

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
LEONARDO VICTOR FONSECA

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS APLICADOS À
MICRODRENAGEM URBANA**

FORMIGA – MG

2017

LEONARDO VICTOR FONSECA

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS APLICADOS À
MICRODRENAGEM URBANA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do UNIFOR-MG, como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Kátia Daniela
Ribeiro.

FORMIGA – MG

2017

F676 Fonseca, Leonardo Victor.

Desenvolvimento de ferramenta computacional para determinação de parâmetros hidrológicos aplicados à microdrenagem urbana / Leonardo Victor Fonseca. – 2017.

72 f.

Orientadora: Kátia Daniela Ribeiro.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)-
Centro Universitário de Formiga-UNIFOR, Formiga, 2017.

1. Tempo de concentração. 2. Intensidade de precipitação.
3. Coeficiente de deflúvio. I. Título.

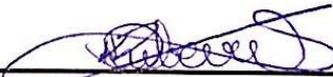
CDD 551.48

Leonardo Victor Fonseca

DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA
DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS APLICADOS À
MICRODRENAGEM URBANA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do UNIFOR-MG, como requisito parcial
para obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



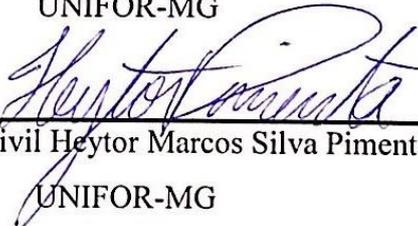
Prof.^a Dr.^a Kátia Daniela Ribeiro

Orientadora



Prof. Anísio Cláudio Rios Fonseca

UNIFOR-MG



Engenheiro Civil Heytor Marcos Silva Pimenta

UNIFOR-MG

Formiga, 01 de novembro de 2017.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por estar sempre presente em minha vida, guiando-me diante dos momentos de dificuldade. À minha mãe Maria Aparecida Rodrigues Fonseca e ao meu pai José Silvio da Fonseca pelo apoio incondicional. Aos meus irmãos Dilzane Maria da Fonseca, Elcio Rodrigo Fonseca e Poliana Maira da Fonseca pelo incentivo dado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por me conduzir à escolha do curso de Engenharia Civil e proporcionar a realização desta e de tantas outras conquistas.

Agradeço ao incentivo e dedicação de meus pais José Silvio da Fonseca e Maria Aparecida Rodrigues Fonseca, e demais familiares, que durante toda essa trajetória, não mediram esforços para auxiliar na superação de obstáculos, motivando-me sempre a seguir em frente com perseverança e coragem.

Em especial, agradeço à professora orientadora Dr^a. Kátia Daniela Ribeiro, por toda a atenção, dedicação e suporte prestado não apenas na realização do presente Trabalho de Conclusão de Curso, mas também em outros cenários provenientes da vida acadêmica e pessoal.

Por fim, agradeço aos meus amigos e colegas de trabalho pelo apoio incondicional, compreensão e paciência no decorrer de todo o período da graduação.

RESUMO

Ao longo da história, diversos autores buscaram a criação de métodos que os auxiliassem na compreensão do comportamento do ciclo hidrológico, através de observações, experimentações e fórmulas distintas. Entretanto, a diversidade de métodos de cálculo existentes associados a ausência de uma normalização específica que estabeleça critérios quanto aos parâmetros hidrológicos a serem adotados nos projetos de microdrenagem, possibilita que haja discrepâncias nas vazões de projeto obtidas e, conseqüentemente, no custo da obra em questão. No presente trabalho, objetivou-se a concepção de uma ferramenta computacional capaz de determinar, por métodos distintos, os parâmetros hidrológicos básicos aplicados à estimativa da vazão de projetos de microdrenagem urbana e compará-los. Por intermédio deste instrumento, tornou-se viável analisar a influência da declividade do talvegue principal de duas bacias de contribuição hipotéticas para a cidade de Formiga/MG nos valores de intensidade de precipitação utilizados na estimativa das vazões de projeto de sistemas de microdrenagem urbana. Através do Método Racional, ao fixar os valores do coeficiente de escoamento superficial (C) e a área da bacia de contribuição (A), verificou-se que a vazão de projeto (Q) depende unicamente dos valores da intensidade de precipitação (I). Assim, quanto maior a declividade do talvegue principal de uma bacia, menor será o tempo de concentração (t_c) e maior será a vazão de projeto. Com base nos resultados obtidos, verificou-se que o método de Kirpich para o cálculo do tempo de concentração tende a gerar maiores valores de vazão de projeto, enquanto que o Método Cinemático do SCS gera os menores valores e se apresenta como o mais favorável economicamente.

Palavras-chave: Tempo de concentração. Intensidade de precipitação. Coeficiente de deflúvio.

ABSTRACT

There are several methods proposed to study the hydrological cycle behavior that applying different observations, experimentation and equations. And there isn't a specific standard in Brazil that indicate which those methods may be used in hydrological parameters determination for micro drainage projects. Thus, discrepancies in the values of project flows obtained can be observed, impacting projects costs. This work aimed at designing a computational tool for determining, by different methods, hydrological parameters applied to flow estimation of micro drainage projects. Through the tool designed, it was also analyzed the influence of slope of basin main waterline on precipitation intensity values of two hypothetical basins from city of Formiga, Minas Gerais, Brazil. Fixing the values of runoff coefficient and basin area, it was verified that project flow depends only on precipitation intensity values, concluding that how greater the declivity of basin main waterline, shorter is the concentration time and larger is the project flow. Results also allowed observed that Kirpich method used for concentration time calculation generates higher design flow values, and SCS Kinetic Method generates the smallest flow project values that characterizing itself as most economical.

Keywords: Concentration time. Rainfall intensity. Runoff coefficient.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

Figura 1 - Imagem ilustrativa do ciclo hidrológico.	15
Figura 2 - Imagem representativa de uma bacia hidrográfica.	16
Figura 3 - Modelo simplificado da quantificação do deflúvio superficial direto.	28
Gráfico 1 - Intensidade de Precipitação x Declividade do Talvegue (Bacia Menor).....	42
Gráfico 2 - Intensidade de Precipitação x Declividade do Talvegue (Bacia Maior).....	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Períodos de retorno (T) propostos por DAEE-CETESB (1980 apud Porto et al., 2000), em virtude do tipo de ocupação da área.	18
Tabela 2 - Velocidades médias para o cálculo de t_c , em m/s.	21
Tabela 3 - Coeficiente de deflúvio (C) de acordo com a ocupação da área.	23
Tabela 4 - Coeficiente de deflúvio de acordo com o revestimento da superfície.	24
Tabela 5 - Valores de C recomendados por ASCE (1969).	25
Tabela 6 - Valores do coeficiente C para áreas rurais.	25
Tabela 7 - Valores de C adotados - Prefeitura do Município de São Paulo (WILKEN, 1978)	26
Tabela 8 - Fator de correção de C.	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo geral.....	13
2.2	Objetivos específicos.....	13
3	JUSTIFICATIVA.....	14
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
4.1	Hidrologia e ciclo hidrológico.....	15
4.2	Bacia hidrográfica.....	16
4.3	Microdrenagem urbana.....	17
4.4	Parâmetros hidrológicos aplicados à microdrenagem urbana.....	17
4.4.1	Período de retorno.....	18
4.4.2	Tempo de concentração.....	19
4.4.2.1	Fórmula de Dooge.....	19
4.4.2.2	Fórmula da Federal Aviation Agency.....	19
4.4.2.3	Fórmula de Kirpich.....	20
4.4.2.4	Método Cinemático do SCS.....	20
4.4.2.5	Fórmula da Onda Cinemática.....	21
4.4.3	Intensidade de Precipitação.....	22
4.4.4	Coeficiente de escoamento superficial.....	23
4.4.4.1	Fator de correção para o coeficiente de deflúvio.....	27
4.5	Vazão de projeto para sistemas de microdrenagem.....	27
4.5.1	Fatores que intervêm na vazão de projeto de sistemas de microdrenagem.....	29
4.5.1.1	Fatores climáticos.....	29
4.5.1.2	Fatores fisiográficos.....	30
4.6	Programação em Excel.....	30
4.6.1	Introdução ao desenvolvimento de programas.....	31
4.6.2	Introdução ao VBA.....	31
4.6.3	Introdução às Macros.....	32
5	METODOLOGIA.....	33
5.1	Desenvolvimento da ferramenta computacional.....	33

