

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

INFLUÊNCIA DAS FONTES DE DADOS DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO NO CÁLCULO DOS TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS RURAIS NO ESTADO DO CEARÁ

Guilherme Ramalho Gomez¹; Guilherme Costa Rodrigues Neto²; José Raimundo de Sousa³; David Gomes Fernandes⁴; Ticiano Marinho de Carvalho Studart⁵ & Renata Mendes Luna⁶

RESUMO – Este trabalho investiga os valores de tempo de concentração obtidos através dos parâmetros morfológicos de duas bacias hidrográficas (açudes Aracoiaba e Carão), determinados com SIG (Sistema de Informação Geográfica), utilizando duas fontes de dados topográficos: o TOPODATA e a SUDENE. Foram comparados os valores de tempo de concentração para 14 fórmulas distintas e o resultado relativo foi plotado em um gráfico. Observou-se que os valores de tempo de concentração obtidos a partir dos dados do TOPODATA, para as 14 fórmulas utilizadas, foram superiores àqueles obtidos a partir dos dados da SUDENE, o que sugere novas investigações para a determinação do grau de generalidade a que essas conclusões podem ser aplicadas.

ABSTRACT– This work investigates the time of concentration values obtained with the morphologic parameters of two watersheds (Aracoiaba and Carão reservoirs), determined with GIS (Geographic Information System), using two topographic data sources: TOPODATA and SUDENE. The time of concentration values were compared to 14 different formulas and the relative result was plotted on a graph. It was observed that the time of concentration obtained from the TOPODATA data, for the 14 formulas used, were higher than those obtained from the SUDENE data, which suggests new investigations to determine the generality to which those conclusions can be applied.

Palavras-Chave – Tempo de concentração. Kirpich. Bacias hidrográficas.

1) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará (UFC) – email: guiragomez@gmail.com

2) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos hídricos) da Universidade Federal do Ceará (UFC) – email: guilherme3218@yahoo.com.br

3) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará (UFC) – email: jrsousa.eng@gmail.com

4) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará (UFC) – email: dgfoff@gmail.com

5) Professora do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bloco 713, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60440-970, Fone: (85) 3366-9623, email: ticiano@ufc.br

6) Professora Associada I do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bloco 713, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60440-970, Fone: (85) 3366-9623, email: renata.luna@ufc.br

1 INTRODUÇÃO

Os programas SIG's (Sistemas de Informação Geográfica) têm grande importância na gestão ambiental por facilitarem o gerenciamento de informações espaciais e permitirem a elaboração de relatórios que subsidiam as tomadas de decisões. A utilização de MDE (Modelos Digitais de Elevação) em SIG apresenta vantagens, tais como: os recursos digitais (velocidade, repetibilidade e integração com outras bases de dados), a redução de intervenções manuais e, portanto, da subjetividade, além da possibilidade de representação paramétrica (VALERIANO et al., 2006). A utilização adequada das plataformas SIG envolve ainda a consideração da qualidade dos dados de entrada. Para o desenvolvimento de um projeto cujos resultados sejam coerentes, esses dados precisam ter uma fonte confiável e de referência.

Com base nisso, este trabalho propõe comparar o cálculo do tempo de concentração para duas bacias localizadas no estado do Ceará, cujos valores morfométricos foram obtidos através de duas fontes de dados topográficos distintas: o TOPODATA e a SUDENE, utilizando SIG.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção dos Dados

Foram analisadas as bacias hidrográficas de 2 açudes construídos no Estado de Ceará: Aracoiaba e Carão. Para cada um dos açudes foram traçadas as respectivas bacias hidrográficas, com auxílio do software ArcGis 10.2, usando 2 fontes de dados altimétricos distintas.

Como primeira fonte, utilizou-se os dados provenientes do projeto TOPODATA, desenvolvido pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, que oferece livre acesso a variáveis geomorfométricas locais derivadas de dados SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission.

De acordo com Valeriano (2003), a iniciativa TOPODATA foi conduzida na forma de projeto para o cálculo e a oferta de variáveis geomorfométricas locais com estes dados por todo o território nacional. Os dados SRTM, originalmente na forma em que foram disponibilizados para o continente, apresentam resolução horizontal de 90 m, sendo reduzidas, após a realização de interpolações, para a resolução de 30 m.

