

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ESTIMANDO O TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS DE DIFERENTES REGIÕES BRASILEIRAS

Aleska Kaufmann Almeida^{1}; José Antonio Guarienti¹; Sharon Kelly de Melo¹;
Leidiane da Silva Marques¹; Cássia Monteiro da Silva Burigato Costa¹; Izabel Rodrigues Leite¹;
Henrique Augusto Dantas Heck¹; Paulo Victor Freitas Lopes¹; Armando Menegati Neto¹;
Ayrton Renan de Oliveira Ferreira¹; Marcos Mota Medalha Júnior¹; Cleylse Andreia Souza Lima¹;
João Paulo Ottonelli¹; Sandra Garcia Gabas¹ & Isabel Kaufmann de Almeida¹*

RESUMO – A determinação dos fluxos máximos e dos níveis de água no ponto de interesse são muitas vezes necessários para a previsão de enchentes e dimensionamento de obras civis. A estimativa do tempo de concentração influencia na concepção de sistemas de alertas de cheias e na consequente previsão de catástrofes, uma vez que o valor desse parâmetro é importante para a determinação das chuvas de projeto e das vazões de pico. Na prática, o tempo de concentração é geralmente determinado por equações empíricas que foram desenvolvidas em regiões de características específicas. No presente trabalho avalia-se o desempenho de diferentes equações na estimativa do tempo de concentração de duas bacias hidrográficas em diferentes regiões brasileiras. Na bacia hidrográfica localizada em Goiás a metodologia de Epsy apresentou melhor desempenho. Para a bacia localizada no Rio Grande do Sul a metodologia de Ventura aproximou-se do valor obtido através da análise de evento de chuva-vazão.

ABSTRACT– The determination of maximum flows and water levels at the point of interest are often required for flood forecasting and civil works design. The estimation of the time of concentration influences the design of flood warning systems and the consequent prediction of disasters, since the value of this parameter is important for the determination of the design rains and the peak flows. In practice, the time of concentration is usually determined by empirical equations that have been developed in regions of specific characteristics. In the present work, the performance of different equations in the estimation of the time of concentration of two hydrographic basins of different Brazilian regions is evaluated. In the hydrographic basin located in Goiás the Epsy methodology presented better performance. For the basin located in Rio Grande do Sul, the Ventura methodology approached the value obtained through rainfall-flow event analysis.

Palavras-Chave – Escoamento superficial; Evento chuva-vazão; Diferença relativa.

1) Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Cidade Universitária, CEP 79070-900. Campo Grande, MS.

* Autor Correspondente: aleska.kaufmann@gmail.com

INTRODUÇÃO

O escoamento superficial é o segmento do ciclo hidrológico caracterizado pelo deslocamento da água na superfície da terra até encontrar cursos de drenagem definidos. Nas regiões de clima tropical, o escoamento superficial tem origem, fundamentalmente, nas precipitações e constitui-se em uma das mais importantes fases do ciclo hidrológico, uma vez que, está relacionado aos estudos de aproveitamento da água superficial e à proteção contra fenômenos provocados pelo seu deslocamento. Esse componente de fluxo é importante, em especial, durante e logo após os picos de chuva, quando causa o aumento rápido da vazão, caracterizando os picos de cheia nos hidrogramas.

A determinação dos fluxos máximos e dos níveis de água no ponto de interesse são, muitas vezes, necessários para a previsão de enchentes e dimensionamento de obras civis. Os parâmetros de tempo são geralmente definidos por meio das características da bacia hidrográfica ou através da relação entre a precipitação excedente e o escoamento direto (Grimaldi *et al.*, 2012; McCuen, 2009; Fang *et al.*, 2005).

O tempo necessário para uma parcela de água percorrer a distância entre o ponto hidráulicamente mais distante da bacia hidrográfica e seu exutório é denominado tempo de concentração (T_c). T_c é o parâmetro mais utilizado para a análise do escoamento da bacia hidrográfica. A estimativa do tempo de concentração influencia na concepção de sistemas de alertas de cheias e na consequente previsão de catástrofes, uma vez que, o valor desse parâmetro é importante para a determinação das chuvas de projeto e das vazões de pico.

