

XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE COMPARATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO: Um ESTUDO DE CASO NA BACIA DO RIO CÔNEGO, MUNICÍPIO DE NOVA FRIBURGO/RJ

José Edson Falcão de Farias Júnior¹; Rosângela Garrido Machado Botelho²

Resumo – O tempo de concentração traduz importantes características fisiográficas de uma bacia hidrográfica. Por definição, ele pode ser entendido como o intervalo de tempo, a partir do início de uma precipitação, necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial no seu exutório, ou seja, é o tempo gasto para que o ponto mais remoto (em tempo de viagem, e não necessariamente em termos de distância) contribua para o escoamento superficial. Esse parâmetro é fundamental para a caracterização tanto do pico, como do formato do hidrograma de cheia e, portanto, é primordial para a estimativa de vazões máximas. Neste trabalho faz-se uma breve discussão sobre a definição de tempo de concentração, uma descrição das principais formulações utilizadas no mundo para a estimativa do tempo de concentração e sua aplicação para a bacia do rio Cônego, localizada no município de Nova Friburgo, Estado do Rio de Janeiro. Das equações aplicadas, as que melhor se adequaram à bacia do rio Cônego foram as Bransby-Williams, Temez, Williams e McCuen, formulações empíricas, e a George Ribeiro, formulação semiempírica, indicando ser factível sua aplicação para a estimativa do tempo de concentração, considerando as condições atuais do uso e ocupação do solo.

Abstract – The concentration time represents important physiographic characteristics of a drainage basin. By definition, it can be understood as the necessary period of time, from the beginning of a precipitation, to all the drainage basin contributes for the superficial draining in its out-let, it means the spent time to the farthest point contributes for the superficial draining. This is a basic parameter for the discharge peak characterization, as well the format of the overflowing hydrogram and, therefore, it is primordial to estimate the maximum outflows. This work includes a brief discussion about the definition of concentration time, a description of the main formularizations used to estimate the concentration time around the world and its application for Cônego river basin, located in Nova Friburgo municipality (RJ). The applied equations that present better results to the case of Cônego river basin were Bransby-Williams, Temez, Williams and McCuen, empirical formularizations, and George Ribeiro, semi-empirical formularization, indicating to be possible their application to estimate the concentration time, considering the current conditions of land use and occupation.

Palavras-Chave – Tempo de concentração, bacia do rio Cônego e Nova Friburgo.

¹ Engenheiro Civil, Msc. em Recursos Hídricos do INEA – e-mail: edsonfalcao.inea@gmail.com, telefone: (21) 2334-9646/2334-9647

² Geógrafa, Dr. em Geografia do IBGE – e-mail: rosangela.botelho@ibge.gov.br, telefone: (21) 2142-4559 Ramal: 4559

INTRODUÇÃO

Problemas ambientais oriundos dos processos de antropização vêm crescendo e ganhando notoriedade nas últimas décadas devido aos impactos negativos causados aos ecossistemas naturais e ao homem. O processo de urbanização, que se intensificou no último século, é o principal responsável por estes impactos, interferindo de maneira direta na qualidade de vida do homem.

Um dos componentes ambientais que sofre maior impacto negativo são os recursos hídricos. Este impacto se dá tanto de forma direta, através da utilização desordenada e indiscriminada desses recursos, quanto de forma indireta, proveniente de outros impactos, como os associados ao uso e à ocupação desordenada do solo.

O Brasil, em 1997, no intuito de criar ferramentas para o planejamento adequado dos recursos hídricos, promulgou a lei 9.433, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos com seus instrumentos de gestão de recursos hídricos. Entretanto, a lei 9.433 não traz mecanismos suficientes para garantir a integração entre a gestão das águas e do território. Portanto, a componente hídrica é frequentemente esquecida ou abordada de maneira superficial nos instrumentos de planejamento urbano, como é o caso dos planos diretores municipais.

O aumento da população urbana e a urbanização de novas áreas, sem um planejamento urbano adequado, vêm aumentando e potencializando os efeitos dos desastres naturais, como as enchentes ou inundações, a erosão e os deslizamentos de encostas. Vestena (2008), baseado nos dados da *Emergency Disasters Data Base*, relata que 34% dos desastres naturais no mundo e 10% das mortes ocasionadas por tais desastres estão atrelados às inundações.

O processo de urbanização provoca mudanças nas características das bacias hidrográficas e na incidência de inundações. Neste contexto, torna-se indispensável o conhecimento das causas e consequências da urbanização no incremento da magnitude e na quantidade de eventos de inundações, visando estabelecer um ponto de equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e as necessidades dos ecossistemas, garantindo, assim, o desenvolvimento sustentável.

Nas áreas urbanas, toda a diversidade de caminhos do sistema hidrológico natural é reduzida ao binômio escoamento e infiltração, com maior participação do primeiro (BOTELHO, 2011). As principais interferências da urbanização nas bacias hidrográficas são as alterações das suas características morfológicas, como é o caso da retificação dos cursos dos rios, e a impermeabilização do solo, através de supressões vegetais, construção de edificações e aterramento de várzeas, tendo como consequência o aumento no volume de água escoada e no pico das vazões.

Com o objetivo de auxiliar o planejamento urbano, a ciência hidrológica tem proposto ações de prevenção e mitigação de impactos do processo de antropização, como apoio a projetos de obras de artes (barragens, pontes e diques), de sistemas de abastecimento d'água e irrigação e de

aproveitamentos hidrelétricos. Entretanto, sua importância vem sendo evidenciada em outras áreas de atuação, como na previsão de desastres naturais (enchentes e inundações), contribuindo assim para a minimização e mitigação dos seus efeitos.

Baseado no exposto, o cálculo do tempo de concentração (t_c) aparece como uma importante ferramenta hidrológica, uma vez que é bastante empregado na estimativa de vazões máximas e mais recentemente, de maneira indireta, na minimização e mitigação das consequências de desastres naturais, como inundações, e antrópicos, como poluição pontual nos recursos hídricos.

Neste trabalho optou-se por descrever de maneira sucinta os principais métodos utilizados para estimativa do tempo de concentração e fazer uma análise comparativa entre estes métodos para o rio Cônego, localizado em Nova Friburgo, Estado do Rio de Janeiro.

TEMPO DE CONCENTRAÇÃO: CONCEITO

O tempo de concentração é parâmetro fundamental para a caracterização tanto do pico como do formato do hidrograma e, portanto, é primordial na estimativa de vazões máximas e previsão de desastres naturais.

O conceito de tempo de concentração (t_c) traduz importantes características fisiográficas da bacia, como comprimento do rio principal e densidade de drenagem. A rugosidade da superfície da bacia e o tipo de uso e cobertura do solo também são importantes variáveis para a estimativa do tempo de concentração.

Na literatura internacional existem várias definições para o tempo de concentração. Segundo Ven Te Chow, citado por Costa e Lança (2001), o tempo de concentração corresponde ao tempo gasto para a gota de chuva se deslocar do ponto mais afastado da bacia até sua foz. Mark e Marek (2009) definem o tempo de concentração como o momento em que toda a bacia hidrográfica começa a contribuir para o escoamento superficial, sendo calculado como o tempo necessário para escoamento de fluxo a partir do ponto hidráulicamente mais remoto da área de drenagem até o ponto em investigação.

O tempo de concentração pode ser entendido como o intervalo temporal, a partir do início de uma precipitação, necessário para que toda a bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial no seu exutório, ou seja, o tempo gasto para que o ponto mais remoto (em tempo de viagem, e não necessariamente em termo de distância) contribua para o escoamento superficial.

Apesar de algumas formulações adotarem a precipitação como uma variável para estimar o tempo de concentração, segundo Lencastre e Franco (1984), esse tempo pode ser considerado uma característica constante da bacia, independente das características das chuvas.

Os principais fatores que contribuem para a determinação do tempo de concentração em uma bacia hidrográfica são as suas características físicas, como a forma da bacia, o comprimento do curso

hídrico principal e seus afluentes, a declividade média do curso hídrico principal e seus afluentes, a rugosidade (tanto da calha do rio como de toda área de drenagem), o tipo de solo e umidade antecedente¹, a geomorfologia da bacia hidrografia e o uso e ocupação do solo.

O tempo de concentração constitui um parâmetro hidrológico de grande importância para a reprodução do hidrograma em uma seção do rio, uma vez que informa o momento da ocorrência da vazão máxima e a forma do hidrograma.