5.2	Aplicação da ferramenta computacional desenvolvida para a determinação das intensidades de precipitação no município de Formiga/MG em função da declividade do talvegue principal da bacia de contribuição.	34
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
6.1	Ferramenta computacional desenvolvida	35
6.1.1	Tela de Login.....	35
6.1.2	Central de Apoio.....	35
6.1.3	Interface Principal.....	36
6.1.3.1	Guias.....	36
6.1.3.2	Área de Acesso Rápido	37
6.1.3.3	Botões de Controle e Ajuda.....	37
6.1.4	Interface para cálculo da intensidade média de precipitação	37
6.1.5	Interfaces para cálculo do coeficiente de deflúvio	38
6.1.6	Interfaces para determinação do tempo de concentração	40
6.1.7	Interfaces para elaboração de gráficos.....	41
6.2	Aplicação da ferramenta computacional desenvolvida para a determinação das intensidades de precipitação no município de Formiga/MG em função da declividade do talvegue principal da bacia de contribuição.	42
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	47
	APÊNDICES	50

1 INTRODUÇÃO

Um sistema de microdrenagem urbana representa o conjunto de elementos estruturais destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre um determinado bairro ou loteamento, e que escorrem sobre sua superfície, conduzindo-as com segurança a um destino final, geralmente caracterizado por uma estrutura de macrodrenagem.

No dimensionamento de um sistema de microdrenagem urbana, estudos hidrológicos fazem-se necessários com vistas a determinar, preliminarmente, a vazão de projeto. Essa vazão de projeto está relacionada à parcela da precipitação que se transforma em escoamento superficial e este, por sua vez, depende da topografia e ocupação do solo da área a ser drenada.

Vários são os parâmetros hidrológicos relacionados a essa transformação chuva-vazão de escoamento superficial, imprescindível para o correto dimensionamento de um sistema de microdrenagem urbana. Dentre eles estão a área da bacia de contribuição, o tempo de concentração da bacia, a intensidade máxima de precipitação da região e o coeficiente de escoamento superficial. E os procedimentos para a determinação desses parâmetros englobam certa complexidade que leva o projetista, muitas vezes, a optar por metodologias mais simplificadas, porém, mais subjetivas e menos precisas frente à diversidade de propostas existentes para se determinar um mesmo parâmetro. Dessa forma, diferentes profissionais podem obter diferentes resultados para a vazão de projeto da microdrenagem urbana.

Tal fato, associado à ausência de uma normalização específica que estabeleça critérios quanto aos parâmetros hidrológicos a serem adotados nos projetos de microdrenagem, possibilita que haja discrepâncias nas vazões de projeto obtidas e, conseqüentemente, no custo da obra em questão.

Com base no exposto acima, o presente trabalho fundamenta-se no desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz determinar os parâmetros hidrológicos básicos para projetos de microdrenagem urbana através de diferentes métodos, permitindo comparar as discrepâncias existentes entre os mesmos e facilitar a tomada de decisão do projetista quanto ao melhor método a ser adotado para cada caso.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver uma ferramenta computacional capaz de determinar, por diferentes métodos, os parâmetros hidrológicos básicos aplicados à estimativa da vazão de projetos de microdrenagem urbana.

2.2 Objetivos específicos

- Elaborar uma ferramenta computacional em Excel avançado com ênfase em VBA (*Visual Basic for Applications*) capaz de determinar os parâmetros hidrológicos básicos à microdrenagem;
- Utilizar a ferramenta desenvolvida para a estimativa da intensidade de precipitação para diferentes cenários simulados quanto ao tamanho da área de contribuição e declividade do talvegue principal;
- Confrontar os resultados obtidos entre si e com a literatura;
- Propor, em função dos resultados obtidos, os métodos mais indicados para cada cenário analisado.

3 JUSTIFICATIVA

A ausência de normalização específica que estabeleça metodologias padronizadas para a obtenção dos parâmetros hidrológicos aplicáveis aos projetos de microdrenagem urbana, como o coeficiente de escoamento superficial, o tempo de concentração e a intensidade de precipitação, permite que haja discrepâncias entre as vazões de projeto obtidas.

Dessa forma, a grande diversidade metodológica existente na literatura possibilita que uma dada situação real de precipitação dê origem a estruturas de drenagem com dimensões completamente distintas, o que pode causar prejuízos funcionais e de ordem econômica.

Pruski et al. (2001, p. 409), afirmam que “a quantificação precisa dos valores de escoamento superficial pode reduzir os custos das obras que necessitam desses valores para seu correto dimensionamento, representando, portanto, um aumento na segurança da obra e economia de capital.”

Nesse aspecto, mostra-se pertinente a criação de uma ferramenta computacional que facilite a determinação dos parâmetros anteriormente citados e que permita a comparação dos diferentes métodos disponíveis na literatura. Com maior possibilidade de análise, tornar-se-á possível a obtenção de valores de vazões de projeto mais próximos da realidade, observar discrepâncias existentes entre metodologias distintas e determinar a melhor opção em termos econômicos e funcionais.

A busca de valores de vazões de projeto mais próximos da realidade é importante para a determinação de estruturas hidráulicas mais eficientes, capazes de evitar problemas urbanos oriundos de precipitações, como enchentes e suas consequências.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

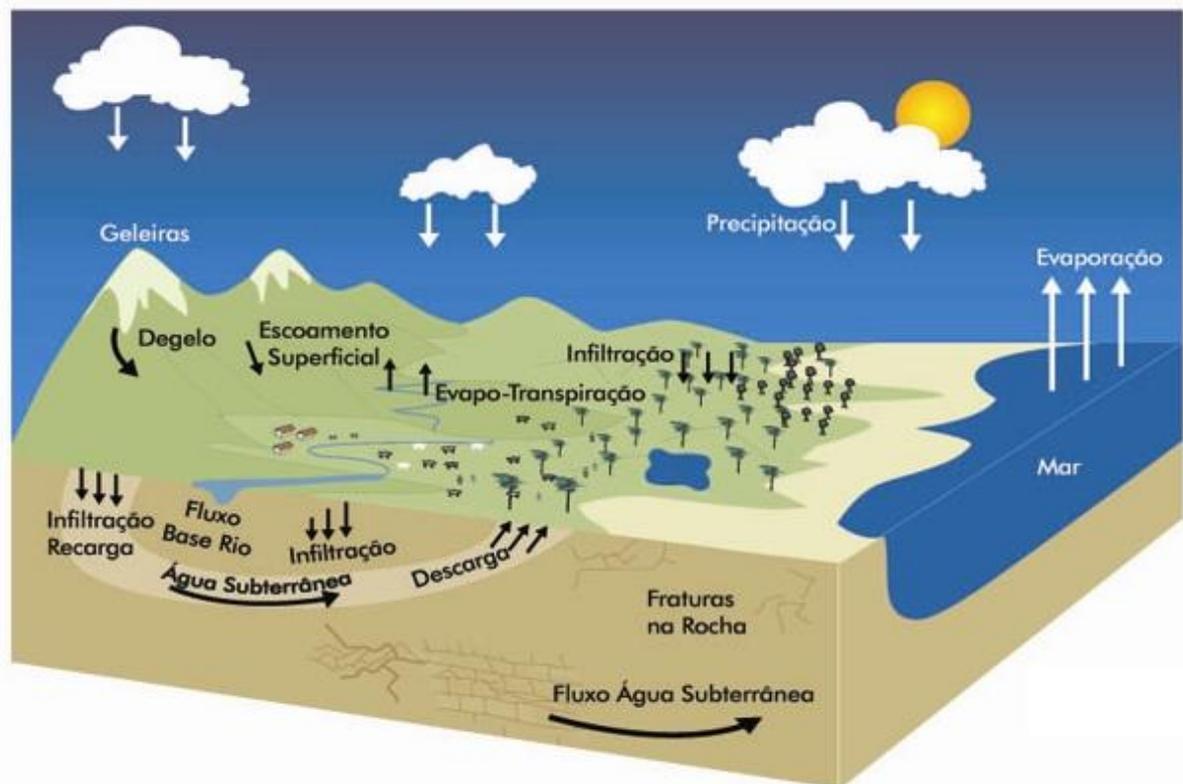
4.1 Hidrologia e ciclo hidrológico

O termo Hidrologia é originado das palavras gregas *hydor*, que significa água, e *logos*, que significa ciência. Segundo Studart e Campos (2004, p. 2), “Hidrologia é, pois, a ciência que estuda a água.”