A segunda fonte foram os dados disponibilizados pela SUDENE (Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste), que fornece cartas topográficas de todo o nordeste brasileiro, resultantes de mapeamento elaborado com base no recobrimento aerofotogramétrico e em apoio de campo nas décadas de 60 e 70, com posteriores atualizações e digitalizações. Nelas, estão registradas

a configuração planimétrica natural do terreno (hidrográfica, cobertura vegetal) e artificial (localidades, sistema rodoferroviário), assim como a altimétrica (curva de nível de 40 m e pontos de controle de altitudes), elementos estes representados em cores, segundo convenções.

2.2 Metodologia para Elaboração dos Modelos Digitais de Elevação (MDE)

De posse dos dados, foram realizados os procedimentos de cálculo por meio das ferramentas de geoprocessamento, tomando como base inicial os MDEs - Modelos Digitais de Elevação.

Para os dados provenientes da SUDENE, foi necessária a realização de um pré-processamento, que consiste na criação do MDE, a partir dos dados de curvas de nível, hidrografia e pontos cotados. Os raster's (arquivos cujos pixels estão associados a um valor de altitude) gerados foram interpolados para uma resolução espacial horizontal de 30 m, equivalente ao MDE proveniente do TOPODATA.

2.3 Metodologia do Processamento Hidráulico

Para o processamento dos modelos, foram utilizadas as extensões (“*plugins*”) disponíveis da Environmental Systems Research Institute (ESRI): *Spatial Analyst* e *Hydrology Modeling*. A metodologia adotada nesse processo, assim como o trabalho realizado por Alves Sobrinho (2010), subdividiu-se em quatro etapas: preenchimento de depressões (“*fill sinks*”), direção de fluxo (“*flow direction*”), fluxo acumulado (“*flow accumulation*”) e delimitação de bacias (“*Watershed*”)

A função “*fill sinks*” realiza as correções necessárias no MDE, considerando as altitudes dos pixels vizinhos, de forma a preencher os vazios, promovendo, assim, a geração do MDE com melhor consistência hidrológica (OLIVEIRA, 2010).

Após as correções dos vazios, procedeu-se à análise do escoamento superficial a partir da definição da direção do fluxo, utilizando a ferramenta “*flow direction*”, que é dada pela determinação da direção da maior declividade do terreno, onde cada célula (pixel) seguirá seu vizinho mais íngreme (NOVAIS, 2015).

Em seguida, o acúmulo do fluxo (“*flow accumulation*”), onde cada pixel recebe um valor correspondente ao número de pixels que contribuem para que a água chegue até ele. A partir da direção de fluxo, o fluxo acumulado é obtido somando-se a quantidade de células que contribuem para determinado pixel.

Por último, a função “*watershed*” é responsável por delimitar automaticamente o traçado da Bacia Hidrográfica que contribui para o escoamento superficial até o ponto selecionado como exutório, dentro da rede hidrográfica gerada. Nesse caso, os exutórios escolhidos foram as paredes dos açudes analisados.

2.4 Metodologia para o Cálculo dos tempos de concentração

Para o cálculo dos tempos de concentração das bacias foram utilizadas 12 diferentes fórmulas que se aplicam às bacias estudadas, a fim de estudar a influência da relação entre o método de cálculo e as condições das bacias no resultado do tempo de concentração.

A fórmula de Kirpich (equação 1) é resultado de um estudo feito por Ramser (1927) em 6 bacias rurais dos Estados Unidos presentes em um terreno declivoso, onde seus dados foram analisados e plotados em um gráfico por Kirpich. A fórmula de Kirpich foi recomendada por ele para bacias entre aproximadamente 4,050 m² e 810,000 m², portanto sua aplicação fora da faixa tende a apresentar algum erro (MOTA, 2015). A fórmula, para o tempo de concentração T_c em minutos, o comprimento do rio principal L em quilômetros e a altura H em metros, é dada como:

$$T_c = 57 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (1)$$

A fórmula de Ven Te Chow (equação 2), que possui validade para bacias de até 19 km² de área, originalmente era uma fórmula para o cálculo do tempo de Pico, tendo sido publicada como uma fórmula de cálculo de tempo de concentração, portanto deve-se aplicar um fator de correção (SILVEIRA, 2005). A fórmula, portanto, para T_c em horas, L em km e a declividade do rio principal S em m/km fica:

$$T_c = 0.8773 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0.64} \quad (2)$$

