeida²; Carlos Rodrigo Castro Schlaefli; Keully Cristynne Aquino Diógenes⁴; Rodrigo Mendes Rodrigues⁵; Carlos Alexandre Gomes Costa⁶*

Resumo – A morfometria de uma bacia hidrográfica fornece uma descrição quantitativa do sistema de drenagem e tem grande relevância na previsão do grau de vulnerabilidade da bacia. A delimitação das bacias hidrográficas foi realizada utilizando-se o software Arc-GIS 10.2.2, baseado no modelo digital de elevação derivado da imagem SRTM do satélite ASTER. Com base no fator de forma encontrado de 0,12 e no resultado do coeficiente de compactidade que foi de 1,64, pode-se inferir que a Bacia do Carão é pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitações. Tal constatação é validada também pelo baixo índice de circularidade encontrado no estudo (0,36). A Bacia do Carão apresentou uma declividade média de 19,51% e comprimento do rio principal foi de 50,88 km. O tempo de concentração obtido pela metodologia de Kirpich foi de 464 minutos, já utilizando a fórmula de Temez o resultado foi de 757 minutos; e pela fórmula de Ven te Chow o tempo de concentração foi de 252 minutos. Diante disso, conclui-se que a bacia do Carão possui características físicas desejáveis, quanto a vulnerabilidade a enchentes, além de um tempo de concentração adequado quando comparado com outras bacias rurais semiáridas.

Palavras-Chave – fisiografia, tempo de concentração, bacias rurais.

ANALYSIS OF THE FIOGROPHIC CHARACTERISTICS AND CONCENTRATION TIME OF THE CARÃO BASIN, CEARÁ

Abstract – The morphometry of a river basin provides a quantitative description of the drainage system and has great relevance in predicting the degree of vulnerability of the basin. River basin delineation was performed using Arc-GIS 10.2.2 software, based on the digital elevation model derived from the SRTM image of the ASTER satellite. Based on the found form factor of 0.12 and on the result of the compactness coefficient that was 1.64, it can be inferred that the Carão Basin is little susceptible to flooding under normal precipitation conditions. This finding is also validated by the low circularity index found in the study (0.36). The Carão Basin presented an average slope of 19.51% and main river length was 50.88 km. The concentration time obtained by the Kirpich methodology was 464 minutes, using the Temez formula, the result was 757 minutes; And by the formula of Ven te Chow the concentration time was 252 minutes. Therefore, it is concluded that the Carão basin has desirable physical characteristics, as well as vulnerability to floods, as well as an adequate concentration time when compared to other semi-arid rural basins.

Keywords – Physiography, time of concentration, rural basins.

INTRODUÇÃO

1 Mestranda em Engenharia Agrícola (UFC). Email: brenndabraga94@gmail.com

2 Engenheira Ambiental e Sanitária (IFCE). Email: thaisrodriguesalmeida@hotmail.com

3 Doutorando em Ecologia e Recursos Naturais (UFC). Email: rodrigocastro@acaatinga.org.br

4 Professora Titular do IFCE – campus Camocim. Email: keully.aquino@gmail.com

5 Mestrando em Climatologia (UECE). Email: r.mennndhez@gmail.com

6 Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (UFC). Email: costaag@gmail.com

As características geomorfológicas da bacia hidrográfica desempenham um papel vital nos estudos hidrológicos (Andrade, 2008). Para Moreira *et al.* (2011), a inter-relação do ciclo hidrológico e características morfométricas, tais como forma, topografia, geologia, solo, cobertura vegetativa, entre outras, apresentam um relevante papel nos processos do ciclo da água e influenciam variados fenômenos, por exemplo, a infiltração, a quantidade de água produzida no escoamento, a evapotranspiração e os fluxos superficiais e subsuperficiais. Villela e Mattos (1975) corroboram com essa afirmação, para os autores a caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica fornece uma descrição quantitativa do sistema de drenagem e tem grande relevância para a previsão do grau de vulnerabilidade da bacia diante de fenômenos como enchentes, inundações e erodibilidade. Em virtude disso, ao longo dos anos, estudos que apresentam a avaliação de características morfométrica de bacias hidrográficas têm sido frequentes no Brasil (Mendes *et al.*, 2016; Pena *et al.*, 2015) e no mundo (Vieceli *et al.*, 2014; Wilson *et al.*, 2012).

