



APRECIÇÃO DO DESEMPENHO DOS MODELOS DE ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO MEIO/AL

André Gonçalo dos **SANTOS**¹; Ricardo Ferreira Carlos **AMORIM**²; Vinicius Nunes **PINHO**³

(1 - Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil de Atalaia/AL andregs9@yahoo.com.br; 2 - Instituto de Ciências Atmosférica ICAT/UFAL, Maceió/AL rfcamorim@gmail.com; 3 - Secretária Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH/AL, Maceió/Alagoas Brasil viniciuspino@gmail.com).

RESUMO: Uma das medidas não estruturais adotadas como instrumento favorável a mitigação dos danos provocados pelas enchentes e inundações em uma bacia hidrográfica de acordo com a literatura, são os sistemas de alerta. Neste contexto, o Tempo de Concentração é uma componente determinante na antecipação das ondas de cheias em estudos de modelagem hidrológicas. Este termo mostra a velocidade com que a bacia hidrográfica responde a um evento de chuva e é definido o tempo necessário para que uma parcela da chuva precipitada no ponto mais distante da bacia contribua em uma seção de saída. Por isto, na literatura são encontrados diversos modelos empíricos (Equações), o que tem gerado dúvidas quanto a sua aplicação e qual modelo utilizar. Por consequência, foi usado neste estudo um conjunto de 10 (dez) modelos (Equações) no sentido de comparar ao um valor de referência (Tempo de Concentração estimado via hidrograma/hietograma) na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio. Os resultados demonstraram forte divergência entre os modelos empíricos e o valor de referência, com uma acentuada subestimação, porém, observou-se uma maior sensibilidade entre pares de modelos.

Palavras-chaves: Tempo de Concentração, Modelos, Bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.

APPRECIATION OF MODEL PERFORMANCE OF ESTIMATION OF CONCENTRATION TIME IN THE RIVER BASIN PARAÍBA DO MEIO/AL



ABSTRACT: One of the nonstructural measures adopted as a favorable instrument to mitigate damage caused by floods and floods in a river basin according to the literature, are the warning systems. In this context, the Concentration Time is a determining component in the anticipation of flood waves in hydrological modeling studies. This term shows the speed at which the river basin responds to a rainfall event and is defined as the time required for a portion of rain precipitated at the farthest point of the basin to contribute to an exit section. Therefore, in the literature are found several empirical models (Equations), which has generated doubts as to its application and which model to use. Therefore, a set of 10 (equations) were used in this study to compare a reference value (Estimated Concentration Time via hydrograph/hietogram) In the watershed of the Paraíba do Meio river. The results showed a strong divergence between the empirical models and the reference value, with a marked underestimation, but a greater sensitivity between pairs of models was observed.

Keywords: Concentration Time, Models, Paraíba do Meio river basin.

APRECIACIÓN DEL DESEMPEÑO DE LOS MODELOS DE ESTIMACIÓN DEL TIEMPO DE CONCENTRACIÓN EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO PARAÍBA DO MEIO/AL

RESUMEN: Una de las medidas no estructurales adoptadas como instrumento favorable para mitigar los daños por inundaciones en una cuenca hidrográfica según la literatura, se encuentran son sistemas de alerta. En este contexto, el tiempo de concentración es un componente clave en la anticipación de las olas de inundación en los estudios de modelación hidrológica. Este término muestra la velocidad a la que la cuenca responde a un evento de lluvia y define el tiempo requerido para que una parte de la lluvia más alejada de la cuenca contribuya a una sección de salida. Por lo tanto, en la literatura se encuentran varios modelos empíricos (ecuaciones), lo que ha generado dudas sobre su aplicación y qué modelo utilizar. En consecuencia, se usó un conjunto de 10 (Diez) modelos (Ecuaciones) en este estudio para comparar con un valor de referencia (Tiempo de concentración estimado mediante hidrograma / hietograma) en la cuenca del río Paraíba do Meio. Los resultados mostraron una fuerte divergencia entre los modelos empíricos y el valor de referencia, con una marcada subestimación, sin embargo, se observó una mayor sensibilidad entre pares de modelos.

Palabras clave: Tiempo de concentración, Modelos, Cuenca del río Paraíba do Meio.