Na prática, o tempo de concentração é, geralmente, determinado por equações empíricas que foram desenvolvidas em regiões de características específicas. Diversas dessas equações, que são largamente utilizadas, foram investigadas por pesquisadores, com relação a sua precisão na estimativa de T_c em diferentes regiões (Wong, 2005; Sharifi e Hosseini, 2011; Gericke e Smithers, 2014; Almeida *et al.*, 2014; Almeida *et al.*, 2017). Regiões de clima tropical apresentam como característica a ocorrência de eventos extremos de precipitação. Dessa forma, no presente trabalho objetiva-se avaliar o desempenho de diferentes equações na estimativa do tempo de concentração de duas bacias hidrográficas em diferentes regiões climáticas brasileiras.

METODOLOGIA

Seleção da área de estudo

No presente estudo foram analisadas duas bacias hidrográficas. As bacias foram selecionadas mediante os seguintes critérios: estivessem localizadas em climas e biomas diferentes; possuíssem monitoramento contínuo de chuva e vazão; fossem majoritariamente rurais e apresentassem área de contribuição semelhantes.

Caracterização da área de estudo

As bacias hidrográficas foram delimitadas de forma à seção exutória coincidir com uma estação telemétrica de monitoramento fluviométrico de cota e vazão. As características fisiográficas da área de drenagem foram obtidas em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). As bacias foram analisadas quanto ao bioma, pedologia e clima predominante. Os climas predominantes nas bacias foram classificados de acordo com Alvares *et al.* (2013), com o sistema de classificação climática de Köppen-Geiger (1954).

Dados hidrológicos

Foram utilizados dados hidrológicos de monitoramento pluviométrico e fluviométrico disponibilizados pelas plataformas da Agência Nacional de Águas (ANA) e o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os dados foram obtidos através de estações telemétricas de monitoramento, as quais são compostas por sensores que realizam as medições e por equipamentos que transmitem seus dados para um sistema de monitoramento em tempo real, em intervalos de tempo da ordem de uma hora.

Estimativa do tempo de concentração

Na sequência os dados foram preparados em planilha eletrônica e separados em eventos de chuva-vazão que permitiram a obtenção do tempo de concentração real do evento de cada bacia hidrográfica. A partir da análise individual dos eventos foram obtidos, respectivamente, a duração da chuva, altura precipitada, intensidade da precipitação registrada, tempo de pico, vazão de pico e tempo de concentração.

O tempo de concentração foi estimado através de 18 equações (Tabela 1) e foi verificado o erro relativo percentual entre os valores estimados pelas equações e o tempo de concentração observado no evento chuva-vazão. Nas equações apresentadas na Tabelas 2, tem-se: T_c - tempo de concentração (h), A - área da bacia (Km^2), D - diâmetro equivalente da bacia hidrográfica (Km), H - diferença de cota entre as extremidades do canal principal (m), H_m - altitude média da bacia (m), i - intensidade da precipitação (mm / h), L - comprimento do rio principal (Km), S - declive do caminho de escoamento (m / m).

Tabela 1 - Metodologias de estimativa de tempo de concentração

Nome	Equação	Referência
Kirpich	$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385}$	Kirpich (1940); Fang <i>et al.</i> (2008).
Ven te Chow	$T_c = 0,1602 L^{0,64}S^{-0,32}$	Chow (1962); Silveira (2005).
Dooge	$T_c = 0,365A^{0,41}S^{-0,17}$	Dooge (1956); Silveira (2005).

