

Artigo

Comparação entre o tempo de concentração estimado pelo método cinemático NRCS e as equações empíricas em duas microbacias urbanas de Marechal Cândido Rondon (PR)

Boletim Paulista de Geografia

Nº: 113

Ano: 2025



OSCAR VICENTE QUINONEZ FERNANDEZ

Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste)

oscar.fernandez@unioeste.br



HENRIQUE DA SILVA PIZZO

Dep. de Medição e Controle da Cia. de Saneamento Municipal de

Juiz de Fora

henrique.dipizzo@gmail.com

FERNANDEZ, Oscar V. Q; PIZZO, Henrique da Silva. Comparação entre o tempo de concentração estimado pelo método cinemático NRCS e as equações empíricas em duas microbacias urbanas de Marechal Cândido Rondon (PR). **Boletim Paulista de Geografia**, v. 1, n. 113, p. 273–289, 2025. <https://doi.org/10.61636/bpg.v1i113.3432>.

Recebido em: 10 de abril de 2024

Aceito para publicação em: 25 de mar de 2025



Comparação entre o tempo de concentração estimado pelo método cinemático NRCS e as equações empíricas em duas microbacias urbanas de Marechal Cândido Rondon (PR)

Resumo

O objetivo do trabalho é estimar o tempo de concentração (T_c) de duas microbacias urbanas pelo método cinemático NRCS e compará-lo com valores de T_c calculados pelas equações empíricas mais comumente utilizadas na literatura. As microbacias estão situadas na sede urbana de Marechal Cândido Rondon, região Oeste do Paraná e fazem parte da cabeceira dos córregos Guará e Borboleta, denominadas neste trabalho de ponto Unioeste e Peixe Frito respectivamente. O T_c obtido pelo método cinemático NRCS e as equações empíricas foram comparados mediante o erro percentual objetivando conhecer os métodos empíricos que forneceram os resultados mais próximos com o método cinemático, tido como referência. Os resultados obtidos mostram que a maioria das equações empíricas tenderam a subestimar ou superestimar em diversas magnitudes o T_c em comparação com os valores estimados pelo método cinemático NRCS. Esta tendência foi observada em equações empíricas de aplicação tanto em bacias rurais como urbanas. Nenhum método empírico se destacou em ambas as cabeceiras. As duas microbacias apresentaram alto grau de urbanização (>90%), entretanto suas características morfométricas são diferentes, a microbacia Unioeste apresenta menor declividade e forma ovalada, enquanto a microbacia Peixe Frito possui maior declividade e forma muito alongada. Estas condições de urbanização e morfometria ensejaram o destaque das equações do Corps Engineers, Desbordes e McCuen (de aplicações rural, urbana e urbana respectivamente) no ponto Unioeste e as fórmulas de Carter, Picking e Kirpich (fórmulas urbana, rural e rural respectivamente) no ponto Peixe Frito.

Palavras-chave: Urbanização; Drenagem urbana; Oeste do Paraná.

Comparison between the time of concentration estimated by the NRCS velocity method and the empirical equations in two urban watershed at Marechal Cândido Rondon, Parana State, Brazil

Abstract

The objective of the work is to estimate the concentration time (T_c) of two small urban watersheds using the NRCS kinematic method and compare it with T_c values calculated by the empirical equations most commonly used in the literature. The urban watersheds are located at Marechal Cândido Rondon, Western region of Paraná state, Brazil and are part of the headwaters of the Guará and Borboleta streams, called in this paper the Unioeste and Peixe Frito points respectively. The T_c obtained by the NRCS kinematic method, and the empirical equations were compared using the percentage error, aiming to identify the empirical methods that provided the closest results with the kinematic method, taken as a reference. The results obtained show that most empirical equations tended to underestimate or overestimate T_c by various magnitudes in comparison with the values estimated by the NRCS kinematic method. This trend was observed in empirical equations applied to both rural and urban basins. No empirical method stood out in either watershed. The two watersheds presented a high degree of urbanization (>90%), however their morphometric characteristics are different, the Unioeste point has a lower slope and an oval shape, while the Peixe Frito point has a higher slope and a very elongated shape. These conditions of urbanization and morphometry gave rise to the prominence of the Corps Engineers, Desbordes and McCuen equations (of rural, urban and urban applications respectively) at the Unioeste point and the Carter, Picking and Kirpich formulas (urban, rural and rural formulas respectively) at the Peixe Frito point.

Keywords: Urbanization; Urban drainage; West Parana state.

INTRODUÇÃO

O tempo de concentração (T_c) é um parâmetro hidrológico essencial, que representa o tempo de resposta da bacia hidrográfica em um sistema chuva-vazão. A aplicação de muitos modelos simples de escoamento pluvial é baseada naquele parâmetro. No entanto, apesar da alta correlação entre o pico do escoamento superficial e o tempo de concentração, esse parâmetro é definido de forma muito vaga na literatura e é calculado de forma bastante subjetiva na prática (AKAN, 1986). Pavlovic e Moglen (2008) reforçam a importância dessa dimensão temporal, no sentido de atribuição de uma escala de tempo representativa da bacia hidrográfica, o que caracteriza a velocidade na sensibilização daquela a partir das precipitações ocorridas.