1. INTRODUÇÃO

Um dos parâmetros hidrológico de ampla importância em estudos hidrográficos é o Tempo de Concentração - T_c (WONG, 2009). Este é um componente imperativo em vários métodos de análise para calcular o pico de vazão de uma área de drenagem hidrológica. Os maiores valores de vazão incidem quando todos os segmentos da área de drenagem contribuem para o escoamento na seção de saída. De acordo com a literatura, o Tempo de Concentração é definido como o tempo necessário para o escoamento viajar do ponto hidráulico mais distante da bacia hidrográfica até a seção de saída. Ressalva-se que, o ponto hidráulico mais distante é o ponto com o tempo de viagem mais longo até a saída da bacia hidrográfica, e não necessariamente o ponto com a maior distância de fluxo (WELLE AND WOODWARD, 1986).

Para Pavlovic e Moglen (2008), o T_c reflete a velocidade com que a bacia hidrográfica responde a um evento de precipitação (chuva). Segundo Fang *et al.* (2007), a estimativa do T_c deve ser realizada com certa cautela, visto que, quando o valor do T_c for subestimado, observa-se uma vazão de pico superestimada, reciprocamente também é observado para T_c superestimados.

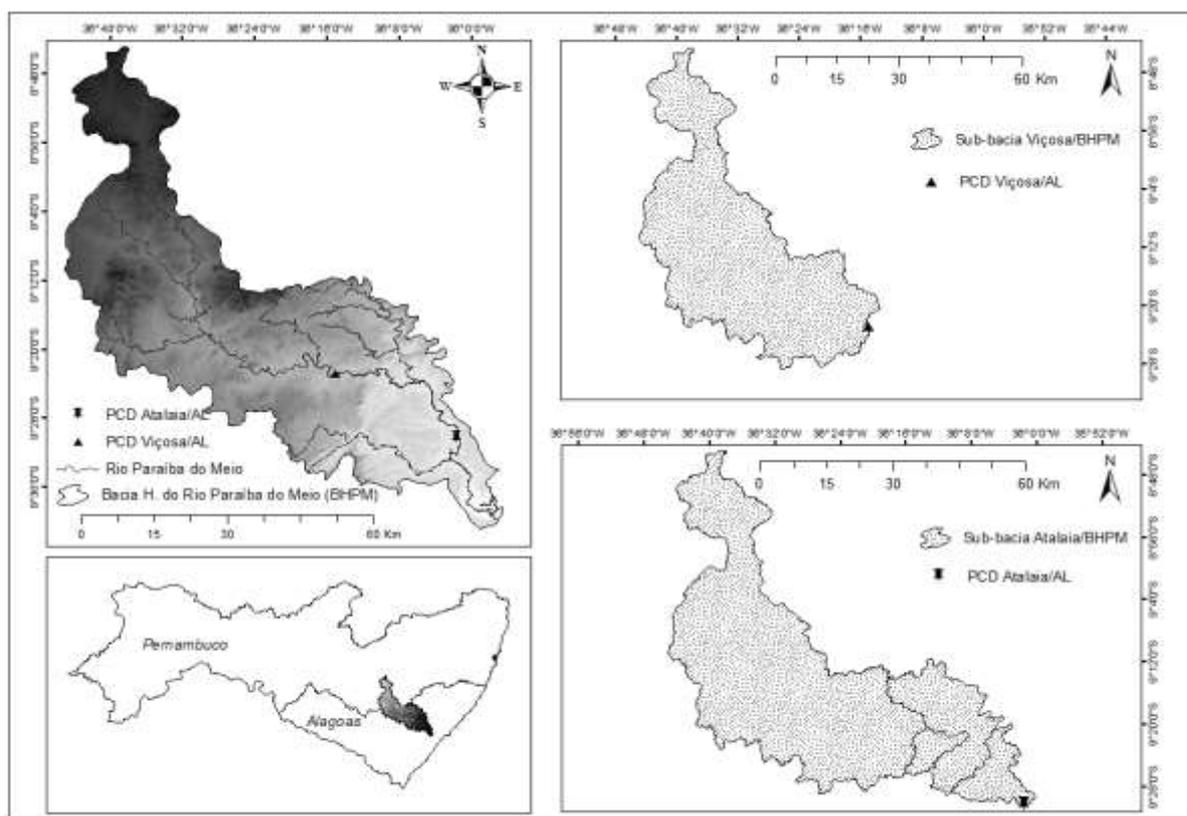
Na literatura são encontradas diversas equações (modelos) empíricas para se estimar o T_c , o que confunde muitas vezes os usuários. Assim sendo, buscam-se avaliar conjuntamente diversos modelos a fim de encontrar resultados mais adequados e satisfatórios na sua aplicação. Fang *et al.* (2008), mostraram que há uma diferença nos valores estimados do T_c por diferentes modelos. De Almeida *et al.*, (2016), encontraram uma grande variabilidade comportamental entre 30 modelos empíricos avaliados na estimativa do T_c , e recomendam um monitoramento hidrológico regular e intenso para selecionar adequadamente o modelo de cálculo do T_c . Dessa forma, e diante das necessidades voltadas ao monitoramento das vazões e a modelagem hidrológica, frente ao histórico de enchentes e inundações que tem provocado transtornos a população que reside às cidades às margens do rio Paraíba do Meio (BHPM) como, Quebrangulo, Paulo Jacinto, Viçosa, Cajueiro, Capela, Atalaia e Pilar, busca-se definir neste trabalho o modelo (equação) para se estimar o Tempo de Concentração na BHPM, de modo a vir subsidiar as previsões de pico de vazão diante de um evento de chuva intensa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio (BHPM) localiza-se entre as Latitudes sul 8°44' e 9°44' e os meridianos de Longitude oeste 36°48' e 35°52' (Figura 1), abrangendo uma área total de 3.148,5km², com 62,4% (1.964,66km²) do seu total pertencente ao estado de Alagoas e 37,6% (1183,8km²) ao estado de Pernambuco (SANTOS, 2016). A área da bacia distribui-se entre 21 municípios nos dois estados, dos quais, oito pertencem ao estado de Pernambuco e 13 municípios ao estado de Alagoas.