Nome	Equação	Referência
Johnstone	$T_c = 0,4623L^{0,5}S^{-0,25}$	Johnstone e Cross (1949);Silveira (2005).
Corps Engineers	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$	Linsley (1977); Silveira (2005).
Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + \frac{3}{2}L}{0,8\sqrt{H_m}}$	Giandotti (1940); Preti <i>et al.</i> (2011); Radice <i>et al.</i> (2012).
Pasini	$T_c = 0,108A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$	Pasini (1914); Greppi (2005).
Ventura	$T_c = 4A^{0,5}L^{0,5}H^{-0,5}$	Mata Lima <i>et al.</i> (2007).
Picking	$T_c = 0,0883L^{0,667}S^{-0,333}$	Mata Lima <i>et al.</i> (2007);Silveira (2005).
Temez	$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76}$	Temez (1978); Mata Lima <i>et al.</i> (2007).
Pickering	$T_c = \left(\frac{0,871 L^3}{H} \right)^{0,385}$	Mata Lima <i>et al.</i> (2007).
California Curvets Practice (CHPW)	$T_c = 0,95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$	Chow <i>et al.</i> (1988); Sharifi e Hosseini(2011).
BransbyWillians	$T_c = 0,605 \frac{L}{(100S)^{0,2}A^{0,1}}$	MOTH (1998); ASDOT (1995).
Epey	$T_c = 6,89 \left(\frac{L}{\sqrt{S}} \right)^{0,36}$	Hotchkiss e McCallum (1995); Mata Lima <i>et al.</i> (2007).
Williams	$T_c = \frac{0,272 LA^{0,4}}{DS^{0,2}}$	Williams(1922); Fang <i>et al.</i> (2008).
Haktanir&Sezen	$T_c = 0,7473 L^{0,841}$	Haktanir&Sezen (1990); Fang <i>et al.</i> (2008).
McCuen <i>et al.</i>	$T_c = 2,2535i^{-0,7164}L^{0,5552}S^{-0,207}$	McCuen <i>et al.</i> (1984); Fang <i>et al.</i> (2008).
Carter	$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$	Carter (1961); Sharifi e Hosseini (2011).

Fonte: Almeida (2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As bacias hidrográficas selecionadas para o estudo foram a Bacia do Rio Ariranha e a Bacia do Rio Conceição (Figura 1). A Bacia do Rio Ariranha (Bacia 1) localiza-se no município de Jataí, no estado de Goiás. A Bacia 1 está no bioma Cerrado, apresenta clima Aw, que de acordo com a classificação climática de Köppen, trata-se de clima quente e úmido, que apresenta temperaturas elevadas e períodos de chuva bem definidos, com média anual de precipitação da ordem de 1.500 mm, variando de 750 mm a 2.000 mm. Os meses de Novembro a Março são o mais chuvosos, sendo o período mais seco referente aos meses de Maio a Setembro. A bacia possui 99,58% de sua área composta por latossolo vermelho.