De acordo com Ravazzani et al. (2019), dentre todos os parâmetros de escala de tempo, os clássicos manuais de hidrologia mencionam o tempo de concentração (T_c) como sendo aquele mais utilizado para estimar a vazão de projeto. Segundo os mesmos autores, o T_c é amplamente utilizado na concepção de sistemas urbanos de águas pluviais e de estruturas hidráulicas, sendo definido como o tempo necessário para que o escoamento superficial resultante de uma precipitação efetiva, com uma distribuição espacial e temporal uniforme numa bacia hidrográfica, contribua para a vazão de pico no ponto de interesse.

Mudashiru et al. (2019) apontam que, nas bacias hidrográficas com medição, o T_c pode ser estimado a partir da precipitação e um hidrograma de escoamento, enquanto nas bacias sem medição são utilizadas equações empíricas. Agunwamba e Mmonwuba (2021) relatam que muitos investigadores desenvolveram equações empíricas utilizando métodos experimentais e analíticos para estimar o T_c . Todavia, cada equação resultou de estudo específico, realizado em determinado domínio, demonstrando o caráter particular daquelas.

Os procedimentos utilizados para estimar o T_c dependem de vários fatores, tais como as características da bacia hidrográfica (especialmente a área de drenagem), as condições climáticas, os dados disponíveis e o tempo de execução do projeto (SALIMI et al., 2016). Os erros no cálculo do T_c conduzem a uma estimativa incorreta da vazão de projeto, o que pode levar ao super ou subdimensionamento das instalações projetadas, eventualmente trazendo grandes consequências econômicas e ambientais (ZOLGHADR et al., 2022). Bondelid et al. (1982), apud Fang et al. (2008), indicam que até 75% do erro total nas estimativas do pico de vazão pode resultar de imprecisões na estimativa de T_c .

Zahraei et al. (2021) registram que vêm sendo efetuadas numerosas investigações a fim de estudar o Tc em bacias hidrográficas com e sem medição, sendo que, nessa última tipologia, os métodos empíricos são largamente utilizados. Complementam afirmando que cada método empírico é desenvolvido em uma determinada região, com características físicas e climáticas específicas e que, quando esses métodos são utilizados em áreas diversas da de origem, a sua exatidão deve ser avaliada e, se necessário, as suas equações devem ser modificadas.

De acordo com Menezes Filho e Sá (2019), muitas vezes subestima-se as faixas de aplicação das equações empíricas para a determinação de Tc. Ainda verifica-se a não utilização do método da velocidade do Natural Resources Conservation Service (NRCS), o mais recomendado para o cálculo do referido tempo em bacias urbanas. Dessa forma, os pesquisadores apresentam um artigo onde analisam qual a estimativa de Tc, a partir do contraste entre as soluções das equações empíricas com aquelas do método da velocidade, resulta no melhor ajuste de projeto.

Para diversas bacias hidrográficas de interesse, trabalhos avaliam o desempenho de fórmulas empíricas para estimativas de Tc tendo como parâmetro de comparação o Tc calculado via método do NRCS, considerado como o de referência (ECHEVERRI-DÍAZ et al., 2022; GONZÁLEZ-ÁLVAREZ et al., 2020; SHARIFI e HOSSEINI, 2011).

Nesse sentido, procurando seguir a linha mencionada, o objetivo do presente trabalho é calcular o tempo de concentração de duas microbacias na sede urbana de Marechal Cândido Rondon pelo método cinemático NRCS (ou da velocidade) e comparar com valores do tempo de concentração estimados pelas equações empíricas mais comumente utilizadas na literatura.

ÁREA DE ESTUDO

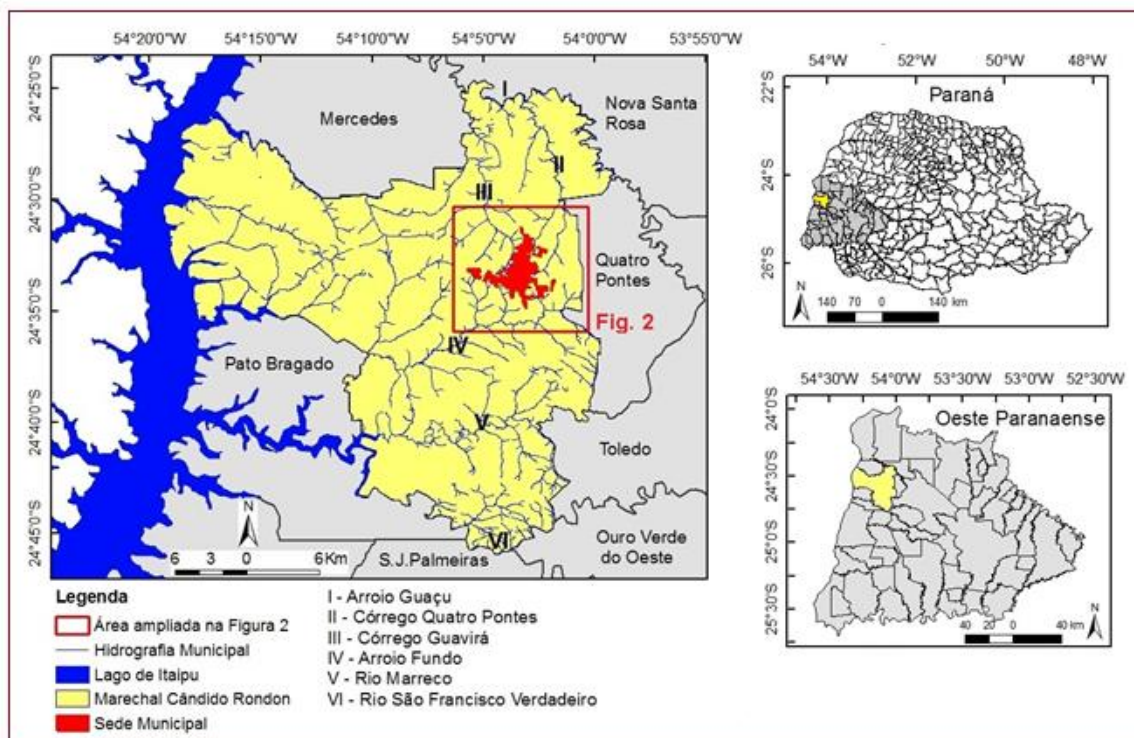
O município de Marechal Cândido Rondon está situado na mesorregião Oeste do Paraná (Figura 1), possui 745,7 km² de área, a população estimada para 2023 é de 54.031 habitantes e a economia é baseada nas atividades agrícola (soja e milho) e pecuária (suínos e produção de leite) (IBGE, 2023).