Como “a ciência que trata da água na terra, sua ocorrência, circulação e distribuição, suas propriedades físicas e químicas, e suas reações com o meio ambiente, incluindo suas relações com a vida” (VILLELA; MATTOS, 1975), cabe à Hidrologia o estudo sobre as fases do ciclo hidrológico.

Tucci (2000, p. 35) define ciclo hidrológico (FIG. 1) como o “fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, impulsionado fundamentalmente pela energia solar associada à gravidade e à rotação terrestre”.

Figura 1 - Imagem ilustrativa do ciclo hidrológico.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente – MMA (2012).

O conceito de ciclo hidrológico está ligado ao movimento e à troca de água nos seus diferentes estados físicos, que ocorre na Hidrosfera, entre os oceanos, as calotas de gelo, as águas superficiais, as águas subterrâneas e a atmosfera. Este movimento permanente deve-se ao Sol, que fornece a energia para elevar a água da superfície terrestre para a atmosfera (evaporação), e à gravidade, que faz com que a água condensada se caia (precipitação) e que, uma vez na superfície, circule através de linhas de água que se reúnem em rios até atingir os oceanos (escoamento superficial) ou se infiltre nos solos e nas rochas, através dos seus poros, fissuras e fraturas (escoamento subterrâneo). (SILVA; CARVALHO, 2006, p. 11).

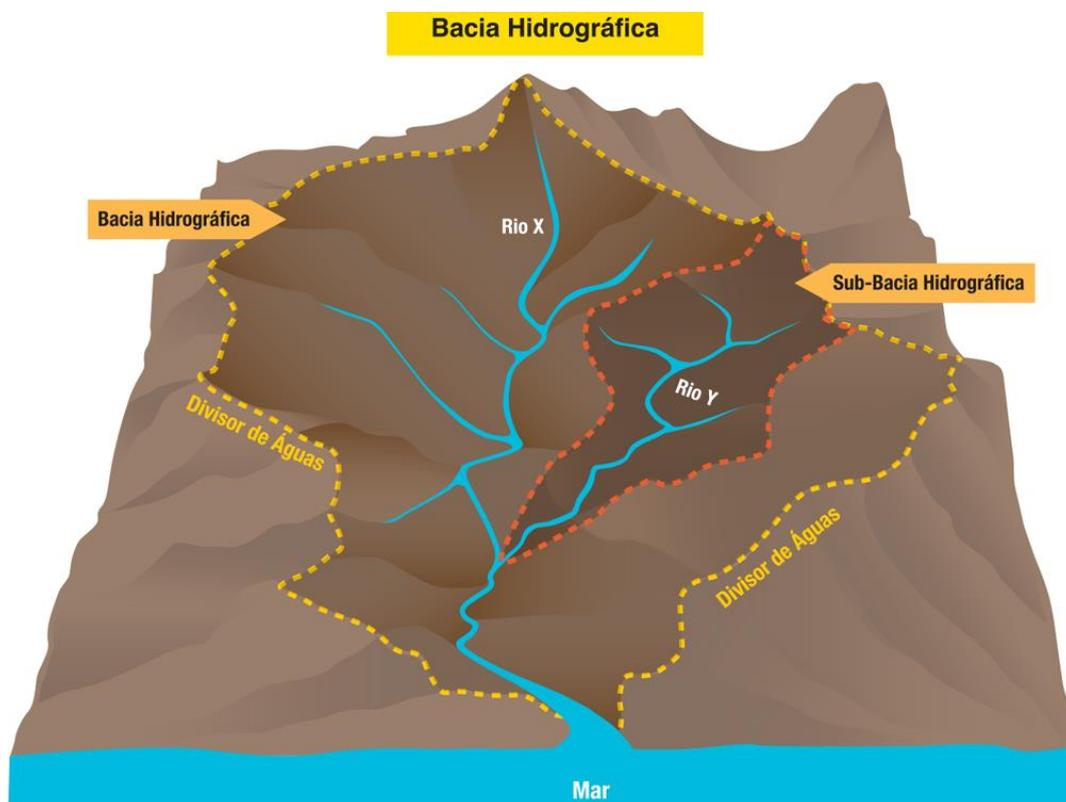
4.2 Bacia hidrográfica

Segundo Pinto et al. (2008, p. 38), “bacia hidrográfica ou bacia de contribuição de uma seção de curso de água é a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo, atinge a seção considerada. ”

Gribbin (2009, p. 156) complementa que “a linha imaginária que delinea o limite da bacia de drenagem é chamada divisor da bacia ou divisor de águas e é determinada pela topografia da região. ”

A FIG. 2 mostra o desenho esquemático de uma bacia hidrográfica:

Figura 2 - Imagem representativa de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Moraes (2015).

No contexto da Hidrologia, dos recursos hídricos e das obras hidráulicas, a bacia hidrográfica é definida a partir de uma seção transversal de interesse – pode ser o local onde será implantada uma captação fluvial, eixo de uma barragem ou seção fluvial caracterizada para observação de elementos do leito e/ou do escoamento fluvial. (SILVA, 2015, p. 58)

“A área de drenagem de uma bacia é a área plana (projeção horizontal) inclusa entre seus divisores topográficos. A área de uma bacia é o elemento básico para o cálculo das outras características físicas.” (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 13).

De acordo com o Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal da Bahia – UFBA (2005), as bacias hidrográficas caracterizam-se pelas suas características fisiográficas, clima, tipo de solo, geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, tipo de ocupação, regime pluviométrico e fluviométrico, e disponibilidade hídrica.

4.3 Microdrenagem urbana

Os sistemas de drenagem urbana referem-se aos conjuntos de elementos destinados a recolher as águas pluviais precipitadas sobre uma determinada região e que escorrem sobre sua superfície, conduzindo-as a um destino final. (UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS – UFAL, 2012).

Segundo Tucci (2000, p. 823), “a drenagem urbana é determinada em dois níveis principais: macrodrenagem e microdrenagem.”

A Universidade Federal de Campina Grande – UFCG (2014) entende que a microdrenagem compreende a coleta e afastamento das águas superficiais ou subterrâneas através de pequenas e médias galerias, bem como os demais componentes do projeto necessários para que tal ocorra. Já a macrodrenagem se diferencia por incluir as galerias de grande porte e os corpos receptores tais como canais e rios canalizados.

Dentre os elementos que compõem a microdrenagem destacam-se as vias, as sarjetas, os meio-fios, as bocas de lobo, as galerias, os tubos e conexões, os poços de visita e os condutos forçados.

No dimensionamento das estruturas dos sistemas de microdrenagem urbana, o primeiro passo é a determinação da descarga de projeto (vazão máxima de projeto), que consiste em calcular a fração da precipitação que se transforma em escoamento superficial. Para tanto, faz-se necessário o conhecimento dos parâmetros hidrológicos apresentados a seguir.

4.4 Parâmetros hidrológicos aplicados à microdrenagem urbana

4.4.1 Período de retorno

Villela e Mattos (1975) definem o período de retorno ou período de recorrência de uma enchente (ou de qualquer evento hidrológico) como o tempo médio em anos que essa enchente (ou evento) é igualada ou superada pelo menos uma vez. Entende-se enchente como uma vazão relativamente grande de escoamento superficial.

“No caso dos dispositivos de drenagem, este tempo diz respeito a enchentes de projeto que orientarão o dimensionamento, de modo que a estrutura indicada resista a essas enchentes sem risco de superação. ” (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT, 2005, p.19).

