

Análise de fórmulas de Tempo de Concentração (TC) de uma bacia em urbanização: um estudo da Bacia do Mineirinho (São Carlos-SP)**Analysis of Concentration Time (TC) formulas of an urbanizing basin: a study of the Mineirinho Basin (São Carlos-SP)**

DOI:10.34117/bjdv5n8-005

Recebimento dos originais: 14/07/2019

Aceitação para publicação: 12/08/2019

Viviane Jin Hee Kim

Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: Rua Trabalhador São Carlense, 400, Pq. Arnold Schimidt, São Carlos (SP)

E-mail: vivikim.suki@gmail.com

Marcus Vinícius Galbetti

Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos

Instituição: Universidade Estadual de Matogrosso do Sul (UEMS)

Endereço: Unidade Universitária de Dourados - Caixa Postal 351 - CEP 79804-970 -

Rodovia Dourados-Itaum km 12 - Bairro Aeroporto

E-mail: marcusgalbetti@gmail.com

João Luiz Boccia Brandão (*in memoriam*)

Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo

Professor Doutor da Escola de Engenharia de São Carlos da USP

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: Rua Trabalhador São Carlense, 400, Pq. Arnold Schimidt, São Carlos (SP)

E-mail: jlbb@sc.usp.br

Valdir Schalch

Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos e

Docente da Universidade de São Paulo

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: Rua Trabalhador São Carlense, 400, Pq. Arnold Schimidt, São Carlos (SP)

E-mail: vschalch@sc.usp.br

RESUMO

O desenvolvimento urbano rápido e desordenado resulta em mudança nas características morfológicas da bacia, caracterizado pelo processo de impermeabilização do solo. Este fenômeno acarreta em diversos impactos ambientais, como o aumento do volume de Escoamento Superficial Direto (ESD) e, conseqüentemente, maior ocorrência e surgimentos de novos pontos de inundações e enchentes naturais, como no caso da Bacia do Córrego do Mineirinho em São Carlos (SP). Para reverter este tipo de problema, é necessário o desenvolvimento de estudos hidrológicos visando ao planejamento urbano sustentável e o dimensionamento de obras hidráulicas. Por isso, este estudo objetivou analisar quatro

formulações empíricas de Tempo de Concentração (TC) e verificar qual a mais adequada para a Bacia do Córrego do Mineirinho, além de verificar as principais consequências da urbanização sobre a drenagem urbana desta bacia. As fórmulas de Bransby-Williams, Dooge, Kirpich e SCS foram comparadas com TC's obtidos através monitoramento hidrometeorológico, e confrontadas por testes de hipótese. O teste indicou que a fórmula mais adequada para a Bacia é a de Kirpich, pois teve o maior p-valor e foi considerado como um resultado satisfatório ao analisar outros estudos sobre este tema. Além disso, constatou-se que a urbanização na Bacia acarretou em outros impactos ambientais, destacando-se a questão de resíduos sólidos, pois isto pode ter influenciado na leitura da lâmina d'água na coleta de dados experimentais, na capacidade de escoamento da bacia e obstrução da seção de drenagem. Por fim, recomenda-se como continuidade deste estudo uma análise de um maior número de equações empíricas para a Bacia do Mineirinho e/ou manutenção do monitoramento hidrológico para aplicar testes mais robustos e desenvolver um modelo de TC específico para a área estudada.

Palavras-chave: Tempo de Concentração; Bacia Urbana; Modelos Hidrológicos

ABSTRACT

Rapid and disordered urban development results in changes in the morphological characteristics of the basin, characterized by the process of soil sealing. This phenomenon has several environmental impacts, such as the increase of the volume of Direct Surface Runoff (DSR) and, consequently, higher occurrence of natural floods and emergence of new flood points, as in the case of the Mineirinho Stream Basin in São Carlos (SP). To reverse this type of problem, it is necessary to develop hydrological studies aiming at sustainable urban planning and the sizing of hydraulic works. Therefore, this study aimed to analyze four empirical formulations of Time of Concentration (TC) and to verify which one is most appropriate for the Mineirinho Stream Basin, and verifying the main consequences of urbanization on the urban drainage of this basin. Bransby-Williams, Dooge, Kirpich and SCS formulas were compared with TC's obtained through hydrometeorological monitoring, and compared by hypothesis tests. The test indicated that the most appropriate formula for the Basin is Kirpich, as it had the highest p-value and was considered as a satisfactory result when analyzing other studies on this topic. In addition, it was found that urbanization in the Basin had other environmental impacts, highlighting the issue of solid waste, as this may have influenced the reading of the water depth in the experimental data collection, the flow capacity of the basin, and obstruction of drainage sections. Finally, it is recommended as a continuation of this study an analysis of a larger number of empirical equations for the Mineirinho Basin and/or maintenance of hydrological monitoring to apply more robust tests and develop a TC model specific to the studied area.

Keywords: Time of Concentration; Urban Basin; Hydrological models.

1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana ocorrida no Brasil, principalmente após a segunda metade do século XX, caracterizou-se pela falta de planejamento, culminando em um crescimento desordenado nos centros urbanos.

Esse crescimento desordenado foi marcado pela impermeabilização de grandes áreas, supressão das matas ciliares e ocupação irregular dos leitos dos rios (CANHOLI, 2005). Ou seja, este crescimento tipifica-se pela alteração das características morfológicas da bacia e da impermeabilização do solo (FARIAS JÚNIOR; BOTELHO, 2011) sem um planejamento adequado.