No tocante aos desastres naturais e antrópicos, ele pode apoiar a tomada de decisões para minimização e mitigação dos seus efeitos ao possibilitar a estimativa do tempo de trânsito do fluxo hídrico. No caso de uma poluição acidental pontual de um curso hídrico, por exemplo, pode-se interromper a captação de água por um determinado período até que a pluma de poluição passe por aquele trecho do rio e, no caso de enchentes, pode-se evacuar uma área antes que seja inundada.

METODOLOGIAS UTILIZADAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (TC)

Existem duas abordagens metodológicas utilizadas para a estimativa do tempo de concentração, nomeadas neste trabalho de direta e indireta. A metodologia direta consiste na utilização de dados primários, como registros hidrometeorológicos ou obtidos com traçadores, para a estimativa do tempo de concentração. Já a metodologia indireta é baseada em informações secundárias provenientes de formulações matemáticas previamente estabelecidas para uma determinada região.

Métodos diretos

Os principais métodos diretos são os baseados em informações hidrometeorológicas, no presente trabalho nomeado de método gráfico, ou os que utilizam traçadores. O método gráfico é bastante utilizado na prática, quando se dispõem de registros hidrometeorológicos com discretização temporal inferior ao tempo de concentração. Consiste em estimar o tempo de concentração a partir da análise da relação da precipitação com a variação da cota ou vazão no ponto de controle de interesse.

McCuen *et al.* (1984) afirmam que o tempo de concentração pode ser estimado a partir do intervalo temporal entre o fim da precipitação efetiva² e o fim do escoamento superficial, proveniente da precipitação. Devido à dificuldade da estimativa da precipitação efetiva, algumas variações deste método são adotadas, como optar por utilizar o fim do evento de precipitação, fim da precipitação útil, em vez do fim da precipitação efetiva.

¹ Umidade do solo antes do início da precipitação

² Pode ser entendida como a parcela da precipitação total que efetivamente gera escoamento superficial.

A Figura 1 exemplifica um hidrograma e suas principais características, após uma precipitação isolada. Percebe-se que o fim do escoamento superficial, proveniente da precipitação, corresponde ao ponto de inflexão localizado no lado direito da curva.

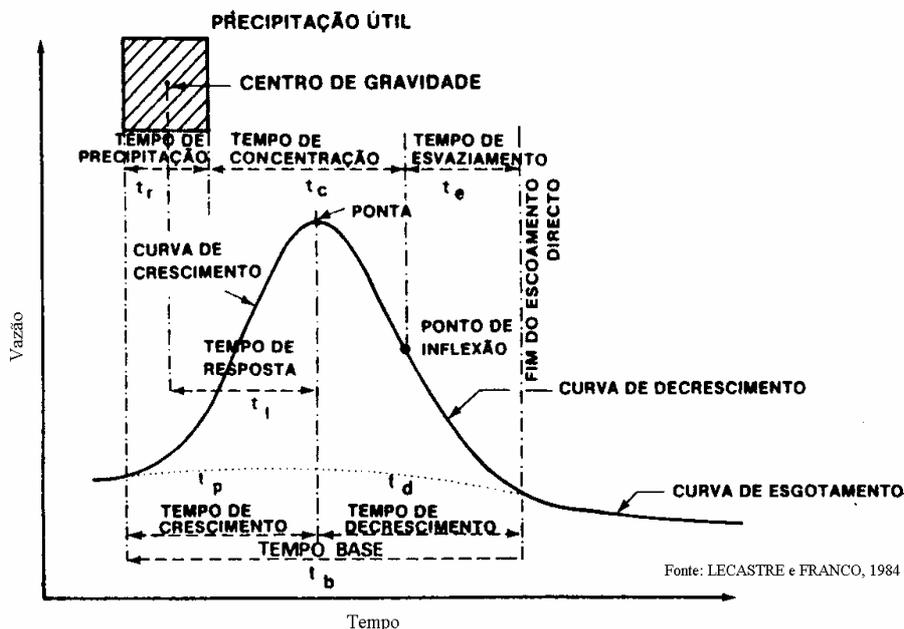


Figura 1: Estimativa do tempo de concentração pelo método gráfico

Um método alternativo é estimar o tempo de resposta (t_l), ou *lag-time*, e, posteriormente, utilizar uma equação que relacione o tempo de concentração (t_c) com o tempo de resposta (t_l). Taborga Torrico (1974) adota a seguinte relação entre tempo de concentração e o tempo de pico (equação 1).

$$t_c = \frac{t_l}{0,6} \quad (1)$$

O tempo de resposta pode ser estimado pelo intervalo de tempo definido entre o centróide (centro geométrico) da precipitação total, considerada do início da precipitação até o momento correspondente à vazão de pico, e o instante correspondente à vazão de pico (Figura 1).

Métodos indiretos

Os métodos indiretos são aqueles baseados em informações secundárias, como é o caso da utilização de formulações matemáticas previamente estabelecidas para uma região. Eles são frequentemente empregados na ausência de dados hidrometeorológicos ou em estudos preliminares, tendo como principal virtude a simplicidade de aplicação.

Essas formulações podem utilizar parâmetros hidrometeorológicos ou fisiográficos. O parâmetro hidrometeorológico mais utilizado é a intensidade de precipitação, já os parâmetros fisiográficos podem ser permanentes, como a área de drenagem e declividade média, ou variáveis ao longo do tempo, como o uso e a ocupação do solo.

Alguns autores, como Mata-Lima *et al* (2007), sugerem subdividir as formulações matemáticas utilizadas para a estimativa do tempo de concentração em:

- Empíricas: resultantes da correlação, através de ferramentas estatísticas, do tempo de concentração com as variáveis fisiográficas observadas em campo. São formulações pouco flexíveis, principalmente no tocante a alterações no uso e na ocupação do solo, e pouco adaptáveis a regiões diferentes daquelas para as quais foram concebidas. Geralmente não exigem dados de entrada detalhados.
- Semiempíricas: resultantes da correlação, através de ferramentas estatísticas, do tempo de concentração com as variáveis fisiográficas observadas em campo, absorvendo o dinamismo do uso e da ocupação do solo e outras variáveis sujeitas a alterações ao longo do tempo.

Nos quadros 1 e 2 são apresentadas 21 formulações empíricas e semiempíricas identificadas após revisão bibliográfica na literatura nacional e internacional. Ao lado de cada formulação são apresentadas as restrições associadas à sua utilização e os autores que serviram como referencial.

Quadro 1: Formulações empíricas, restrições e referencial bibliográfico.

Nome da Formulação	Equação	Variáveis e Constantes	Restrição ou Observações	Referencial bibliográfico
Riverside Country	$t_c = K \cdot \left(\frac{0,0053 \cdot L \cdot L_{CA}}{\sqrt{I}} \right)^{0,38}$	Tc - tempo de concentração (h); L - Comprimento do talvegue principal (km); LCA - comprimento do talvegue a partir do centróide da bacia (km); I - declividade média equivalente (m/m); K - constante, variando segundo o relevo	Área de drenagem entre 5 e 1.600 km ²	DRENURBS, 2003
Dooge	$t_c = 21,88 \cdot \frac{A^{0,41}}{I^{0,17}}$	Tc - tempo de concentração (min); A - área da bacia em Km ² ; I - declividade do talvegue (m/km)	Área de drenagem entre 140 e 930 km ²	Tucci, 1993; Franco, 2004
Califórnia Culverts Practice (adaptação DER/SP)	$t_c = 85,2 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385}$	Tc - tempo de concentração (min); L - Comprimento do talvegue (km); ΔH - desnível máximo da bacia (m)	Área de drenagem inferior a 0,5 Km ² e declividade variando entre 3% e 10%	Franco, 2004
Arnell	$t_c = 1,67 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{L}{I^{0,2}} \right)^{0,7}$	Tc - tempo de concentração (h); L - comprimento do talvegue (m); I - declividade do talvegue (m/km)	Para bacias naturais com $0,50 \leq C \leq 0,70$	Franco, 2004
Bransby-Williams	$t_c = \frac{14,6 \cdot L}{I^{0,2} \cdot A^{0,1}}$	Tc - tempo de concentração (min); L - comprimento do talvegue (km); A - área de drenagem (km ²); I - declividade do talvegue (m/m)	Indicado para áreas rurais	Franco, 2004; Mata-Lima <i>et al</i> , 2007
Ven Te Chow	$t_c = 25,2 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{I}} \right)^{0,64}$	Tc - tempo de concentração (min); I - declividade média do talvegue principal (%); L - comprimento do talvegue (km)	Área de drenagem superior a 45 km ²	Costa e Lança, 2001; DNIT, 2005; Mata-Lima <i>et al</i> , 2007; Reis, 2009
Picking	$t_c = 5,3 \cdot \left(\frac{L^2}{I} \right)^{1/3}$	Tc - tempo de concentração (min); I - declividade média do talvegue principal (m/m); L - Comprimento do talvegue (km)	-	Costa e Lança, 2001; Mata-Lima <i>et al</i> , 2007; Reis, 2009

Quadro 1: Formulações empíricas, restrições e referencial bibliográfico (continuação).