Figura 1: Localização geográfica da BHPM /PE-AL.



Fonte: Autor, 2018.

O relevo da BHPM é formado basicamente por duas estruturas geológicas, uma cristalina, localizada a montante da bacia e a outra sedimentar mais ao sul (MENDES, 2017). Essa composição atribui uma característica topográfica bastante irregular, principalmente no seu alto curso, no estado de Pernambuco. A altimetria da região (Figura 1) indicam valores



que variam de 1 a 1.024m de altitude, com um relevo mais suave na região dos Tabuleiros Costeiros, Planície Flúvio-Lagunar e relevo com características altimétricas bem acentuadas, com valores máximos em torno dos 1.024m de altitude nas regiões do Planalto da Borborema, na porção norte da bacia. De acordo com a Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), quatro são os tipos de solos que compõem a estrutura geológica da BHPM: Neossolo Rigolítico, Argilossolo Vermelho-Amarelo, Planossolo Háplico e Latossolo Amarelo (SANTOS, 2016).

Quanto à hidrografia da BHPM, seu rio nasce na cidade de Bom Conselho no estado de Pernambuco, a cerca de 800 metros de altitude, e deságua no Complexo Estuarino Lagunar Mundaú-Manguaba (CELMM), no litoral do estado de Alagoas, na cidade do Pilar (SANTOS, 2016).

O sistema de drenagem da BHPM é formado pelo rio principal (rio Paraíba do Meio) e um grande número de afluentes, formando um grande complexo de drenagem hidráulica. Segundo Medeiros (2002), os rios e riachos de pequeno porte dessa bacia apresentam um regime de enxurrada durante a estação chuvosa.

2.2 Pluviometria da Região

Geograficamente a BHPM está localizada no leste da região Nordeste do Brasil (NEB). O período chuvoso predominante nesta faixa está centralizado no quadrimestre abril, maio, junho e julho, representando um total de 60% do acumulado anual das chuvas (RÃO *et al.*, 1993). Segundo Vitorino *et al.*, (1997), os máximos acumulados nesse período variam entre 700 mm a 1.300 mm em média, aumentando do interior para a costa litorânea, valores que corroboram com o Atlas Pluviométrico do Brasil (PINTO *et al.*, 2011). Segundo Silva *et al.* (2012), esta região (Leste do NEB) se caracteriza por apresentar de 70 a 120 dias de chuvas, durante todo ano, o que gera um acumulado médio anual de 1.300mm.

2.3 Dados

Foram utilizadas as séries de dados em escala horária coletadas em duas Plataformas de Coletas de Dados (PCDs), e disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), no site: . As séries de precipitação utilizada apresenta um registro de 120 horas, correspondente ao período de 27 a 31 de julho de 2011, para cidade de Viçosa e Atalaia.