A equação de Dooge (equação 3) foi baseada em dados de dez bacias rurais da Irlanda com áreas entre 140 e 930 km² e deve ter maior confiabilidade em bacias onde predomina escoamento de canais (SILVEIRA, 2005). Equação de Dooge, para T_c em minutos a área A em km² e S em m/m:

$$T_c = 21.88 A^{0.41} S^{-0.17} \quad (3)$$

As fórmulas de Ventura, Pasini e Giandotti não possuem muitas referências quanto às suas obtenções originais, conseqüentemente quanto às condições de obtenção, devido à antiguidade e alta familiaridade (SILVEIRA, 2005). As fórmulas de Ventura (T_c em minutos), Pasini (T_c em minutos) e Giandotti (T_c em horas) estão a seguir nesta ordem (equações 4, 5 e 6), para área (A) em km² e declividade (S) em porcentagem:

$$T_c = 76.3 \sqrt{\frac{A}{S}} \quad (4)$$

$$T_c = 64.8 \sqrt[3]{\frac{L \cdot A}{S}} \quad (5)$$

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad (6)$$

Na mesma situação, usou-se a fórmula de Picking (equação 7), para T_c em horas, L em km e S em m/m:

$$T_c = 5.3 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.333} \quad (7)$$

O método de Temez (equação 8) foi utilizada em bacias naturais da Espanha de área de até 3000 km² (SAMPAIO, 2016). Para T_c em horas, L em km e S em m/m:

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (8)$$

A fórmula de Kerby (equação 9) é utilizada para bacias com áreas menores que 0.05 km² e inclinações menores que 0.01 m/m (LI, 2008). O coeficiente a é um fator que varia de acordo com a rugosidade (WANIELISTA, 1997). O T_c é encontrado em minutos, L é usado em km e S em m/m:

$$T_c = 37 \left(\frac{L a}{S} \right)^{0.47} \quad (9)$$

A fórmula de USC (equação 10) abrange bacias de até 12000 km², sendo para bacias de grande porte (SILVEIRA, 2005). O tempo de concentração é encontrado em horas, para L em km e S em m/m.

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76} \quad (10)$$

Uma versão modificada da fórmula de Kirpich (equação 11) também foi utilizada:

$$T_c = 1.42 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385} \quad (11)$$

Por último, a fórmula de Rossi (equação 12), sem muitas referências às condições de sua publicação, para o tempo em horas, L em km e S em porcentagem:

$$T_c = 0.77 \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0.295} \quad (12)$$

3 RESULTADOS

As figuras a seguir mostram os MDE obtidos segundo cada uma das fontes de dados consideradas.

