

**ANÁLISE E DESEMPENHO DE FÓRMULAS DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO
NA BACIA DO RIBEIRÃO DAS PEDRAS, SEÇÃO DE ESTUDO TILLI CENTER, NO
MUNICÍPIO DE CAMPINAS, S.P.**

FAUSTO BATISTA¹, JOSÉ TEIXEIRA FILHO²

¹Tecnólogo da Construção Civil, Mestrando, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP, (0XX11) 6989-8931, e-mail: faustokf2engenharia@gmail.com

² Eng^o Civil, Prof. Dr, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI/UNICAMP, Campinas – SP, (0XX19).3788-1025, email: jose@agr.unicamp.br.

**Escrito para apresentação no
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola
31 de julho a 04 de agosto de 2006 – João Pessoa - PB**

RESUMO: O tempo de concentração é um dos principais dados de entrada nos modelos chuva-deflúvio. Sua determinação é geralmente feita por meio de fórmulas empíricas, estabelecidas para localidades e regiões bem distintas a que são utilizadas. Neste artigo, analisam-se os resultados de seis fórmulas consagradas utilizadas para tal fim em comparação com dados reais obtidos do monitoramento da bacia do Ribeirão das Pedras, seção de estudo Tilli Center, no município de Campinas, S.P.. Os resultados mostraram grande variabilidade, porém, que é possível o uso de fórmulas de tempo de concentração, desde que a escolha represente as características para as quais foram determinadas.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrograma, drenagem, bacia hidrográfica

**ANALYSIS AND PERFORMANCE OF THE TIME OF CONCENTRACION FORMULAS IN
THE WATERSHED OF RIBEIRÃO DAS PEDRAS, TILLI CENTER STUDY
SECCION/CAMPINAS CITY/SP.**

ABSTRACT: The time of concentration is one of the most input date in models runoff. That determination is particularly made by empirical equations, established by different localities and regions originally applied. The present paper evaluate the results of six formulas in comparison to collected data obtain from wathershed of Ribeirão das Pedras, Tilli Center study seccion/Campinas city/SP. The results showed the huge variability, however, is possible the use of time of concentracion formulas, since that choice represent the original characteristics.

KEYWORDS: Hydrograph, drainage, watershed

INTRODUÇÃO: O tempo de concentração é o tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante da bacia deslocar-se até a seção de estudo, também definido entre o fim da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma. Sua determinação é de fundamental importância, pois a maioria dos projetos de drenagem utilizam este parâmetro como dado de entrada (Esteves e Mediondo, 2003). Diversas fórmulas, de origem experimental, têm sido propostas e desenvolvidas em função de características da bacia, tais como, relevo, solo, uso e ocupação e outros. Desta forma, estes modelos, em princípio deveriam ser aplicados somente em condições próximas daquelas para as quais foram determinadas (Silveira, 2005). Este artigo propõe-se a avaliar e comparar o desempenho de seis fórmulas de tempo de concentração em relação aos dados obtidos por meio de um linígrafo instalado

no Ribeirão das Pedras, seção de estudo Tilli Center, município de Campinas e de eventos de chuvas, respectivamente ocorridas no período de março de 2006.

MATERIAL E MÉTODOS: A bacia do Ribeirão das Pedras, seção de estudo Tilli Center, possui área de 9,59 km², extensão do talvegue da ordem de 6,46 km e declividade média de 0,0163 m/m. Localiza-se na região norte do município de Campinas, entre os bairros do Alto Taquaral até o distrito de Barão Geraldo. É afluente da margem esquerda do Ribeirão das Anhumas, o qual é afluente da margem esquerda do rio Atibaia, um dos formadores do rio Piracicaba – UGRHI-05 (Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos) do estado de São Paulo (Oliveira, 2003). O relevo pode ser considerado com uma unidade homogênea, onde predominam os terrenos colinosos suavemente ondulados, seguidos pelas planícies fluviais, bastante irregulares e com densidade rala. A característica de uso e ocupação é mista, ou seja, possui áreas densamente urbanizadas (10%), áreas urbanas (50%), e áreas em fase de urbanização, pois estão confinadas dentro da mancha urbana (10%) e uma parcela rural, de utilização predominantemente agrícola (30%). Pela heterogeneidade de usos da bacia estudada optou-se em testar fórmulas desenvolvidas tanto para bacias rurais como urbanas. Na prática da engenharia não é raro encontrar projetos utilizando fórmulas fora de sua aplicabilidade. As fórmulas de tempo de concentração estudadas foram as da Tabela 1.