Nome da Formulação	Equação	Variáveis e Constantes	Restrição ou Observações	Referencial bibliográfico
Giandotti	$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{Hm}}$	Tc - tempo de escoamento das águas (h); A - área de drenagem (km²); L - comprimento do talvegue (km); Hm - altitude média do talvegue (m)	-	Costa e Lança, 2001; DNIT, 2005; Mata-Lima <i>et al</i> , 2007
Pasini	$t_c = 0,108 \cdot \frac{(A \cdot L)^{1/3}}{I^{0,5}}$	Tc - tempo de concentração (h); A - área da bacia (km²); L - comprimento do talvegue principal (km) e I - declividade média do curso d'água principal (m/m)	-	DNIT, 2005; Mata-Lima <i>et al</i> , 2007
DNOS	$t_c = 10 \cdot \frac{A^{0,3} \cdot L^{0,2}}{K \cdot I^{0,4}}$	Tc - tempo de concentração (min); A - área da bacia (há); L - comprimento do talvegue (m); I - declividade (%); K - parâmetro das características do terreno (ver tabela 2.3)	-	Franco, 2004; DNIT, 2005
Temez	$t_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{I^{0,25}} \right)^{0,76}$	Tc - tempo de concentração (h); L - comprimento do talvegue principal (km); I - declividade média equivalente (m/m)	Área até 3.000km²	DGC, 1987; Cota & Lança, 2001; Pelaéz, 2003; DNIT, 2005; Mata-Lima <i>et al</i> ; 2007
Carter Lag Equation for Partially Sewered	$t_c = 100 \cdot \frac{L^{0,6}}{I^{0,3}}$	Tc - tempo de concentração (min); L - comprimento do talvegue (mi); I - declividade do talvegue (ft/mi)	Área de drenagem inferior a 20,7 km², comprimento do talvegue principal inferior a 11,26 km, declividade inferior a 0,5% e coeficiente de Manning entre 0,013 e 0,025	McCuen <i>et al</i> , 1984; Beadles, 2009
Williams	$t_c = 21,3 \cdot \frac{L}{A^{0,1} \cdot I^{0,2}}$	Tc - tempo de concentração (min); A - área de drenagem (mi²); L - Comprimento do talvegue (mi); I - declividade do talvegue (ft/ft)	Área de drenagem inferior a 129,5 km²	Fang <i>et al</i> , 2008
Ventura	$t_c = 240 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot L}{\Delta H}}$	Tc - tempo de concentração (min); A - área de drenagem (km²); L - comprimento do talvegue (km); ΔH - diferença de cota entre o ponto mais alto do talvegue e o exutório	recomendada pela <i>École Nationale des Ponts et Chaussées</i>	Mata-Lima <i>et al</i> , 2007
McCuen	$t_c = 0,01462 \frac{L^{0,5552}}{i_2^{0,7164} \cdot I^{0,207}}$	Tc - tempo de concentração (h); L - comprimento do talvegue (ft); I - declividade do talvegue (ft/mi) e I2 - intensidade da precipitação para um tempo recorrência de 2 anos (in/h)	Utiliza o parâmetro intensidade de precipitação como dado de entrada	McCuen <i>et al</i> , 1984

Quadro 2: Formulações semiempíricas, restrições e referencial bibliográfico.

Nome da Formulação	Equação	Variáveis e Constantes	Restrição ou Observações	Referencial bibliográfico
IPH II	$t_c = 18,628 \cdot \frac{L^{0,882}}{Ai^{0,272}}$	Tc - tempo de concentração (min); L - Comprimento do talvegue (km); Ai - taxa de impermeabilização da bacia (%)	Bacias Urbanas com área de drenagem variando de 2,5 a 137 km²	Germano <i>et al</i> , 1998
Putnam	$t_c = 0,49 \cdot \left(\frac{4515L}{\sqrt{I}} \right)^{0,50} \cdot Ai^{-0,37}$	Tc - tempo de concentração (h); L - comprimento do talvegue principal (km); I - declividade média equivalente (m/m); Ai - fração da área impermeável (0 - 1)	Área de drenagem entre 0,75 e 340km²; Ai inferior a 30% e o valor da razão do talvegue e a raiz da inclinação tem que está compreendida entre 1 e 9	DRENURBS, 2003
Tulsa District	$t_c = K \cdot \left(\frac{0,053 \cdot L \cdot L_{CA}}{\sqrt{I}} \right)^{0,39}$	Tc - tempo de concentração (h); L - comprimento do talvegue principal (km); I - declividade média equivalente (m/m); LCA - comprimento do talvegue a partir do centróide da bacia (km); K - constante, variando segundo o nível de urbanização	Área de drenagem entre 1 e 1300 km², I entre 0,0008 e 0,180 m/m; L entre 1,6 a 96 km	DRENURBS, 2003

Quadro 2: Formulações semiempíricas, restrições e referencial bibliográfico (continuação).

Nome da Formulação	Equação	Variáveis e Constantes	Restrição ou Observações	Referencial bibliográfico
Denver	$t_c = C_t \cdot \left(\frac{0,386 \cdot L \cdot L_{CA}}{\sqrt{I}} \right)^{0,48}$	Tc – tempo de concentração (h); L – comprimento do talvegue principal (km); I – declividade média equivalente (m/m); Ct – coeficiente do tempo de pico (variável segundo Ai); LCA – comprimento do talvegue a partir do centróide da bacia (km); Ai – porcentagem de área impermeável	Área de drenagem inferiores a 13 km² e declividade moderada (DRENURBS, 2003)	DRENURBS, 2003
George Ribeiro	$t_c = \frac{(16 \cdot L)}{(1,05 - 0,2 \cdot p) \cdot (100 \cdot I)^{0,04}}$	Tc – tempo de concentração (min); P – relação entre área com cobertura vegetal e a área total do talvegue da bacia (%); L – comprimento do talvegue (km); I – declividade média do talvegue principal (m/m)	Surgiu após modificações e adaptações das formulações de Bransby – Williams e Kerby. Alcantra apresentou essa formulação com pequenas adaptações (Pitthan, 1973)	Pitthan, 1973; DNIT, 2005; Reis, 2009
Hathaway	$t_c = 0,606 \cdot \frac{(L \cdot n)^{0,467}}{I^{0,234}}$	Tc – tempo de concentração (h); L – comprimento do talvegue principal (km); I – declividade média equivalente (m/m); n – coeficiente de rugosidade (coef. de Manning)	-	Ponce, 1995; Mata-Lima <i>et al</i> ; 2007

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do rio Cônego, área de estudo neste trabalho, tem área de drenagem aproximada de 30km², totalmente inserida no município de Nova Friburgo, Região Serrana do Rio de Janeiro. O rio Cônego, fruto da confluência do rio Caledônia com o córrego Cascatinha, nasce na serra da Boa Vista (Pico Caledônia) e percorre cerca de 10,9 km antes de encontrar o rio Santo Antônio, no bairro Olaria, conforme pode ser visto na Figura 2.