Porto et al. (2000) salientam que as dificuldades em estabelecer o período de retorno adequado, para cada situação, fazem com que sua escolha recaia, muitas vezes, em valores recomendados pela literatura. Os autores apresentam valores de período de retorno recomendados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica e pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (DAEE-CETESB, 1980) para projetos de sistemas de drenagem urbana em virtude do tipo de ocupação da área (TAB. 1).

Tabela 1 - Períodos de retorno (T) propostos por DAEE-CETESB (1980 apud Porto et al., 2000), em virtude do tipo de ocupação da área.

Tipo de obra	Tipo de ocupação da área	Período de retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Edifícios de serviços ao público	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro-drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE-CETESB (1980).

De acordo com Tucci (2000), o período de retorno é um parâmetro estatístico de segurança relacionado ao risco de obras de drenagem falharem. A adoção de períodos de retorno maiores levam a menores riscos, uma vez que é reduzida a probabilidade de um dado evento hidrológico ser igualado ou superado. Entretanto, a obra torna-se mais onerosa devido à estimativa de grandes vazões, que necessitam de estruturas de drenagem maiores.

4.4.2 Tempo de concentração

Segundo Pinto et al. (2008, p. 39), o “tempo de concentração relativo a uma seção de um curso de água é o intervalo de tempo contado a partir do início da precipitação para que toda a bacia hidrográfica correspondente passe a contribuir na seção em estudo. ”

Villela e Mattos (1975) conceituam tempo de concentração como o tempo que leva a partícula de água que se encontra mais distante para atingir a seção considerada da bacia.

A existência de fórmulas empíricas distintas para a determinação do valor do tempo de concentração introduz incertezas no dimensionamento da vazão de projeto de microdrenagem. Assim, torna-se necessário o seu cálculo por diferentes métodos e sob constantes avaliações dos resultados obtidos. (TOMAZ, 2013).

A seguir são apresentadas algumas das equações propostas na literatura para a determinação do tempo de concentração de bacias hidrográficas.

4.4.2.1 Fórmula de Dooge

A fórmula de Dooge (equação 1), conforme Tomaz (2013), relaciona o tempo de concentração com a área da bacia em análise e sua declividade.

$$tc = 1,18 \cdot A^{0,41} \cdot S^{-0,17} \quad (1)$$

em que tc é o tempo de concentração em horas; A é a área da bacia de contribuição em km^2 ; e S é a declividade equivalente da bacia de contribuição em m/km .

Segundo Tucci (2000, p. 819), a fórmula de Dooge “foi determinada com dados de 10 bacias rurais com áreas na faixa de 140 a 930 km^2 . Seus parâmetros refletem o comportamento de bacias médias e escoamento predominantemente em canais. ”

4.4.2.2 Fórmula da *Federal Aviation Agency*

Segundo Tomaz (2013), a fórmula da *Federal Aviation Agency* (equação 2) foi desenvolvida especificadamente para drenagem em campos de aviação nos Estados Unidos. É indicada para bacias pequenas com predominância de escoamento de superfície.

$$t_c = 0,69 \cdot (1,1 - C) \cdot L^{0,5} \cdot S^{-0,33} \quad (2)$$

em que t_c é o tempo de concentração em minutos; C é o coeficiente de escoamento superficial para períodos de retorno de 5 a 10 anos (adimensional); L é o comprimento máximo do talvegue em m, limitado a 150 m; e S é a declividade equivalente da bacia de contribuição em m/m.

4.4.2.3 Fórmula de Kirpich

A fórmula de Kirpich foi desenvolvida com dados de sete pequenas bacias rurais do Tennessee com declividades variando de 3 a 10% e áreas de no máximo 0,5 km² (TUCCI, 2000). Tomaz (2013) descreve a fórmula de Kirpich (equação 3) conforme está apresentado a seguir:

$$t_c = 0,019 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad (3)$$

em que t_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do talvegue em m; e S é a declividade do talvegue em m/m.

De acordo com Tucci (2000, p. 817), “embora as informações que a fórmula necessita (L e S) sejam uma indicação de que ela reflete o escoamento em canais, o fato de ter sido desenvolvida para bacias tão pequenas é uma indicação que os parâmetros devem representar o escoamento em superfícies”. Ainda segundo o autor, quando o valor de L for superior a 10 km, a fórmula de Kirpich subestima o valor de t_c .

4.4.2.4 Método Cinemático do SCS

O método cinemático do SCS (*Soil Conservation Service*), representado pela equação 4, baseia-se no fato de que o tempo de concentração é o somatório dos tempos de trânsito dos diversos trechos que compõem o comprimento do talvegue. (TOMAZ, 2013).

$$t_c = \frac{1}{60} \sum \frac{L}{V} \quad (4)$$

em que t_c é o tempo de concentração em minutos; L é o comprimento do talvegue em m; e V é a velocidade média no trecho em m/s.

Na parte superior das bacias, em que predomina o escoamento em superfícies ou em canais mal definidos, a velocidade pode ser determinada por meio da TAB. 2. Em canais bem definidos e galerias deve ser usada a fórmula de Manning. (TUCCI, 2000).

Tabela 2 - Velocidades médias para o cálculo de t_c , em m/s.

Descrição do escoamento	Declividade em %			
	0-3	4-7	8-11	12
Em superfície				
Florestas	0-0,5	0,5-0,8	0,8-1,0	1,0-
Pastos	0-0,8	0,8-1,1	1,1-1,3	1,3-
Áreas cultivadas	0-0,9	0,9-1,4	1,4-1,7	1,7-
Pavimentos	0-2,6	2,6-4,0	4,0-5,2	5,2-
Em canais				
Mal definidos	0-0,6	0,6-1,2	1,2-2,1	
Bem definidos	Calcular pela fórmula de Manning			

Fonte: Tucci (2000).

Segundo Tucci (2000, p. 820), “o método cinemático é o mais correto do ponto de vista conceitual, pois permite levar em consideração as características específicas do escoamento da bacia em estudo. É também o mais trabalhoso, pois exige a divisão dos canais em trechos uniformes. ”

4.4.2.5 Fórmula da Onda Cinemática

A fórmula da Onda Cinemática (equação 5) foi deduzida a partir das equações de onda cinemática aplicadas a superfícies, com base na hipótese de precipitação constante igual ao tempo de concentração, e na equação de Manning. (TUCCI, 2000).

$$t_c = 6,99 \cdot (n \cdot L)^{0,6} \cdot S^{-0,3} \cdot I^{-0,4} \quad (5)$$

em que t_c é o tempo de concentração em minutos; n é o coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional); L é o comprimento do talvegue em m; S é a declividade do talvegue em m/m; e I a intensidade da precipitação em mm/h.

De acordo com Tucci (2000, p. 818), “essa equação é adequada para pequenas bacias onde o Método Racional pode ser aplicado e o escoamento por superfície é predominante. ”

4.4.3 Intensidade de Precipitação

Garcez e Alvarez (1988, p. 57), definem precipitações atmosféricas “como o conjunto de águas originadas do vapor de água atmosférico que cai, em estado líquido ou sólido, sobre a superfície da Terra. ”

Embora o conceito de precipitação atmosférica englobe não somente a chuva, como também a neve, o granizo, o sereno e a geada, Tucci (2000, p. 177) salienta que “por sua capacidade para produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a Hidrologia”.

Entende-se a intensidade de precipitação, como a relação existente entre a quantidade de chuva, através da altura de água caída e acumulada sobre uma superfície plana e impermeável, e a duração da precipitação. (UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO-UFRJ, 2006).

Observa-se uma relação direta entre a intensidade de precipitação e a descarga de projeto gerada. Quanto maior a intensidade de precipitação, maior a quantidade de água acumulada sobre a superfície considerada e conseqüentemente, maiores serão as estruturas de drenagem necessárias para atender a essa demanda.

“As equações de chuvas intensas são fundamentais para o dimensionamento de obras de drenagem urbana, que devem suportar as vazões máximas associadas às maiores precipitações esperadas para o período de retorno considerado. ” (MENDES; COLOMBELLI, 2013).

