

AVALIAÇÃO DE EQUAÇÕES DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO: ESTUDO DE CASO EM UMA BACIA URBANA EM ITAJUBÁ, MG

*Ana Carolina Renó Ferreira Lisboa¹; Fabiane de Cássia dos Santos²; Vitória Jacomelli Baratella³;
Caio Tácito Borges da Costa⁴; Benedito Cláudio da Silva⁵ & Danilo Henrique Spadoti⁶*

RESUMO – O tempo de concentração é uma das características mais conhecidas das bacias hidrográficas. Seu valor é um indicativo do comportamento hidrológico da bacia, principalmente em relação à resposta aos eventos intensos de precipitação. Na engenharia, é utilizado no dimensionamento e avaliação de estruturas hidráulicas de drenagem e controle de inundações e alagamentos. Entretanto, muitas vezes, os resultados das equações empíricas de cálculo do tempo de concentração são bastante divergentes, dificultando a determinação do valor que realmente representa a bacia. Por este motivo, este trabalho analisa o desempenho de algumas equações mais conhecidas para cálculo do tempo de concentração, através de uma comparação com valores obtidos pelo método direto, analisando dados medidos de chuva e nível d'água de alta resolução temporal em uma pequena bacia urbana. Os resultados obtidos mostram que as equações empíricas apresentam grande diferença para a bacia analisada, sendo que a equação de Carter foi a que mais se aproximou dos valores obtidos pela análise gráfica. Estes resultados reforçam a necessidade da implementação de monitoramento em bacias urbanas, a fim de gerar dados e estudos para melhor gestão dos sistemas de drenagem.

Palavras-Chave – Alagamentos urbanos; Sistemas de alerta; Monitoramento hidrológico.

ABSTRACT – Time of concentration is one of the best-known characteristics of watersheds. Its value is an indicator of the basin's hydrological behavior, especially in relation to its response to intense precipitation events. In engineering, it is used in the design and evaluation of hydraulic drainage structures and flood control. However, the results of empirical equations for calculating concentration time are often quite divergent, making it difficult to determine the value that truly represents the basin. For this reason, this work analyzes the performance of some of the best-known equations for calculating time of concentration, through a comparison with values obtained by the direct method, analyzing measured rainfall and water level data with high temporal resolution in a small urban basin. The results show that the empirical equations present a large difference for the analyzed basin, with Carter's equation being the one that most closely approximated the values obtained by graphical analysis. These results reinforce the need for the implementation of monitoring in urban basins in order to generate data and studies for better management of drainage systems.

Keywords – Urban flooding; Warning systems; Hydrological monitoring.

¹) Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Itajubá: Av. BPS, 1303 - Itajubá, MG 37500-903. d2023004013@unifei.edu.br

²) Mestranda em Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Itajubá: Av. BPS, 1303 - Itajubá, MG 37500-903. fabianecassia@unifei.edu.br

³) Doutoranda em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá: Av. BPS, 1303 - Itajubá, MG 37500-903. vitoriajacomelli@gmail.com

⁴) Ashton Tecnologia: Av. BPS, 1303, sala 26, INCIT - Itajubá, MG 37500-903. caio.tacito@asthon.com.br

⁵) Professor da Universidade Federal de Itajubá: Av. BPS, 1303 - Itajubá, MG 37500-903. silvabenedito@unifei.edu.br

⁶) Professor da Universidade Federal de Itajubá: Av. BPS, 1303 - Itajubá, MG 37500-903. spadoti@unifei.edu.br

INTRODUÇÃO

Conceitualmente, o tempo de concentração (T_c) pode ser descrito como o tempo decorrido no percurso da água precipitada desde o ponto hidráulicamente (cinematicamente) mais afastado da bacia hidrográfica até o ponto de interesse (McCuen et al. 1984; Pavlovic e Moglen, 2008). O tempo de concentração é um parâmetro da bacia hidrográfica amplamente utilizado na engenharia, para dimensionamento de obras hidráulicas e ajuste de modelos hidrológicos. Existem diversos fatores que influenciam na magnitude do tempo de concentração, como por exemplo, suas características físicas, como forma, declividade, tipo de cobertura vegetal e comprimento, além das condições do solo, como umidade e textura (Mendonça, 2021).