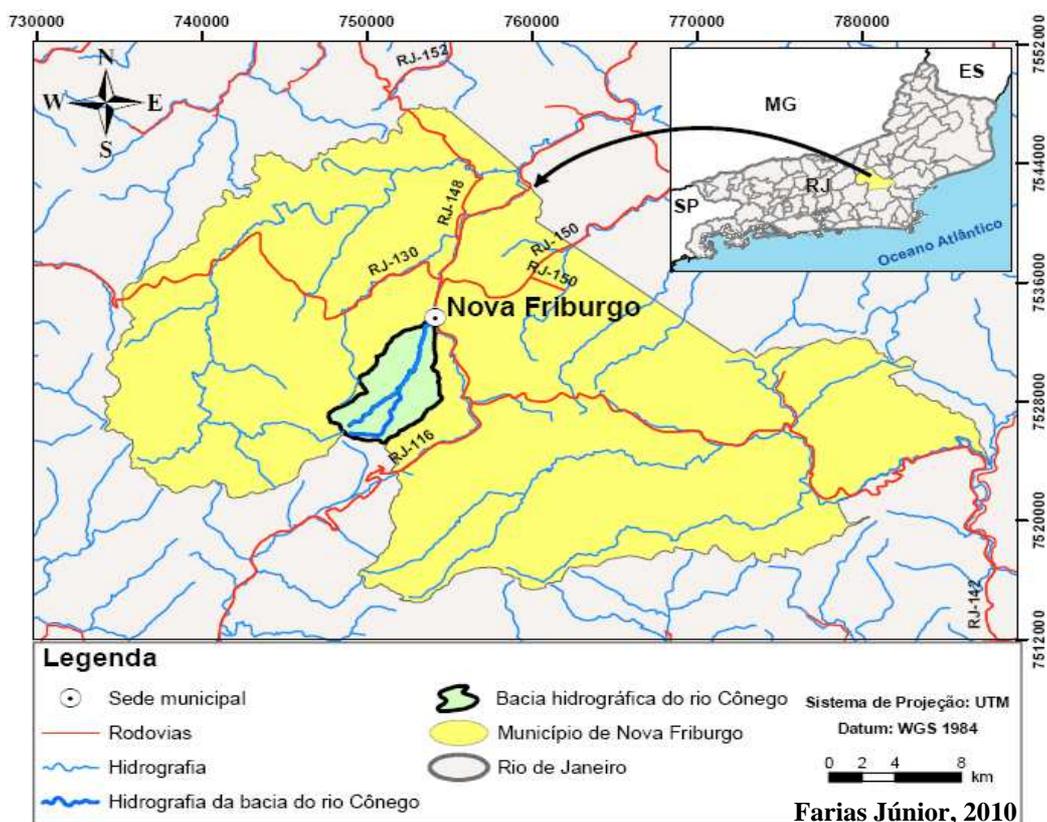


Figura 2: Localização da bacia hidrográfica do rio Cônego, município de Nova Friburgo/RJ

A bacia do rio Cônego caracteriza-se pelo clima tropical de altitude com verões brandos e chuvosos e temperaturas médias de 13°C no inverno e 24°C no verão. As precipitações máximas ocorrem entre os meses de novembro e abril e as mínimas entre maio e outubro.

A Figura 3 ilustra as isoietas de precipitação média anual para a bacia do rio Cônego. Percebe-se que, próximo à nascente, o índice pluviométrico anual ultrapassa 2.600mm e na confluência com o rio Santo Antônio aproxima-se de 1.400mm.

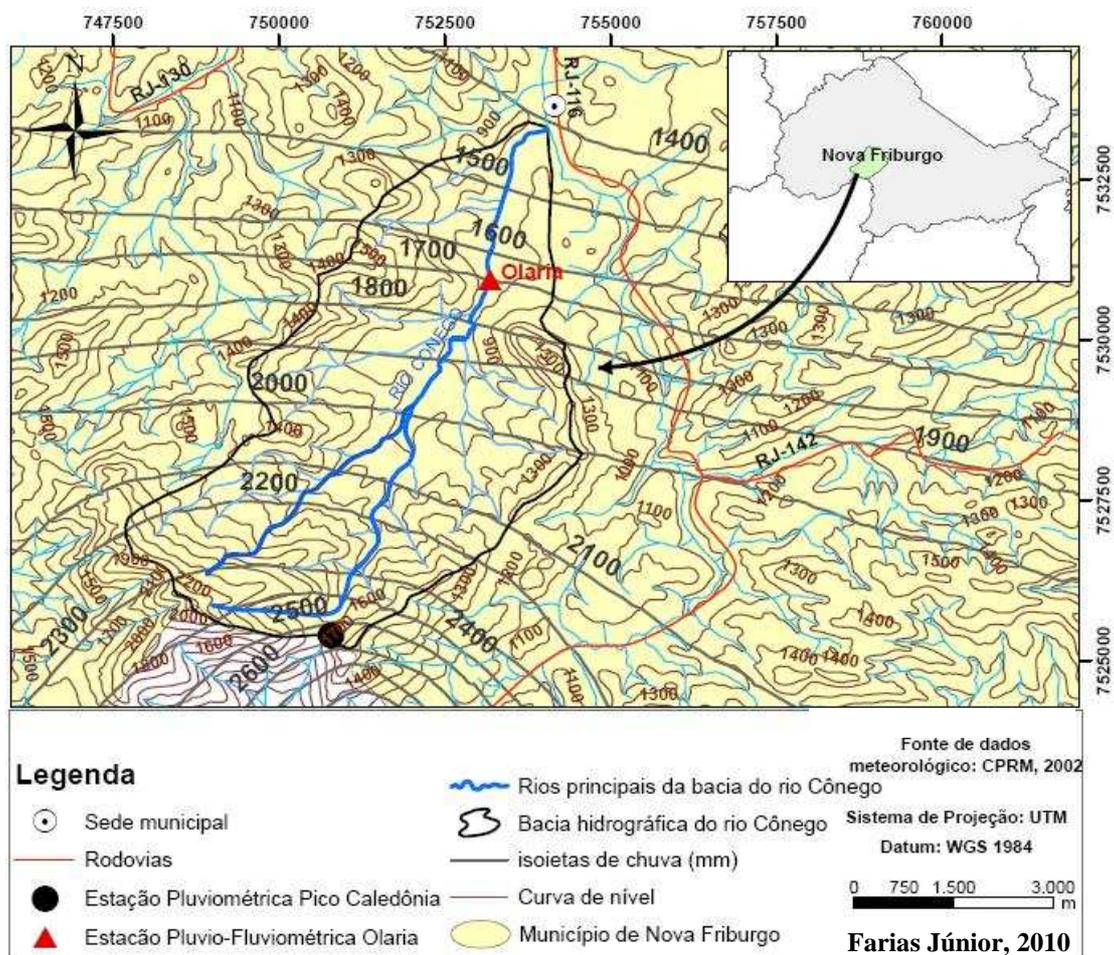


Figura 3: Isoietas de precipitação média anual para a bacia do rio Cônego

A bacia do rio Cônego, de acordo com a Lei Municipal de Nova Friburgo nº 2249, de 8 de dezembro de 1988, está inserida na Região de Desenvolvimento Urbano, o que indica o interesse municipal pela urbanização dessa área. Reflexo desta política pública é o intenso processo de urbanização nas porções média e inferior da bacia, apesar de apresentar um alto grau de preservação na sua porção superior devido às restrições à sua ocupação, principalmente ao relevo montanhoso e altitudes que ultrapassam os 2.000m.

A pressão exercida pelo crescimento populacional, principalmente na porção inferior da bacia, associada à intensificação, de maneira desordenada, do uso e ocupação do solo, como supressão vegetal das encostas e ocupação das margens dos rios, vem causando vários reflexos que têm contribuído negativamente para a qualidade de vida da população.

A figura 4a ilustra a preservação florestal da porção superior do vale do rio Cascatinha e ao fundo a urbanização no trecho médio da bacia do rio Cônego, e a Figura 4b ilustra grau de urbanização na porção inferior da bacia do rio Cônego, no bairro Olaria, onde está localizada a estação telemétrica de mesmo nome.

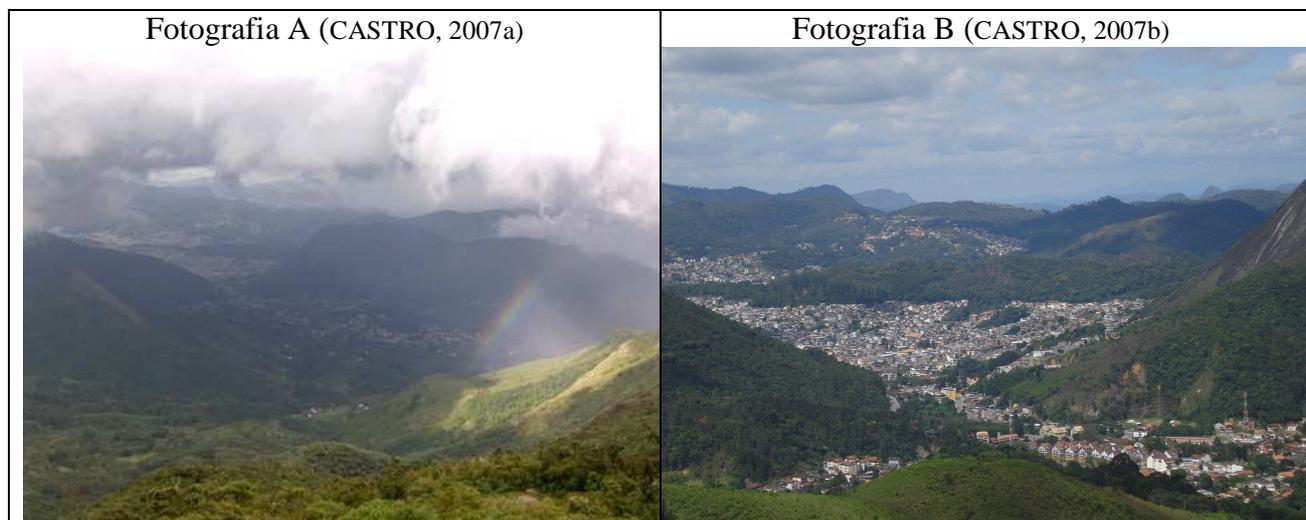


Figura 4: Fotos do Vale do Cascatinha, fotografia A, do bairro do Olaria, fotografia B.