2.4 Metodologia

2.4.1 Modelos empíricos utilizados para estimar o Tempo de Concentração (T_c)

O cálculo do T_c pode ser estimado por meio de vários modelos empíricos. Os modelos utilizados (Tabela 1) foram selecionados devido sua aplicabilidade na literatura científica, e devido a sua quantidade limitada de informações que requerem uma boa estimativa do T_c , além de serem recomendados para bacias hidrográficas de médio a grande porte. Aqui, esses modelos são avaliados:

Tabela 1: Modelos empíricos para o cálculo do T_c na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Meio.

Método	Equação	Termos da equação e comentários	Fonte
Bransby Williams	$T_c = 0,605 \frac{L}{(100I)^{0,2} A^{0,1}}$	T_c é o tempo de concentração (h); L - comprimento do curso do rio principal (km); A - área de drenagem (km ²); I - declividade do curso do rio principal (%). É especialmente recomendada para bacias rurais.	Moith, 1998
Johnstone e Cross	$T_c = 300 \sqrt{\frac{L}{I}}$	T_c é o tempo de concentração (min), L a distância máxima (milhas) entre a divisão da bacia hidrográfica e a saída e I a inclinação da bacia (ft/mi). Esta fórmula é calibrada para áreas de drenagem entre 64 e 4200 km ² .	Johnstone e Cross, 1949); S. Grimaldi <i>et al.</i> , 2012
Giandotti	$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{Hm}}$	T_c é o tempo de concentração (h), A, é a área da bacia hidrográfica (km ²), L o comprimento do canal principal (km) e H a diferença entre a elevação da bacia média e a elevação da saída (m). Esta fórmula foi calibrada em 12 bacias com áreas de drenagem entre 170 e 70 000 km ² .	Giandotti, 1934 ; S. Grimaldi, 2012
Picking	$T_c = 0,0883 \frac{(L)^{0,667}}{(I)^{0,333}}$	T_c é o tempo de concentração (h); I é a declividade média do talvegue (m/m); L é o comprimento da linha de água principal (km).	De Almeida <i>et al.</i> , 2016.
Temez	$T_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{I^{0,25}}\right)^{0,76}$	T_c é o tempo de concentração (h); L é o comprimento da linha de água principal (km); I é o Declive médio da linha de água principal da bacia [m/m]. O método é recomendado para bacias com áreas até 3.000 km ² .	Temez, 1978; Mata -Lima <i>et al.</i> , 2007.

Pasini	$T_c = 0,108 \frac{(A \cdot L)^{1/3}}{I^{0,5}}$	T_c é o tempo de concentração (h); A - área da bacia (km ²); L - comprimento do talvegue principal (km) e I - declividade média do curso d'água principal (m/m).	Pasini, 1914; reppi, 2005
Ventura	$T_c = 240 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot L}{\Delta H}}$	T_c é o tempo de concentração (min); A -área de drenagem (km ²); L- comprimento do talvegue (km); ΔH (m) - diferença de cota entre o ponto mais alto do talvegue e o exutório. Recomendada pela École Nationale des Ponts et Chaussées.	Mata -Lima <i>et al.</i> , 2007
Corps Engineers	$T_c = 0,191 \cdot \frac{L^{0,76}}{I^{0,19}}$	T_c é o tempo de concentração (h); L (Km) = comprimento da linha de água principal; I é a declividade média do curso d'água principal (m/m). Dados de 25 rurais bacias nos EUA ($A \leq 12.000$ km ²).	Linsley, 1977; Silveira, 2005
Haktanir & Sezen	$T_c = 0,7473 \cdot L^{0,841}$	T_c é o tempo de concentração (h); L (Km) = comprimento da linha de água principal. Dados de 10 bacias na Turquia (11-9867 km ²).	Sezen, 1990; Fang <i>et al.</i> , 2008.
Dooge	$T_c = 0,365 \cdot \frac{A^{0,41}}{I^{0,17}}$	T_c é o tempo de concentração (h) e I é a declividade média do curso d'água principal (m/m). Dados de 10 bacias rurais Islandesas (145 - 948km ²).	Dooge (1956)

Fonte: Autor, 2017.

Cada modelo empírico usado para estimar o T_c , apresentam alguns parâmetros que são característicos e fixos nas sub-bacias trabalhadas. Portanto, a Tabela 2 traz estes parâmetros utilizados em cada um dos modelos usados para estimar o T_c na BHPM.

Tabela 2: Parâmetros adotados nos modelos empíricos no cálculo dos T_{cs} nas sub-bacias.