Os principais impactos decorrentes desse processo são o aumento do volume de Escoamento Superficial Direto (ESD), resultando no agravamento das enchentes naturais, o aumento de sua ocorrência e surgimento de novos pontos (CRUZ, SOUZA e TUCCI, 2007). Uma das soluções para este tipo de problema é o dimensionamento de obras hidráulicas, sendo o Tempo de Concentração (TC) o parâmetro temporal mais utilizado.

McCuen, Wong e Rawls (1984) apresentam duas definições para Tempo de Concentração. A primeira, mais didática, conceitua TC como o tempo requerido pela partícula de água escoar do ponto hidráulicamente mais distante até o exutório da bacia. A segunda define este parâmetro como a diferença temporal entre o centro de massa da precipitação efetiva e o ponto de inflexão no hidrograma de ESD. Uma alternativa é calcular o TC como a diferença entre o fim da precipitação efetiva e o ponto de inflexão do hidrograma.

Independentemente da definição escolhida, não há um método universalmente aceito para a determinação de TC (MCCUEN, WONG e RAWLS, 1984), sendo comum o emprego de formulações empíricas para sua estimativa. Essas formulações geralmente requerem algumas das características fisiográficas da área de estudo e/ou um índice de precipitação como dados de entrada. A dificuldade, por sua vez, reside em escolher a formulação empírica mais adequada (ALMEIDA et al., 2014, 2016; MCCUEN, WONG e RAWLS, 1984; SALIMI et al., 2017; SHARIFI e HOSSEINI, 2011) ou em adotar uma formulação conhecendo suas limitações e possíveis extrapolações (SILVEIRA, 2005).

Em razão do exposto, o presente trabalho visa comparar e avaliar o valor de TC estimado por quatro formulações empíricas com os valores observados em uma bacia hidrográfica em processo de urbanização localizada no interior do estado de São Paulo (SP) e relacionar fatores da urbanização com a drenagem urbana.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do Córrego do Mineirinho localizada na cidade de São Carlos (SP). A área da bacia é de 5,85 km², com elevação variando entre 780 e

872 metros. O Córrego do Mineirinho, curso hídrico principal, apresenta comprimento de 4.320 metros, dos quais 3.694 são canais bem definidos, e declividade equivalente de 20,99 m/km (CDCC, 2013).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima é subtropical úmido (Cwa) com inverno seco (abril a setembro) e verão chuvoso (outubro a março), sendo a precipitação anual média de 1521 mm. A temperatura média do mês mais quente é de cerca de 23°C e a do mês mais frio de 18°C (TOLENTINO, 2007).

O solo predominante na bacia é o Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (LVAd) (EMBRAPA, 2018; ROSSI, 2017), cujos usos predominantes são Área Urbana (36,70%), Vegetação (22,67%), Solo Exposto (18,22%), Áreas Agrícolas (14,12%) e Pastagens (8,29%). A Figura 2 ilustra a situação do uso e ocupação do solo para a bacia do Mineirinho.

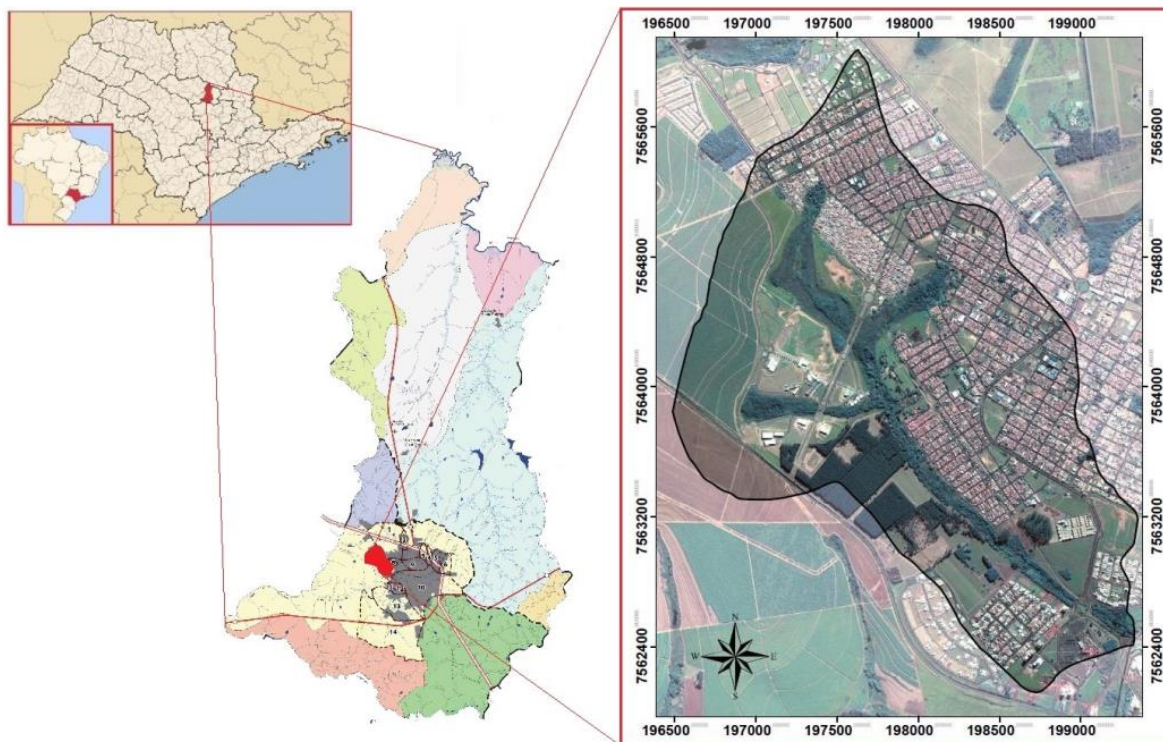


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Córrego do Mineirinho. Fonte: Angelini Sobrinha et al. (2014).