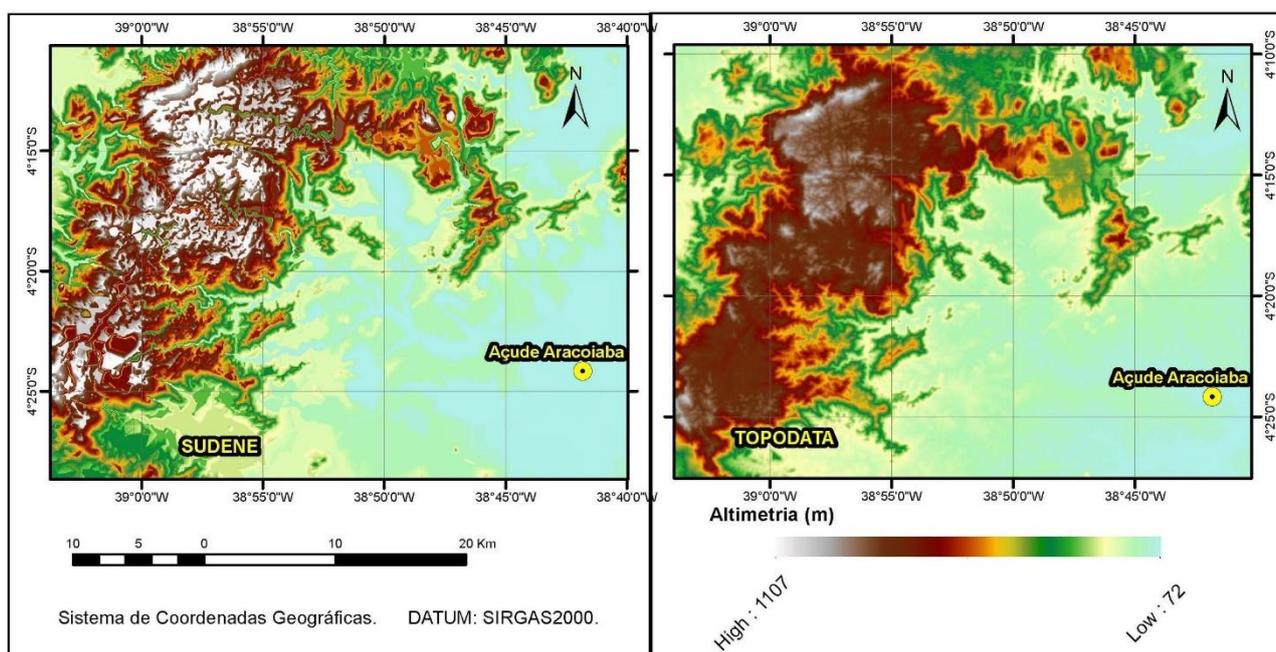


Figura 1 – MDE's gerados na área do Açude Aracoiaba, com os dados provenientes da SUDENE e do TOPODATA.

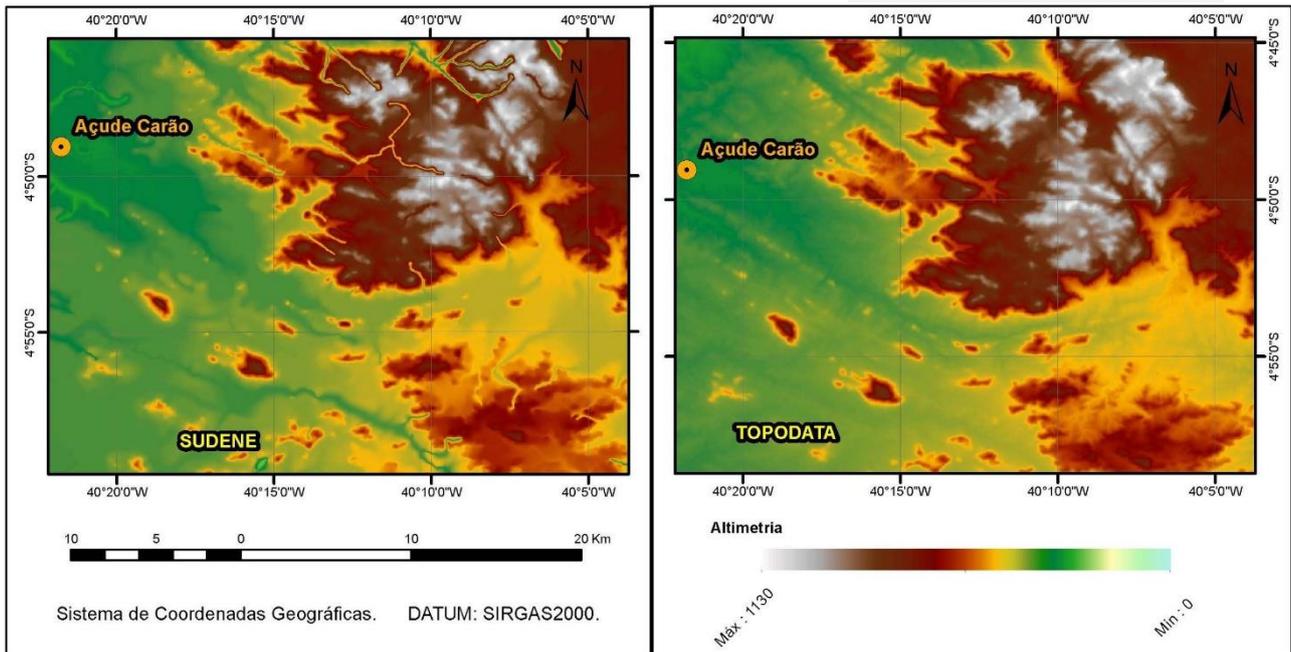


Figura 2 – MDE's gerados na área do açude Carão, com os dados provenientes da SUDENE e do TOPODATA.

