

# DETERMINANDO O TEMPO DE CONCENTRAÇÃO DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA CONSIDERANDO SEU USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

*H. R. Bohnen<sup>1</sup>, F. S. Schuch<sup>2</sup>, M. De A. Bastos<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>Acadêmica do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil

<sup>2,3</sup> Insituto Federal de Santa Catarina, Brasil

Comissão V – Gestão Territorial e Cadastro Técnico Multifinalitário

## RESUMO

Na perspectiva de se entender um pouco mais sobre as consequências da urbanização, realizou-se um estudo sobre a variação do tempo de concentração (Tc) de uma bacia hidrográfica localizada em Florianópolis/SC. Sob a ótica da engenharia civil o cálculo do tempo de concentração é de suma importância para o dimensionamento de obras de drenagem urbana. Para tanto, aplicou-se os métodos de cálculo de Tc semi-empíricos: SCS (Soil Conservation Service), FAA (Federal Aviation Administration) e Kirpich. Para se realizar o cruzamento de informações e calcular as características físicas da bacia, utilizou-se um sistema de informação geográfica (QGIS) e, uma vez determinados os dados de entrada necessários para cada fórmula, o tempo de concentração foi calculado com o auxílio da planilha excel. Os resultados mostraram haver variação de valores de Tc para cada fórmula utilizada sendo que, os métodos FAA e SCS foram os que mais se aproximaram entre si e o Kirpich foi o que mais diferiu dos outros dois valores.

**Palavras chave:** análise de bacia hidrográfica, tempo de concentração, métodos semi-empíricos

## ABSTRACT

In the perspective of understanding a little bit more about urbanization and its consequences, the variation of the time of concentration (Tc) of a hidrographic basin in Florianópolis/SC was study. Under the civil engineering view, a Tc calculation is very important because its used to project drainage plans. Therefore, semiempirical methods were applied to estimate Tc values such as: SCS (Soil Conservation Service), FAA (Federal Aviation Administration) and Kirpich. To cross informations and calculate physical characteristics from the hydrological basin a GIS software (QGIS) was used and, once the input data was determine, Tc was estimated using excel software. The results shows variation between Tc's values and, FAA and SCS methods were more similar than Kirpich that were more distant from the others.

**Keywords:** hydrographic basin analysis, concentration time, semiempirical methods.

## 1- INTRODUÇÃO

O Brasil ao longo de sua história vivencia um processo de urbanização bastante intenso, principalmente a partir da segunda metade do século XX. Até 1960, a maior parte da sua população concentrava-se na área rural. Nos anos que sucederam a 1960, um processo de intensa migração estabeleceu-se, tendo como consequência mais de 80% da população brasileira vivendo nas áreas urbanas (BRITO, 2006). O processo de urbanização ocorreu rapidamente, porém sem planejamento urbano das cidades e, com a mesma rapidez ocorreu a expansão. Com esta configuração, surgiram as consequências como: malhas rodoviárias subdimensionadas, sistemas de transporte coletivo ineficientes e insuficientes, inundações e alagamentos, entre outros.

Dentre os impactos na rede de drenagem, Tucci e Mendes (2006) cita as enchentes urbanas, as quais causam importantes impactos sobre a sociedade e, tais impactos, podem ocorrer pelo aumento da urbanização ou pelo extravasamento natural da várzea ribeirinha. Isto significa dizer que a impermeabilização do solo pelas edificações, pavimentação de ruas, calçadas e pátios, entre outros (que não permitem que a água chegue distribuída em determinada área da superfície), faz com que a parcela de água que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções (TUCCI, 2008).

A temática das inundações se agrava na medida em que, são poucos os municípios brasileiros

que trabalham efetivamente com um planejamento para construção e ampliação de sua infraestrutura, inclui-se as obras e planos necessários ao desenvolvimento das políticas voltadas a reduzir os impactos dos processos de urbanização desordenados.

Dado esse contexto, o projeto de pesquisa buscou determinar o tempo de concentração (Tc) de uma bacia hidrográfica já impactada por processos de urbanização. Para isso, foi necessário delimitar a Bacia Hidrográfica a ser estudada, localizada na Ilha de Santa Catarina e, a partir de mapas digitais disponíveis no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Fundação do Meio Ambiente (FATMA), Empresa de Pesquisa e Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI) e imagens gratuitas de satélite CBERS 4 disponíveis no website do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), realizou-se o processamento digital destes materiais, com o software QGIS versão 2.16.2. onde foi possível obter-se os dados de entrada para calcular e analisar o Tc da área de estudos.