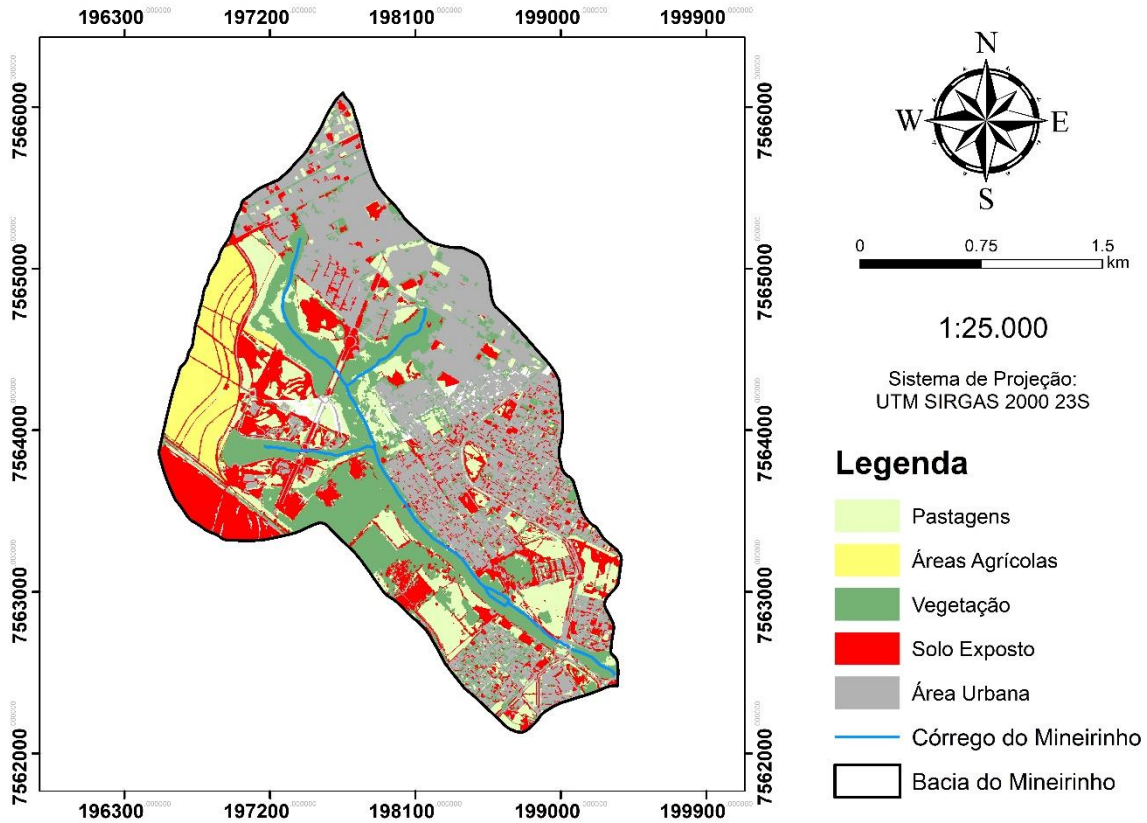


Figura 2 – Mapa de uso e ocupação do solo da Bacia Hidrográfica do Córrego do Mineirinho.

2.2 EVENTOS CHUVA-VAZÃO OBSERVADOS

A coleta de dados de precipitação e vazão foi feita entre abril de 2014 e março de 2015 por meio uma rede de monitoramento hidrológico descrita por Angelini Sobrinha et al. (2014), ilustrada na Figura 3. Os dados de precipitação foram medidos por quatro pluviógrafos de balsa (modelo TB4), sendo a precipitação média calculada pelo método dos polígonos de Thiessen. Os dados de vazão foram obtidos por uma sonda acústica instalada próximo ao exutório da bacia. A discretização temporal dos dados de precipitação e de vazão foi de dois minutos. A Figura 3 ilustra a rede de monitoramento hidrológico e a área de influência de cada pluviógrafo.