As curvas de intensidade, duração e frequência (IDF) são expressões matemáticas que fornecem a intensidade das precipitações através da relação entre duração e frequência de precipitação para a localidade de interesse, que apresenta a seguinte forma geral (equação 6):

$$i = \frac{K.T^a}{(t+b)^c} \quad (6)$$

em que i é a intensidade máxima média de precipitação em mm/h; T é o período de retorno em anos; t é a duração da precipitação em minutos; e K , a , b , c são parâmetros de ajuste relativos à estação pluviométrica estudada.

Para projetos de microdrenagem, com o objetivo de obter a intensidade máxima de precipitação para um dado tempo de retorno (2, 5 ou 10 anos), é considerado que o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia. (SILVA; CARVALHO, 2006).

Canholi (2005) relata que as curvas IDF são construídas a partir de registros históricos de alturas de precipitação *versus* duração, que são tabulados e processados estatisticamente. Quando se adota esse método, ocorre, portanto, uma maximização das precipitações para cada duração, já que os totais máximos para cada duração dificilmente ocorrerão em um único evento.

Uma vez construídas as curvas IDF, a equação geral de chuva intensa pode ser ajustada aos dados da série histórica em questão, obtendo-se, por aplicação de metodologias intrínsecas ao cálculo numérico e estatístico, os parâmetros de ajuste K, a, b e c.

Os parâmetros de ajuste K, a, b e c para diversas cidades brasileiras podem ainda ser obtidos através do *software* PLÚVIO 2.1 desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) da Universidade Federal de Viçosa. (UFV, 2006).

4.4.4 Coeficiente de escoamento superficial

Segundo Pruski et al. (2014, p. 15), “do volume precipitado sobre a bacia, apenas uma parte atinge a seção de deságue sob a forma de escoamento superficial, uma vez que parte da água é interceptada, a outra preenche as depressões e uma outra infiltra no solo. ”

Garotti e Barbosa (2010, p. 20), ressaltam que o coeficiente de deflúvio “é baseado em uma série de fatores, como as características da superfície, o tipo de solo, a umidade antecedente, a permeabilidade do solo, a ocupação da bacia, o tempo de concentração. ”

Muitos são os procedimentos disponíveis para obtenção do valor do coeficiente de escoamento superficial, no entanto, Purski et al. (2014) citam que a principal forma utilizada para obter o valor deste parâmetro são tabelas a partir de condições típicas da área analisada.

A esse respeito, a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG, 2014) relaciona o coeficiente de deflúvio com o tipo de ocupação da área. Observam-se na TAB. 3 que as diferentes ocupações da área caracterizam, predominantemente, bacias urbanas.

Tabela 3 - Coeficiente de deflúvio (C) de acordo com a ocupação da área.

Natureza da superfície	Coeficiente “C”
Áreas centrais, densamente construídas, com ruas pavimentadas	0,70 – 0,90
Áreas adjacentes a centro, com ruas pavimentadas	0,50 – 0,70
Áreas residenciais com casas isoladas	0,25 – 0,50
Áreas suburbanas pouco edificadas	0,10 – 0,20

Fonte: UFCG (2014).

UFCEG (2014) também relaciona o coeficiente de deflúvio com o tipo de revestimento recebido pela superfície (TAB. 4), propondo, neste caso, valores de C que caracterizam tanto bacias urbanas quanto rurais.

Tabela 4 - Coeficiente de deflúvio de acordo com o revestimento da superfície.

Natureza da Superfície	Coeficiente “C”
Pavimentadas com concreto	0,80 a 0,95
Asfaltadas em bom estado	0,85 a 0,95
Asfaltadas e má conservadas	0,70 a 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos rejuntados	0,75 a 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos não rejuntados	0,50 a 0,70
Pavimentadas com pedras irregulares e sem rejuntamento	0,40 a 0,50
Macadamizadas	0,25 a 0,60
Encascalhadas	0,15 a 0,30
Passeios públicos (calçadas)	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
Terrenos livres e ajardinados	
1) solos arenosos	
$I \leq 2\%$	0,05 a 0,10
$2\% < I < 7\%$	0,10 a 0,15
$I \geq 7\%$	0,15 a 0,20
2) solos pesados	
$I \leq 2\%$	0,15 a 0,20
$2\% < I < 7\%$	0,20 a 0,25
$I \geq 7\%$	0,25 a 0,30

Nota: I = declividade da superfície.

Fonte: UFCEG (2014).

A Sociedade Americana de Engenheiros Civis (*American Society of Civil Engineers* – ASCE, 1969) também propôs valores de C, conforme apresenta a TAB. 5.

Tabela 5 - Valores de C recomendados por ASCE (1969).

Superfície	C
Asfalto	0,70 – 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Tijolo	0,70 – 0,85
Calçada	0,75 – 0,95
Telhado	0,05 – 0,10
Gramado em solos arenosos	
Plano, 2%	0,05 – 0,10
Declive médio, 2 a 7%	0,10 – 0,15
Declive alto, 7%	0,15 – 0,20
Gramado em solos compactados	
Plano, 2%	0,13 – 0,17
Declive médio, 2 a 7%	0,18 – 0,22
Declive alto, 7%	0,25 – 0,35

Fonte: ASCE (1969).

Para Williams (1949 apud TUCCI, 2000), o valor de C é obtido através da associação das variáveis da TAB. 6, que caracterizam a bacia quanto à topografia, solo e cobertura.

Tabela 6 - Valores do coeficiente C para áreas rurais.

Tipo de área	C'
1. Topografia	
Terreno plano, declividade de 0,2 a 0,6 m/km	0,30
Terreno com declividade de 3 a 4 m/km	0,20
Morros, declividade de 30 a 50 m/km	0,10
2. Solo	
Argila Impermeável	0,10
Permeabilidade média	0,20
Arenoso	0,40
3. Cobertura	
Áreas cultivadas	0,10
Árvores	0,20

Fonte: Williams (1949 apud TUCCI, 2000).

Williams (1949 apud TUCCI, 2000) propôs uma equação para a obtenção do coeficiente de deflúvio para áreas agrícolas (equação 7).

$$C = 1 - (C'_1 + C'_2 + C'_3) \quad (7)$$

em que C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional); C'₁, C'₂ e C'₃ são variáveis que caracterizam o tipo de área da bacia quanto a topografia, solo e cobertura, respectivamente (adimensionais).

Ainda sobre a determinação do coeficiente de deflúvio, a Prefeitura do Município de São Paulo (1999) adota, em suas diretrizes de projeto de hidráulica e drenagem, os valores de coeficiente de escoamento superficial direto recomendados por Wilken (1978), de acordo com a TAB.7.

Tabela 7 - Valores de C adotados - Prefeitura do Município de São Paulo (WILKEN, 1978)

Zonas	C
Edificação muito densa:	
Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70-0,95
Edificação não muito densa:	
Partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60-0,70
Edificações com poucas superfícies livres:	
Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50-0,60
Edificações com muitas superfícies livres:	
Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas.	0,25-0,50
Subúrbios com alguma edificação:	
Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção.	0,10-0,25
Matas, parques e campos de esporte:	
Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação.	0,05-0,20

Fonte: Prefeitura do município de São Paulo (1999).

Tomaz (2013) destaca o uso da equação de Schueler (1987) (equação 8), para a determinação do coeficiente de escoamento superficial em função da fração da área impermeável da bacia hidrográfica em análise.

$$C = 0,05 + 0,009 \cdot AI \quad (8)$$

em que C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional); e AI é área impermeável da bacia, em %.

4.4.4.1 Fator de correção para o coeficiente de deflúvio

De acordo com Tucci (2000), o coeficiente de deflúvio deve variar com o período de retorno ou com a magnitude da intensidade de precipitação. Por isso, deve ser utilizado um fator multiplicador para correção (coeficiente de frequência), que varia de acordo com o tempo de retorno (TAB. 8).

Tabela 8 - Fator de correção de C

Tempo de retorno (anos)	“Cf”
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

Fonte: Tucci (2000).

4.5 Vazão de projeto para sistemas de microdrenagem

De acordo com Pinto et al. (2008, p. 36), “o escoamento superficial é o seguimento do ciclo hidrológico que estuda o deslocamento das águas na superfície da Terra.”