Tabela 1. Fórmulas de tempo de concentração analisadas.

Nome	Equação
Kirpich (Silveira, 2005)	$T_c = 3,989 L^{0,77} S^{-0,385}$
SCS Lag fórmula (Esteves e Mediondo, 2003)	$T_c = 3,42 L^{0,80} (1000/CN-9) S^{-0,50}$
Ven Te Chow (Silveira, 2005)	$T_c = 9,6 L^{0,64} S^{-0,32}$
Carter (Silveira, 2005)	$T_c = 5,862 L^{0,60} S^{-0,30}$
Mc Cuen (Silveira, 2005)	$T_c = 135 i^{-0,7164} L^{0,5552} S^{-0,207}$
Onda Cinemática (Esteves e Mediondo, 2003)	$T_c = 447(n L)^{0,60} S^{0,30} i^{-0,40}$

Sendo T_c o tempo de concentração (min); L o comprimento do talvegue (km); S a declividade do talvegue (m/m); CN o número da curva do SCS, i é a intensidade de precipitação (mm/h); n é o coeficiente de rugosidade de Manning.

Cabe salientar que, a intensidade de precipitação da fórmula de Mc Cuen refere-se à intensidade de precipitação bruta enquanto que a fórmula da Onda Cinemática refere-se à intensidade de precipitação efetiva. A fórmula de **Kirpich** foi elaborada a partir da observação de sete pequenas bacias rurais, com declividades de 3 a 10% e áreas de até 0,45 km². Seus parâmetros (L e S) indicam que ela deve representar o escoamento em superfícies (Esteves e Mediondo, 2003) e pouca influência do efeito de armazenamento. Quando extrapola-se sua aplicação para bacias maiores é de se esperar menores tempos de concentração (Silveira, 2005). A fórmula do **SCS Lag** foi obtida com base em dados de bacias rurais americanas com até 8,1 km² e reflete basicamente o escoamento em superfícies. Para sua aplicação em bacias urbanas, devem ser aplicados fatores em função da impermeabilização e da parcela de redes de galerias implantadas (Esteves e Mediondo, 2003). A fórmula de **Ven Te Chow** é originariamente uma fórmula de tempo de pico, baseado em experimentos observados em 20 bacias rurais, da ordem de grandeza de 1,1 a 19 km². Neste artigo foi utilizado o fator 1,67, conforme utilizado por Silveira e sugerido por Mc Cuen et al (apud Silveira, 2005), com base no hidrograma unitário triangular do Soil Conservation Service representa o tempo de concentração como e tempo de pico vezes este fator. A fórmula de **Carter** destaca-se por representar bacias urbanas de baixa declividade (menor que 0,5%) e áreas de drenagem menores de 21 km². **Mc Cuen**, na formulação de sua fórmula utilizou dados de 48 bacias urbanas, da ordem de 0,4 a 16 km². A equação da **Onda Cinemática** também se refere ao escoamento em superfícies sendo que alguns autores (Silveira, 2005) a considera adequada para bacias pequenas, em que o escoamento em superfície seja predominante. A partir dos dados observados de nível d'água, foram escolhidos alguns eventos, cuja ordem de grandeza pudessem representar de forma homogênea a dinâmica de escoamento na bacia monitorada. Por meio da observação dos níveis de água na seção de estudo, obteve-se os hidrogramas de escoamento de cada evento selecionado. Desta forma, partiu-se em selecionar também os dados de chuva que originaram estes escoamentos utilizando os dados da estação meteorológica da FEAGRI/CEPAGRI/UNICAMP (localizada dentro da bacia). O tempo de concentração de cada

evento foi determinado a partir na análise da distribuição temporal dos eventos de chuva e respectivos hidrogramas.

RESULTADO E DISCUSSÃO: Os valores obtidos do tempo de concentração, calculados a partir das fórmulas empíricas para a bacia do Ribeirão das Pedras, seção de estudo Tilli Center, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de Tc calculados a partir das fórmulas empíricas.