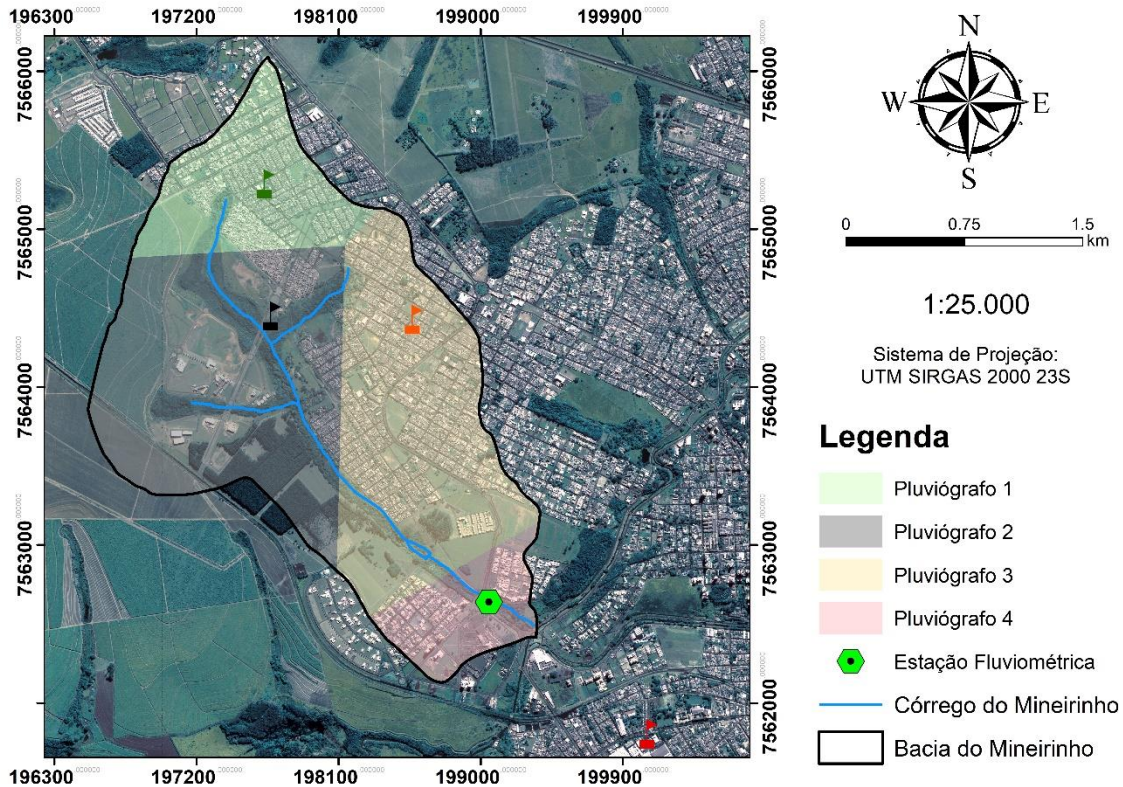


Figura 3 – Localização espacial da rede de monitoramento hidrológico. Fonte: adaptado de Angelini Sobrinha et al. (2014)

Dois critérios foram adotados para a seleção dos eventos chuva-vazão. O primeiro é que o evento de precipitação fosse medido pelos quatro pluviógrafos e apresentasse valores próximos de volume de chuva, indicando uma maior homogeneidade da chuva sobre a bacia. O segundo critério de seleção é que a vazão de pico do hidrograma coletado pela sonda acústica seja superior a $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$ e que não haja erros de medida apontados pelo sistema interno deste equipamento.

2.3 CÁLCULO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO POR EVENTO

O TC foi calculado por evento chuva-vazão medido como a diferença temporal entre o fim da precipitação média e o ponto de inflexão no hidrograma de ESD, instante temporal que marca o fim do ESD em cada evento. Para o presente estudo, optou-se por utilizar a precipitação média ao invés da precipitação efetiva de maneira a simplificar os cálculos (FARIAS JÚNIOR e BOTELHO, 2011), não requerendo a estimativa ou calibração de modelos de determinação de precipitação efetiva ou de infiltração.

Para auxiliar na execução dessa etapa, os respectivos hietogramas e hidrogramas de cada evento foram plotados no mesmo gráfico. O ponto de inflexão do hidrograma foi determinado de maneira visual.

2.4 ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO POR FORMULAÇÕES EMPÍRICAS

Quatro formulações empíricas de TC foram utilizadas na presente pesquisa: Bransby-Williams (Equação 1), Dooge (Equação 2), Kirpich (Equação 3) e a proposta pelo *Soil Conservation Service* (SCS), atual *Natural Resources Conservation Service* (NRCS) (Equação 4), conforme apresentadas por Almeida et al. (2014) e Silveira (2005).

$$TC_{Bransby-Williams} = 14,60 \cdot L_t \cdot A^{-0,10} \cdot S_t^{-0,20} \quad \text{Equação 1}$$

$$TC_{Dooge} = 21,9 \cdot A^{0,41} \cdot S_t^{-0,17} \quad \text{Equação 2}$$

$$TC_{Kirpich} = 3,99 \cdot L_t^{0,77} \cdot S_t^{-0,385} \quad \text{Equação 3}$$

$$TC_{SCS} = 3,42 \cdot L_t^{0,80} \cdot S_b^{-0,50} \cdot (1000/CN - 9)^{0,70} \quad \text{Equação 4}$$

Sendo TC o valor estimado do tempo de concentração (minutos), L_t o comprimento do talvegue (km), A a área da bacia (km^2), S_t a declividade equivalente do talvegue (m/m), S_b a declividade equivalente da bacia (m/m) e CN o número da curva, parâmetro adimensional que varia de 0 a 100 e reflete as características de geração de ESD de determinado solo.

As formulações foram escolhidas em razão de estarem presentes no Sistema de Suporte à Decisão Análise de Bacias Complexas 6 (SSD-ABC6) (OLIVEIRA et al., 1999), software gratuito que auxilia o usuário a determinar hidrogramas de cheias e análises de enchentes e inundações (BRANDÃO; BARROS, 2007; BURCHALES; SILVA, 2007; GALBETTI, 2015; NAKAYAMA et. al., 2011; SANTANA, AGUIAR NETTO e MÉLLO JÚNIOR, 2007; SANTOS, ASSIS e SILVA, 2007; SILVEIRA, 2010). A Tabela 1 apresenta as recomendações de uso das formulações escolhidas.

Tabela 1 - Recomendações de uso das formulações escolhidas.