A aplicação de SIG tem sido adotada para avaliar diversos parâmetros da bacia, sendo uma poderosa ferramenta para a determinação, interpretação e análise da informação espacial relacionada com as bacias hidrográficas (Wilson *et al.*, 2012). Pena *et al.* (2015) destacam que a utilização de sensoriamento remoto vem sendo reconhecida como uma alternativa viável aos tratamentos tradicionais e à avaliação manual de mapas topográficos, uma vez que os procedimentos computacionais reduzem o tempo necessário para a geração de planos de informação para análise de modelos hidrológicos.

Nesse contexto, o objetivo desse estudo foi realizar a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Carão, localizada no município de Tamboril, Ceará, Brasil por meio da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e GIS, e calcular o tempo de concentração da referida bacia para fazer inferências sobre seu comportamento hidrológico, além de proporcionar uma maior eficiência das intervenções que podem ser realizadas na região para a conservação e manejo dos recursos hídricos de forma sustentável.

METODOLOGIA

1. Área de estudo

A área investigada corresponde à sub bacia do Carão, localizada na Bacia do Acaraú, no Município Tamboril, situa-se entre 40° 21' 47''O longitude e latitude 4° 49' 7''S do exutório e longitude 40° 7' 25''O e latitude 4° 47' 34''S, cobrindo uma área total de 309,55 km². A sub bacia do Carão apresenta clima tropical quente semi-árido (IPECE, 2017). A área de estudo apresenta precipitação média anual de 685 mm e a temperatura varia de 26 a 28°C. Quanto aos solos, Bruno não Cálcico, Solos Litólicos, Planossolo Solódico e Podzólico Vermelho-Amarelo (IPECE, 2017). Vegetação do tipo Caatinga Arbustiva Aberta, Floresta Caducifólia Espinhosa e Floresta Subcaducifólia Tropical Pluvial (IPECE, 2017). E relevo Depressão Sertaneja e Maciços Residuais (IPECE, 2017).

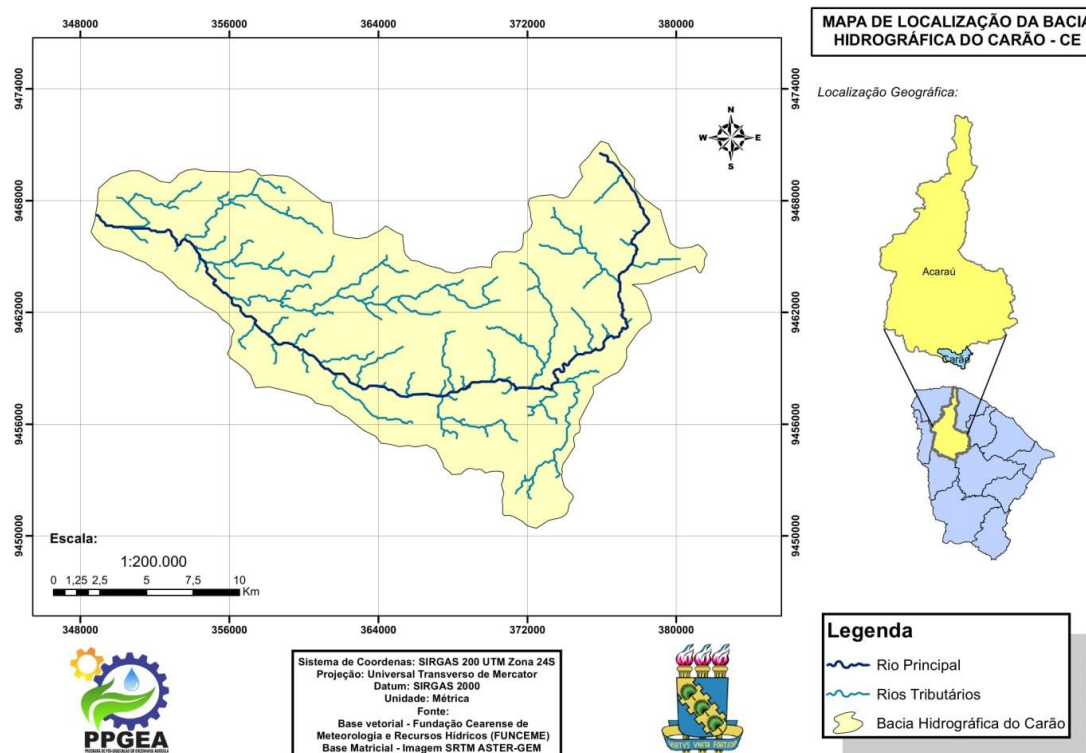


Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Carão - CE.