Existem basicamente duas formas de se determinar o tempo de concentração em bacias hidrográficas. Uma das formas é o método direto, que consiste na determinação através de medidas de parâmetros reais da bacia, com monitoramento do regime de chuvas e do escoamento superficial, ou seja, através de dados hidrometeorológicos da área de estudo. A outra maneira de determinação do tempo de concentração, que é amplamente utilizada nos estudos hidrológicos e hidráulicos, é a que chamamos de método indireto. Essa metodologia se baseia na aplicação de equações empíricas, determinadas a partir de dados de uma determinada região (Silveira, 2005). Apesar de simples de serem aplicadas, as equações empíricas resultam em valores muito discrepantes, na maioria das aplicações. Determinar a equação mais adequada para cada caso é sempre um ponto de dúvida entre os projetistas.

Segundo Durant (2019), o tempo de concentração obtido de forma direta pode apresentar melhores resultados do que as equações empíricas, já que reflete diretamente a resposta da bacia em estudo ao evento de chuva ocorrido, desde que o monitoramento das variáveis hidrológicas seja realizado de forma correta. Neste tipo de método consiste em analisar os hidrogramas afluentes do curso d'água obtidos na bacia hidrográfica após um ou mais eventos de chuva. Essa análise é também conhecida como análise gráfica. O tempo de concentração pode ser obtido como o tempo entre o fim da chuva efetiva e o ponto de inflexão do hidrograma. Uma outra maneira de calcular o tempo de concentração através do método gráfico é estimando o tempo de pico (T_p), ou *lag-time*, que é o tempo decorrido entre o centroide da precipitação (centro geométrico) e o pico de vazão do hidrograma (Tucci, 2002).

Dessa forma, a fim de contribuir para o melhor entendimento e estimativa do tempo de concentração, neste trabalho é apresentada uma análise comparativa entre algumas equações empíricas tradicionais e o método direto, a partir de dados do sistema de monitoramento e alerta de uma bacia urbana da cidade de Itajubá (MG).

METODOLOGIA

Área de estudo

A bacia de estudo está localizada no bairro Jardim das Colinas, na cidade de Itajubá (MG) e possui 0,54 km² de área (Figura 1). O uso de ocupação do solo é formado por uma área residencial com lotes de pequeno porte e terrenos com solo exposto, uma outra parcela com chácaras e pastagens degradadas, além de ser cortada pela BR-459. A seção de exutório é o local de uma galeria de drenagem na Rua Augusto de Almeida, no bairro Jardim das Colinas, onde se encontra uma das estações de monitoramento do sistema de alertas de Itajubá (<https://aovivo.alertaitajuba.com.br/>). Este local é monitorado devido aos frequentes alagamentos da rua, que causam interrupções do trânsito e afetam residências e o comércio local (Figura 2).