Nas Figuras 3 e 4 são mostradas as bacias hidrográficas dos respectivos açudes, geradas por meio da metodologia descrita, a partir dos dados da SUDENE e do TOPODATA, respectivamente.

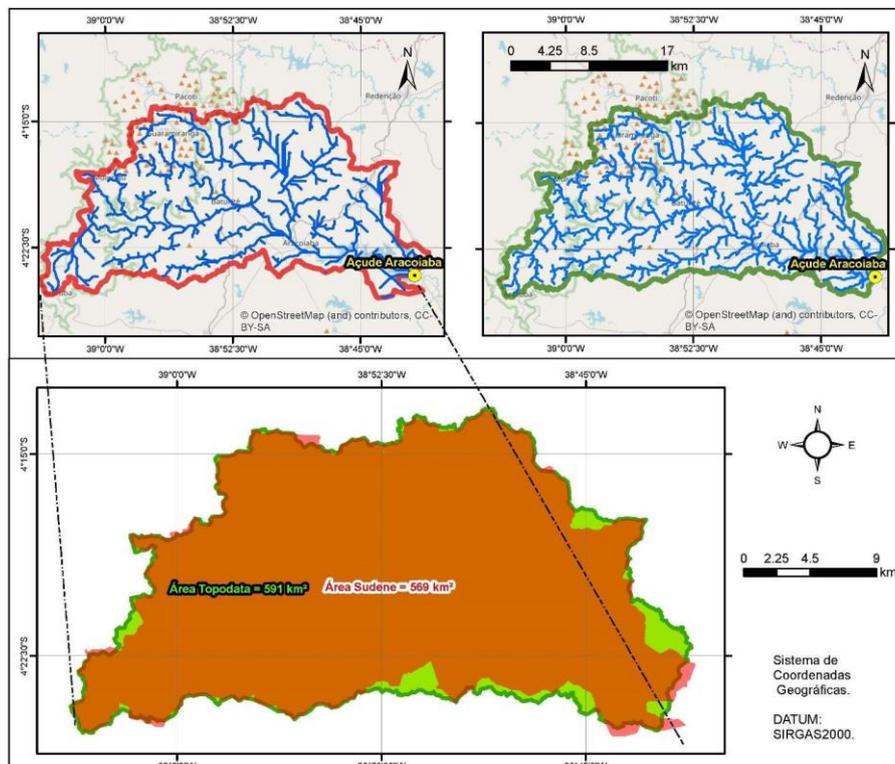


Figura 3 - Bacias hidrográficas do açude Aracoiaba para os dados da SUDENE (esquerda) e TOPODATA (direita).