2. Caracterização fisiográfica

A delimitação das bacias hidrográficas foi realizada utilizando-se o software Arc-GIS 10.2.2 / ArcMap, baseado no modelo digital de elevação (MDE) derivado da imagem SRTM do satélite *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER, 2017). O ASTER é o satélite desenvolvido por uma parceira do governo do Japão e a NASA cuja resolução espacial é de 30 x 30 metros. A cena utilizada foi a ASGMTM2_S05W041. O MDE foi reprojeto do sistema de coordenadas geográficas para o sistema de coordenadas planas. O recorte da área da bacia foi realizado a partir do *shape* da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME, 2017).

Na delimitação automática da bacia foi utilizada a ferramenta *Spacial Analyst Tools* para ativação da barra de ferramenta *Hidrology*. Na barra de ferramentas *hidrology* foram utilizados os seguintes comandos: *fill* (preenchimento das depressões da imagem); *Flow Direction* (determinação da direção de fluxo de água); *Flow Accumulation* (determinação do fluxo acumulado da água). Após da geração do *raster Flow Accumulation* foi utilizada a ferramenta *Map Algebra (Raster calculator)* para determinação do limiar da rede de drenagem (aproximação dos dados reais). Em seguida, a drenagem que estava em *raster* foi transformada para vetor por meio da ferramenta *Stream to Feature*. Para verificar os parâmetros fisiográficos e calcular o tempo de concentração da bacia por diferentes métodos foram adotadas as equações numéricas constantes na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos Parâmetros fisiográficos adotados na pesquisa

Parâmetros	Fórmula	Descrição
Coefficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,28.(P/\sqrt{A})$	P - perímetro (km) e A - área de drenagem (km ²).
Fator de forma (Kf)	$Kf = A/L^2$	F - fator forma, A - área da bacia (km ²) e L - comprimento do eixo da bacia (km).

Índice de circularidade (Ic)	$I_c = 12,57 * A/P^2$	A - área de drenagem (m ²) e P - perímetro (m).
Densidade de drenagem (Dd)	$Dd = L_{total} / A$	Dd - densidade de drenagem (km/km ²), L - comprimento total dos cursos d'água (km) e A - área de drenagem (km ²).
Ext. média de Escoamento (I)	$I = A / 4L_{total}$	É dada pela razão da área total da bacia (A) sobre 4 vezes a soma dos comprimentos de todos os cursos do rios dentro da bacia (Ltotal).
Sinuosidade do rio (Sin)	$Sin = L / D_{n-e}$	É a relação entre a distância da desembocadura do rio e a nascente mais distante, medida em linha reta (D _{n-e}), e o comprimento do canal principal (L).
Declividade média da bacia (Dm)	$D_{bacia} = \frac{\sum d_{média} \cdot a}{A}$	A declividade média da bacia (Dm) foi calculada pelo método das quadrículas , em que a declividade de cada quadrícula será definida pela maior diferença de cotas entre duas quadrículas vizinhas (<i>d_{média}</i>), dividida pela dimensão linear da quadrícula. Posteriormente, multiplica-se essa declividade pela área da quadrícula (a) e divide-se pela área total da bacia (A)
Tempo de concentração (Tc) Equação de Kirpich.	$T_c = 57 (L^3 / H)^{0,385}$	L - Comprimento do Curso principal H – Declividade da Bacia (m/m)
Tempo de concentração (Tc) Equação de Temez	$T_c = 0,3 (L / H^{0,25})^{0,76}$	L - Comprimento do Curso principal S – Declividade equivalente da Bacia (m/m)
Tempo de concentração (Tc) Equação de Vem Te Chow	$T_c = 0,8773 [Lx(H^{-0,5})]^{0,64}$	L - Comprimento do Talvegue H – Diferença de cotas da bacia (m/m)

A declividade do terreno é definida como a variação de altitude entre dois pontos do terreno em relação à distância que os separa. A análise das características do relevo declividade da bacia foi realizada com base nos parâmetros constantes na metodologia de EMBRAPA (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da análise fisiográfica da bacia hidrográfica do Carão são apresentados na Tabela 3 e os mapas de declividade, altimetria, direção dos Fluxos da Bacia do Carão e ordem dos fluxos d'água são apresentados nas figuras 2, 3, 4 e 5, respectivamente. Com base neles, observa-se que a Bacia do Carão pode ser considerada como pequena unidade de área, pois apresenta área de drenagem de 309,55 km² e 103,16 km de perímetro.