“O conhecimento deste segmento é de fundamental importância para o projeto de obras em engenharia, pois a maioria dos estudos hidrológicos está ligada ao aproveitamento da água superficial e à proteção contra fenômenos provocados pelo seu deslocamento.” (PRUSKI et al., 2014, p. 11)

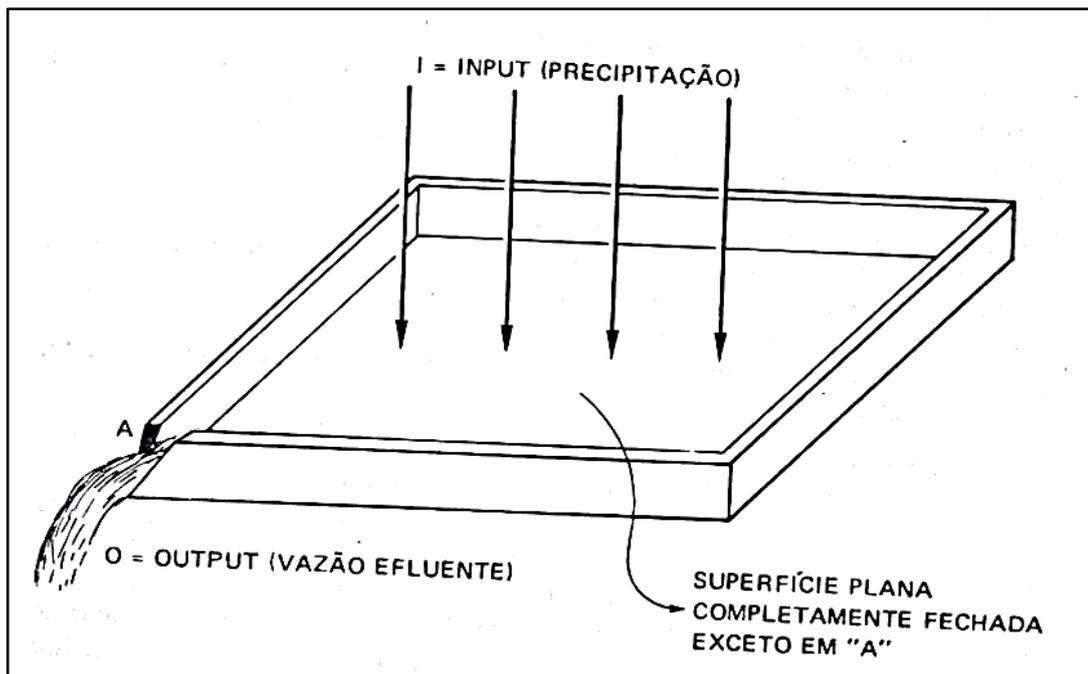
De acordo com Silva (2015), o escoamento superficial pode se dar pelos seguintes fatores:

- a) **Excesso de precipitação:** as taxas de precipitação que excedem a capacidade de infiltração do solo irão escoar superficialmente;
- b) **Excesso de saturação:** ocorre em locais onde predominam os solos superficiais próximos ou sob saturação. A maior parte da precipitação se converterá em escoamento superficial;

- c) **Expulsão das águas dos solos:** decorrente da existência de camadas de maior permeabilidade sobre camadas menos permeáveis. Tais camadas impermeáveis podem restringir a percolação da água nos solos e até reverter o fluxo para fora da superfície, que se transforma em escoamento superficial;
- d) **Entrada e saída (afioramento do escoamento subsuperficial):** mecanismo observado nas vertentes das bacias hidrográficas e que são importantes na contabilização dos escoamentos rápidos nas bacias hidrográficas.

Um sistema de drenagem urbana é dimensionado exatamente para captar e escoar, de forma segura e eficaz, o escoamento superficial, também denominado de deflúvio, gerado numa dada área de contribuição. Assim, o termo deflúvio superficial direto, comumente utilizado como vazão de projeto, é definido como o volume de água que escoar da superfície de uma determinada área devido à ocorrência de uma precipitação sobre a mesma (FERNANDES, 2002), conforme demonstra a FIG. 3.

Figura 3 - Modelo simplificado da quantificação do deflúvio superficial direto.



Fonte: Villela e Mattos (1975, p.7).

A maior precisão na obtenção da quantidade de água que escoar superficialmente acarretará, conseqüentemente, em condições para que as obras de microdrenagem sejam dimensionadas adequadamente, alcançando-se maior eficiência no sistema projetado. (FERNANDES, 2002).

Em projetos de sistemas de microdrenagem urbana, a vazão de projeto pode ser determinada através da utilização do Método Racional (equação 9), método indireto que estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial. (TOMAZ, 2013).

$$Q = C \cdot I \cdot A / 3,6 \quad (9)$$

em que Q é o deflúvio superficial direto em m³/s; C é o coeficiente de escoamento superficial (adimensional); I é a intensidade máxima para a precipitação ocorrida durante o tempo de concentração considerado em mm/h; e A é a área da bacia de contribuição em km².

De acordo com Tucci (2000), o Método Racional é aplicável para bacias pequenas, de até 2 km²; acima desse valor de área, caracterizam-se as bacias da macrodrenagem.

Segundo Gribbin (2009, p. 187), “o Método Racional é usado para calcular a vazão de pico, Q_p, depois de um evento de chuva. Ele não calcula o escoamento antes ou depois do pico; simplesmente calcula a maior vazão produzida por uma determinada bacia hidrográfica. ”

Como o Método Racional parte do princípio básico de que a vazão máxima, provocada por uma chuva de intensidade uniforme e constante, ocorre quando todas as partes da bacia contribuem simultaneamente com escoamento na seção de deságue, a complexidade real do processo de escoamento superficial é ignorada, desprezando tanto o armazenamento de água na bacia quanto as varrições da intensidade de precipitação e do coeficiente de escoamento superficial durante a precipitação. (PRUSKI et al., 2014, p. 14).

4.5.1 Fatores que intervêm na vazão de projeto de sistemas de microdrenagem

4.5.1.1 Fatores climáticos

Os fatores de natureza climática estão relacionados às características da precipitação pela qual a bacia está sendo submetida.

De acordo com Pruski et al. (2014, p. 11), “o escoamento superficial tende a crescer com o aumento da intensidade e duração da precipitação e da área abrangida pela precipitação, a qual constitui a principal forma de entrada de água no ciclo hidrológico. ”

Villela e Mattos (1995, p. 103) destacam ainda que “outro fator climático importante é o da precipitação antecedente, pois uma precipitação que ocorre quando o solo está úmido, devido a uma chuva anterior, terá maior facilidade de escoamento. ”

4.5.1.2 Fatores fisiográficos

Conforme Silva e Carvalho (2006), a área, a forma, a permeabilidade e a topografia da bacia se caracterizam como os principais fatores fisiográficos que influenciam no escoamento superficial.

Quanto maior a área e a declividade da bacia, maior deverá ser a vazão máxima de escoamento superficial que ocorrerá na seção de deságue na bacia, e quanto mais a forma da bacia aproximar-se do formato circular, mais rápida deverá ser a concentração do escoamento superficial e, conseqüentemente, maior deverá ser a sua vazão máxima. (PRUSKI et al., 2014, p. 11).

Villela e Mattos (1975) destacam ainda a influência do relevo de uma bacia hidrográfica sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, uma vez que a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto que a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia.

A cobertura e os tipos de uso do solo também apresentam efeitos sobre as condições de infiltração da água no mesmo. Pruski et al. (2014, p. 11) destacam que “quanto maior a porcentagem de cobertura vegetal e rugosidade da superfície do solo, menor o escoamento superficial.”

“Outros fatores importantes que influem no escoamento superficial são as obras hidráulicas construídas na bacia, tal como uma barragem que, acumulando a água em um reservatório, reduz as vazões máximas do escoamento superficial e retarda a sua propagação.” (VILLELA; MATTOS, 1975, p. 103).

4.6 Programação em Excel

O Microsoft Excel é um aplicativo de criação de planilhas eletrônicas criado pela Microsoft, em 1987, para computadores que utilizam o sistema operacional da empresa. (MEYER, 2017).

Manzano (2015, p. 26) define planilha eletrônica como “uma folha de cálculo disposta em forma de tabela, na qual podem ser efetuados, rapidamente, vários tipos de cálculos matemáticos, simples ou complexos.”