A área de estudos é a Bacia Hidrográfica do Rio Vadik, localizada na Ilha de Santa Catarina – Florianópolis/SC, conforme apresentada na Figura 1.



Fig. 1- Área de Estudos

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2004)

Inicialmente, faz-se necessário definir o termo “bacia hidrográfica”. Portanto, a seguir apresenta-se a definição segundo a Agência Nacional de Águas (BRASIL, 2011).

*“Bacia hidrográfica é a região compreendida por um território e por diversos cursos d’água. Da chuva que cai no interior da bacia, parte escoar pela superfície e parte infiltra no solo. A água superficial escoar até um curso d’água (rio principal) ou um sistema conectado de cursos d’água afluentes; essas águas, normalmente, são descarregadas por meio de uma única foz [...]”*

O Rio Vadik pertence a bacia hidrográfica do Saco Grande, a qual caracteriza-se com relevo de Planície Marinha e de Maré, a vegetação com influência marinha arbórea e Fluvialmarinha herbácea (FLORIANÓPOLIS, 2004), a temperatura média da região nos meses mais quentes chega a 28 °C e nos mais frios é de 20 °C . A Precipitação média mais elevada ocorre de janeiro a março, com valores acima

de 170 mm e de abril a agosto a variação média está entre 70 a 140 mm (INMET, 2017).

A bacia hidrográfica tem como principal característica o relevo topográfico, responsável por dividir as bacias de uma determinada área (BRASIL, 2011). Nesse artigo leva-se em conta as curvas de nível da Bacia Hidrográfica, as áreas de uso e ocupação do solo (pastagem, mangue, florestas de médio porte e áreas impermeabilizadas), bem como o Rio Vadik e seus afluentes. A Tabela 1 resume os valores de aspectos físicos da área de estudos:

TABELA 1- DADOS BACIA DO RIO VADIK

Area (m <sup>2</sup> )	5.271.586,56
Perímetro (m)	11.651,55
Comprimento total dos canais (m)	131.367,43
Kc	1,42
Kf	0,42
Dd	0,03

Os dados apresentados acima auxiliam na análise morfométrica de alguns parâmetros da bacia hidrográfica em estudo, o coeficiente de compacidade (Kc) relaciona a forma da bacia com um círculo, assim quanto maior a irregularidade da bacia, maior será valor de Kc, que analisado juntamente com o fator de forma (Kf) que compara a bacia a um retângulo (SANTOS et al, 2012). Com os valores de Kc de 1,42 e Kf de 0,42 apontam que a bacia é pouco suscetível a enchentes. Este fato está associado ao valor de Densidade de Drenagem (Dd = 0,03) a qual caracteriza uma bacia de baixa drenagem.

A partir do mapeamento de uso do solo e cobertura vegetal de 2008 realizado para o Estado de Santa Catarina (GEOAMBIENTE, 2008), obteve-se, para a área de estudos os dados apresentados na Figura 2 abaixo:

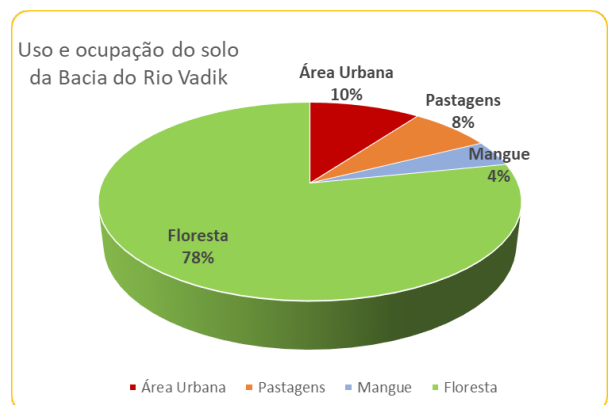


Fig. 2- Uso e Ocupação do Solo Bacia do Rio Vadik

Fonte: Adaptado de GEOAMBIENTE (2008)

Observa-se no gráfico uma predominância do uso e ocupação do solo por floresta sendo que as áreas antropizadas somam 18%, 10% de área urbana e 8% destinada a pastagem de animais. Isto se deve principalmente pela geografia da bacia que possui uma região plana próxima ao mar, onde inicia o bioma

mangue e, na medida em que se adentra à bacia, o relevo se torna bastante declivoso superior a 36%.

## 2- REFERENCIAL TEÓRICO

Inicialmente será abordado uma breve descrição dos temas principais: tempo de concentração de uma bacia hidrográfica e o uso e ocupação do solo da mesma, para para auxiliar na compreensão do artigo.