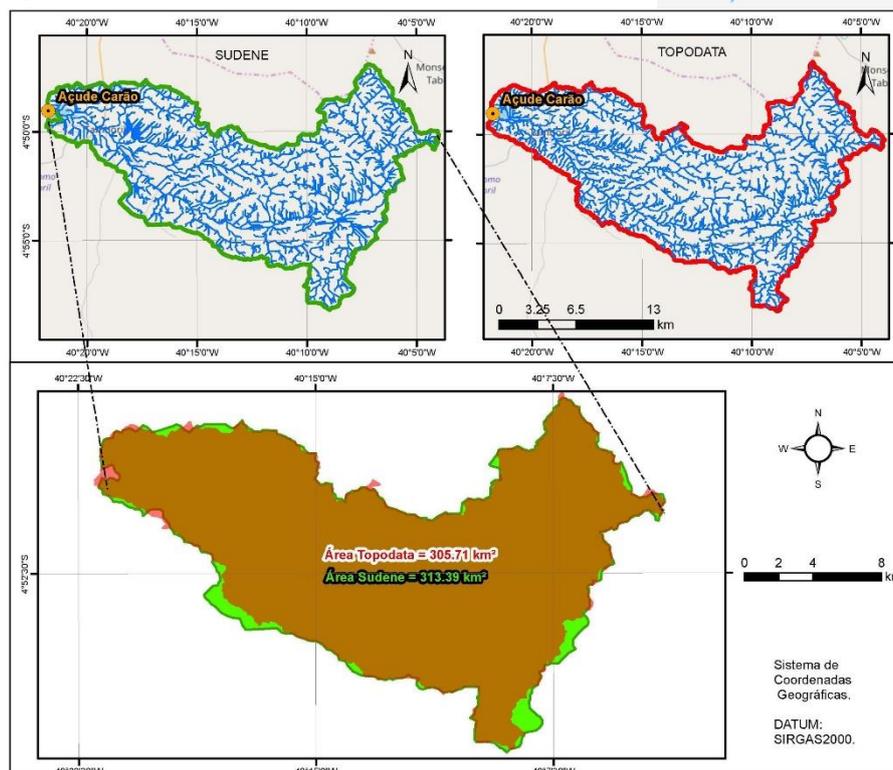


Figura 4 - Bacias hidrográfica do açude Carão para os dados da SUDENE (esquerda) e TOPODATA (direita).

Os principais parâmetros morfológicos, extraídos do banco de dados gerado pelo ArcGis das bacias são mostrados na tabela 1, enquanto os gráficos das Figuras 5 e 6 exibem a diferença entre os tempos de concentração calculados a partir dos parâmetros citados para cada um dos reservatórios separadamente.

Tabela 1 - Parâmetros morfológicos das bacias segundo as duas fontes de dados.

Parâmetros	Aracoiaba		Carão	
	TOPODATA	SUDENE	TOPODATA	SUDENE
Área (km ²)	591	569	306	314
Perímetro (km)	150.67	159.73	116.82	116.55
Declividade (%)	19.86	22.67	15.94	17.39
Comprimento do Rio Principal (km)	62.98	57.95	52.60	53.74

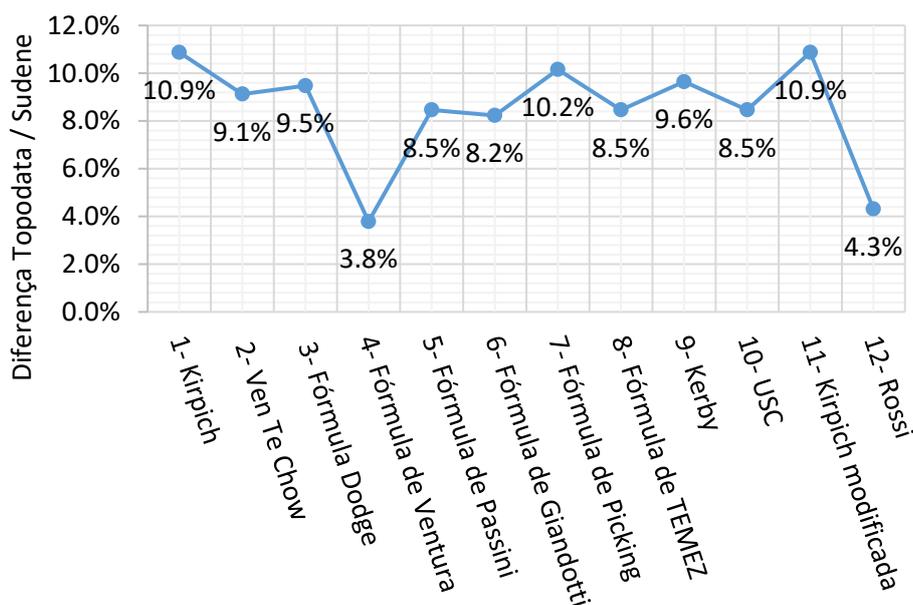


Figura 5 - Diferença entre os tempos de concentração calculados para a bacia do açude Aracoíaba.