Fórmulas	Recomendações de Uso
Bransby Williams	Bacias hidrográficas rurais com área inferior a 130 km ² (GERICKE; SMITHERS, 2013)
Dooge	Bacias hidrográficas rurais com área entre 140 e 930 km ² e escoamento predominante por canais (PORTO, 1995)
Kirpich	Bacias hidrográficas rurais com área entre 0,004 e 0,453 km ² , canais bem definidos e declividade da bacia hidrográfica variando de 3 a 10% (GERICKE; SMITHERS, 2013; SILVEIRA, 2010)
SCS	Bacias hidrográficas com área até 8 km ² com predominância do escoamento em superfícies (KENT, 1997).

Os dados fisiográficos necessários para a aplicação das formulações supracitadas foram obtidos por meio dos dados topográficos presentes na Base Topográfica do Município de São Carlos gentilmente cedida pelo Centro de Divulgação Científica e Cultural (CDCC) da Universidade de São Paulo (USP) Campus de São Carlos (CDCC, 2013), auxiliado com software de Sistema de Informação Geográfica ArcGIS 10.1.

2.5 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS E TESTE DE HIPÓTESES

Para avaliar melhor o conjunto de TC observados, as seguintes estatísticas descritivas foram calculadas: média, mediana, desvio padrão amostral (DPA), coeficiente de variação (CV), valores máximo (MAX) e mínimo (MIN) observados e amplitude (AMP).

Para determinar a melhor formulação empírica para estimativa de TC na bacia do Mineirinho, os valores estimados (Item 2.4) foram comparados ao valor da média dos valores de TC observados por evento (Item 2.3) por meio do Teste para Média (Teste T-Student). O Teste T-Student foi aplicado com nível de significância (α) de 5% adotando as seguintes hipóteses:

$$H_0: TC_i = \overline{TC_{obs}}$$

$$H_1: TC_i \neq \overline{TC_{obs}}$$

Sendo TC_i o tempo de concentração estimado pela Equação 1, Equação 2, Equação 3 ou Equação 4 e $\overline{TC_{obs}}$ a média dos valores de tempo de concentração observados.

O critério de rejeição da hipótese nula (H_0) é caso o p-valor, estatística de avaliação, seja inferior à α .

3 ANÁLISE DE RESULTADOS**3.1 EVENTOS CHUVA-VAZÃO E TC OBSERVADOS**

Durante o período de coleta de dados, 9 eventos atenderam aos critérios propostos na presente pesquisa (Item 2.2), os quais são apresentados na Tabela 2. A aplicação das estatísticas descritivas encontra-se na Tabela 3, sendo o valor de TC médio calculado de 75,4 minutos. A Figura 4 ilustra hieto-hidrograma produzido para o evento chuva-vazão ocorrido no dia 14/12/2014 (Evento 4).

Tabela 2 - Eventos selecionados e seus respectivos valores de TC.

Evento	Data	Precipitação (mm)	Duração (min)	Intensidade média (mm/min)	TC (min)
1	08/11/2014	46,13	186	0,25	113,4
2	11/12/2014	15,09	72	0,21	88,3
3	12/12/2014	12,40	28	0,44	46,8
4	14/12/2014	14,72	26	0,57	82,6
5	22/12/2014	19,28	60	0,32	100,1
6	21/01/2015	11,48	40	0,29	63,6
7	29/01/2015	7,09	30	0,24	76,8
8	31/01/2015	10,85	34	0,32	52,0
9	25/02/2015	39,87	56	0,71	55,4

Tabela 3 - Descrição estatística do grupo amostral experimental.

Média	Mediana	DPA	CV	MAX	MIN	AMP
75,4	76,8	22,9	30%	113,4	46,8	66,6

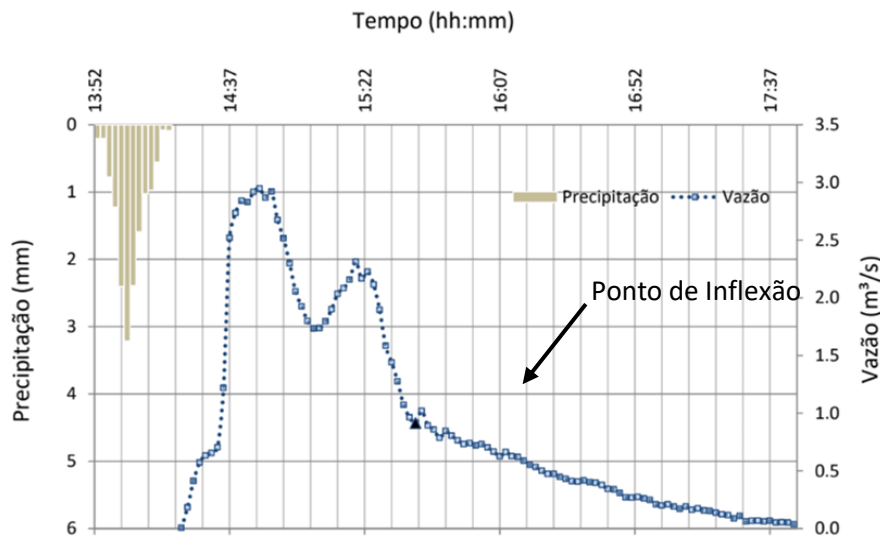


Figura 4 - Hieto-Hidrograma do evento do dia 14/12/2014.

Os eventos medidos (Tabela 2) caracterizam-se por sua pequena magnitude consequência direta do fenômeno popularmente conhecido como “Crise Hídrica” caracterizado pelo expressivo déficit hídrico ocorrido entre os anos hidrológicos de 2012 e 2016, com valor crítico no ano hidrológico de 2014/15 (NOBRE et. al., 2016). Portanto, durante o íterim de execução da pesquisa, não houve eventos críticos ou de grandes eventos de precipitação sucessivos que permitissem avaliar melhor o comportamento dos dados de chuva-vazão e, conseqüentemente, do parâmetro temporal TC.