A Figura 5a ilustra o mapeamento do uso e cobertura do solo consolidado no âmbito do Sistema de Informações de Recursos Hídricos da Bacia do rio Paraíba do Sul (LABHID, 2003), e a Figura 5b ilustra a imagem da bacia do rio Cônego referente ao ano de 2005.

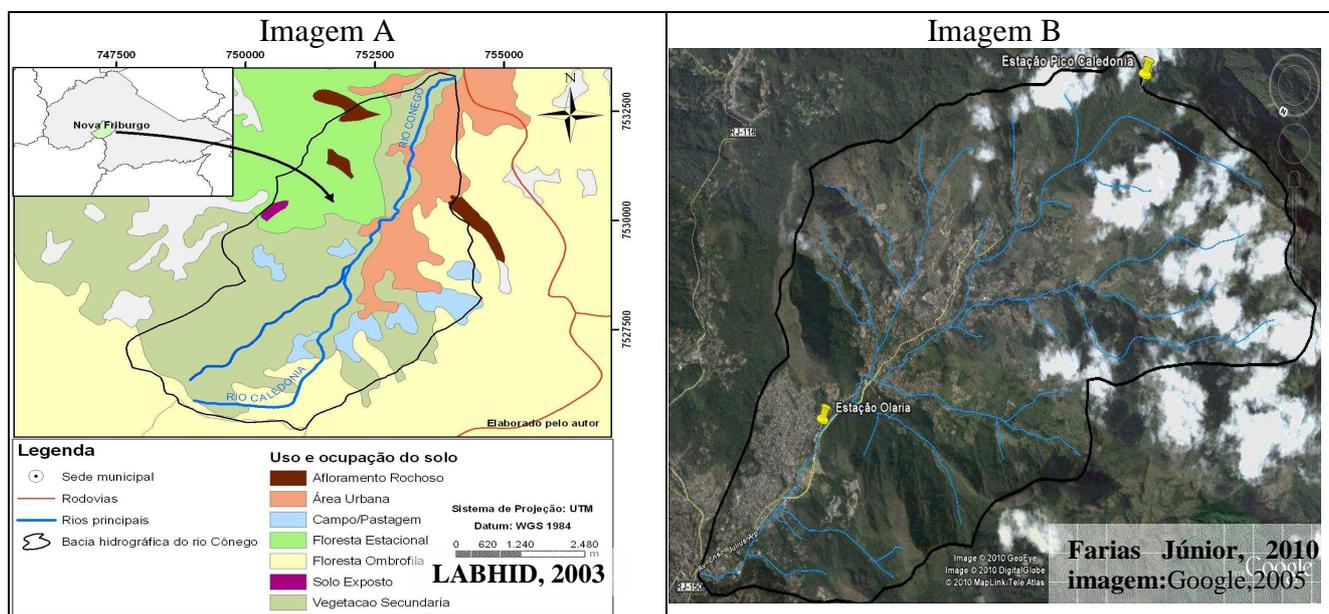


Figura 5: Mapa do uso e ocupação do solo, imagem A, e imagem de satélite, imagem B, da bacia do rio Cônego

As enchentes e inundações são frequentes na região e vêm se intensificando ao longo dos anos. Neste sentido, algumas ações vêm sendo adotadas para mitigar tais efeitos, como a implementação, pelo Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro (INEA), do Sistema de Alerta de Cheias da Região Serrana, no ano de 2008.

A bacia do rio Cônego dispõe de duas estações telemétricas (Quadro 3), Olaria e Pico Caledônia, com dados discretizados a cada 15 minutos. A estação Olaria, localizada no rio Cônego

próximo à confluência com o rio Santo Antônio, está equipada com pluviômetro e sensor de nível d'águas e, portanto, dispõe de dados de precipitação e cota. Já a estação Pico Caledônia, localizada na cabeceira do rio Caledônia, foi equipada apenas com pluviômetro e, portanto, só registra precipitação.

Quadro 3: Rede telemétrica hidrometeorológica existente na bacia hidrográfica do rio Cônego, município de Nova Friburgo/RJ.

Estação	Coordenadas		Tipo	Início de funcionamento
Pico Caledônia	22° 21' 33,1"	42° 33' 53,3"	Pluviométrica	Dezembro de 2008
Olaria	22° 18' 31,3"	42° 32' 32,1"	Pluvio-fluviométrica	

ESTIMATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO PARA O RIO CÔNEGO: MÉTODO DIRETO VERSUS MÉTODO INDIRETO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

O tempo de concentração foi estimado através de dois procedimentos, apoiados na hipótese de que o solo não estava saturado e nem próximo ao seu saturamento. O primeiro baseou-se em informações oriundas do monitoramento da precipitação e do nível d'água na bacia do rio Cônego, método direto; já o segundo, em formulações empíricas e semiempíricas baseadas nas restrições identificadas para cada formulação, método indireto.

Estimativa do tempo de concentração com base nos dados hidrometeorológicos para o rio Cônego

Para estimar o tempo de concentração através do método gráfico, utilizaram-se dados disponibilizados pelo INEA através da rede telemétrica do Sistema de Alerta de Cheias do Estado do Rio de Janeiro. Outras estações hidrometeorológicas existentes na região não foram utilizadas por apresentarem restrições de confiabilidade dos dados e intervalo de discretização incompatíveis com a necessidade do estudo.

As estações utilizadas foram a estação pluviométrica Pico Caledônia e a estação pluvio-fluviométrica de Olaria, com informações disponíveis de dezembro de 2008 a novembro de 2009. Apesar do curto período de operação, que induz a uma fragilidade na utilização dos dados gerados como representativos para a região, elas foram utilizadas visto que as mesmas dispõem de informações discretizadas em intervalos curtos, inferiores ao tempo de concentração (por exemplo, 15 minutos), e por já terem registrado eventos extremos que causaram incremento significativo na vazão do rio.

Após a coleta dos dados hidrometeorológicos, procedeu-se sua análise, identificando eventos chuvosos extremos que causaram incremento significativo da vazão no ponto de controle, estação Olaria, e a comparação entre esses eventos extremos, no tocante à sua duração e magnitude, nas

estações Pico Caledônia e Olaria, visando garantir a idealização de que a precipitação ocorreu de maneira homogênea em toda bacia do rio Cônego.

Após a análise dos dados disponíveis adotou-se o evento chuvoso registrado entre 21h:00min e 01h:30min do dia 12 de novembro de 2009 como crítico (Figura 6). Além de apresentar significativa intensidade e curta duração, este evento foi escolhido por ter ocorrido de maneira contínua e pela inexistência de precipitação significativa nas 72 horas que antecederam esse evento na bacia do rio Cônego. Assim, garante-se a hipótese de que o solo não estava saturado ou próximo à saturação no momento da precipitação, condicionante necessária à não indução à estimativa de um tempo de concentração inferior ao determinado para um solo seco, como condição inicial.