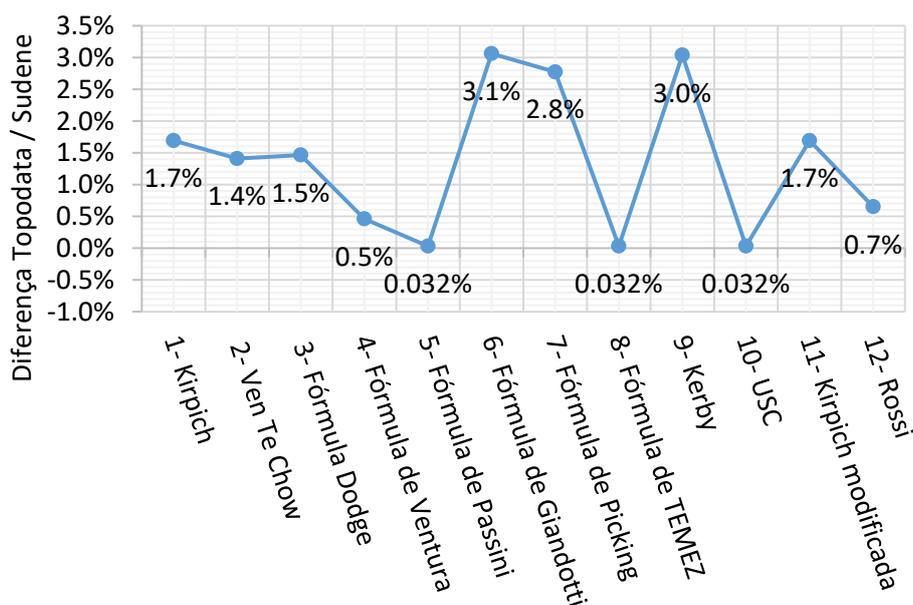


Figura 6 - Diferença entre os tempos de concentração calculados para a bacia do açude Carão.

4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos é possível perceber que a diferença percentual entre os tempos de concentração da bacia obtida com os dados do TOPODATA com relação à bacia obtida com os dados da SUDENE possui uma média de 8,35% para o açude Aracoíaba e uma média de 1,40% para o açude Carão. Os valores são sempre positivos, indicando que, em todos os casos, os tempos calculados a partir dos dados da primeira fonte foram superiores aqueles obtidos com os dados da

segunda, mesmo que, para o caso do açude Carão, alguns tenham resultado em valores próximos o suficiente para não serem detectados no gráfico de porcentagens relativas com uma casa decimal. Esses resultados sugerem que novos estudos sejam realizados para a determinação do grau de generalidade a que a conclusão anterior pode ser aplicada.

REFERÊNCIAS

- ALVES SOBRINHO, T. et al . *Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM*. Eng. Agríc., Jaboticabal , v. 30, n. 1, p. 46-57, Feb. 2010
- LI, M-H., CHIBBER, P. *Overland flow time of concentration on very flat terrains*. Journal of the Transportation Research Board, Washington, D.C., v. 2060, p. 133–140, 2008.
- MOTA, A. A.; KOBIYAMA, M. *Reconsiderações sobre a Fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 20, n. 1, p. 55-59, 2015.
- NOVAIS, M. P.S. *Análise Espacial de Bacias Hidrográficas a partir de SIG: um estudo da Bacia Hidrográfica do Itapicuru – Bahia* in Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE: João Pessoa-PB, Brasil, 2015.
- OLIVEIRA, P. T. S. de et al . *Caracterização morfométrica de bacias hidrográficas através de dados SRTM*. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande , v. 14, n. 8, p. 819-825, 2010.
- SAMPAIO, A.; BATISTA, T. L.; de SÁ, P. E. F.; STUDART, T. C. *Análise do Tempo de Concentração em Função das Características Fisiográficas em Bacias Rurais*. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 12., 2016, Aracajú.
- SILVEIRA, A. L. L. *Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.
- VALERIANO, M. M. *TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. INPE: São José dos Campos - SP, 2008.
- VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M.; STORINO, M.; AMARAL, B. D.; MENDES JÚNIOR., J. N.; LIMA, D. *Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data*. Computers & Geosciences, v.32, n.8, p.1169-1181, 2006.
- WANIELISTA, M.,KERSTEN, R., EAGLIN, R. *Hydrology, Water Quantity and Quality Control*. 2 Ed., John Wiley & Sons. 1997