3.2 ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

A Tabela 4 apresenta os dados fisiográficos da bacia do Mineirinho, sendo o valor de CN utilizado de 81,41 conforme sugerido por Paulino (2014). A Tabela 5, por sua vez, apresenta os valores de TC estimados por meio das formulações empíricas selecionadas.

Tabela 4 - Dados fisiográficos da bacia e suas respectivas referências.

Parâmetro	Valor	Unidade
L_t	4,95	km
A	5,85	km ²
S_t	0,0185	m/m
S_b	0,0174	m/m
CN	81,41	-

Tabela 5 - TC estimados por meio das formulações selecionadas

Fórmulas	TC (min)
Bransby-Williams	134,53
Dooge	89,03
Kirpich	63,53
SCS	214,23

Analisando a Tabela 5, nota-se que os valores estimados de TC diferem consideravelmente entre si, resultado da diferença entre os parâmetros fisiográficos de entrada necessários em cada formulação. Dentre as estimativas, destaca-se o valor elevado de TC obtido pela aplicação da fórmula do SCS, caracterizada por ser a única a incorporar o fator de uso e ocupação do solo, em comparação com as demais.

Deve ser mencionado que em uma análise inicial a bacia do Mineirinho não atende às recomendações de uso das formulações escolhidas. Comparando os dados fisiográficos (Tabela 4) e as recomendações de cada formulação (Tabela 1), percebe-se que: a formulação de Bransby-Williams não atende ao critério de tipo de bacia, visto essa formulação ser recomendada para bacias rurais e a bacia do Mineirinho encontra-se em urbanização; Dooge não atende ao critério de tipo de bacia e de tamanho da área de drenagem; Kirpich: não atende ao critério do tipo de bacia e tamanho da área de drenagem; e a formulação do SCS não atende ao critério do tipo de bacia e ao tipo de escoamento predominante. Porém, apesar das condições de contorno das formulações não serem respeitadas, há a possibilidade de produzirem bons resultados conforme observado por Silveira (2005).

3.3 DETERMINAÇÃO DA MELHOR FORMULAÇÃO DE TC

A aplicação do Teste T-Student encontra-se na Tabela 6. Analisando-a, percebe-se que as formulações de Dooge e Kirpich não conseguiram rejeitar a hipótese H_0 . Ou seja, os valores de TC estimados por essas formulações são estatisticamente iguais ao valor médio calculado.

Tabela 6 - Resultado da aplicação do Teste T-Student.

Fórmula	p-valor
Bransby-Williams	2.73E-05
Dooge	0,056
Kirpich	0,078
SCS	4.23E-08

Devido ao pequeno número de eventos medidos e uma baixa magnitude, sugere-se a aplicação da formulação de Kirpich na bacia do Mineirinho. A sugestão é justificada por dois motivos. O primeiro é decorrente que vários autores (BENINI, 2005; GALBETTI, 2015; PONTREMOLEZ, 2013) utilizaram a presente equação, produzindo resultados adequados para estimar eventos de cheia na bacia do Mineirinho. O segundo motivo advém dos melhores resultados obtidos por Silveira (2005) ao aplicar a formulação de Kiprich, em relação à de Dooge, ao e comparar os resultados com valores observados em conjuntos de dados.

3.4 URBANIZAÇÃO NA BACIA DO CÓRREGO DO MINEIRINHO

A diferença entre os TC's obtidos experimentalmente e estimados pelas formulações podem ter sido resultado da presença de material sólido na rede de drenagem da bacia em análise, pois isto alteraria a leitura da lâmina d'água pela sonda acústica, alterar a capacidade de escoamento da bacia ou até causar entupimento de seções de drenagem. Por isso, optou-se por destacar esta temática para discutir as implicações da urbanização sobre a drenagem urbana.

Os resíduos sólidos urbanos são os principais geradores de material sólido em uma bacia urbana consolidada, sendo indispensável a identificação das fontes geradoras e realização de estudos sobre a quantidade e composição dos resíduos transportados na rede de drenagem (CORDOBA et al., 2013; NEVES; TUCCI, 2008). A geração de resíduos sólidos é diretamente proporcional ao nível de urbanização do município (TUCCI, 2002), havendo três estágios distintos de produção de material sólido na rede de drenagem, sendo estes:

- Inicial: ocorre a modificação da cobertura da bacia, predominando sedimentos e há pequena produção de resíduos domiciliares;
- Intermediário: parte da população está estabelecida e a produção de resíduos domiciliares da população se soma ao processo de produção de sedimentos;
- Final: superfície urbana já se encontra consolidada e resulta apenas na produção de resíduos domiciliares, com menor parcela de sedimentos.

Os sólidos totais atingem a rede de drenagem de acordo com a frequência e cobertura da coleta de resíduos sólidos e da limpeza urbana, forma de disposição dos resíduos sólidos e a ocorrência de precipitação (TUCCI, 2002). Segundo a ABRELPE (2015), os resíduos sólidos urbanos gerados em 2014 foi aproximadamente 61.344 t/dia, sendo que somente 60.810 t/dia foram coletados. Há portanto, cerca de 534 t/dia remanescente que não são coletados, cuja parcela atinge a rede de drenagem inevitavelmente.