Mapa de Localização das Bacias Hidrográficas do Rio Ariranha e Rio Conceição

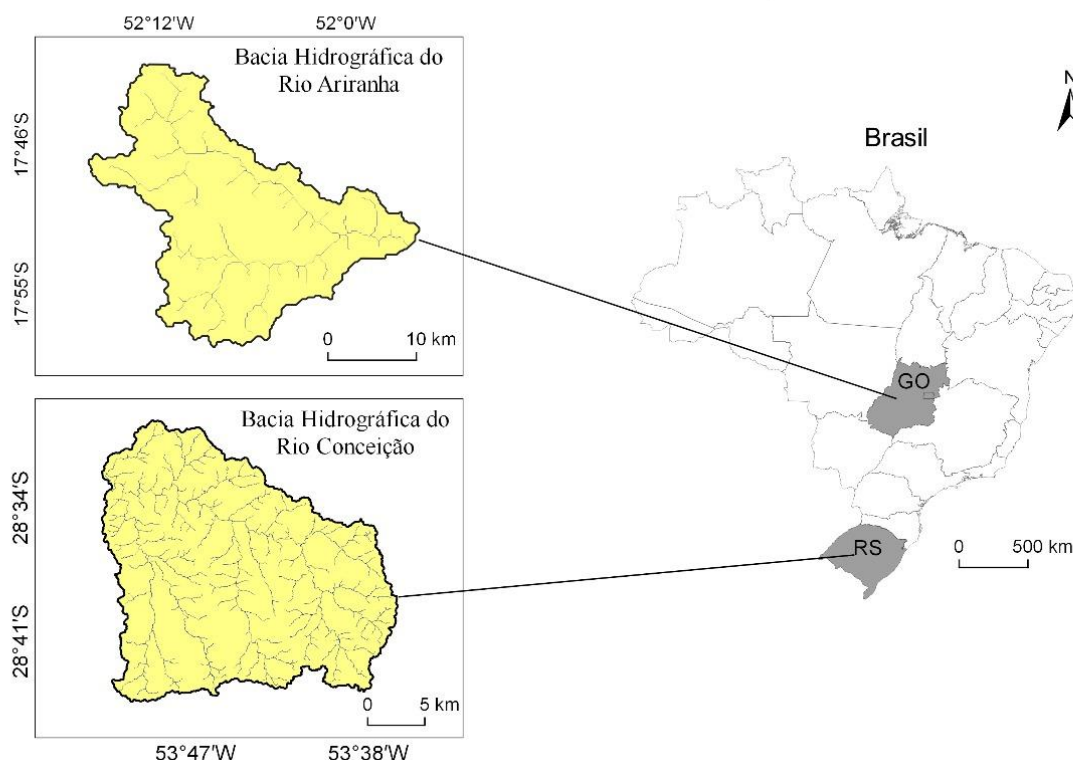


Figura 1 – Mapa de localização das bacias hidrográficas selecionadas para o estudo.

A Bacia do Rio Conceição (Bacia 2) possui seção exutória no município de Ijuí, e engloba parte da área urbana do município de Cruz Alta, ambos no Rio Grande do Sul. A Bacia 2 apresenta 54,8% de seu território no bioma Mata Atlântica e 45,2% no bioma Pampa. Apresenta clima Cfa, considerado um clima subtropical com verão quente, com temperaturas superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco. Com relação à pedologia, apresenta latossolo vermelho em 86,70% de sua área total. Características morfométricas das bacias estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Características morfométricas das bacias

Características	Bacia 1	Bacia 2
A (Km ²)	567,07	505,33
L (Km)	46,90	51,72
H (m)	113,00	136,00
Hm (m)	854,68	398,96
D (Km)	26,87	25,37
S (m / m)	0,0024	0,0026

Através das características coletadas, as metodologias foram aplicadas e o tempo de concentração foi estimado para a Bacia 1 e para a Bacia 2 (Tabela 3).

Tabela 3 – Tempo de concentração estimados pelas metodologias para as Bacias analisadas.

Metodologia	Tc Estimado (horas)		Metodologia	Tc Estimado (horas)	
	Bacia 1	Bacia 2		Bacia 1	Bacia 2
Kirpich	13,07	13,63	Picking	8,56	8,87
Ven te Chow	12,94	13,40	Temez	17,56	18,61
Dooge	13,69	12,86	Pickering	13,08	13,64
Johnstone	14,29	14,68	California Curvets Practice (CHPW)	13,10	13,66
Corps Engineers	11,18	11,85	Bransby Willians	20,00	21,93
Giandotti	7,08	10,48	Epsey	81,48	83,09
Pasini	65,44	62,29	Williams	20,02	21,95
Ventura	61,36	55,45	Haktanir & Sezen	19,01	20,64
McCuen <i>et al.</i>	14,74	10,84	Carter	6,00	6,20

A maioria das metodologias apresentadas utilizam área, comprimento do curso d'água e declividade como variáveis de entrada. Como as bacias são semelhantes nessas características, ao aplicar essas metodologias, os tempos de concentração estimados para as duas bacias também foram semelhantes.

Com relação à Bacia 2, foram selecionados dados das estações PCH José Barasuol Rio Conceição (28°32'17.88" S; 53°51'47.88" O) para vazão, e Cruz Alta – IPAGRO (28°38'21.00" S; 53°36'42.00" S) para dados de precipitação. Para a Bacia 1 foram coletados dados das estações PCH Fazenda Velha Montante 2 (17°52'13.08" S; 51°56'0.96" O) de vazão, e das estações PCH Jataí Montante 2 (17°39'2.99" S; 52°0'27.00" O) e BOM JARDIM (17°39'2.99" S; 52°0'27.00" O) para dados de precipitação. Os eventos selecionados estão apresentados nas Figuras 2 e 3.