Mata-Lima et al. (2007) diz que o tempo de concentração ( $T_c$ ) é o tempo de percurso da água precipitada desde o ponto cinematicamente mais afastado da bacia hidrográfica até a seção de referência. Trata-se de uma grandeza fundamental para a compreensão do escoamento produzido na bacia hidrográfica. Seu valor é utilizado para projetos importantes de engenharia como para o dimensionamento de sistemas de drenagem, armazenamento e controle, e portanto, sua determinação deve ser tão rigorosa quanto possível.

Silveira (2005) estudou a aplicação de diferentes fórmulas para o  $T_c$  e, o definiu como sendo, em resumo, o tempo entre o fim da chuva efetiva e o fim do escoamento superficial direto na bacia. Ou seja, o tempo que a última gota de chuva leva para chegar do ponto mais distante ao ponto onde a bacia hidrográfica termina. Segundo o mesmo autor, as fórmulas de  $T_c$  foram estabelecidas ao longo do tempo basicamente por necessidades práticas de engenharia, por este motivo, a maioria guarda por isso um caráter altamente empírico e são essencialmente equações de regressão, obtidas com preceitos estatísticos precários. As variáveis que geralmente aparecem nas fórmulas são relativas a: tamanho da bacia, declividade, rugosidade ou resistência ao escoamento e aporte de água.

Uma pesquisa realizada por Mota (2012) observou que, fórmulas empíricas e teóricas para cálculo de  $T_c$  foram desenvolvidas ao longo de anos de pesquisa, mas seu desempenho absoluto e relativo era pouco avaliado. Então, alguns autores verificaram a necessidade de realizar avaliações das fórmulas, justamente pois a comunidade técnico-científica se deparava com casos em que mais de uma fórmula poderia ser aplicada e era necessário escolher a mais adequada.

Como o valor de  $T_c$  varia de acordo com o uso e ocupação do solo, é necessário discutir a urbanização das cidades. A urbanização, segundo Tucci (2008) aumenta com o crescimento econômico, quando o perfil da renda se altera e o emprego se concentra mais nos serviços e na indústria do que na agricultura. Com a urbanização, a taxa de natalidade tende a diminuir em razão de vários fatores sociais.

O mesmo autor ainda diz que, os principais indicadores do desenvolvimento urbano são os

seguintes: i. População: taxa de crescimento, migração e densificação urbana; ii. Econômico: renda, produto bruto e perfil de produção; iii. Uso do solo: distribuição por tipo de uso do espaço urbano em residencial, comercial e industrial, áreas públicas.

O uso do solo, em particular, é objeto de análise deste artigo pois, este indicador de desenvolvimento provoca uma intensa alteração da paisagem, através das obras de engenharia. Os impactos destas obras nos rios, no solo, no clima tem sido objeto de estudos e análise nas últimas décadas.

Segundo Nunes & Roig (2015) o uso inadequado do solo pode comprometer a integridade das bacias hidrográficas, o desmatamento pode levar ao surgimento de feições erosivas e assoreamento dos rios e reservatórios, a impermeabilização do solo através da expansão urbana pode afetar a percolação das águas pluviais e o regime hídrico. Por isso a seguir determina-se os valores de  $T_c$  com diferentes fórmulas para posterior análise.

## 3- MATERIAIS E MÉTODOS

Para se conseguir determinar o tempo de concentração ( $T_c$ ) da área de estudo foram necessários os seguintes materiais: Mapa de Solos (EMBRAPA, 2004); Base Cartográfica 1:50 000 (IBGE); Mapa de Uso e Ocupação do Solo 1: 50 000 (GEOAMBIENTE, 2008); Software QGIS versão 2.16.2 e Planilha Eletrônica Excel.

De posse dos materiais e softwares, partiu-se para o desenvolvimento da pesquisa. Primeiramente, selecionou-se as curvas de nível e rede hidrográfica da base cartográfica e, no software QGIS delimitou-se a Bacia Hidrográfica do Rio Vadik.

A seguir era preciso iniciar o levantamento de dados para o cálculo do  $T_c$ , o qual pode ser feito por diferentes fórmulas de acordo com a literatura pesquisada, métodos estritamente empíricos e semi-empíricos. Aqueles estritamente empíricos baseiam-se em volumosos dados estatísticos estabelecendo uma relação entre o tempo de concentração e as características fisiográficas das bacias, enquanto os semi-empíricos incluem parâmetros relacionados às características ocupacionais, permitindo uma análise diferenciada de cenários (Mata-Lima et al 2007). Como o intuito da pesquisa é analisar o  $T_c$  em função da ocupação do solo existente, serão utilizadas fórmulas semi-empíricas.