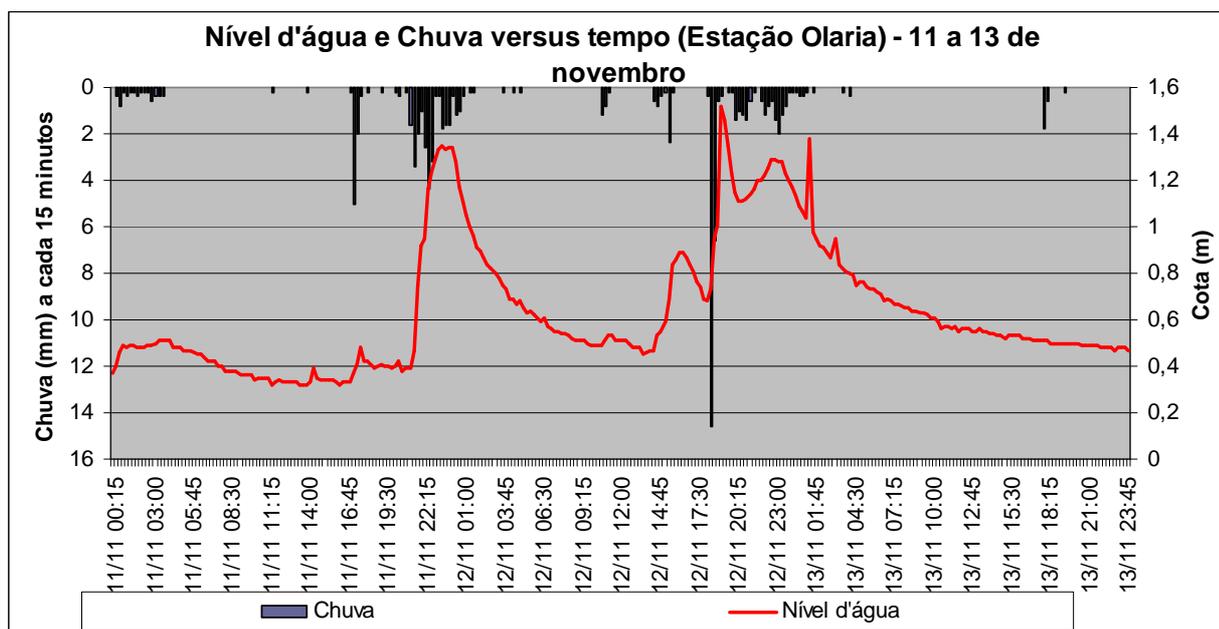


Figura 6: Eventos chuvosos críticos na estação Olaria, bacia do rio Cônego, Nova Friburgo (RJ).

Em seguida, procedeu-se uma análise comparativa entre a precipitação registrada na cabeceira da bacia do rio Cônego, estação Pico Caledônia, e no ponto de controle, estação Olaria, considerando sua magnitude e distribuição. Esta análise se faz necessária para garantir a hipótese de que a chuva tenha ocorrido de maneira homogênea em toda a bacia hidrográfica em estudo. Após análise dos dados, essa hipótese foi considerada aceitável.

Após a escolha do evento chuvoso crítico, calculou-se o centróide da parcela da chuva correspondente ao intervalo temporal do início da precipitação (21h00min de 11 de novembro de 2009) até o momento em que ocorreu o pico da vazão (23h15min de 11 de novembro de 2009). O valor corresponde ao intervalo temporal desse centróide ao pico de vazão que foi considerado como o tempo de pico para o rio Cônego, resultando no valor igual a 1 hora e 16 minutos (ou 76 minutos). Em seguida, estimou-se o tempo de concentração através da divisão do tempo de pico por 0,6, resultando no valor igual a 126 minutos, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1: Dados da bacia do rio Cônego utilizados no método gráfico, usado para estimar o tempo de concentração baseado em dados hidrometeorológicos

Cota do pico	1,35 m
Hora correspondente a cota pico	11/11/2009 23h:15min
Total precipitado até o momento do pico de vazão	20,8 mm
Precipitação correspondente ao centróide da chuva 1	10,4 mm
Hora correspondente ao centróide da chuva 1	11/11/2009 21h:59min
Tempo de pico (baseado em dados hidrometeorológicos)	1h:16min (76min)
Tempo de concentração (método direto)	2h:06min (126min)

Estimativa do tempo de concentração a partir de formulações empíricas e semiempíricas

Do total de 21 formulações aplicadas neste trabalho (Quadros 1 e 2), 15 são empíricas e 6 semiempíricas, selecionadas baseadas na quantidade e qualidade de dados disponíveis na bacia hidrográfica do rio Cônego e nos parâmetros de restrições para cada formulação.

Todas as formulações utilizam parâmetros oriundos de características fisiográficas da bacia do rio Cônego como dados de entrada. Apenas a formulação McCuen utiliza parâmetro hidrológico, intensidade de precipitação, além dos fisiográficos. A Tabela 2 apresenta o resumo das informações fisiográficas calculadas para a bacia do rio Cônego.

Tabela 2: Resumo dos dados fisiográficos da bacia do rio Cônego no ponto de controle, estação Olaria, no município de Nova Friburgo (RJ).

Área de drenagem (km ²)	24,23
Talvegue (km)	8,15
Cota máxima (m)	2200
Cota mínima (m)	840
Altitude média (m)	1365
Declividade média (m/m)	0,1668
Comprimento do talvegue a partir do centróide da bacia (km)	4,98
Comprimento do talvegue da foz ao centróide da bacia(km)	3,17
Perímetro (km)	21,09
Coefficiente de compacidade	1,20
Fator de forma	0,364

As demais informações necessárias para a estimativa do tempo de concentração, para as 21 formulações selecionadas, são apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4: Parâmetros utilizados para estimativa do tc para as formulações aplicadas na bacia do rio Cônego

Parâmetro	Método que o utiliza	valor
Coefficiente de escoamento (C)	Arnell	0,6
K	Riverside Country	0,9
Fração da área impermeável (AI)	IPH II	0,1
K	Tulsa District	1,35
p	GEORGE RIBEIRO	0,65
Ct	Denver	0,1458
Coefficiente de <i>manning</i> (n)	Hathaway	0,3
K	DNOS	3
i_2 (mm/h)	McCuen	9,24

As informações referentes ao uso e ocupação do solo foram obtidas a partir da análise do mapa de uso e ocupação do solo (Figura 5a) e análise visual, realizada no dia 29 de outubro de 2009, de imagens obtidas no software Google Earth, datadas dos dias 27 de maio e 07 de agosto de 2005 (Figura 5b).

Os resultados da aplicação das formulações empíricas Riverside Country, Dooge, Califórnia Culverts Practice (adaptação DER/SP), Bransby-Williams, Ven Te Chow, Picking, Giandotti, Pasini, Temez, Carter Lag Equation for Partially Sewered, Williams, Ventura e McCuen são apresentados na Tabela 3. Já os resultados da aplicação das formulações semiempíricas Arnell, DNOS, IPH II, Putnam, Tulsa District, Denver, George Ribeiro e Hathaway são apresentados na Tabela 4.

Discussão dos resultados obtidos para a bacia do rio Cônego

Os tempos de concentração estimados, sejam baseados em dados hidrometeorológicos ou nas formulações semi-empíricas, são totalmente dependentes das informações oriundas do monitoramento, evidenciando a importância do monitoramento constante dos vários parâmetros necessários para os cálculos. A região em estudo é carente no que se refere a séries históricas de dados hidrometeorológicos contínuos ao longo do dia, apresentando duas estações com dados contínuos, porém com apenas um ano de monitoramento.

Partindo do pressuposto de que os dados utilizados refletem a realidade da bacia, pôde-se realizar a análise comparativa entre o tempo de concentração estimado pelo método gráfico e pelas formulações empíricas e semi-empíricas. A análise da Tabela 3 permite identificar quais formulações empíricas apresentaram resultados semelhantes e quais as que mais se aproximaram do tempo de concentração estimado pelo método gráfico (126 minutos).

Tabela 3: Comparação entre o t_c estimado pelo método gráfico e pelas formulações empíricas para a bacia do rio Cônego.

Formulação empírica	Tempo de concentração (min)	Razão entre o t_c estimado pelas formulações empíricas e método gráfico
Riverside Country	42	34%
Dooge	60	47%
Califórnia Culverts Practice (adaptação DER/SP)	60	47%
Bransby-Williams	124	98%
Ven Te Chow	39	31%
Picking	39	31%
Giandotti	65	51%
Pasini	92	73%
Temez	125	99%
Carter Lag Equation for Partially Sewered	35	27%
Williams	124	98%
Ventura	91	72%
McCuen	128	101%

As 13 formulações empíricas utilizaram informações fisiográficas para a estimativa do tempo de concentração. Destas apenas uma não utiliza o parâmetro comprimento do talvegue; três, a declividade média e seis, a área de drenagem. Apenas a formulação McCuen utilizou parâmetro hidrometeorológico, intensidade de precipitação, na estimativa do tempo de concentração.