Tabela 3. Resumo das características fisiográficas da Bacia do Carão, CE.

Características fisiográficas	Resultados
Área de drenagem (km ²)	309,55
Perímetro (km)	103,16
Fator de forma (F)	0,12
Índice de circularidade (Ic)	0,36
Coefficiente de compacidade (Kc)	1,64
Comprimento do total dos corpos d'água (km)	288
Comprimento do rio principal (km)	50,88
Densidade de drenagem (Dd)	0,77
Ordem dos cursos d'água	4
Ext. média de Escoamento (I)	0,32
Sinuosidade do rio (Sin)	1,85

Tempo de concentração, em minutos (Tc) – Kirpick	464
Tempo de concentração, em minutos (Tc) – Temez	757
Tempo de concentração, em minutos (Tc) – Vem Te Chow	252,4
Declividade máxima (%)	176,64
Declividade média (%)	19,51
Declividade mínima (%)	0
Altitude máxima (m)	1114
Altitude média (m)	541,85
Altitude mínima (m)	234

Com base no fator de forma encontrado de 0,12 e no resultado encontrado para o coeficiente de compacidade que foi de 1,64, pode-se inferir que a Bacia do Carão é pouco suscetível a enchentes em condições normais de precipitações. Tal constatação é validada também pelo baixo índice de circularidade encontrado no estudo (0,36). Esse coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia independente do seu tamanho, assim quanto mais irregular ela for, maior será o coeficiente de compacidade, ou seja, quanto mais próxima da unidade, mais circular será a bacia e será mais sujeita a enchentes (Villela e Mattos, 1975).

Esses resultados foram reforçados por dados encontrados para bacias de área similar no semiárido cearense. Sousa e Paula (2016) encontraram para a microbacia do rio Tapuio, localizado na bacia do Coreaú, fator de forma, coeficiente de compacidade e índice de circularidade de 0,095; 2,248 e 0,194, respectivamente.

Com relação as altitudes, constatou-se uma grande variação, conforme Figura 3. A máxima altitude foi de 1114 m, a mínima de 234 m e a média de 541,85 m. Resultado similar foi encontrado por Machado *et al.* (2011) ao estudar a Bacia hidrográfica do rio Jacuípe, sub-bacia do rio Paraguaçu no estado da Bahia.

No tocante a declividade, observa-se que os relevos variam de relevo plano a relevo escarpado, conforme Figura 2. A Bacia do Carão apresentou uma declividade média de 19,51%, que segundo o EMBRAPA (1999), caracteriza-se como relevo forte ondulado. Infere-se que o solo da Bacia do Carão possui boa capacidade de infiltração e resistência a erosão. De acordo com Mendes *et al.* (2016), a declividade média de uma bacia hidrográfica é importante nas ações planejamento e para o cumprimento da lei no sentido de garantir a eficácia do uso e ocupação do meio.

Em relação a densidade de drenagem, observa-se na *Tabela 3* que esta foi considerada baixa, visto que apresentou índice de 0,77 km/km². O comprimento do rio principal foi de 50,88 km e o comprimento do talvegue foi de 27,5 km. Para Villela e Mattos (1975), considera-se bacias mal drenadas aquelas que apresentam valores próximas a 0,5 km/km².

De acordo com a hierarquia de Strahler, a Bacia do Carão apresenta grau de ramificação de quarta ordem, conforme Figura 5. Para Tonello *et al.* (2016), ordem inferior ou igual a 4 é comum em pequenas bacias hidrográficas. O índice de sinuosidade obtido foi de 1,85, indicando que os canais da bacia possuem formatos transicionais, regulares e irregulares, uma vez que valores próximos a 1,0 indicam que o canal tende a ser retilíneo e os valores superiores a 2,0 sugerem canais tortuosos (Lana, Alves & Castro, 2001).