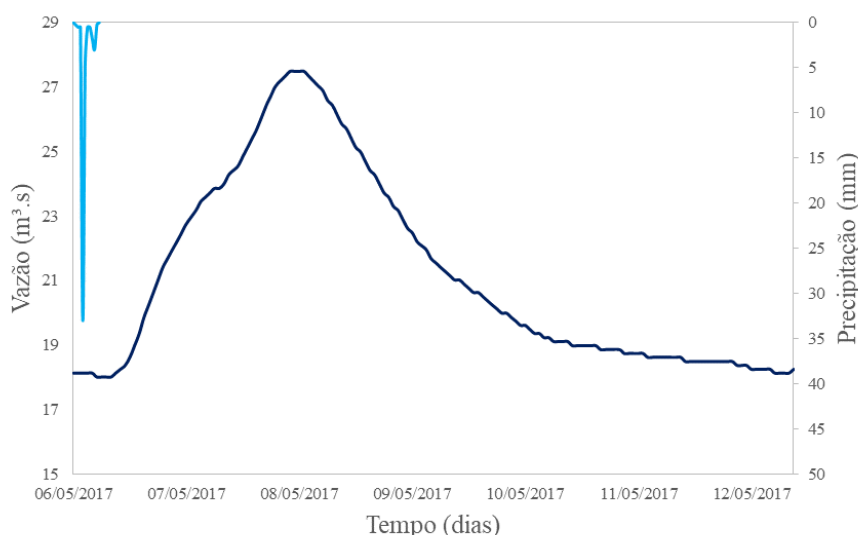


Figura 2 - Evento chuva-vazão da Bacia 1.

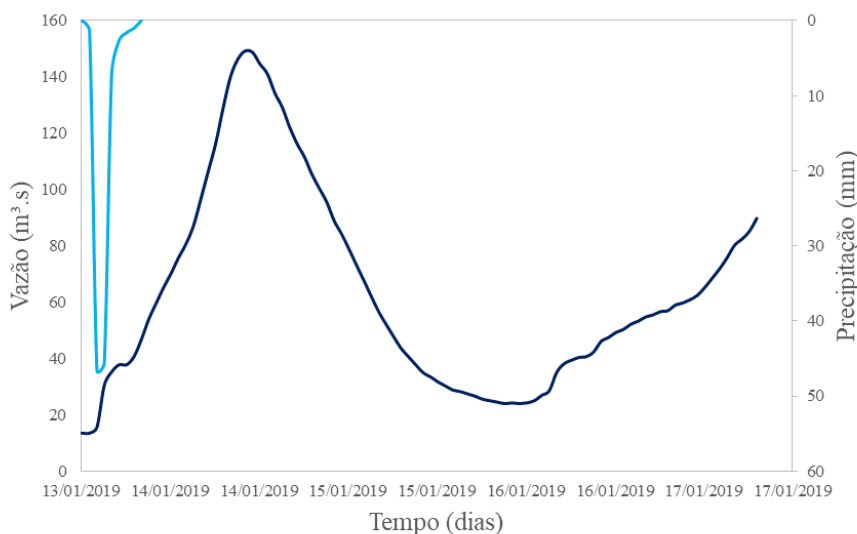


Figura 3 – Evento chuva-vazão da Bacia 2.

As características dos eventos estão apresentadas na Tabela 4. Como a metodologia de McCuen *et al.* utiliza a intensidade de precipitação como variável de entrada, para o cálculo foram utilizados os valores obtidos através da análise dos eventos. O tempo de concentração foi considerado como o tempo transcorrido entre o final da precipitação e o fim do escoamento superficial.

Tabela 4 – Características dos eventos de chuva-vazão e tempo de concentração obtidos para as Bacias 1 e 2.

Bacia	Precipitação			Vazão		Tc (horas)
	Altura (mm)	Duração (horas)	Intensidade média (mm/h)	ΔQ (m ³ /s)	Tp (horas)	
1	45,00	5,50	8,182	9,48	37,00	94,00
2	105,80	8,00	13,225	135,73	21,00	53,00

Os erros percentuais calculados entre o valor de Tc obtido da análise dos eventos de chuva-vazão e os valores obtidos pela aplicação das equações estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Erro relativo percentual para cada metodologia em relação ao tempo de concentração observado para os eventos das Bacias 1 e 2.