Na região Oeste paranaense afloram rochas basálticas de idade Cretácea agrupadas estratigraficamente na Formação Serra Geral (NARDY et al., 2002). A região está inserida na unidade morfoescultural denominada Terceiro Planalto Paranaense (MAACK, 2012), cujo relevo regional é caracterizado por um grau de dissecação média e alta, topos alongados com cristas e, vertentes convexas e retilíneas (SANTOS et al., 2006). O clima no município de Marechal Cândido Rondon, de

acordo com a classificação de Köppen é do tipo Cfa, clima subtropical mesotérmico (APARECIDO et al., 2016) e a pluviosidade média anual varia de 1700 a 1800 mm (GEBERT et al., 2018).

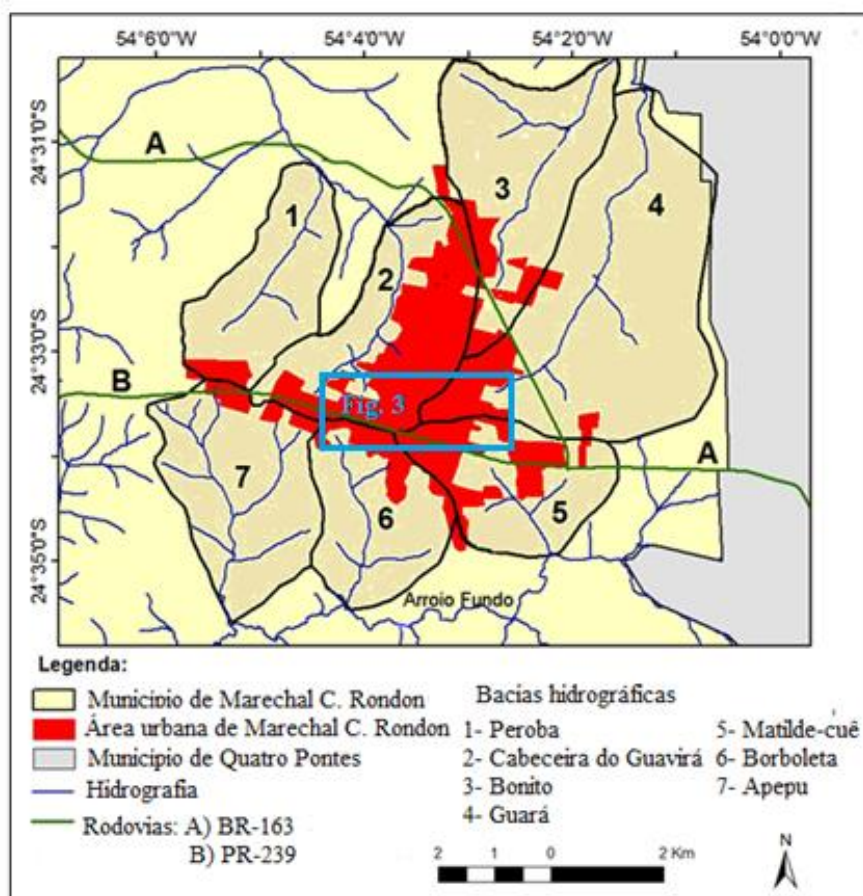
A cidade de Marechal Cândido Rondon localiza-se no divisor das bacias dos córregos Guaçu (ao Norte da cidade) e Arroio Fundo (ao Sul) (Figura 1). Os afluentes dos citados cursos d'água que drenam a área urbana são: os córregos Guavirá e seu afluente Peroba, Bonito e Guará (afluentes do rio Guaçu) e os córregos Matilde-cuê, Borboleta e Apepu (afluentes do Arroio Fundo) (Figura 2).

Figura 1: Localização do município de Marechal Cândido Rondon no Oeste do Paraná.



Fonte: Modificada de Calzavara (2015)

Figura 2: Bacias hidrográficas que drenam a área urbana de Marechal Cândido Rondon (PR). O retângulo indica a área urbana ampliada na figura 3.



Fonte: Modificada de Calzavara (2015)

As variáveis, parâmetros morfométricos e grau de urbanização das bacias urbanas são listados na Tabela 1. Os afluentes dos Arroios Guaçu e Fundo na área urbana apresentam características morfométricas distintas (Fernandez, 2016). Os córregos tributários do Arroio Guaçu (Peroba, Guavirá, Bonito e Guará) possuem menores índices de relevo, formas alongadas, baixa densidade de drenagem e talwegues menos declivosos. Por outro lado, as drenagens afluentes do Arroio Fundo (Matilde-cuê, Borboleta e Apepu) apresentam maiores índices de relevo, são mais arredondados, densidade de drenagem mais alta e talwegues mais declivosos. Em função destas características morfométricas, os afluentes do Arroio Fundo apresentam maiores risco de enchentes.