Segundo Gómez (2009), cada tabela é formada por uma grade composta de linhas e colunas, sendo a folha de cálculo composta pelos seguintes elementos:

- a) **Células:** elementos indicados pelo cruzamento entre uma linha e uma coluna. Informações como valores e fórmulas são colocadas em células para poderem ser utilizadas;

- b) **Valores:** conjunto de caracteres que irão ocupar as células, podendo ser numéricos, datas, textuais, etc.;
- c) **Fórmulas:** definem como deve ser calculado o valor de uma célula em uma planilha eletrônica. São utilizadas para implementar os cálculos aritméticos através da digitação das operações e/ou através da realização de análises avançadas usando funções internas da planilha.

Além disso, a capacidade do Excel apresentar valores na forma de gráficos, inclusive em 3D (três dimensões), pode ser utilizada para facilitar a compreensão dos resultados.

4.6.1 Introdução ao desenvolvimento de programas

Moura e Roque (2013) destacam que uma das vantagens oferecidas pelo Excel é a sua disponibilidade, uma vez que a suíte Office pode ser encontrada em uma grande quantidade de estabelecimentos, para uso pessoal ou comercial.

Segundo Gómez (2009), são três os elementos básicos que tornam possível o desenvolvimento de programas no Excel:

- a) **Formulários (*UserForms*):** definem a interface do programa e possibilitam a criação de janelas ou caixas de diálogo no projeto;
- b) **Módulos de código:** permitem a colocação de códigos de forma ordenada, que podem ser de dois tipos: funções (que retornam um valor) e sub-rotinas (que não retornam valores);
- c) **Módulos de classes:** permitem a definição de novas classes de objetos no Excel, com a finalidade de descrever as suas propriedades e métodos.

4.6.2 Introdução ao VBA

Segundo Gómez (2009, p. 151), o *Visual Basic for Applications* (VBA) “é a linguagem de macro dos principais aplicativos de computadores (não somente dos aplicativos Microsoft).” O autor ainda destaca que o VBA se encontra disponível na maioria dos computadores do planeta, embora a maioria dos usuários desconheça esse fato.

De acordo com a *Microsoft Corporation* (1993, 1994), além de ser uma linguagem de programação poderosa e fácil de usar, o VBA permite que o usuário automatize tarefas cotidianas, adicione recursos e funções personalizados para executar suas necessidades, possibilitando a criação de aplicativos complexos.

4.6.3 Introdução às Macros

De acordo com a Microsoft Corporation (1993, 1994, p.1) no Excel “as tarefas são automatizadas através de macros. ” A empresa destaca que uma macro corresponde à uma sequência de instruções que informa ao Excel o que fazer, sendo estas escritas em VBA.

Moura e Roque (2013) destacam o fato do Excel gravar uma determinada sequência de operações com o teclado e com o mouse. Tal característica torna-se extremamente atrativa para o desenvolvimento de programas, uma vez que dispensa o conhecimento sobre códigos complexos de programação existentes em outras linguagens.

5 METODOLOGIA

5.1 Desenvolvimento da ferramenta computacional

Foi desenvolvida uma ferramenta computacional para a determinação dos parâmetros hidrológicos básicos aplicados na estimativa da vazão de projeto de sistemas de microdrenagem urbana, a citar: intensidade de precipitação (I); coeficiente de escoamento superficial (C); tempo de concentração (t_c); e vazão de projeto gerada pelo Método Racional (Q).

O programa foi concebido conforme Gómez (2009), através da associação da linguagem de programação VBA (*Visual Basic for Applications*), que foi utilizada para a criação da interface de usuário para a entrada de dados, com a planilha de cálculos integrada ao Excel e suas fórmulas, dispensando códigos complexos de programação.

O VBA foi utilizado para a criação de comandos, menus, caixas de diálogo, mensagens e interfaces personalizadas, com o objetivo de ajustar o Excel às necessidades específicas impostas pela determinação dos parâmetros hidrológicos previamente citados.

Para o cálculo da intensidade de precipitação, utilizaram-se os parâmetros de ajuste da equação IDF (Intensidade, Duração e Frequência) calculados pelo *software* Plúvio, disponibilizado gratuitamente pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Mediante análise literária, foram selecionados 6 (seis) métodos distintos disponíveis e aprovados para o cálculo do coeficiente de escoamento superficial (C): caracterização quanto ocupação da área (TAB. 3 do item 4.4.4), caracterização quanto ao revestimento da superfície (TAB. 4 do item 4.4.4), caracterização para áreas rurais (TAB. 6 do item 4.4.4), valores recomendados por ASCE (1969) (TAB. 5 do item 4.4.4), valores recomendados por Wilken (1978) (TAB. 7 do item 4.4.4) e equação de Schueler (1987) (equação 8 do item 4.4.4).

Para o cálculo do tempo de concentração (t_c), foram selecionados na literatura 5 (cinco) métodos distintos e aceitáveis: fórmula de Dooge (equação 1 do item 4.4.2.1), fórmula da *Federal Aviation Agency* (equação 2 do item 4.4.2.2), fórmula de Kirpich (equação 3 do item 4.4.2.3), método cinemático do SCS (*Soil Conservation Service*) (equação 4 do item 4.4.2.4), e fórmula da Onda Cinemática (equação 5 do item 4.4.2.5).

Por se tratar de uma ferramenta voltada para projetos de sistema de microdrenagem urbana, os cálculos relacionados a vazão de projeto foram efetuados através do Método Racional (equação 9 do item 4.5).

Dessa forma, com base em dados de caracterização de uma mesma bacia de contribuição, tornou-se possível calcular os diferentes valores de Q em função das combinações possíveis entre t_c , I e C resultantes de diferentes métodos e representar os resultados através de gráficos comparativos.

5.2 Aplicação da ferramenta computacional desenvolvida para a determinação das intensidades de precipitação no município de Formiga/MG em função da declividade do talvegue principal da bacia de contribuição

Após seu desenvolvimento, a ferramenta computacional foi utilizada para a realização de uma análise comparativa sobre a influência da declividade do talvegue principal da bacia de contribuição nos valores de intensidade de precipitação utilizados na estimativa das vazões de projeto de sistemas de microdrenagem urbana.

Para tanto, estabeleceram-se, arbitrariamente e hipoteticamente, duas bacias com características superficiais semelhantes, constituídas de pouca vegetação, com coeficiente de deflúvio fixado em 0,5 e que se diferiam entre si apenas quanto ao tamanho (área e comprimento do talvegue principal).

A primeira bacia, denominada de bacia menor, possuía área total igual a 1 km² e comprimento do talvegue principal igual a 1 km. A segunda bacia, denominada de bacia maior, possuía área total igual a 500 km² e comprimento do talvegue principal igual a 32 km.

Os métodos de cálculo utilizados para a obtenção dos tempos de concentração foram: fórmula de Dooge, fórmula da *Federal Aviation Agency*, fórmula de Kirpich, método cinemático do SCS e fórmula da Onda Cinemática.

Primeiramente, foram encontrados os tempos de concentração. Os cálculos foram feitos individualmente para cada bacia, sendo utilizadas declividades distintas variando de 0 a 100% em intervalos regulares de 5%.

Cada tempo de concentração encontrado gerou um valor de intensidade de precipitação distinto, que foi determinado, usando a ferramenta desenvolvida, a partir da equação 6 do item 4.4.3. Os parâmetros de ajuste locais foram obtidos através do *software* Plúvio para a cidade de Formiga/MG ($k=1320,945$; $a=0,191$; $b=14,74$; $c=0,808$). Foi adotado o tempo de retorno igual a 5 anos.

Com os tempos de concentração calculados, obtiveram-se, para cada bacia, os valores de intensidade de precipitação relativos a cada declividade analisada. Posteriormente, criou-se gráficos comparativos e os resultados obtidos foram confrontados entre si e com a literatura.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Ferramenta computacional desenvolvida

A seguir, será descrito o funcionamento de cada uma das interfaces existentes na ferramenta computacional desenvolvida para determinação dos parâmetros hidrológicos básicos utilizados para a estimativa da vazão de projeto de sistemas de microdrenagem urbana.