Parâmetros	Atalaia/BHPM	Viçosa/BHPM
Área (km ²)/Sub-bacias	601,17	1689,16
Talvegue (km)	28,30	53
Comp_do_curso_água (km)	44,00	100
Declividade média do talvegue (m/m)	0,00565	0,0083
Declividade média do curso (m/m)	0,00364	0,00483
Cota máxima (m)	211	694
Cota mínima (m)	51	211
Varição altimétrica (ΔH) (m)	160	483

Fonte: Autor, 2017.



Para a estimativa do T_c via hidrograma (valor de referência), foi utilizada a relação Gray (1970), que define o *lag time* (tempo de resposta) do evento. O *lag time* é o tempo decorrente do início do aumento da vazão até o pico do hidrograma. Onde, T_r é o tempo de resposta e T_c o tempo de concentração, Equação 1.

$$T_c = \frac{T_r}{0,6} \quad (1)$$

Na aplicação da relação acima, admitiu-se que as precipitações (chuvas) e consequentemente o escoamento superficial foram uniformes em toda a bacia, tendo em vista o período (Quadra chuva da região: Abril, Maio, Junho e Julho) e o evento em que se coletaram os dados.

Em uma perspectiva de similaridade entre os modelos considerados, aplicou-se o método da Análise de Cluster ou Agrupamento. Este método busca agrupar elementos de dados baseando-se na similaridade entre eles. Os grupos são determinados de forma a obter-se homogeneidade ou heterogeneidade. A similaridade da Análise de Cluster normalmente é expressa como uma função distância, nesse estudo será utilizada a distância Euclidiana, que é provavelmente a distância mais conhecida nos métodos de agrupamento. É definida simplesmente como a distância geométrica no espaço multidimensional (HARDLE & SIMAR, 2003).

Sendo $\underline{x} = [x_1, x_2, \dots, x_p]$ e $\underline{y} = [y_1, y_2, \dots, y_p]$ dados obtidos, e a distância Euclidiana entre eles é dada pela Equação 2.

$$d(\underline{x}, \underline{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^p (x_i - y_i)^2} \quad \text{Eq. (2)}$$

Na avaliação comparativa dos dados estimados através dos métodos empíricos e do hidrograma/hietograma, a técnica utilizado foi o Erro Relativo Percentual (ϵ_r) (Equação 3). Onde x_{emp} e x_{hid} é, o valor estimado pelo método empírico e o valor obtido via método do

hidrograma/hietograma respectivamente. Faltou a citação deste método, apesar de ser um método usual.

$$\varepsilon_t = \frac{(x_{emp} - x_{hid})}{x_{hid}} \cdot 100\% \quad (3)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verifica-se nesta primeira análise a sensibilidade entre os modelos empíricos avaliados, com base na distância euclidiana (Figura 2). Nesse contexto é possível observar que os grupos formados são distintos, o que indica uma homogeneidade entre os pares e heterogeneidade entre os grupos. Em uma perspectiva de comparação entre os modelos, Giandotti e Dooge, foram os que mostraram uma maior sensibilidade em relação à análise, indicando menor distância euclidiana entre eles. Outros pares homogêneos são agrupados como indicados na Figura 2. Porém, a homogeneidade entre eles não significam que os modelos são apropriados para se estimar o T_c na BHPM, apenas indica que há uma sensibilidade comum entre modelos nos resultados.

Figura 2: Dendrograma dos resultados dos modelos empíricos comparados e estimados.



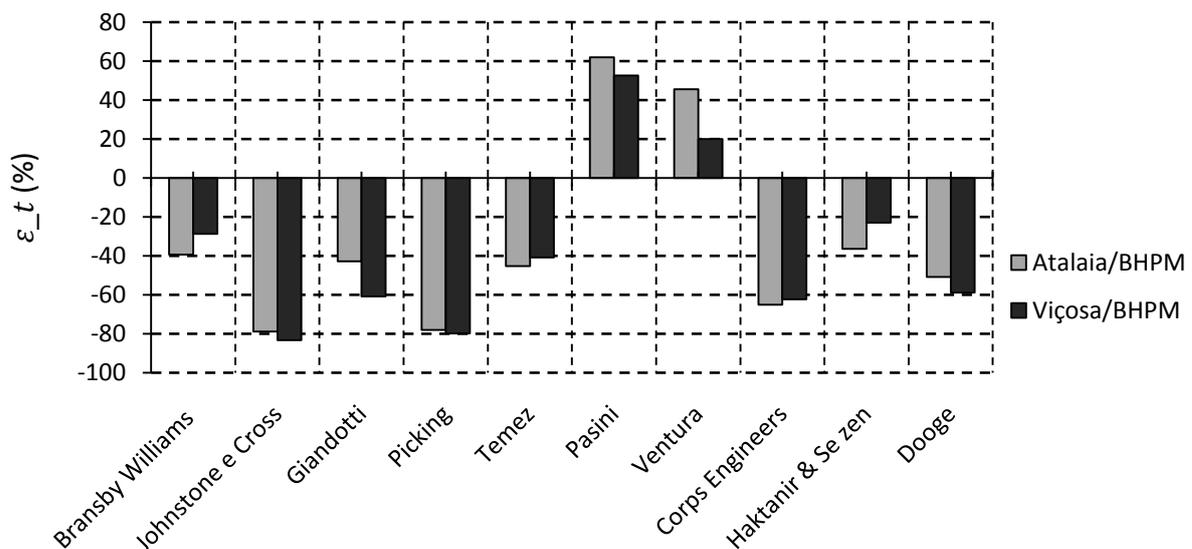
Avaliando a sensibilidade de 30 modelos distintos para estimação de tempo de concentração, Almeida *et. al.*, (2014), notaram uma forte similaridade entre os modelos Pasini