A área urbana de Marechal Cândido Rondon está situada ao longo de eixos de interflúvios cujas altitudes variam de 430 e 420 m e declividade de 0 a 2 %. As cabeceiras de drenagem em geral têm formato de anfiteatro com altitudes que variam de 420 a 390 m e declividade de 2 a 8 %. As cabeceiras eram constituídas originalmente por canais intermitentes que se conectavam a jusante com os canais perenes. Com o avanço da urbanização, no início da década de 1950 (FOWERAKER,

1982), os trechos intermitentes foram paulatinamente aterrados e ocupados (PFLUCK, 2009). Os canais perenes se iniciam, em média, na cota 390 m e declividade é inferior a 2 %.

Tabela 1: Características morfométricas e grau de urbanização das bacias urbanas. A-Área (km²); L-Comprimento do canal principal (km); Δ alt-Amplitude altimétrica do canal principal (m); Dd-densidade de drenagem (km/km²); S-Declividade do canal principal (%); Kc-Índice de compactidade de Gravelius (adimensional); Ir-índice de rugosidade (adimensional); Au-Área urbanizada (%).

Bacias	A	L	Δ alt	Dd	S	Kc	Ir	Au
	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)
Peroba	5,65	3,547	72	0,79	2,03	1,32	79,25	8,30
Guavirá	8,17	3,935	66	0,60	1,68	1,32	72,93	45,68
Bonito	9,60	3,017	61	0,92	2,02	1,40	75,33	41,85
Guará	14,13	6,480	81	0,70	1,25	1,42	91,59	17,67
Matilde-cuê	5,50	2,216	65	0,87	2,93	1,20	91,20	63,83
Borboleta	5,87	3,266	122	1,42	3,73	1,15	214,20	33,94
Apepu	8,17	4,521	153	1,69	3,38	1,25	298,29	12,45

Fontes: (1) Fernandez (2016); (2) Fruet (2016).

No presente trabalho foram selecionadas para o estudo do tempo de concentração, as cabeceiras urbanizadas dos córregos Guará e Borboleta, ambos com características morfométricas diferentes (Tabela 1, Figura 3). Nas áreas urbanizadas, o percurso do escoamento superficial é determinado pelo traçado das ruas e avenidas. O canteiro central das avenidas e o perfil transversal abaulado das ruas atuam como obstáculo e redirecionam o trajeto original das enxurradas, alterando significativamente a forma das microbacias urbanas (CETESB, 1986). Por esta razão, os limites das microbacias nas cabeceiras urbanizadas dos córregos apresentam traçados retilíneos, os quais foram definidos através de observações de campo (Figura 3).

Figura 3: Áreas de contribuição nas cabeceiras urbanizadas dos córregos Guará (ponto Unioeste) e Borboleta (ponto Peixe frito). A área urbana abrangida pela figura 3 é destacada na figura 2.



Fonte: Imagem extraída do Software Google Earth® em dezembro de 2023.

As duas microbacias em estudo foram selecionadas devido ao fato de que os pontos considerados como seus exutórios constituem áreas de alagamento durante os eventos chuvosos de maior intensidade. Os alagamentos são consequências da deficiência no sistema de drenagem pluvial e estão localizados na rua 31 de Março no campus da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (ponto Unioeste) e na avenida Rio Grande do Sul (Ponto Peixe Frito) (Figuras 3 e 4).

Figura 4: A) Alagamento no Ponto Unioeste na cabeceira do córrego Guará (*campus da Unioeste*) durante a intensa precipitação ocorrida em 4 de abril de 2019 (Fonte: os autores). B) Alagamento no Ponto Peixe frito na cabeceira do córrego Borboleta durante a precipitação intensa ocorrida em 6 de janeiro de 2018.



Fonte: Jornal O Presente (on line) 2018,

As características morfométricas das cabeceiras dos córregos Guará e Borboleta (Figura 3) são listadas na Tabela 2. As duas cabeceiras, como já foi citado anteriormente, apresentam condições de forma, índice de relevo e densidade de drenagem diferentes (Tabela 1). Entretanto, o alto grau de urbanização é a única variável em comum de ambas as cabeceiras, sendo de 90 % para o ponto Unioeste e 95% para o Peixe Frito.

A forma das cabeceiras foi avaliada pela razão de alongação (Re) que varia de 0 (bacia muito alongada) a 1 (bacia circular) e define bacias com as seguintes formas: muito alongada ($Re < 0,50$), alongada ($0,50 < Re < 0,70$), pouco alongada ($0,70 < Re < 0,80$), ovalada ($0,80 < Re < 0,90$) e circular ($Re > 0,90$) (SCHUMM, 1956). Quanto maior for o valor de Re , o risco de enchentes também é maior. Aplicando o parâmetro Re as cabeceiras, até o ponto Unioeste a microbacia é ovalada ($Re = 0,84$) e até o ponto Peixe Frito é muito alongada ($Re = 0,36$).