Selecionou-se então, três métodos de cálculo de  $T_c$  semi-empíricos sendo eles: a do Soil Conservation Service – SCS (fórmula 1), a da Federal Aviation Administration – FAA (fórmula 2) e o tradicional método de Kirpch (fórmula 3). A Tabela 2 apresenta as respectivas equações dos métodos citados.

TABELA 2 – FÓRMULAS DE TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

Fonte: adaptado de Mata-Lima et al (2007)

Método	Fórmula	Variáveis
SCS (Soil Conservation Service)	$T_c = \frac{L}{k\sqrt{i}}$	(1) Tc: tempo concentração, em [min] L: comprimento do canal, em [m], i: declividade, em [m/m], k: coefic. relacionado ao uso e ocupação do solo, [m/min]
FAA (Federal Aviation Administration)	$T_c = 1,8(1,1 - C)L^{0,5}i^{0,333}$	(2) Tc: tempo concentração, em [min] L: comprimento do canal, em [ft], i: declive médio [%] C: de escoamento do método racional
Kirpich	$T_c = 0,0195L^{0,77}i^{0,385}$	(3) Tc: tempo concentração, em [min] L: comprimento do canal, em [m], i: declividade, em [m/m],

No método SCS, de acordo com o Washington State Department of Transportation (1997) o tempo de concentração total, é o tempo relativo à soma dos Tc's de cada segmento de rio da Bacia Hidrográfica. Portanto, foi necessário proceder-se com a segmentação da rede hidrográfica em 19 (dezenove) trechos e, para cada uma delas, determinar o Tc.

No mesmo método ainda, observa-se que o coeficiente k varia de acordo com o uso e ocupação do solo como, por exemplo, para florestas densas o valor adotado é 50, área de pastagem k = 125, como mostra a tabela abaixo (Mata-Lima et al., 2007). No caso da área de estudos, os usos do solo encontrados são (Tabela 3):

TABELA 3 - USOS DO SOLO E RELATIVOS VALORES DE K PARA A ÁREA DE ESTUDOS

Fonte: adaptado de Hydraulics manual (1997) e FATMA (2009)

Uso do Solo	% da Área da Bacia	k	Tipo de Solo
Área Urbana	10,13	375	Podzólico vermelho amarelo / Cambissolo Háplico
Pastagem	7,41	125	Cambissolo Háplico
Mangue	4,20	50	Solo indiscriminado de mangue
Floresta de médio porte	78,25	50	Cambissolo Háplico

A área de estudos possui grande parte da sua superfície com vegetação de médio porte, observado pelos dados da Tabela 3. Isto ocorre principalmente pelos aspectos geográficos da mesma, em particular por seu relevo. A bacia caracteriza-se por possuir uma superfície plana próxima ao mar e, a medida em que se adentra à área, ela se torna mais declivosa, chegando a apresentar trechos com declividades superiores a 36%.

#### 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos, pela aplicação analítica dos métodos semi-empíricos, estão apresentados na Tabela 4. Observa-se que os métodos SCS e FAA apontam valores de Tc significativos em valores absolutos e bem superiores ao método de Kirpich. Ressalta-se que os valores dos apontados nos métodos SCS e FAA são tecnicamente semelhantes, uma vez que ambos consideram as variáveis que representam as características biofísicas da sub-bacia retratando o uso e ocupação do solo. E para ambos os métodos foram aplicados em divisões dos trechos (afluente e rio principal), consideram-se para cada trecho o uso e ocupação do solo predominante correspondente ao local.

TABELA 4 - TEMPOS DE CONCENTRAÇÃO PARA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO VADIK

Método	Tempo de concentração [min]
SCS	740,82
FAA	972,17
Kirpich	21,95

Os diferentes métodos utilizados apresentam resultados distintos entre si como mostra a tabela 3. A média dos valores ficou em 578,31 minutos. O valor que mais diferiu da média foi o obtido pelo método de Kirpich, e este é um dos métodos mais utilizados para o cálculo do Tc, no entanto, Mata-Lima et al. (2007) diz que a recomendação é de aplicação a bacias pequenas e com declividade entre 3% e 10%. A Bacia do Rio Vadik possui declividades superiores a 36% o que faz com que este método não seja o mais indicado. Os que mais se aproximam são os métodos SCS e FAA e estes levam em consideração o uso e ocupação do solo através dos coeficientes constantes. Por métodos SCS e FAA a diferença entre os valores de Tc foi de aproximadamente 231 minutos (≅ 24%).