e Ventura, quando são aplicados usando dados de bacias hidrográficas rurais. Resultados que corroboram com os apresentados neste trabalho.

Para Ryberg (2006), as características similares entre os parâmetros utilizados na estimativa dos T_{cs} são evidenciados por este método, o que tem proporcionado certa facilidade nas escolhas dos modelos de T_c .

Nesta segunda apreciação, são avaliados os T_{cs} estimados pelos modelos empíricos e comparados ao T_{cs} aferidos via hidrógrafa/heitograma (T_c de referência) nas sub-bacias Viçosa/BHPM e Atalaia/BHPM (Figuras 3). Os resultados evidenciam apesar dos modelos serem recomendados para bacias de médio a grande porte, neste caso as duas sub-bacias aqui utilizadas, que os modelos são inapropriados para o cálculo do T_c na BHPM, tendo em vista, os valores obtidos do ε_t . Com exceção dos modelos de Pasini e Ventura, todos os modelos subestimaram o T_c de referência (Figura 3) com uma acentuada discrepância. Observa-se ainda que Johnstone & Cross é o método com pior desempenho no cálculo do T_c . Contudo, em estudos envolvendo a modelagem hidrológica, e no tocante as previsões de cheias e inundações, o modelo de Pasini é de longe considerado o pior modelo. De acordo com Ilveira (2005) e Almeida *et. al.*, (2013), o modelo de Pasini apresenta uma tendência em superestimar os tempos de concentrações. O que corrobora com os resultados desse estudo.

Figura 3: Erro relativo percentual dos tempos de concentrações estimados pelos modelos empíricos em relação ao observado no hidrógrafa/heitograma na sub-bacia de Atalaia/BHPM e Viçosa/BHPM.



Fonte: Auto, 2017.



A análise dos modelos aqui utilizados no cálculo do T_c , indicaram resultados bastante discrepantes, o que os tornam inadequados para o uso na BHRM. Deste modo, optou-se por ajustar o modelo de forma a torná-lo adequado. Para Santos *et al.* (2014), a técnica permite melhorar a qualidade dos valores estimados de um modelo.

Como todos os modelos apresentaram resultados longe do ideal, foi selecionado de forma aleatória um modelo na Tabela 1, neste caso, o modelo de Temez. O ajuste foi feito no expoente do quociente entre o comprimento da linha de água principal e a declividade (Equação 4).

$$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,76} \text{ (Normal)} \Rightarrow T_c = 0,3 \left(\frac{L}{J^{0,25}} \right)^{0,87} \text{ (Ajustado)} \quad \text{Eq. (4)}$$

O ajuste possibilitou reduzir o Erro Relativo Percentual (ϵ_t) de 40,8 e 45,3% para menos de 0,5 e 3,5% nas sub-bacias Viçosa/BHPM e Atalaia/BHPM respectivamente. Trabalhos como o de Bohnen *et. al.*, (2017), Mamedio *et. al.*, (2018) e muitos outros encontrados na literatura, oferecem uma análise estatística entre os modelos, indicando qual o modelo é o menos tendencioso ao erro, o que também é discutido aqui, contudo, o presente artigo sugere ainda um ajuste em um de seus parâmetros, o que possibilitaria uma redução significativa da tendência do modelo ao erro, como é de se verificar nos resultados já mencionados.