Quanto ao relevo, foi adotado o parâmetro Razão de relevo (Rr) que indica o declive total da bacia (STRALHER, 1957). O valor de Rr é de 0,014 m/m para o ponto Unioeste e de 0,017 m/m para o ponto Peixe Frito. A importância do relevo como parâmetro hidrológico foi observado por Stralher (1958) entre outros pesquisadores. O aumento de parâmetros tais como amplitude altimétrica da

bacia, declividade das encostas e gradiente do talvegue, colabora para o incremento do tempo de concentração e, também os picos das vazões (PATTON; BEKER, 1976).

Tabela 2: Variáveis e parâmetros morfométricos das cabeceiras dos córregos Guará e Borboleta nos pontos Uniãoeste e Peixe Frito respectivamente.

Variável/Parâmetro	Descrição	Fórmula	Cabeceira do córrego Guará	Cabeceira do córrego Borboleta
			Ponto Uniãoeste	Ponto Peixe frito
Área da bacia (A)	Área de captação natural da água de precipitação.	-	0,39 km ²	0,16 km ²
Perímetro da bacia (P)	Extensão do limite da bacia	-	2,600 km	2,708 km
Comprimento do talvegue (L)	Extensão contínua dos pontos mais baixos da bacia que corresponde ao traçado do canal intermitente aterrado		1,183 km	0,843 km
Comprimento axial da bacia (Lb)	Extensão da bacia medida ao longo do talvegue.	-	0,880 km	0,843 km
Razão de alongação (Re), adimensional	Re é a razão entre o diâmetro de um círculo com a mesma área da bacia e comprimento axial da bacia.	$Re = \frac{2\sqrt{\frac{A}{\pi}}}{Lb}$	0,84 Ovalada	0,36 Muito alongada
Altimetria máxima (Hmax) e mínima (Hmin)	Pontos da bacia com maior e menor altitude.		430 m 418 m	432 m 418 m
Amplitude altimétrica da bacia (ΔHb)	Diferença entre Hmax e Hmin.	ΔHb=Hmax-Hmin	12 m	14 m
Razão de relevo (Rr)	Relação entre a amplitude altimétrica da bacia (m) e o comprimento axial da bacia (m)	Rr=ΔHb/Lb	0,014 m/m	0,017 m/m
Declividade média do talvegue (D)	Inclinação da superfície do talvegue em relação à horizontal.	D=ΔHb/L	0,010 m/m	0,017 m/m

Fonte: os autores.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Método cinemático

Porto (1995) considera o método cinemático (ou da velocidade) como o mais correto para o cálculo do tempo de concentração, pois leva em consideração variáveis como declividade e comprimento do talvegue e, também o uso da terra.

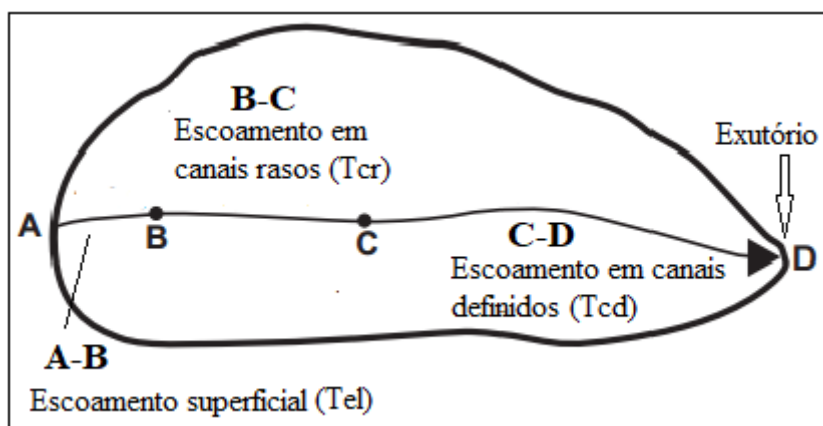
O método cinemático proposto pela USDA NRCS (1986) definiu o tempo de concentração como a somatória dos tempos de concentração (Equação 1) correspondentes a diversos tipos de

escoamento que podem ser registrados numa bacia como o escoamento laminar (sheet flow), escoamento em canais rasos (shallow concentrated flow) e o escoamento em canais definidos (channel flow) (Figura 5).

$$T_{cC} = T_{el} + T_{cr} + T_{cd} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: T_{cC} =tempo de concentração (horas); T_{el} =tempo de escoamento laminar (horas); T_{cr} =tempo de escoamento em canais rasos (horas); T_{cd} =tempo de escoamento em canais definidos (horas).

Figura 5: Tempo de concentração estimado para cada tipo de escoamento em uma bacia hipotética.



Fonte: USDA SCS (1986)

O tempo de concentração para cada tipo de escoamento, ilustrado na Figura 5, é estimado por equações específicas disponíveis na literatura entre elas USDA-NRCS (1986) e CANHOLI (2014). Nas bacias em estudo, o tempo de concentração foi estimado unicamente pelo tempo correspondente ao escoamento de canais rasos, já que a totalidade do percurso do talvegue encontra-se na área urbana formada por ruas asfaltadas.

O tempo de concentração para o escoamento em canais rasos é a seguinte:

$$T_{cCR} = \frac{L}{3600.V} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde: T_{cCR} =tempo de escoamento em canais rasos (h); L =extensão do talvegue (m) e V =velocidade do fluxo (m/s).

A velocidade do fluxo foi calculada pela equação 3

$$V = K.S^{0,5} \quad (\text{Equação 3})$$

Método das equações empíricas

Na tabela 3 são listadas as equações de tempo de concentração empíricas adotadas neste trabalho, as quais são baseadas nas características físicas das bacias. Nesta tabela é indicado o uso da terra para o qual foi desenvolvida cada equação (rural ou urbana).