O tempo de concentração da bacia hidrográfica foi calculado seguindo as três metodologias: método de Kirpich I (1940), método de Temez (1978) e método da California Culverts Practice (ANO). Analisando os resultados na *Tabela 3*, podemos inferir que o tempo de concentração é uma variável bastante sensível e depende diretamente da metodologia utilizada para o seu cálculo. O tempo de concentração obtido pela metodologia de Kirpich foi de 464 minutos, já utilizando a fórmula de Temez o resultado foi de 757 minutos; e pela fórmula de Ven te Chow o tempo de concentração foi

de 252 minutos. Dessa forma, comparando-se os resultados podemos observar que houve uma variação significativa do valor do tempo de concentração conforme as equações propostas pelos autores. Por fim, adotamos como o tempo de concentração da bacia do Carão o valor obtido pelo uso da metodologia de Kirpich, por ser um modelo calibrado pra bacias rurais. Baseado no estudo de Sousa & Paula (2016) para a microbacia do rio Tapuio, localizado na bacia do Coreauá, encontrou-se um tempo de concentração de 514 minutos, corroborando o tempo de concentração encontrado nesse estudo.

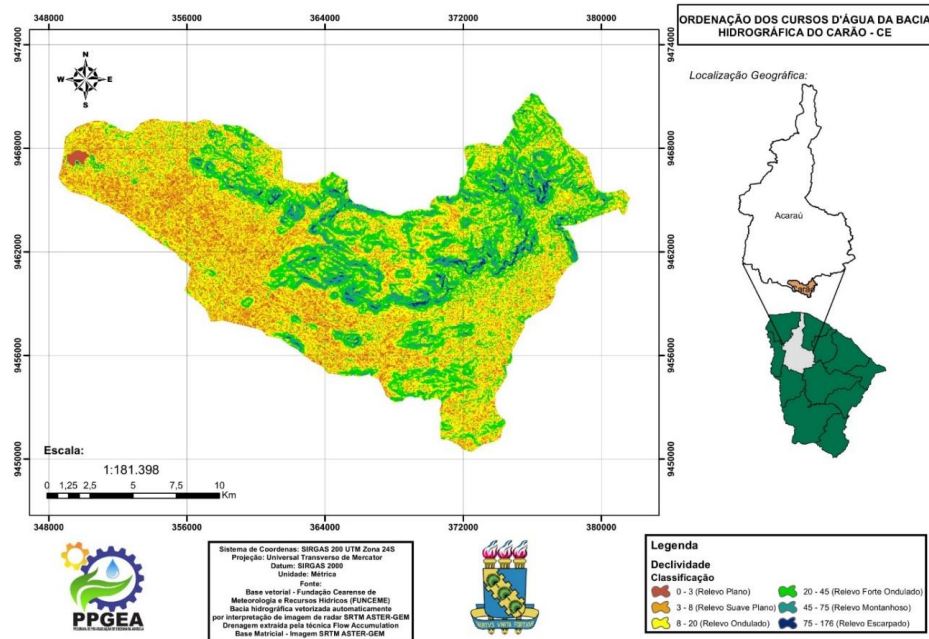


Figura 2 -Declividade da bacia do Carão, CE.