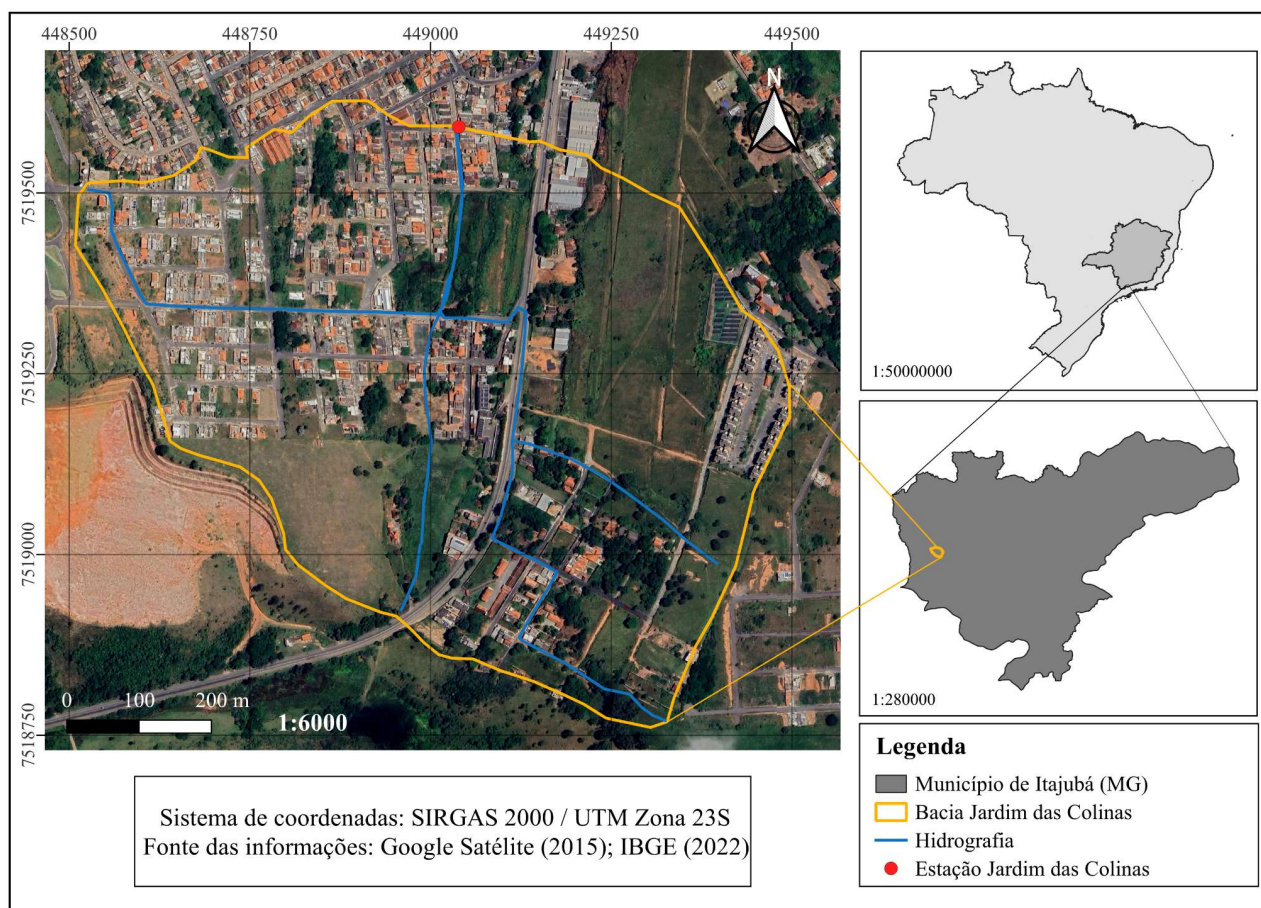


Figura 1 - Bacia hidrográfica contribuinte à estação hidrológica Jardim das Colinas

Determinação do tempo de concentração

A determinação do tempo de concentração por meio de equações empíricas foi realizada a partir da obtenção dos parâmetros geomorfológicos da bacia hidrográfica em estudo. Inicialmente, a delimitação da

bacia do bairro Jardim das Colinas foi efetuada com o auxílio da plataforma Google Earth, que possibilitou a identificação do exutório e das principais direções de escoamento superficial. A partir dessa delimitação, foram definidos dois caminhos representativos do escoamento até o exutório, correspondentes às drenagens pelas vertentes direita e esquerda da bacia, com o objetivo de avaliar a influência do percurso hidráulico nos valores estimados de tempo de concentração.



Figura 2 - Ponto de alagamento Rua Augusto de Almeida e estação de monitoramento hidrológico Jardim das Colinas

O comprimento do talvegue principal (L), variável presente em todas as equações empíricas analisadas, foi obtido diretamente por meio das ferramentas de medição do Google Earth, a partir do traçado dos caminhos previamente definidos. A declividade média do talvegue (S), por sua vez, foi determinada com base no perfil altimétrico fornecido pela plataforma, o qual foi subdividido em diversos trechos ao longo do percurso. Para cada trecho, foram calculadas as declividades individuais e, posteriormente, foi aplicada a média harmônica, de modo a representar de forma mais adequada a variação do relevo ao longo do caminho de escoamento. Dessa forma, foi possível obter valores representativos de L e S para cada uma das duas trajetórias analisadas.