Tabela 3: Equações empíricas utilizadas no trabalho para estimar o tempo de concentração.

Método	Equação	Tipo	Área (km ²)
Carter	$T_c=0,0977 L^{0,6} S^{-0,3}$	Urbana	< 21
Corps Engineers	$T_c=0,191 L^{0,76} S^{-0,19}$	Rural	< 12000
Desbordes	$T_c= 0,0869 A^{0,3039} S^{-0,3832} A_{imp}^{-0,4523}$	Urbana	< 51
Dooge	$T_c=0,365 A^{0,41} S^{-0,17}$	Rural	140-930
Giandotti	$T_c=0,0559 (4,0 A^{0,5}+1,5 L) L^{-0,5} S^{-0,5}$	Rural	170-70000
Johnstone	$T_c=0,462 L^{0,5} S^{-0,25}$	Rural	65 – 4200
Kirpich	$T_c=0,0663 L^{0,77} S^{-0,385}$	Rural	< 0,45
McCuen	$T_c=2,25 L^{0,5552} i^{-0,7124} S^{-0,2070}$	Urbana	0,4 – 16
Pasini	$T_c=0,107 A^{0,333} L^{0,333} S^{-0,5}$	Rural	-
Picking	$T_c=0,0883 L^{0,667} S^{-0,333}$	Rural	-
Schaake	$T_c=0,0828 L^{0,24} S^{-0,16} A_{imp}^{-0,26}$	Urbana	<0,7
Vente Chow	$T_c=0,160 L^{0,64} S^{-0,32}$	Rural	< 19
Ventura	$T_c=0,127 A^{0,5} S^{-0,5}$	Rural	-

T_c (horas); A (km²); L (km); S (m/m); A_{imp} (porção da área impermeabilizada 0 a 1); i (intensidade da precipitação -2 anos de retorno). Nas equações de Ven te Chow e Desbordes foram aplicados os fatores corretivos de 1,67 e 1,417 respectivamente.

Fonte: Silveira (2005)

Os resultados foram comparados, a partir do erro percentual calculado pela Equação 4, objetivando conhecer os métodos empíricos que forneceram os resultados mais próximos com o método cinemático, tido como referência neste trabalho.

$$Erro \% = \frac{T_{cEE} - T_{cCR}}{T_{cCR}} \cdot 100 \quad (Equação 4)$$

Onde: E%= Erro relativo; T_{cCR}=Tempo de concentração medido pelo método cinemático NRCS (somente segmento com escoamento em canais rasos) e T_{cEE}= Tempo de concentração estimado pelas equações empíricas. O valor de E% mede a tendência das equações empíricas em subestimar (E% negativo) ou superestimar (E% positivo) os valores do método cinemático (método de referência).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após obter os dados da extensão do talvegue (Tabela 2) e a velocidade do fluxo (equação 3) nas duas microbacias em estudo (Tabela 2), foi aplicada a equação (2) para obter o tempo de concentração pelo método cinemático (TcCR), dando como resultado os seguintes valores: 0,539 h (32,3 min) para o ponto Unioeste e 0,295 h (19,7 min) para o ponto Peixe Frito (Tabela 4). Na tabela 4 também são elencados os tempos de concentração para cada microbacia estimados pelas equações empíricas (TcEE).

Os valores de Tc obtidos pelo método cinemático para cada microbacia comparados com os valores calculados pelas equações mostram que a maioria das equações empíricas tenderam a subestimar ou superestimar em diversas magnitudes o tempo de concentração em comparação com os valores estimados pelo método cinemático NRCS, tido como referência neste trabalho (Tabela 4). Em termos gerais podemos destacar que no ponto Unioeste, dos 13 métodos empíricos selecionados, oito (62 %) subestimaram os valores de TC de referência, enquanto no ponto Peixe Frito ocorreu o contrário, ou seja, 10 métodos (77 %) sobrestimaram o TC de referência. Em geral, as equações que subestimaram o TC de referência apresentaram valores médios de E% e desvio padrão (D.P.) menores do que as equações que sobrestimaram o TC de referência (Tabela 4).

Tabela 4: Comparação entre os tempos de concentração medidos pelo método cinemático NRCS (TcCR) e os tempos de concentração estimados pelas equações empíricas (TcEE). São destacados em negrito os resultados em que as equações empíricas mais se aproximam ao método cinemático.

Método	Ponto Unioeste		Ponto Peixe Frito	
	TcCR: 0,539 h (32,3 min)		TcCR: 0,295 h (19,7 min)	
	TcEE (h)	Erro %	TcEE (h)	Erro %
Carter	0,430	-20,2	0,299	1,5
Corps Engineers	0,521	-3,4	0,364	23,3
Desbordes	0,515	-4,5	0,329	11,4
Dooge	0,855	58,7	0,680	130,6
Giandotti	0,303	-43,8	0,269	-8,8
Johstone	1,589	194,8	1,175	298,2
Kirpich	0,444	-17,6	0,279	-5,4
McCuen	0,502	-6,9	0,373	26,3
Pasini	0,827	53,4	0,421	42,8
Picking	0,451	-16,2	0,306	3,7
Schaake	0,185	-65,7	0,155	-47,6
Ven te Chow	1,299	141,0	0,882	199,1

Ventura	0,793	47,1	0,390	31,2
E% subestimado (Erro negativo)		N=8 Média:22,3 D.P.= 21,9		N=3 Média=20,6 D.P.=23,4
E% superestimado (Erro positivo)		N=5 Média=99,0 D.P.= 65,8		N=10 Média=76,8 D.P.=100,4

Fonte: os autores.