Para se ter uma melhor ideia do impacto da urbanização na Bacia do Rio Vadik realizou-se o cálculo do Tc, com os métodos SCS e FAA, considerando-se que o uso e cobertura do solo seja igual ao de uma área completamente vegetada. Os valores obtidos encontram-se na Figura 3:

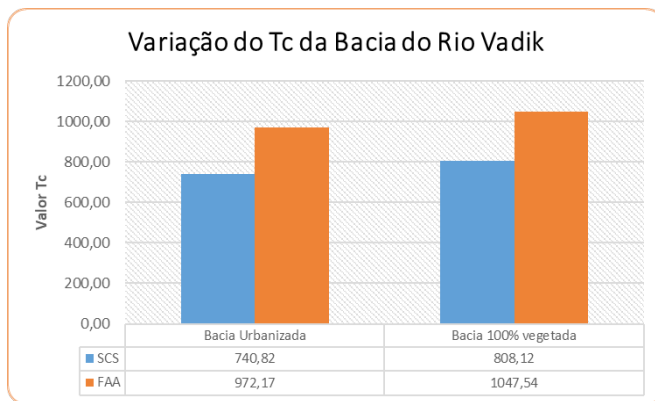


Fig. 3- Variação do Tc na área de estudos

A diferença entre valores de Tc apresentados na Figura 3 é de aproximadamente 23%, ou seja, a diferença apresentada entre os métodos mantém uma constância. A diferença dos Tc's da área antropizada para a área vegetada é de 67,29 minutos entre os valores obtidos com o SCS e 75,37 minutos para o FAA, o que significa uma redução de aproximadamente 8% e 7% respectivamente.

Silveira (2005) ao estudar a aplicação de diferentes fórmulas para o cálculo de Tc's afirmou que o uso repetido de fórmulas, sem maiores critérios a não ser pela fama ou tradição, dificulta o usuário mais cuidadoso pois, estas foram desenvolvidas para serem utilizadas dentro de certos limites (área da bacia, se urbana ou rural, etc.) e é muito comum se desconhecer estes limites pois o acesso a eles é bastante difícil. O autor ainda afirma que o uso destas fórmulas sem que se faça referência às suas condições de origem e aos seus limites de aplicação, o uso das mesmas pode ser considerado abusivo para determinada situação.

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem demonstrar que a preocupação com as ocupações desordenadas em áreas não permitidas, aliadas a escolha de um método para cálculos de parâmetros de projetos de engenharia que não representem a realidade local, pode trazer consequências expressivas diante valores numéricos equivocados e interpretações errôneas para situações que mereçam cuidados metodológicos mais coerentes.

## REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz? Agência Nacional de Águas. Brasília, 2011.

BRITO, F. The displacement of the Brazilian population to the metropolitan areas. Revista Estudos Avançados, 20 (57), 221-236, 2006.

EMBRAPA, Mapa de solos. 2004. Disponível em [http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1172&Itemid=543](http://ciram.epagri.sc.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1172&Itemid=543).

FLORIANÓPOLIS, Prefeitura Municipal, Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. Atlas do município de Florianópolis. IPUF, 2004.

FLORIANÓPOLIS, Câmara Municipal de Florianópolis. Lei complementar nº 482, de 17 de janeiro de 2014. Regulamentada pelo Decreto nº 12.925. Florianópolis, 2014.

GEOAMBIENTE, PPMA-SC/KFW/FATMA. Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina. Relatório Técnico: GEO-RLT-C0715-33608-01. São Paulo: FATMA, 2008. 90p.

INMET, Instituto Nacional de Metrologia. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>> Acesso em ago 2017

MATA-LIMA, H.; VARGAS, H. CARVALHO, J. GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C.; Comportamento Hidrológico de Bacias Hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. Revista Escola de Minas, Ouro Preto, 60(3): 525-536, jul. set. 2007.

MOTA, A. A. Tempo de Concentração em Pequena Bacia Experimental. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, UFSC, p49, 2012.

NUNES, J. F.; ROIG, H. L.. Análise e Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo da Bacia do Alto do Descoberto, DF/GO, por meio de Classificação Automática Baseada em Regras e Lógica Nebulosa. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.39, n.1, p.25-36, 2015.

SANTOS, A. M.; TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DIAS, N. W. Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. Ambi-Agua, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 195-211, 2012.

SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Volume 10 n.1 Jan/Mar 2005, 5-23.

TUCCI, C. E. M. e MENDES, C. A. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 2006.

TUCCI, C. E. M. Áreas Urbanas. Revista Estudos Avançados, 22 (63), 97-112, 2008.

WASHINGTON STATE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, Hydraulics Manual, Olympia WA, 1997, pp. 26 a 29.