Com os parâmetros geomorfológicos definidos, procedeu-se à aplicação das equações empíricas para a estimativa do tempo de concentração. Neste trabalho foram avaliadas 4 equações empíricas de tempo de concentração, recomendadas por Silveira (2005), escolhidas em função do tipo de bacia,

simplicidade das variáveis e semelhança entre as equações. Foram utilizadas as equações de Kirpich, Corps of Engineers, Ven te Chow e Carter, conforme apresentadas a seguir.

Kirpich:

$$T_c = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (1)$$

Corps of Engineers:

$$T_c = 0,191 \times L^{0,76} \times S^{-0,19} \quad (2)$$

Ven te Chow:

$$T_c = 0,160 \times L^{0,64} \times S^{-0,32} \quad (3)$$

Carter:

$$T_c = 0,0977 \times L^{0,6} \times S^{-0,3} \quad (4)$$

em que T_c é o tempo de concentração (h); L é o comprimento do talvegue principal (km); e S é a declividade média do talvegue principal (m/m).

Para a determinação pelo método direto, ou gráfico, foi utilizado o critério de identificação do tempo de pico, determinado pelo tempo entre o centroide da precipitação e o pico do cotograma registrado no exutório da bacia. Para isso, foram utilizados dados provenientes do Sistema de Monitoramento Hidrológico da Defesa Civil de Itajubá, operado pela empresa Ashton Tecnologia, disponível em plataforma online, que fornece registros de precipitação e nível d'água em intervalos de aproximadamente 2 minutos. A estação localizada na bacia do Jardim das Colinas (Figura 2) possibilitou o acesso às informações necessárias para a análise dos eventos ocorridos no período considerado.

Foram selecionados os eventos de chuva mais representativos entre os meses de janeiro e março de 2026 (Figura 3), priorizando aqueles que ultrapassaram o Nível de Atenção, por apresentarem respostas hidrológicas mais bem definidas. Ao todo, foram analisados 18 eventos, considerados críticos para a caracterização da bacia. Para cada evento, foram extraídas as séries temporais de precipitação acumulada ao longo do tempo, as quais foram tratadas para obtenção da precipitação incremental e dos respectivos intervalos de tempo.

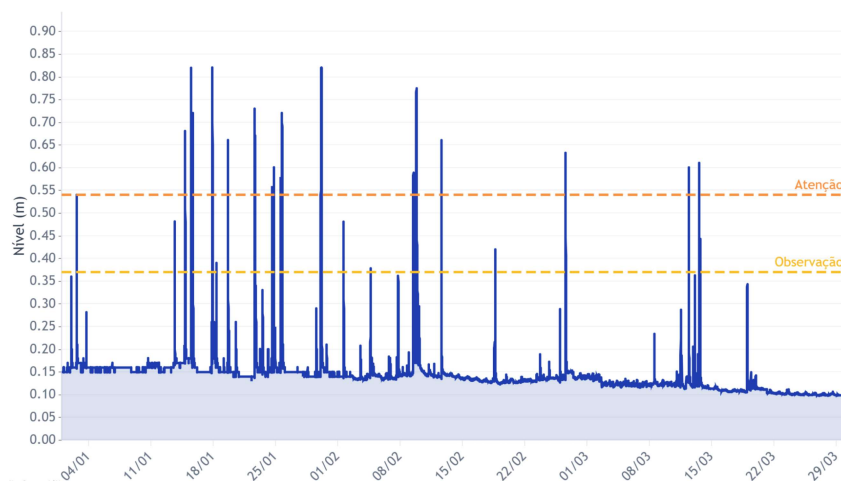


Figura 3 - Série temporal de nível d'água na estação Jardim das colinas entre janeiro e março de 2026. Nível de Observação indica início de um possível transbordamento e Atenção é o nível de início de alagamento das ruas.

Com base nesses dados, foi determinado o centroide temporal da precipitação, que representa o instante médio de ocorrência da chuva efetiva ao longo do evento, conforme a seguinte expressão:

$$\bar{t} = \frac{\sum(P_i \times t_i)}{\sum P_i} \quad (5)$$

em que $\bar{t}$ é o tempo do centroide da precipitação (min), P_i corresponde à precipitação no intervalo de tempo i (mm), e t_i representa o tempo médio desse intervalo (min).