As formulações Bransby-Williams, Temez, recomendada pela *Dirección General de Carreteras* da Espanha, Williams, desenvolvida para bacias indianas, e McCuen apresentaram os melhores valores, se comparado ao tempo de concentração estimado pelo método gráfico, variando entre 124 e 128 minutos. A Figura 7 ilustra, de maneira sintética, a comparação entre os tempos de concentração estimados pelas formulações empíricas e pelo método gráfico.

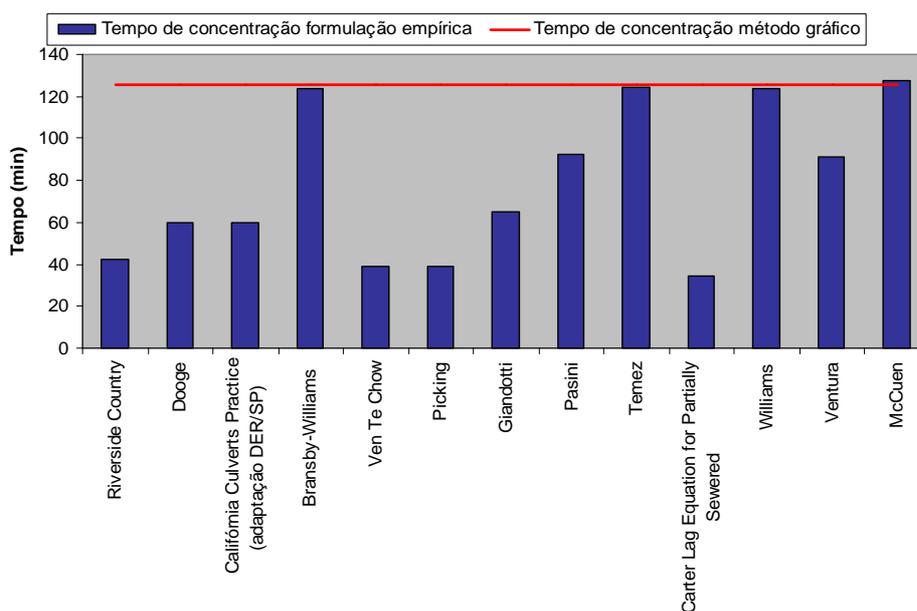


Figura 7: Comparação entre o tc estimado pelo método gráfico e pelas formulações empíricas para a bacia do rio Cônego

A análise da Tabela 4 permite identificar quais formulações semiempíricas apresentaram resultados semelhantes e quais mais se aproximaram do tempo de concentração estimado pelo método gráfico (126 minutos).

Tabela 4: Comparação entre o tc estimado pelo método gráfico e pelas formulações semiempíricas para a bacia do rio Cônego

Formulação semiempírica	Tempo de concentração (min)	Razão entre o tc estimado pelas formulações semiempíricas e pelo método gráfico
Arnell	185	147%
DNOS	68	54%
IPH II	63	50%
Putnam	88	70%
Tulsa District	155	123%
Denver	50	40%
George Ribeiro	127	101%
Hathaway	84	67%

A formulação George Ribeiro, a mais adotada pelo INEA, foi a que apresentou melhor resultado, se comparado com o tempo de concentração estimado pelo método gráfico, apresentando

desvio inferior a 1%. A Figura 8 ilustra, de maneira sintética, a comparação entre os tempos de concentração estimados pelas formulações semiempíricas e pelo método gráfico.

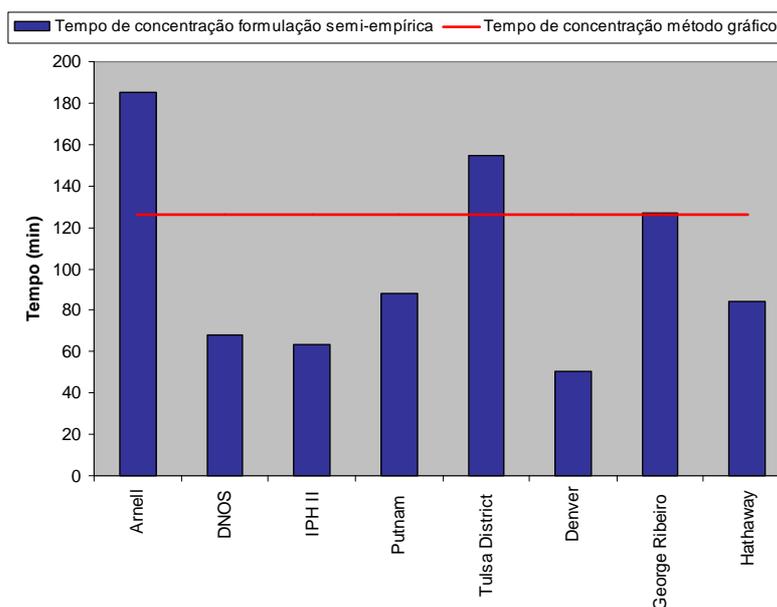


Figura 8: Comparação entre o t_c estimado pelo método gráfico e pelas formulações semiempíricas para a bacia do rio Cônego

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O tempo de concentração é um dos principais parâmetros para a estimativa de vazões máximas e, portanto, deve ser estimado de maneira criteriosa. Pôde-se evidenciar a necessidade de prudência ao utilizar uma formulação para estimar o tempo de concentração, se ela não foi calibrada para a região em estudo, uma vez que a mesma pode apresentar resultados significativamente superiores ou inferiores ao valor real.

Mesmo identificando-se que as formulações empíricas e semiempíricas foram concebidas para uma região específica e que sua aplicação para regiões com características fisiográficas e/ou climáticas diferentes poderiam não apresentar bons resultados, este trabalho não teve a ambição de propor novas formulações, mas sim de identificar quais formulações se adaptam melhor à realidade da bacia hidrográfica do rio Cônego, que apresenta característica de ambiente montanhoso e de clima úmido do Sudeste brasileiro, além de sugerir elementos que contribuam para a criação de formulações em estudos futuros.

As principais dificuldades identificadas que inviabilizaram a criação de uma formulação para a região em estudo foram a escassez de dados com precisão e/ou detalhamento compatíveis com o estudo, e a inexistência de recursos financeiros que viabilizassem campanhas de campo e geração de dados primários.

É importante evidenciar a inviabilidade financeira de se criarem formulações para todas as bacias hidrográficas, porém a criação de formulações para regiões com características fisiográficas

e climáticas semelhantes se torna cada dia mais necessária, no intuito de aumentar a confiabilidade dos cálculos, principalmente de engenharia, e de decisões que se baseiam no tempo de concentração.

Os dados hidrometeorológicos utilizados basearam-se em duas estações telemétricas com apenas um ano de operação e, conseqüentemente, a chuva utilizada corresponde a uma precipitação crítica para aquele período de um ano. É fundamental que se utilize, em estudos futuros, chuvas com magnitude superior à utilizada pelo método gráfico, visando aferir se há variação do tempo de concentração com o aumento da magnitude da chuva.

As informações sobre o uso e a ocupação basearam-se no mapeamento de uso e da ocupação do solo do LABHID (2003) e das imagens extraídas do *software* Google Earth, que refletiam a realidade da bacia no dia sete de agosto de 2005. Portanto, pode haver uma defasagem significativa entre as características de uso e ocupação do solo utilizadas neste estudo e as atuais.

Dentre as 21 formulações aplicadas, apenas quatro foram concebidas ou adaptadas para regiões brasileiras, nomeadamente *Califórnia Culverts Practice* (adaptação DER/SP), George Ribeiro, DNOS e IPH II. Apesar de essas formulações serem desenvolvidas ou adaptadas para o Brasil, apenas a formulação de George Ribeiro apresentou bom resultado para a bacia hidrográfica do rio Cônego, ao serem comparadas com o tempo de concentração estimado pelo método gráfico.

A formulação George Ribeiro, a mais adotada pelo INEA (órgão gestor de recursos hídricos do Estado do Rio de Janeiro), apresentou tempo de concentração igual a 127 minutos, muito próximo ao estimado pelo método gráfico. Portanto, segundo o estudo aqui desenvolvido, se este e outros órgãos utilizarem esta formulação para estimar vazões máximas para a bacia do rio Cônego ou bacias com características climáticas e fisiográficas semelhantes, deverão obter bons resultados.