CONCLUSÃO

- Frente à importância do Tempo de Concentração no monitoramento de vazão e na modelagem hidrológica, principalmente nas previsões de enchentes e inundações, buscou-se avaliar nesse estudo dez modelos empíricos no cálculo do Tempo de Concentração na bacia do rio Paraíba do Meio. E à face do exposto, conclui-se que, existe homogeneidade entre os modelos aqui avaliados, contudo, a maior parte apresentou uma forte tendência em subestimar o T_c de referência. Independentemente, qualquer que fosse o modelo aqui avaliado para o tempo de concentração, os resultados seriam distintos do T_c de referência em superestimação ou subestimação. Essas dissemelhança, já eram de se esperar, tendo em vista características particulares (solo, vegetação, uso e ocupação, entre outras) de cada uma das bacias para a qual os



modelos foram criados. Dessa forma, a única possibilidade em si utilizar um desses modelos é mediante um ajuste em um de seus parâmetros.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, I. K.; ALMEIDA, A. K.; ANACHE, J. A. A.; STEFFEN, J. L.; Alves Sobrinho, T.. Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: A Review. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 33, p. 661-671, 2014.

ALMEIDA, I. K.; ANACHE, J. A. A.; ALMEIDA, V. R.; ALVES SOBRINHO, T.. Estimativa de tempo de concentração em bacia hidrográfica.. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves, RS. Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/155/4d7148aa9edae933b500b44e0d3f297d_57b96c400aecfb3306d6091d909da389.pdf. Acesso: 19/08/2019.

BOHNEN, H.H.; SCHUCH, F. S.; BASTOS, M. DE A.. Determinando o Tempo De Concentração de uma Bacia Hidrográfica Considerando seu uso e Ocupação do Solo. In: XXVII CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 2017, RIO DE JANEIRO. ANAIS DO XXVII CBC, 2017. Disponível em: http://www.cartografia.org.br/cbc/2017/trabalhos/5/fullpaper/CT05-6_1505359711.pdf. Acesso: 17/08/2019.

DE ALMEIDA, ISABEL KAUFMANN; ALMEIDA, ALESKA KAUFMANN; STEFFEN, JORGE LUIZ; ALVES SOBRINHO, TEODORICO. Model for Estimating the Time of Concentration in Watersheds. **Water Resources Management**, v. 30, p. 4083-4096, 2016.

DOOGE, J.C.I. **Synthetic unit hydrographs based on triangular inflow**. 103 f. M.S. Thesis, Iowa State University, 1956.

FANG, X., THOMPSON, D. B., CLEVELAND, T. G., PRADHAN, P., AND MALLA, R. Time of concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 134, n. 2, p. 202–211, 2008.

FANG, X., THOMPSON, D. B., CLEVELAND, T. G., and PRADHAN, P. (2007). Variations of time of concentration estimates using NRCS velocity method. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering** 133 (4), pp. 314–322.



- GIANDOTTI, M. Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua . Istituto Poligrafico dello Stato , 1934 . 8: 107 - 117 .
- GRAY, D.M. Handbook on the principles of hidrology. New York. Huntigton: **Water Information. Center**, 1970.
- GREPPI, M. Hidrologia. 4. ed. Milano: Ed. Ulrico Hoepli, 371p., 2005.
- HAKTANIR, T., SEZEN, N. Suitability of twoparameter gamma and three-parameter beta distributions as synthetic unit hydrographs in Anatolia. **Hydrological Sciences Journal**, v. 35, n. 2, p. 167–184, 1990.
- HARDLE, W.; SIMAR, L.. Applied Multivariate Statistical Analysis Version: 29th April 2003. Disponível em: http://www.leg.ufpr.br/lib/exe/fetch.php/wiki:internas:biblioteca:applied_multivariate_statisti_cs.pdf . Acesso: 1/02/2018.
- ILVEIRA, 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. 5-29, 2005. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/29/9065c5e8a3333d5348b9babd06aaa510_7aad3403a5602667b67dfbb7c3cbd16a.pdf. 18/08/2019.
- JOHNSTONE, D. E CROSS, WP. **Elementos de hidrologia aplicada**, Nova York: Ronald Press. 1949.
- LINSLEY, R. K., KOHLER, M. A., PAULHUS, J. L., SERRA, M. F., & APARICIO, F. D. Hidrología para ingenieros. McGraw-Hill. 386 p., 1977.
- MAMÉDIO, F. M. P.; CASTRO, N. M. R.; CORSEUIL, C. W. . Tempo de concentração para Bacias Rurais Monitoradas na Região do Planalto Basáltico no Sul do Brasil. REGA - REVISTA DE GESTÃO DE ÁGUA DA AMÉRICA LATINA, v. 15, p. 1-17, 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/184065/001079857.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso: 17/08/2019.
- MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **Revista Escola de Minas**, v. 60, n. 3, 2007.