A partir da determinação do centroide, foi calculado o tempo de pico (T_p), correspondente ao intervalo entre o centroide da precipitação e o pico do hidrograma. A Figura 4 apresenta um exemplo gráfico de um dos eventos utilizados. O tempo de concentração foi então estimado a partir da relação entre o tempo de pico e o tempo de concentração, conforme proposto por Torrico (1974):

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

em que T_p é o tempo de pico (min) e T_c é o tempo de concentração (min).

Esse procedimento resultou na obtenção de 18 valores de tempo de concentração, um para cada evento analisado. A partir desses valores, foram calculadas medidas estatísticas descritivas, como a média e a mediana, com o objetivo de representar o comportamento típico da bacia. Posteriormente, foram também calculadas as intensidades de precipitação para cada evento, bem como levantados, junto à plataforma da Ashton, os valores de precipitação acumulada nos três dias anteriores a cada ocorrência, garantindo consistência com a base de dados utilizada. A intensidade média foi determinada pela razão entre a precipitação total do evento e sua duração, conforme a expressão:

$$I = \frac{\sum P}{\Delta t} \quad (7)$$

em que I é a intensidade média da chuva (mm/h), $\sum P$ é a precipitação total acumulada no evento (mm) e Δt é a duração total da chuva (h).

Essas variáveis foram utilizadas para fins de análise, permitindo avaliar a influência da intensidade da precipitação e das condições antecedentes de umidade na resposta hidrológica da bacia.

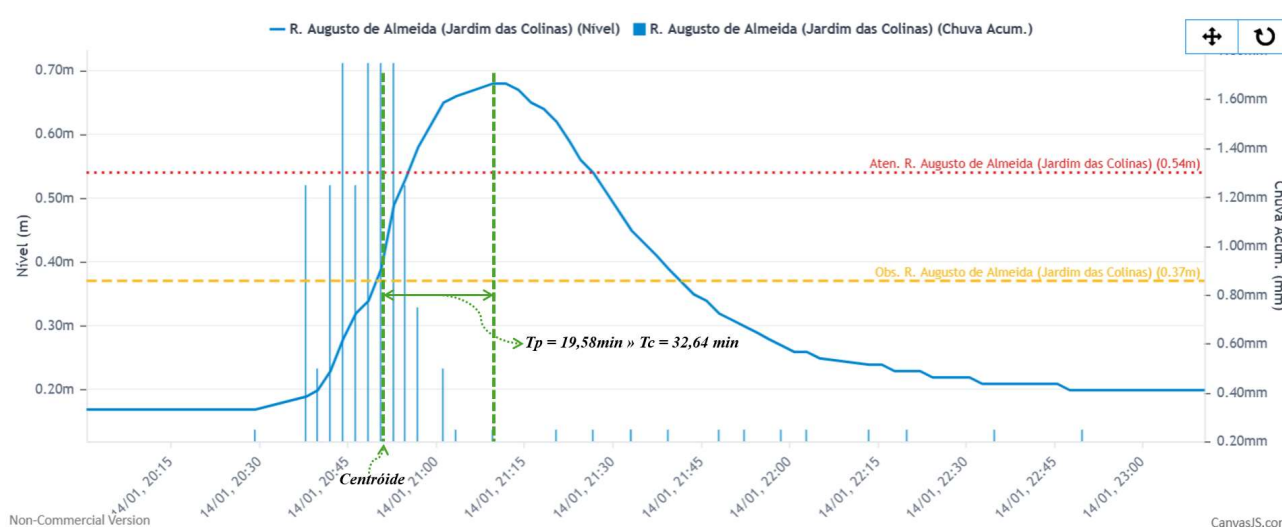


Figura 4 - Tempo de pico do evento de 14/01/2026

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de tempo de concentração obtidos pelo método direto, a partir da análise dos eventos monitorados na bacia do Jardim das Colinas, variaram entre 17,70 min e 36,22 min, com média de 27,85 min e mediana de 26,76 min. Os dados completos dos eventos analisados, incluindo intensidade de chuva e precipitação antecedente, estão apresentados na Tabela 1.