No caso da Bacia do Córrego do Mineirinho, o Plano Municipal de Saneamento Básico de São Carlos (PMSC, 2012) relatou que a bacia apresentava problemas de inundações, modificação da vegetação ciliar nas redondezas de suas nascentes (contribuição na geração de sedimentos) e presença de resíduos sólidos nas margens e ocupações próximas ao leito do córrego (materiais grosseiros), principalmente nas regiões que passa por loteamentos de baixa renda (Bairro Santa Angelina).

Tarpani (2008) também identificou a presença de pontos críticos de erosão em alguns pontos da bacia, presença de solo exposto em algumas partes dos afluentes, depósito de lixo inadequado, assoreamento e supressão de vegetação nativa. Isto fortalece a hipótese de que a geração de sedimentos e a presença de resíduos sólidos na rede de drenagem podem ter alterado a leitura da sonda acústica e a capacidade de escoamento.

Em contrapartida, a percepção ambiental da população da bacia é considerada razoável por Silva et. al. (2015), onde os autores aplicaram um questionário para avaliar a influência de aspectos sociais na percepção ambiental da população da bacia, e foi observado que:

- 83% da população da bacia não buscam informações sobre a qualidade ambiental da área;
- 69% identificam presença de resíduos sólidos e entulhos depositados inadequadamente;
- 71% afirmam não ter tempo e recursos financeiros para contribuir com a conservação do ambiente.

Dados os diversos problemas de degradação ambiental na bacia, é evidente a necessidade de medidas mitigadoras e preventivas que visem o equilíbrio entre a qualidade ambiental e os avanços antrópicos. Para tal, é necessário fazer um planejamento urbano que integre diferentes componentes de forma sistemática, principalmente no contexto da Bacia do Mineirinho que ainda não possui uma urbanização consolidada.

As ações preventivas devem ser priorizadas, pois os custos das soluções dos problemas relacionados com a água diminuem. Tucci e Bertoni (2003) afirmam que o custo das obras de contenção estrutural é 500 vezes maior do que os custos de um planejamento não-estrutural de controles preventivos da drenagem urbana. Por exemplo, uma urbanização planejada poderia adotar planos de ações como implementação de calçadas verdes, reserva e armazenamento de águas de chuva, denúncia de descartes inadequados de resíduos sólidos e programas de educação ambiental. Inclusive, a educação ambiental é capaz de abordar diferentes temas simultaneamente, como destinação correta dos resíduos gerados, conservação

das nascentes e das APP's (Áreas de Proteção Permanentes), uso consciente da água, coleta de águas pluviais, entre outros.

4 CONCLUSÃO

Tendo em vista a importância de desenvolver estudos hidrológicos que visem o desenvolvimento e planejamento urbano sustentável, este estudo teve como objetivo selecionar a fórmula para estimativa de TC mais adequado para a bacia do córrego do Mineirinho.

Em razão dos resultados obtidos, a fórmula mais indicada para a área em estudo é a de Kirpich, pois os resultados obtidos foram estatisticamente relevantes. Além da sua eficiência na bacia em estudo, a eficiência dessa equação já foi testada e demonstrada em outras pesquisas, aumentando sua confiabilidade.

Apesar do bom resultado, recomenda-se que estudos considerando um maior número de equações empíricas sejam realizados de maneira a encontrar equações que estimem TC na bacia do Mineirinho o mais próximo possível dos valores observados. Recomenda-se, também, a manutenção do monitoramento hidrológico visto que a coleta de dados chuva-vazão permite a aplicação de testes mais robustos e a criação de uma formulação própria para a bacia em questão, auxiliando na obtenção de resultados mais confiáveis.

Por fim, a falta de planejamento do processo de urbanização na Bacia do Córrego do Mineirinho resultou em outros impactos ambientais além daqueles voltados à drenagem urbana. Dentre eles, destaca-se a presença de resíduos sólidos dispostos inadequadamente ao longo da extensão da Bacia, o que pode ter influenciado nos resultados experimentais deste trabalho. Isto ressalta a importância do desenvolvimento urbano ser de forma planejada e interdisciplinar, englobando diversos fatores de forma sistemática para prevenir a ocorrência destes impactos.

AGRADECIMENTOS

À USP pela Bolsa Institucional RUSP de Iniciação Científica e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pela bolsa de mestrado.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014. ABRELPE. São Paulo: 2015.

ALMEIDA, I. K. de; 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. **Geociencias**, v. 33, n. 4, p. 661–671, 2014.

ALMEIDA, I. K. de; ALMEIDA, A. K.; STEFFEN, J. L.; ALVES SOBRINHO, T. Model for Estimating the Time of Concentration in Watersheds. **Water Resources Management**, v. 30, n. 12, p. 4083–4096, 2016.

ANGELINI SOBRINHA, L.; MARTINS, L. G. B.; GENOVA, R. M.; et al. **Challenges of the hydrological monitoring of small hydrographic basins: case study of the Mineirinho stream basin, São Carlos (SP, Brazil)**. In: 6th International Conference on Flood Management. Anais..., 2014.

BENINI, R. M. **Cenários de Ocupação Urbana e seus Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Córrego do Mineirinho**. Dissertação. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2005.

BRANDÃO, J. L. B.; BARROS, M. T. L. de. **Determinação de áreas de inundação para uma bacia urbana**. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Anais... 2007.

BURCHALES, L. G. E.; SILVA, S. M. C. P. Avaliação do volume de água pluvial drenado em um empreendimento habitacional: estudo de caso em Londrina - PR. **Ambiente Construído - Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**. v. 7, n. 2, p. 45–57, 2007.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CDCC, C. DE D. C. E C. **Base Cartográfica do município de São Carlos (SP)**, 2013. Disponível em: <<http://www.cdcc.usp.br/>>.