- MEDEIROS, F. C. **Influência do clima global nos prognósticos das descargas de bacia hidrográficas do estado de Alagoas**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto de Ciências Atmosférica. Universidade Federal de Alagoas, Maceió. 2002.
- MENDES, VANILDO ALMEIDA. Geologia e recursos minerais do estado de Alagoas: escala 1:250.000 . Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2017. Disponível em: http://oasisbr.ibict.br/vufind/Record/CPRM_eb3b78942e2d4ce6e92794e2e8c4d8dc. Acesso: 14/02/2018.
- MOTH. **Hydraulics manual**. Columbia: Ministry of Transportation and Highways (MOTH), Engineering Branch. Province of British, 1998.
- PASINI, F. Relazione sul progettodella bonifica renana, Bologna, Italy, 1914.
- PAVLOVIC, S. B., and MOGLEN, G. E. (2008). Discretization issues in travel time calculation. **Journal of Hydrologic Engineering** 13(2), pp. 71–79.
- PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). (2011). Atlas pluviométrico do Brasil: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, 2011. Escala 1.5:000.000. Equipe Executora: Andressa M. S. de Azambuja; Margarida R. da Costa; Carlos Eduardo de O. Dantas; José Alexandre M. Farias; Érica C. Machado; Francisco F. N. Marcuzzo; Vanesca S. Medeiros; Denise C. de Rezende Melo; Jean R. da S. do Nascimento; Paulo de Tarso R. Rodrigues; André Luis M. R. dos Santos; Adriana B. Weschenfelder; Sistema de Informação Geográfica-SIG - versão 2.0 - atualizada em novembro/2011; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. Acesso em: 29 de Agosto de 2019.
- SANTOS, A. G.; CAMPOS, J. N. B.; SILVA JUNIOR, R. S.. Análise da Previsão Pluviométrica a Curtíssimo Prazo na Bacia Hidrológica do Rio Paraíba do Meio Utilizando o Modelo WRF. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, p. 285-294, 2014.
- SANTOS, A. G.. **Acoplamento do Modelo Atmosférico WRF ao Modelo Hidrológico SCS/HMS Para a Previsão de Cheias Na Bacia do Paraíba do Meio em Alagoas, 2016**. 132 Laudas, Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos). Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza – CE. 2016.



SILVA, V. P. R.; PEREIRA, E. R. R.; ALMEIDA, R. S. R. Estudo da Variabilidade Anual e Intra-Anual da Precipitação na Região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de meteorologia**. Vol. 27, n. 2, p 163 - 172, 2012.

SILVEIRA, A.L.L. Performance of time of concentration formulas in urban and rural basins. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.10, p.5-23, 2005.

S. GRIMALDI, A. PETROSELLI, F. TAURO & M. PORFIRI. Time of concentration: a paradox in modern hydrological, **Hydrological Sciences Journal**, 57:2, 217-228, 2012. DOI: 10.1080/02626667.2011.644244.

RAO, V.B.; LIMA, M.C.; FRANCHITO, S.H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern Northeast Brazil. **J. Clim**, Vol. 6, p. 1754-63, 1993.

RYBERG, K.R. Cluster Analysis of Water-Quality Data for Lake Sakakawea, Audubon Lake, and McClusky Canal, Central North Dakota, 1990-2003, Prepared in cooperation with the Bureau of Reclamation, U.S. Department of the Interior Scientific Investigations Report 2006-5202, U.S. **Geological Survey, Reston**, Virginia, 47p., 2006.

TEMEZ, J.R. Calculo hidrometeorológico de caudales máximos em pequenas cuencas naturales. Madrid: Ministério de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU). Dirección General de Carreteras, n. 12, 1978.

VITORINO, M. I.; SILVA, M. E.S.; ALVES, J. M. B. Classificação De Sistemas Convectivos De Mesoescala No Setor Norte Do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.12, n.1,21-32, 1997.

WELLE, P.J., and D.E. Woodward. Time of concentration. Hydrology, Technical Note No. N4. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, NENTC, Chester, PA. 1986.

WONG, T. S.W. (2009). Evolution of kinematic wave time of concentration formulas for overland flow. **Journal of Hydrologic Engineering** 14 (7), pp. 739-744.