A análise dos dados apresentados na Tabela 1 permite observar que há uma tendência de redução do tempo de concentração em eventos com maior intensidade de precipitação, conforme também observado na Figura 5. Esse comportamento pode ser exemplificado pelo evento do dia 13/03/2026, que apresentou intensidade de 29,51 mm/h e tempo de concentração de 17,70 min, representando um dos menores valores registrados. Tal resultado é coerente com o aumento do escoamento superficial associado a chuvas mais intensas, o que reduz o tempo de deslocamento da água até o exutório. Além disso, nota-se que o acumulado de precipitação nos dias anteriores demonstra não influenciar a resposta hidrológica da

bacia (Figura 5), explicado provavelmente pela alta impermeabilização do solo e condições pobres de cobertura vegetal, que dificultam a infiltração de água no solo.

Tabela 1 – Eventos analisados e tempos de concentração obtidos pelo método direto

Data	Tempo de concentração (min)	Intensidade de chuva do evento (mm/h)	Total de chuva dos 3 dias antes do evento (mm)
14/01/2026	32,64	21,08	12,5
15/01/2026	26,76	32,55	30,5
15/01/2026	33,70	6,58	45,8
17/01/2026	24,87	34,38	40,3
19/01/2026	33,78	16,92	40,5
22/01/2026	32,69	19,27	20,0
24/01/2026	34,46	12,69	47,5
24/01/2026	28,50	11,84	52,3
25/01/2026	36,22	8,56	62,8
25/01/2026	23,44	8,54	51,8
30/01/2026	22,66	20,37	7,5
30/01/2026	23,68	18,33	14,5
09/02/2026	28,31	14,10	24,3
09/02/2026	21,83	18,42	39,3
12/02/2026	26,39	21,76	42,3
26/02/2026	27,12	16,27	15,3
12/03/2026	26,54	10,58	31,9
13/03/2026	17,70	29,51	55,8

Fonte: Autoria própria

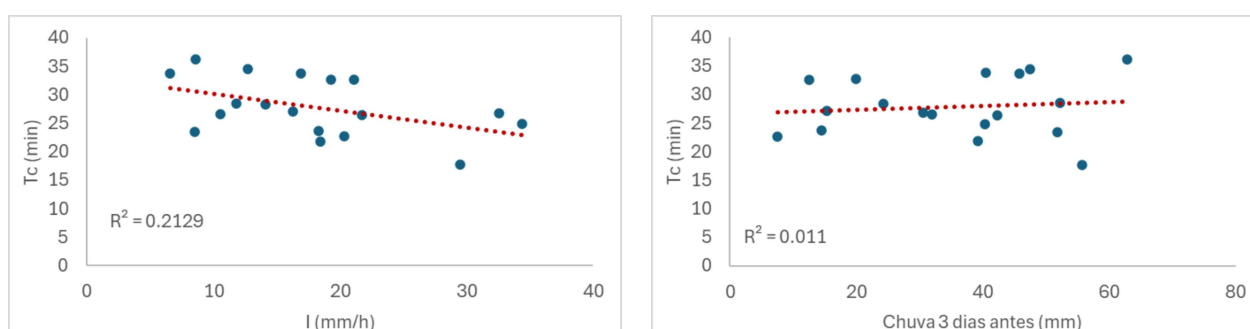


Figura 5 - Relações entre tempo de concentração entre intensidade dos eventos e chuva antecedente

Os tempos de concentração estimados pelas equações empíricas, considerando dois caminhos de escoamento distintos na bacia (drenagens direita e esquerda), estão apresentados na Tabela 2, permitindo uma comparação direta entre os diferentes métodos indiretos aplicados.