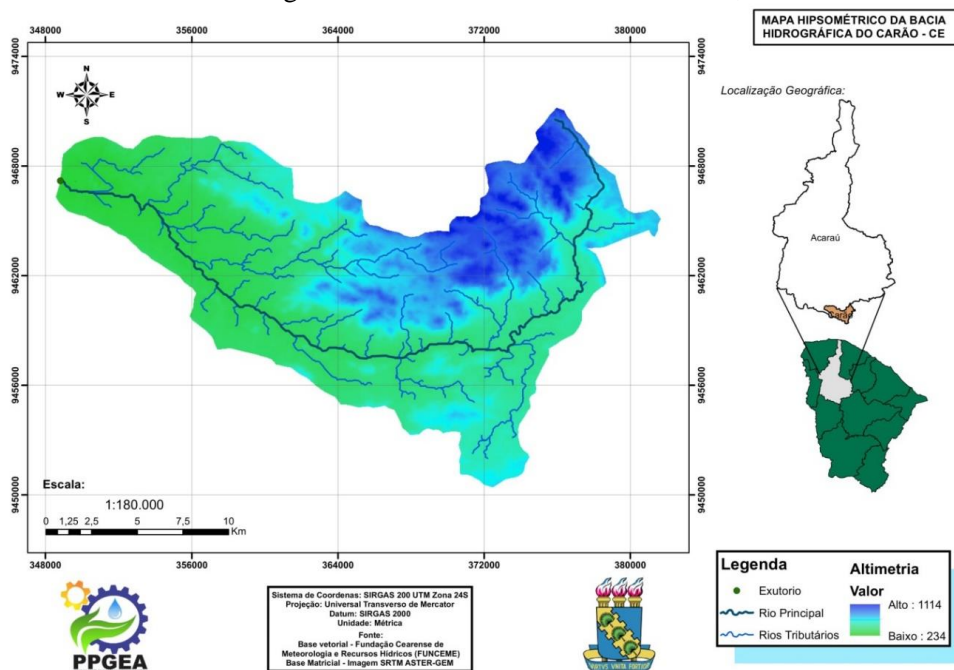


Figura 3 - Altimetria da bacia do Carão, CE.

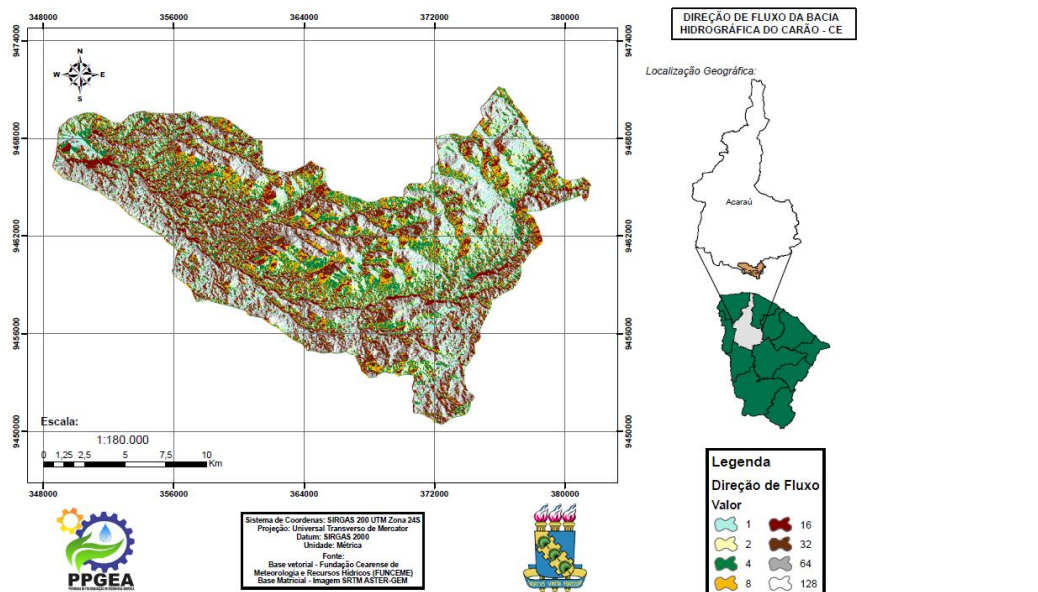


Figura 4 –Direção do fluxo de água da bacia do Carão, CE.