Fórmula	Tempo de concentração (min)
Kirpich	Tc = 81,8
SCS Lag fórmula	Tc = 286,3
Ven Te Chow	Tc = 118,2
Carter	Tc = 61,7
Mc Cuen	Tc = 69,8
Onda Cinemática	Tc = 16,3

Os valores de tempo de concentração determinados por meio dos eventos observados são apresentados na Tabela 3, juntamente com a média e desvio padrão das amostras.

Tabela 3. Valores de Tc observados.

Data do evento (2006)	04/03	05/03	07/03	08/03	17/03	22/03	Média	Desvio Padrão (%)
Tc (min)	40	60	40	30	40	40	42	10

A diferença, em porcentagem, entre os valores do Tc obtidos por meio das fórmulas empíricas testadas e o valor médio estão apresentados na Tabela 4, abaixo:

Tabela 4. Diferença entre os valores de Tc e o valor médio dos eventos observados.

Fórmula	Diferença (%)
Kirpich	95
SCS Lag fórmula	582
Ven Te Chow	182
Carter	47
Mc Cuen	66
Onda Cinemática	61

Os resultados do tempo de concentração com as fórmulas empíricas mostraram uma grande variabilidade. Os valores obtidos pelas fórmulas de Kirpich, Carter e Mc Cuen apresentaram resultados condizentes e, desta forma, desvios padrão dentro de um limite de aplicabilidade aceitável. Identifica-se aí que, para a bacia estudada, tanto fórmulas elaboradas para bacias urbanas quanto para rurais podem ser utilizadas para o cálculo do tempo de concentração. Esta razão pode ser explicada pela natureza de formulação das mesmas, que utilizam somente os parâmetros L e S, sabendo-se que uma teoria física poderia ser explicada pela razão de distância por velocidade, proporcional ao fator $LS^{-0.5}$ (Silveira, 2005). De outra forma, os valores obtidos pelas fórmulas do SCS Lag, Ven Te Chow e Onda cinemática destoaram das demais, sendo observados os maiores desvios. O caso extremo foi da fórmula do SCS Lag, que resultou num desvio de 582%. A fórmula do SCS apresenta além das variáveis já citadas, o conhecido CN (número da curva), porém sua determinação seguiu rigorosamente as características de uso e ocupação da bacia atualmente, sendo adotado um CN de 80. O que poderia ter melhorado a estimativa seria ajustar o resultado por meio da função da urbanização, porém diversos autores relatam que não apresentaram modificações expressivas. Com relação aos resultados dos tempos de concentração observados e o desvio padrão, o resultado foi satisfatório, pois

existem diversos parâmetros que interferem no tempo de concentração que são variáveis de evento para evento, como condições antecedentes de umidade do solo, umidade do ar, além a variabilidade espacial e temporal da chuva.

CONCLUSÃO: Este artigo analisou o desempenho de 6 fórmulas de tempo de concentração com base em dados observados por meio de linígrafo instalado junto às margens do Ribeirão das Pedras, seção de estudo Tili Center e o pluviógrafo da estação meteorológica da FEAGRI/CEPAGRI/UNICAMP. Os tempos de concentração foram previamente calculados com base nos parâmetros de cada fórmula e nos dados da bacia estudada. Os resultados foram comparados com a média de 6 dados observados, sendo a fórmula que obteve o melhor desempenho foi a de Carter, com variação de 47 %. As fórmulas da Onda Cinemática e Mc Cuen também apresentaram resultados coerentes, com variação, respectivamente, de 61 e 66%. As fórmulas de Kirpich, Ven Te Chow e SCS Lag apresentaram grande variação e, desta forma, desempenhos insatisfatórios. Cabe salientar a importância da escolha da fórmula de tempo de concentração de acordo com as características da bacia em estudo, respeitando seus limites de aplicabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

ESTEVES, R.L. e Mediondo, E. M. (2003) **Análise comparativa entre equações e observações do tempo de concentração em uma bacia urbana de São Carlos, S.P.**, XV Simpósio Brasileiro de recursos Hídricos, ABRH, Curitiba, 2003.

SILVEIRA, A. L. L. (2005) **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, Vol. 10, n.1 (2005), ABRH, Porto Alegre, 2005.

OLIVEIRA, P. S. G. (2003) **Estudo das várzeas visando o controle de cheias urbanas e a restauração ecológica: O caso do Parque Linear do Ribeirão das Pedras, em Campinas, S.P.**, Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, FEAGRI-UNICAMP, Campinas, 2003.