Poucas equações empíricas, dentre os 13 métodos escolhidos, apresentaram resultados próximos ao tempo de concentração medido pelo método cinemático NRCS nos pontos Unioeste e Peixe frito (Tabela 4). Para apontar tais destaques foi adotado o Erro % entorno de $\pm 5\%$. No ponto Unioeste, as equações do Corps Engineers e Desbordes subestimaram o TC de referência em 3,4% e 4,5% respectivamente e secundariamente a equação de McCuen subestimou o método da velocidade em 6,9%. No ponto Peixe Frito as fórmulas de Carter e Picking superestimaram em 1,5% e 3,7% respectivamente o método cinemático. Destaca-se que a equação de Kirpich subestimou o método de referência em 5,4% (Tabela 4).

Nos testes realizados por Silveira (2005) para verificar o desempenho das equações desenvolvidas em bacias urbanas mostraram que as fórmulas de Carter, Desbordes e Schaake forneceram resultados coerentes com o tamanho das bacias para a qual foram recomendadas. No presente estudo, somente as equações de Carter e Desbordes apresentaram resultados compatíveis com o método de referência: a. Por outro lado, a equação de Schaake gerou resultados muito diferentes do método de referência, embora a referida equação tenha sido desenvolvida para pequenas bacias (até 0,63 km²) como o caso das duas microbacias em estudo. Tal fato deve ser melhor explicado em estudos posteriores com auxílio de mais dados.

Silveira (2005) demonstrou a possibilidade da aplicação cruzada das equações, ou seja, o uso de fórmulas rurais em bacias urbanas e vice-versa. No presente trabalho foi observada essa viabilidade, com o bom desempenho das equações rurais do Corps Engineers e do Kirpich nas microbacias urbanas em estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A comparação entre o tempo de concentração obtido pelo método cinemático NRCS e as diversas equações empíricas em duas microbacias urbanas da cidade de Marechal Cândido Rondon (PR),

mostrou bom desempenho de algumas equações empíricas de aplicação tanto em bacias rurais como urbanas.

Poucos métodos empíricos se destacaram nas duas cabeceiras. Apesar de ambas as microbacias apresentarem alto grau de urbanização (>90%), a morfometria das cabeceiras é diferente, a microbacia União apresenta menor declividade e forma ovalada, enquanto a microbacia Peixe Frito possui maior declividade e forma muito alongada. Nestas condições de urbanização e características morfométricas, se destacaram as equações do Corps Engineers, Desbordes e McCuen (de aplicações rural, urbana e urbana respectivamente) no ponto União e as fórmulas de Carter, Picking e Kirpich (fórmulas urbana, rural e rural respectivamente) no ponto Peixe Frito. Os resultados das comparações mostram que, quando não é possível estimar o TC pelo método cinemático nas outras bacias da cidade, pode ser adotada a equação do Corps Engineers em microbacias com baixas declividades e formas ovaladas e a de Carter em microbacias declivosas e formas alongadas.

REFERENCIAS

AGUNWAMBA, J.C.; MMONWUBA, N.C. Comparative analysis of some existing models for estimating the time of concentration for watersheds in Anambra State, Nigeria. **Journal of Engineering Research and Reports**, 20 (5): 64–75. 2021. <https://doi.org/10.9734/jerr/2021/v20i517314>.

AKAN, A.O. Time of concentration of overland flow. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 112(4): 283–292. 1986. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1986\)112:4\(283\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:4(283)).

APARECIDO, L.E.O.; ROLIM, G.S.; RICETTI, J.; SOUZA, P.S.; JOHANN, J.A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n.4, p. 405-417. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/nfcXCJMXKD35kv6DppjpPMY/?format=pdf&lang=en>. Acesso: dezembro 2022.

BIDONE, F.R.A.; TUCCI, C.E.M. Microdrenagem. In: **Drenagem Urbana** (TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.; BARROS, M.T., Orgs.) Editora da Universidade ABRH, p. 77-105. 1995.

CALZAVARA, S.F. **Uso e cobertura do solo e escoamento superficial nas bacias hidrográficas urbanas de Marechal Cândido Rondon-PR**. 2015, 141f. Dissertação, Mestrado em Geografia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus de Marechal Cândido Rondon. Inédita.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo, editora Oficina de Textos, 384 p., 2014.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) **Drenagem Urbana - Manual de Projeto**. 3ª ed., 452 p. 1986.

ECHEVERRI-DÍAZ, J.; CORONADO-HERNÁNDEZ, Ó.E.; GATICA, G.; LINFATI, R.; MÉNDEZ-ANILLO, R.D.; CORONADO-HERNÁNDEZ, J.R. Sensitivity of empirical equation parameters for the calculation of

time of concentration in urbanized watersheds. **Water**, 14(18): 2847. 2022. <https://doi.org/10.3390/w14182847>.

FANG, X.; THOMPSON, D.B.; CLEVELAND, T.G.; PRADHAN, P.; MALLA, R. Time of concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 134(2): 202–211. (2008). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2008\)134:2\(202\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2008)134:2(202)).

FERNANDEZ, O.V.Q. Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas urbanas e periurbanas de Marechal Cândido Rondon, Paraná. **Revista Geografia em Questão**, v. 9, n 2, p. 88-106, 2016. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/geoemquestao/article/view/13770/11292>. Acesso: dezembro de 2022.