As formulações *Califórnia Culverts Practice*, adaptada pelo DER de São Paulo, DNOS e IPH II, apresentaram tempos de concentração baixos, se comparados com o tempo de concentração estimado pelo método gráfico, apresentando desvio de 53%, 46% e 50%, respectivamente. Portanto, ao usar essas formulações para estimar vazões máximas para a bacia do rio Cônego, estes valores seriam superestimados.

As três formulações acima mencionadas são as mais utilizadas no Estado do Rio de Janeiro e no Brasil, o que realça a necessidade de que novas formulações sejam determinadas para diversas regiões brasileiras com características fisiográficas e climáticas distintas.

O parâmetro intensidade de precipitação com tempo de recorrência de dois anos, utilizado como dado de entrada para a formulação empírica McCuen, deve ser aferido após o aumento do período de monitoramento hidrometeorológico, uma vez que o valor utilizado corresponde à precipitação de maior intensidade identificada no período de monitoramento existente, dezembro de 2008 a novembro de 2009.

As formulações empíricas Bransby-Williams, Temez, Williams e McCuen, além da formulação semiempírica George Ribeiro, apresentaram valores próximos ao tempo de concentração estimado pelo método gráfico, com desvio máximo de 2%. Portanto, a princípio, essas formulações podem ser utilizadas para a estimativa do tempo de concentração na bacia do rio Cônego. É essencial que uma reavaliação seja feita após a disponibilização de mais dados hidrometeorológicos e atualização do uso e ocupação do solo.

Apesar de apresentarem bons resultados, as formulações indicadas para a bacia do rio Cônego não devem ser utilizadas de maneira indiscriminada em outras bacias. É importante evidenciar que as formulações adotadas para essa bacia só devem ser utilizadas para regiões semelhantes após uma análise criteriosa das suas características fisiográficas, climatológica e uso do solo.

As formulações semiempíricas, apesar de requererem mais informações, demonstram ser mais adequadas para regiões com alta dinâmica no uso e ocupação do solo, uma vez que suas formulações podem incorporar adaptações às modificações ocorridas ao longo do tempo.

As formulações empíricas devem ser utilizadas preferencialmente para regiões com baixa dinâmica no uso e ocupação do solo, ou para estimativas preliminares do tempo de concentração, em que não se requer uma boa precisão.

Em virtude dos estudos realizados e dos resultados alcançados neste trabalho, alguns pontos devem ser analisados em estudos futuros. A seguir, encontram-se as principais recomendações propostas:

- Utilizar precipitações com intensidades diferentes para aferir o tempo de concentração estimado pelo método gráfico, que se baseia em dados hidrometeorológicos;
- Aferir se o uso e a ocupação do solo utilizados neste estudo estão compatíveis com a situação real para o período de monitoramento utilizado;
- Ampliar a rede de monitoramento hidrometeorológico, intensificando a instalação de estações automáticas e/ou telemétricas;
- Estimar o tempo de concentração para bacias hidrográficas com características fisiográficas e climáticas semelhantes às do rio Cônego, porém com áreas de drenagem e uso e ocupação do solo diferentes, e comparar os resultados alcançados com os deste trabalho;
- Desenvolver formulações baseadas nas características fisiográficas e climáticas para diversas regiões brasileiras no intuito de minimizar as incertezas associadas à utilização de formulações que não se adequam à região em estudo;
- Simular cenários futuros de uso e ocupação do solo, supondo aumento da urbanização ou processo de reflorestamento.

BIBLIOGRAFIA

BEADLES, S. J. P., 2009. **Applied Hydrology**. Disponível em: <http://www.spsu.edu/cet/sbeadles/Hydrology%20Material/New%20Hydrology%20Manual/Time%20of%20Concentration.doc>. Acesso em: 20 de outubro de 2009.

BOTELHO, R.G. M. Bacias Hidrográficas Urbanas. In: GUERRA, A. J. T. (Org.). **Geomorfologia Urbana**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. p. 71-115.

CASTRO, Osmar, 2007a. 1 fotografia; color; fotografado em dia 21/03/2007. Disponível em: <<http://acervonovafriburgo.blogspot.com/>>. Acessado em 12 de agosto de 2010.

CASTRO, Osmar, 2007b. 1 fotografia; color; fotografado em dia 25/01/2007. Disponível em: <<http://acervonovafriburgo.blogspot.com/>>. Acessado em 12 de agosto de 2010.

COSTA, T. e LANÇA, R., 2001. **Capítulo I: Hidrologia de Superfície**. Área Departamental De Engenharia Civil Núcleo de Hidráulica e Ambiente da Escola Superior de Tecnologia Universidade do Algarve, Portugal, 2001.

CPRM, 2002. **Regionalização de vazões da sub-bacia 58**. Tomo I – Texto. Rio de Janeiro, 2002.

DGC - Dirección General de Carreteras da Espanha, 1987. **Cálculo Hidrometeorológico de Caudales Máximos en Pequeñas Cuencas Naturales**. Alanmer S.A., Madrid.

DNIT - Departamento Nacional de Infra_Estrutura de Transportes, 2005. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. Publicação IPR-715. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 2005.

DRENURBS, 2003. **Programa de Recuperação Ambiental do Município de Belo Horizonte**. Prefeitura de Belo Horizonte. Disponível em: <http://www.pbh.gov.br/scomurbe/sudecap/smeu/drenurbs/relatorios/publico/drenurbs-metodologia adotada nos estudos hidrologicos e hidraulicos.doc>. Acesso em: 19 de agosto de 2008.

FANG, X.; THOMPSON, D. B. ; CLEVELAND, T. G. ; PRADHAN, P. ; MALLA, R., 2008. Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. ASCE, p. 202-211, Março/Abril, 2008.

FARIAS JÚNIOR, José Edson Falcão de, 2010. **Análise do comportamento do tempo de concentração no rio Cônego, no município de Nova Friburgo/RJ**. Monografia de curso de especialização, Escola Nacional de Ciências Estatísticas - ENCE. Rio de Janeiro-RJ, 70 p.

FRANCO, E. J., 2004. **Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná - UFPR.

GERMANO, A.; TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA, A. L. L., 1998. Estimativa dos Parâmetros do Modelo IPH II para Algumas Bacias Urbanas Brasileiras. **RBRH**, V3, N4, p. 103-120.

LECASTRE, A. e FRANCO, F. M., 1984. **Lições de hidrologia**, Universidade Nova de Lisboa, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Portugal.

- MARK A. MAREK, P.E., 2009. **Hydraulic Design Manual**. Disponível no site: http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hyd/time_of_concentration.htm. Acesso no dia: 12 de outubro de 2009.
- MATA-LIMA, H.; VARGAS, H.; CARVALHO, J.; GONÇALVES, M.; CAETANO, H.; MARQUES, A.; RAMINHOS, C., 2007. **Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso**. Rem: Rev. Esc. Minas, Ouro Preto, v. 60, n. 3, set. 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-44672007000300014&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 14 novembro de 2008.
- MCCUEN, R. H.; WONG, S. L. ; RAWLS, W. J., 1984. Estimating urban time of concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, Vol. 110, Nº. 7, July, 1984.
- PELÁEZ, J. R. T., 2003. Facetas del cálculo hidrometeorológico y estadístico de máximos caudales. **Revista de Obras Públicas**. nº 3.430, p. 47-51, Fevereiro de 2003.
- PITTHAN, R. O. 1973. **Tempo de concentração de pequenas bacias hidrográficas: Análise Comparativa dos Diversos Métodos e Uso de Traçadores radioativos**. Tese de mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ.
- PONCE, V. M., 1995. **Engineering hydrology Principles and Practices**. 5ª edição, Softbound cover. Disponível em: <http://ponce.sdsu.edu/textbookhydrologychapters.html>. Acessado 12 de outubro de 2009.
- REIS, L. F. R., 2009. **Capítulo 4: Escoamento Superficial**. Notas de Aula.
- TARBOGA TORRICO, J. J., 1974. **Práticas Hidrológicas**. TRANSCON, Rio de Janeiro, 120p.
- TUCCI, C. E. M.(Org.), 1993. **Hidrologia. Ciência e Aplicação**. ABRH, p. 459-476. Editora da Universidade, ABRH, EDUSP, 1993.Porto Alegre, RS.
- VESTENA, L. R., 2008. A Importância da Hidrologia na Prevenção e Mitigação de Desastres Naturais. *Ambiência* – **Revista do Setor de Ciência Agrárias e Ambientais**, V. 4 nº1, Jan./abr. 2008.