Tabela 2 – Tempo de concentração estimado pelas equações empíricas

Equação	Tc (min) - Drenagem direita	Tc (min) - Drenagem esquerda
Corps of Engineers	80,25	63,80
Kirpich	59,55	46,84
Ven te Chow	45,59	37,34
Carter	19,55	16,22

Fonte: Autoria própria

A partir dos valores apresentados na Tabela 2, observa-se que o tempo de concentração varia em função do caminho de escoamento considerado, evidenciando a influência das características geomorfológicas de cada trajeto nos resultados obtidos. De modo geral, a drenagem esquerda apresentou menores tempos de concentração em relação à drenagem direita, o que pode estar associado a diferenças de comprimento do talvegue e declividade média entre os percursos analisados. Essa variação reforça a importância da definição adequada do caminho de escoamento na aplicação de equações empíricas, uma vez que pequenas mudanças nos parâmetros de entrada podem resultar em diferenças significativas nos valores estimados.

Quando comparados aos valores obtidos pelo método direto, verifica-se que, independentemente do caminho considerado, as equações de Corps of Engineers, Kirpich e Ven te Chow apresentaram tendência de superestimação do tempo de concentração, com valores significativamente superiores à média observada nos eventos monitorados. Por outro lado, a equação de Carter apresentou resultados mais próximos dos valores obtidos pelo método direto, ainda que ligeiramente inferiores. Esse comportamento indica que diferentes equações apresentam níveis distintos de aderência às condições reais da bacia, o que deve ser considerado na escolha do método a ser utilizado.

As discrepâncias observadas podem ser atribuídas ao fato de que as equações empíricas foram desenvolvidas com base em dados de regiões com características físicas e hidrológicas específicas, que nem sempre representam adequadamente as condições da área de estudo. No caso da bacia do Jardim das Colinas, o uso e ocupação do solo, caracterizado por áreas residenciais, presença de solo exposto e regiões parcialmente urbanizadas, pode influenciar a dinâmica do escoamento superficial, contribuindo para tempos de concentração inferiores aos estimados pela maioria das equações. Além disso, a sensibilidade dos resultados à escolha do caminho de escoamento evidencia a necessidade de critérios bem definidos na aplicação dessas metodologias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises realizadas neste trabalho demonstram a importância do monitoramento de bacias urbanas para melhor caracterização do comportamento hidrológico. Do ponto de vista prático, a

superestimação do tempo de concentração pode implicar no subdimensionamento de vazões de pico em projetos de drenagem urbana, comprometendo a eficiência dos sistemas e potencializando problemas de alagamento. Nesse contexto, a equação de Carter se destacou por apresentar melhor aproximação em relação aos dados observados, indicando maior potencial de aplicação em bacias com características semelhantes à estudada. Dessa forma, os resultados reforçam a importância da utilização de dados monitorados para a estimativa do tempo de concentração, bem como a necessidade de avaliação criteriosa das equações empíricas antes de sua aplicação em estudos hidrológicos urbanos.

REFERÊNCIAS

- DURANT, P. C. (2019) “*Tempo de concentração em pequenas bacias hidrográficas na região de Uberlândia, Minas Gerais*”. 2018. 104 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- MCCUEN, R. H., WONG, S. L., RAWLS, W. J. (1984). “*Estimating urban time of concentration*”. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, N°. 7.
- MENDONÇA, L. M. S. (2021) “*Análise comparativa do tempo de concentração empírico e obtido com o hidrograma na bacia do Ribeirão Serra Azul*”. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitarista) - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG, Belo Horizonte, 2021.
- PAVLOVIC, S. B., MOGLEN, G. E. (2008). “*Discretization issues in travel time calculation*”. Journal of Hydrologic Engineering 13(2), pp. 71–79.
- SILVEIRA, A. L. L. (2005) “*Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos 10, 5-23 p.
- TORRICO, J. J. T. *Práticas Hidrológicas*. TRANSCON, Rio de Janeiro, 120p. 1974.
- TUCCI, C. E. M. (Org.) (1993). *Hidrologia. Ciência e Aplicação*. ABRH, p. 459-476. Editora da Universidade, ABRH, EDUSP. Porto Alegre, RS.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Itajubá pela bolsa de Iniciação Científica da primeira autora, à Prefeitura Municipal de Itajubá e à empresa Ashton tecnologia pelo fornecimento dos dados. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 (bolsa da segunda autora).