FOWERAKER, J. **A luta pela terra: a economia política da fronteira pioneira no Brasil em 1930 aos dias atuais**. Rio de Janeiro, Ed. Zahar. 1982.

FRUET, J.G.W. **Fragilidade ambiental: subsídios para a gestão de uso e ocupação do solo nas bacias hidrográficas periurbanas de Marechal Cândido Rondon, PR**. 2016. 126f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Programa de Pós-Graduação em Geografia, campus de Marechal Cândido Rondon, Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

GEBERT, D.M.P.; KIST, A.; VIRGENS FILHO, J.S. Determinação de regiões homogêneas de precipitação pluviométrica no estado do Paraná por meio de técnicas de análise multivariada e geoestatística. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 14, n 23, p. 374-388. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60406>. Acesso: dezembro de 2022.

GONZÁLEZ-ÁLVAREZ, Á.; MOLINA-PÉREZ, J.; MEZA-ZÚÑIGA, B.; VILORIA-MARIMÓN, O.M.; TEFAGIORGIS, K.; MOUTHÓN-BELLO, J.A. Assessing the performance of different time of concentration equations in urban ungauged watersheds: case study of Cartagena de Indias, Colombia. **Hydrology**, 7(3): 47. 2020. <https://doi.org/10.3390/hydrology7030047>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Marechal Cândido Rondon**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr/marechal-candido-rondon.html>. Acesso em junho de 2023.

JORNAL O PRESENTE (on line) Marechal Cândido Rondon (PR), 6 de janeiro de 2018. Recuperado de <http://www.opresente.com.br/marechal-candido-rondon/chuva-provoca-alagamentos-em-marechal-rondon/>

MAACK, R. **Geografia Física do Paraná**. Ponta Grossa (PR). Editora UEPG, 526 p. 2012.

MENEZES FILHO, F.C.M.; SÁ, R.A. Estudo comparativo entre as equações empíricas e o método da velocidade na estimativa do tempo de concentração. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, 15(1): 221–244. 2019. <https://doi.org/10.5216/reec.v15i1.56559>.

MUDASHIRU, R.B.; ABUSTAN, I.; BAHARUDIN, F. **Methods of estimating time of concentration: a case study of urban catchment of Sungai Kerayong, Kuala Lumpur**. In: F. Mohamed Nazri (ed.), Proceedings of AICCE'19, Lecture Notes in Civil Engineering 53: 119–161. 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-030-32816-0_8.

NARDY, A.J.R.; OLIVEIRA, M.A.F.; BETANCOURT, R.H.S.; VERDUGO, D.R.H.; MACHADO, F.B. Geologia e estratigrafia da Formação Serra Geral. **Revista Geociências**, São Paulo, 21 (1/2): 15-32. 2002.

PATTON, P.C.; BAKER, V.R. Morphometry and Floods in Small Drainage Basins Subject to Diverse Hydrogeomorphic Controls. **Water Resources Research**, 12 (5): 941-952. 1976.

PAVLOVIC, S.B.; MOGLEN, G.E. Discretization issues in travel time calculation. **Journal of Hydrologic Engineering**, 13(2): 71–79. 2008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:2\(71\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(71)).

PFLUCK, L.D. **Riscos ambientais: enxurradas e desabamentos na cidade de Marechal Cândido Rondon –PR, 1980 e 2007**. 2009. 274f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

RAVAZZANI, G.; BOSCARIELLO, L.; CISLAGHI, A.; MANCINI, M. Review of time-of-concentration equations and a new proposal in Italy. **Journal of Hydrologic Engineering**, 24(10): 04019039. 2019. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001818](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001818).

SALIMI, E.T.; NOHEGAR, A.; MALEKIAN, A.; HOSEINI, M.; HOLISAZ, A. Estimating time of concentration in large watersheds. **Paddy and Water Environment**, 15: 123–132. 2016. <https://doi.org/10.1007/s10333-016-0534-2>.

SANTOS, L.J.C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N.E.; FIORI, A.P.; SILVEIRA, C.T.; SILVA, J.M.F.; ROSS, J.L.S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 3-12. 2006.

SCHUMM, S.A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. **Geological Society American Bulletin**, 67: 597-646. 1956.

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**, 137(11): 712–719. 2011. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000373](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000373).

SILVEIRA, A.L.L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, pp. 5-23. 2005.

STRAHLER, A.N. Dimensional analysis applied to fluvially eroded landforms. **Geological Society American Bulletin**, 69: 279-300. 1958.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed Geomorphology. **Transaction of American Geophysics Union**, 38: 913-920. 1957.

USDA-NRCS (US Department of Agriculture - Natural Resources Conservation Service) **Urban hydrology for small watersheds**. Technical Release N^o. 55 (TR-55). USDA SCS, Washington DC. 164 p. 1986.

ZAHRAEI, A.; BAGHBANI, R.; LINHOSS, A. Applying a graphical method in evaluation of empirical methods for estimating time of concentration in an arid region. **Water**, 13(19): 2624. 2021. <https://doi.org/10.3390/w13192624>.

ZOLGHADR, M.; RAFIEE, M.R.; ESMAEILMANESH, F.; FATHI, A.; TRIPATHI, R.P.; RATHNAYAKE, U.; GUNAKALA, S.R.; AZAMATHULLA, H.M. Computation of time of concentration based on two-dimensional hydraulic simulation. **Water**, 14(19): 3155. 2022. <https://doi.org/10.3390/w14193155>.