CORDOBA, R. E.; CASTRO, M. A. S. de.; MARTINS, L. G. B.; SCHALCH, V. Avaliação Dos Impactos De Resíduos Sólidos Em Sistemas De Micro Drenagem Urbana – Estudo De Caso Em Campus Universitário. **ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 1–10, 2013.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI, C. E. M. **Controle Da Drenagem Urbana No Brasil : Avanços E Mecanismos Para Sua Sustentabilidade**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, n. 51, p. 1–18, 2007.

EMBRAPA, **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5o ed. Rio de Janeiro, 2018.

- GALBETTI, M. V. **Comparação dos modelos hidrológicos presentes no SSD ABC6 aplicados a uma bacia urbana**. Dissertação. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2015.
- GERICKE, O. J.; SMITHERS, J. C. 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, 2013.
- FARIAS JÚNIOR, J. E. F. de; BOTELHO, R. G. M. **Análise Comparativa do Tempo de Concentração: Um Estudo de Caso na Bacia do Rio Cônego, Município de Nova Friburgo/RJ**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, n. 21, p. 1–20, 2011.
- Prefeitura Municipal de São Carlos. **Plano Municipal de Saneamento - São Carlos / SP - PMSSanCa**. PMSC, São Carlos: 2012.
- MCCUEN, R. H.; WONG, S. L.; RAWLS, W. J. Estimating Urban Time of Concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 110, n. 7, p. 887–904, 1984.
- NAKAYAMA, P. T.; MENDES, J. B.; LOBO, G. D. A.; SILVEIRA, G. M. da. **Avaliação do parâmetro CN do Método do Soil Conservation Service (SCS) nas Bacias do Ribeirão dos Marins e Córrego Bussocaba - Estado de São Paulo**. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais. p.1–16, 2011.
- NEVES, M. G. F. P. das; TUCCI, C. E. M. Resíduos Sólidos na Drenagem Urbana: Aspectos Conceituais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, p. 125–135, 2008.
- NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SELUCHI, M. E.; CUARTAS, L. A.; ALVES, L. M. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 08, n. 02, p. 252–262, 2016.
- OLIVEIRA, C. de P. M.; PORTO, R. L. L.; ZAHED FILHO, K.; ROBERTO, A. N. **ABC 6, UM SISTEMA DE SUPORTE A DECISÕES PARA ANÁLISE DE CHEIAS EM BACIAS COMPLEXAS**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 18, 1999.
- PAULINO, P. F. **Estudo sobre a Sensibilidade dos Parâmetros do Método SCS na Determinação de Hidrogramas de Cheia em Bacias Urbanas**. Dissertação. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2014.
- PONTREMOLEZ, N. S. **Estudo das inundações em cenários alternativos de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Córrego do Mineirinho em São Carlos, SP**. Dissertação. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2013.

PORTO, R. L. L. **Escoamento Superficial Direto**. In: C. E. M. Tucci; R. L. L. Porto; M. T. de Barros (Orgs.); *Drenagem Urbana*. 1o ed, p.107–166, Porto Alegre - RS: ABRH/ Editora da Universidade/UFRGS, 1995.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: SMA/SP, Secretaria do Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo, 2017.

SALIMI, E. T.; NOHEGAR, A.; MALEKIAN, A.; HOSEINI, M.; HOLISAZ, A. Estimating time of concentration in large watersheds. **Paddy and Water Environment**, v. 15, n. 1, p. 123–132, 2017.

SANTANA, J. L. S. de; AGUIAR NETTO, A. de O.; MÉLLO JÚNIOR, A. V. **Impacto da precipitação e de vazão máximas em obras de infra-estrutura em uma sub-bacia do semi-árido de Sergipe**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, , n. 79, p. 1–15, 2007.

SANTOS, V. D. dos; ASSIS, D. C. A. de; SILVA, T. C. da. **Drenagem Urbana de Áreas Especiais: O caso da bacia endorreica da Lagoa do Buracão em João Pessoa - Paraíba**. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1–20, 2007.

SHARIFI, S.; HOSSEINI, S. M. 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, 2011.

SILVA, M. P.; PICHARILLO, C.; SILVA, G. C. da.; SILVA, F. L. da.; FONÇALVES, J. C. Análise da influência dos aspectos sociais na percepção ambiental da população residente na microbacia do Córrego do Mineirinho, município de São Carlos-SP. **EIXO**, v. 4, n. 2, p. 91–99, 2015.

SILVEIRA, A. L. L. da. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, p. 5–23, mar. Porto Alegre - RS. 2005.

SILVEIRA, G. M. da. **Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta**. Dissertação. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2010.

TARPANI, R. R. Z. **Análise Ambiental de Micro-Bacia Hidrográfica Visando a Prevenção de Danos Ambientais e Econômicos**. Trabalho de Conclusão de Curso. São Carlos: Universidade de São Paulo, 2008.

TOLENTINO, M. **Estudo Crítico sobre o clima da região de S.Carlos**. São Carlos: EdUFSCar, Editora Imprensa Oficial, 2007.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5–27, 2002.

Brazilian Journal of Development

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. 1. ed. Porto Alegre - RS: ABRH, 2003.

KENT, K. M. **Time of Concentration**. In: USDA Natural Resources Conservation Service (NRCS). National Engineering Handbook. p.29, 1997. Washington, D.C.: U.S. Dept. of Agriculture, Soil Conservation Service, 1997. p. 15.1-15.11.