Metodologia	E (%)		Metodologia	E (%)	
	Bacia 1	Bacia 2		Bacia 1	Bacia 2
Kirpich	-86,10	-74,29	Picking	-90,90	-83,26
Ven te Chow	-86,23	-74,72	Temez	-81,32	-64,89
Dooge	-85,44	-75,73	Pickering	-86,09	-74,27
Johnstone	-84,80	-72,30	California Curvets Practice (CHPW)	-86,06	-74,22
Corps Engineers	-88,11	-77,65	Bransby Willians	-78,72	-58,62
Giandotti	-92,47	-80,22	Epsy	-13,32	56,78

Metodologia	E (%)		Metodologia	E (%)	
	Bacia 1	Bacia 2		Bacia 1	Bacia 2
Pasini	-30,38	17,53	Williams	-78,70	-58,58
Ventura	-34,72	4,62	Haktanir & Sezen	-79,78	-61,06
McCuen <i>et al.</i>	-84,32	-79,55	Carter	-93,62	-88,31

Para a Bacia 1 a metodologia que apresentou o melhor desempenho foi Epsey, estimando o tempo de concentração 13,32% para menos. Já para a Bacia 2 a metodologia de Ventura foi a que se aproximou do valor obtido mediante análise do evento, diferindo apenas 4,62% do valor estimado para o observado. De acordo com Almeida *et al.* (2014), ambas as metodologias, tanto Epsey quanto Ventura, foram desenvolvidas através da análise de bacias rurais, a primeira para bacias do Estados Unidos e a segunda para bacias da Espanha.

CONCLUSÃO

As bacias selecionadas para o estudo são semelhantes em grande parte de suas características analisadas, diferindo em clima, bioma e rede de drenagem. Através do presente estudo foi possível verificar que o tempo de concentração sofre interferência de todas as variáveis presentes no sistema bacia hidrográfica. Assim, observa-se a necessidade da análise prévia do desempenho das equações de tempo de concentração antes da aplicação das mesmas em dimensionamento de obras civis.

AGRADECIMENTOS – Ao Grupo de Pesquisa ModelHy, à Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul – FUFMS, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, I. K., ALMEIDA, A. K., AYACH, J. A., STEFFEN, J. L., AND ALVES SOBRINHO, T. (2014). “*Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: a review*”. Geociências (São Paulo), v. 33, n. 4, p. 661-671.
- ALMEIDA, I. K., ALMEIDA, A. K., GABAS, S. G., ALVES SOBRINHO, T. (2017). “*Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region*”. Hydrological Sciences Journal, v. 62, n. 14, p. 2406-2414.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. (2013). “*Köppen's climate classification map for Brazil*”. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728.

- ANA – Agência Nacional de Águas, HIDROWEB – Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2019.
- FANG, X., CLEVELAND, T., GARCIA, C. A., THOMPSON, D., MALLA, R. (2005). “*Literature review on timing parameters for hydrographs*”. Department of Civil Engineering, Lamar University, Beaumont, v. 83.
- GERICKE, O. J.; SMITHERS, J. C. (2014). “*Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation*”. Hydrological Sciences Journal, v. 59, n. 11, p. 1935-1971.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em 15 de abril de 2019.
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. (1954). “*Klima der Erde*”. Justus Perthes, Darmstadt, Germany.
- SHARIFI, S.; HOSSEINI, S. M. (2011). “*Methodology for Identifying the Best Equations for Estimating the Time of Concentration of Watersheds in a Particular Region*”. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 137, n. 11, p. 712-719.
- GRIMALDI, S., PETROSELLI, A., TAURO, F., PORFIRI, M. (2012). “*Time of concentration: a paradox in modern hydrology*”. Hydrological Sciences Journal, v. 57, n. 2, p. 217-228.
- MCCUEN, R. H. (2009). “*Uncertainty analyses of watershed time parameters*”. Journal of Hydrologic Engineering, v. 14, n. 5, p. 490-498.
- WONG, T. S. (2005). “*Assessment of time of concentration formulas for overland flow*”. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, v. 131, n. 4, p. 383-387.