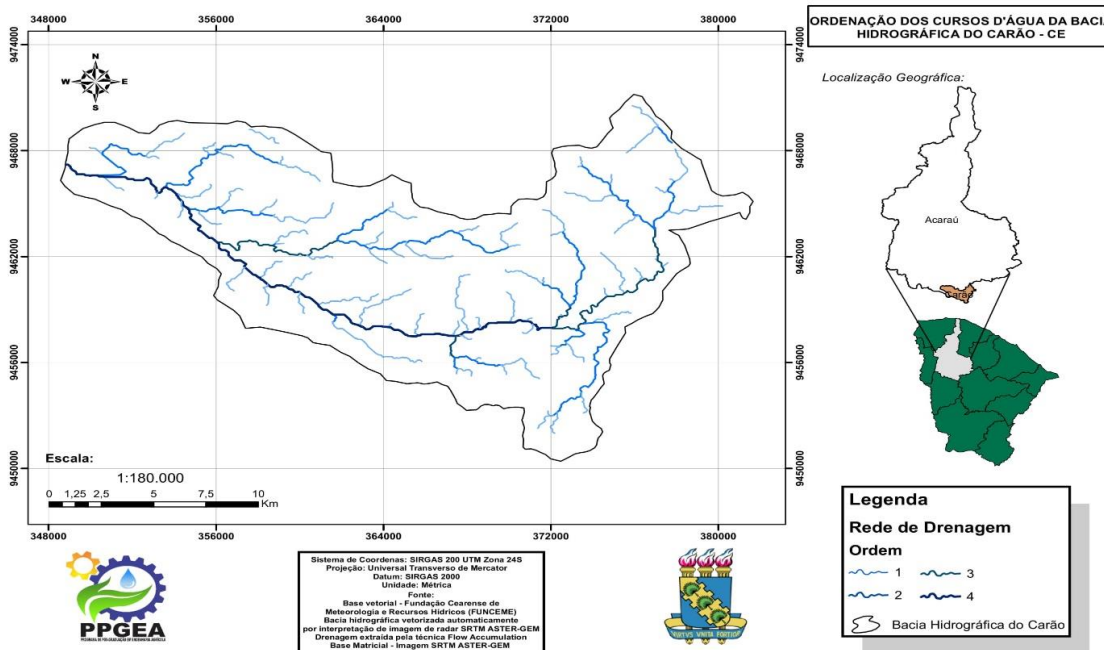


Figura 5 - Ordem dos cursos d'água da bacia do Carão, CE.

CONCLUSÃO

Diante dos resultados acerca da fisiografia da bacia hidrográfica do açude Carão, concluiu-se que a região possui um pequeno porte, com forma estreita e alongada e com baixa vulnerabilidade à enchentes. O elevado tempo de concentração da bacia demonstra ainda que a região possui características desejadas em relação ao escoamento superficial e a segurança de obras civis como barragens artificiais. O relevo que predomina na região é composto por solos planos, com baixas e localizadas ondulações, e de declividade média inferior a 20%. Essas características conferem a bacia maiores taxas de infiltração da água e, conseqüentemente, reduz o poder de erosão do escoamento superficial.

REFERÊNCIAS

- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. (ASTER). Disponível em: <https://asterweb.jpl.nasa.gov/>. Acessado em março de 2017.
- ANDRADE, N. L. R. *et al.* Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso-MT. São Paulo. **Geociências**, v. 27, n. 2, p. 237-248, 2008.
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. Applied hydrology, New York: McGraw-Hill, 1988.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro, 1979. 83p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1)
- FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.funceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorologico/572-postos-pluviometricos>. Acessado em março de 2017.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Caracterização Territorial. Disponível em: http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/pdf/Tipos_Climaticos.pdf. Acessado em março de 2017.
- LANA, C. E.; ALVES, J. M. de P.; CASTRO, P. de T. A. Análise morfométrica da bacia do Rio do Tanque, MG - Brasil. **Rev. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, p. 121-126, June 2001. Acesso em 24 de Abril de 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S0370-44672001000200008>
- KIRPICH, T.P. Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds. **Journal of Civil Engineering**, v.10, n.6, p. 362, 1940.
- MENDES, I. S. *et al.* Geoprocessing applied to physiographic characterization of the Lontras River Basin-Paraná, Brazil. **Revista Geama**, v. 6, n. 1, p. 170-175, 2016.
- MOREIRA, A. A. C; *et al.* (2011). Caracterização morfométrica e hidrologia da bacia hidrográfica do Rio Salamanca, Barbalha, CE. In Anais do **XIX Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos**, Maceió, Nov. 2011.
- PENA, D. S. *et al.* Morpho physiographic characterization of the Samambaia creek's watershed, Goiânia-GO. **Científica**, v. 43, n. 3, p. 197-202, 2015.
- TEMEZ, J.R. **Calculo hidrometeorologico de caudales maximos em pequenas cuencas naturales**. Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU). Direccion General de Carreteras, n. 12, 1978.
- VIECELI, N. *et al.* Morphometric evaluation of watersheds in Caxias do Sul City, Brazil, using SRTM (DEM) data and GIS. **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 9, p. 5677-5685, 2015.
- VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.
- WILSON, JS John *et al.* Morphometric Analysis of Major Sub-Watersheds in Aiyar & Karai Pottanar Basin, Central Tamil Nadu, India Using Remote Sensing & GIS Techniques. **Bonfring International Journal of Industrial Engineering and Management Science**, v. 2, n. Special Issue Special Issue on Geospatial Technology Development in Natural Resource and Disaster Management, p. 08-15, 2012.