6.1.1 Tela de Login

A Tela de Login (APÊNDICE A) corresponde à primeira interface de interação do usuário com o programa, permitindo ou não o acesso ao mesmo.

Para ingressar nas funcionalidades do programa, é necessário preencher os campos de usuário e senha corretamente e, posteriormente, clicar no botão “Acessar”. Caso contrário, o usuário será alertado pela mensagem: “Verifique seu nome de usuário e senha e tente novamente.” e direcionado a digitar os dados corretamente.

A Tela de Login também conta com o botão “Limpar”, cuja função é limpar os campos de usuário e senha e permitir uma nova digitação dos mesmos, e o botão “Cancelar”, que fecha a mesma e o programa.

Observa-se um pequeno tempo de espera entre a finalização da Tela de Login e a apresentação da tela seguinte. Isso se deve ao fato do programa carregar os dados inseridos pelo usuário em utilizações anteriores, para que o trabalho possa ser continuado.

6.1.2 Central de Apoio

A interface Central de Apoio (APÊNDICE B), é exibida após a finalização da Tela de Login e mostra ao usuário as funcionalidades básicas do programa através de passos, a citar:

- a) **Passo 1:** informações correspondentes à obtenção da intensidade de precipitação;
- b) **Passo 2:** informações correspondentes aos métodos de obtenção do tempo de concentração e a quantidade disponível;
- c) **Passo 3:** informações correspondentes aos métodos de obtenção do coeficiente de deflúvio e a quantidade disponível;
- d) **Passo 4:** informações referentes à análise gráfica comparativa entre os métodos relacionados.

A tela é finalizada quando o usuário clica no botão “Continuar”, sendo direcionado para a Interface Principal do programa.

6.1.3 Interface Principal

A Interface Principal do programa (APÊNDICES C e D) possibilita o acesso facilitado às ferramentas de cálculo necessárias à obtenção dos parâmetros hidrológicos relacionados anteriormente. A mesma é composta dos seguintes elementos: guias, área de acesso rápido e botões de controle e ajuda.

Cada guia e botão podem ser acessados pela combinação de teclas “Alt + tecla correspondente sublinhada”. O botão “Fechar” localizado no canto superior da tela foi desabilitado para a proteção dos dados do usuário, sendo necessário utilizar o botão “Gravar / Sair” para finalizar o programa.

6.1.3.1 Guias

As guias auxiliam na organização da Interface, permitindo uma melhor organização dos elementos. O programa conta com duas guias: Parâmetros Básicos e Análises Gráficas.

A guia “Parâmetros Básicos” é subdividida em três áreas, a citar:

- a) **Intensidade de Precipitação:** apresenta acesso ao método de cálculo da Equação IDF;
- b) **Coefficiente de Deflúvio:** apresenta acesso aos métodos de cálculo da ASCE (1969), ocupação da área – UFCG (2014), P.S. Wilken (1978), revestimento superficial - UFCG (2014), Schueler (1987) e Willians (1949);
- c) **Tempo de Concentração:** apresenta acesso aos métodos de cálculo pela fórmula de Dooge, fórmula da *Federal Aviation Agency*, fórmula de Kirpich, método cinemático do SCS e fórmula da Onda Cinemática.

A guia “Análises Gráficas” é composta de uma única área que possibilita a obtenção dos seguintes gráficos comparativos:

- a) Coeficientes de deflúvio por métodos distintos;
- b) Tempos de concentração por métodos distintos;
- c) Intensidades de precipitação por diferentes tempos de concentração;
- d) Vazões de projeto variáveis pelo tempo de concentração.

6.1.3.2 Área de Acesso Rápido

A Área de Acesso Rápido (APÊNDICE E) encontra-se localizada à direita da Interface Principal do Programa e reúne, de forma organizada, os resultados dos cálculos feitos até então, sendo estes atualizados automaticamente.

O objetivo básico dessa área é mostrar ao usuário quais etapas de cálculo já foram efetuadas ou simplesmente permitir a verificação dos resultados sem a necessidade de entrar na janela de cálculo correspondente, tornando mais ágil o processo.

Ao iniciar o programa, se os resultados da área de acesso rápido estiverem preenchidos, significa que dados foram previamente inseridos. Caberá ao usuário optar por continuar com os cálculos ou zerar os dados.

6.1.3.3 Botões de Controle e Ajuda

A Interface Principal conta com quatro botões de controle, conforme APÊNDICE F, que serão relacionados a seguir:

- a) **Limpar Tudo:** elimina de uma única vez todos os dados já inseridos pelo usuário. Para que não ocorram limpezas acidentais, o programa exibe uma mensagem de confirmação;
- b) **Bloquear:** impede o acesso ao programa, sendo exibida novamente a Tela de Login, que nesse ponto passa a apresentar uma tarja escrita “Bloqueio”. Caso o usuário clique em “Cancelar” nessa Tela de Bloqueio, as informações são gravadas e o programa é finalizado;
- c) **Gravar Cópia:** grava uma cópia do programa com as informações então inseridas no diretório “C:\Keep\Backups” nomeada com a data e horário de criação;
- d) **Gravar / Sair:** grava as informações então inseridas no próprio programa e o encerra.

O botão “Ajuda” simplesmente reexibe a Central de Apoio, para que o usuário não tenha que sair e entrar no programa cada vez que desejar acessar a mesma.

6.1.4 Interface para cálculo da intensidade média de precipitação

A interface que possibilita à obtenção da intensidade média de precipitação (I) (APÊNDICE G) apresenta como base de cálculo a equação 6 do item 4.4.3.

Os dados de entrada necessários são: tempo de retorno em anos, tempo de concentração em minutos e parâmetros de ajuste locais K , a , b e c (disponibilizados pelo software Plúvio 2.1 desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa).

Para o cálculo de I , a ferramenta desenvolvida indica o uso do Plúvio. Ou seja, o usuário verá uma mensagem indicando que baixe o Plúvio, localize o município e entre com os dados na ferramenta.

A fim de evitar valores inválidos, o programa não permite que sejam inseridos valores nulos, negativos ou textuais nos campos disponíveis nessa interface.

O botão “Calcular e Gravar” efetua o cálculo e exhibe o resultado caso as informações tenham sido inseridas corretamente. Caso alguma das informações não for digitada, é emitida uma mensagem de alerta e nenhum resultado é exibido até que isso seja solucionado.

O botão “Reiniciar” limpa somente os dados da presente interface e possibilita a reinserção dos dados.

O botão “Sair” retorna à Interface Principal do programa.

6.1.5 Interfaces para cálculo do coeficiente de deflúvio

A interface que possibilita a obtenção do coeficiente de deflúvio (C) pelo método recomendado por ASCE (1969) (APÊNDICE H) apresenta como base de cálculo a TAB. 5 do item 4.4.4, e a interface que possibilita a obtenção do C pelo método proposto pela UFCG (2014) relacionado com o tipo de ocupação da área (APÊNDICE I) apresenta como base de cálculo a TAB. 3 do item 4.4.4.

O APÊNDICE J apresenta a interface que possibilita a obtenção do C de acordo com o tipo de ocupação da área (Wilken, 1978) com base na TAB. 7 do item 4.4.4, e o APÊNDICE K apresenta a interface que possibilita a obtenção do C pelo método proposto pela UFCG (2014) relacionado com o tipo de revestimento superficial apresenta como base de cálculo a TAB. 4 do item 4.4.4.

Para as interfaces supracitadas, são válidas às seguintes diretrizes de funcionamento:

- Os dados de entrada necessários são: coeficiente de frequência, área total da bacia em km^2 , descrição das parcelas com áreas distintas (selecionada através de listagem) e suas respectivas áreas (que podem ser especificadas em km^2 ou porcentagem em relação à área total).

- A fim de evitar valores inválidos, o resultado só é exibido quando a soma das áreas individuais da bacia for igual à área total da bacia, assim é indicado que a mesma foi toda caracterizada.
- O valor final de C é encontrado através de uma média ponderada entre as áreas parciais e seus coeficientes de deflúvio.
- O botão “Cálculo Padrão” efetua o cálculo do C com base nos menores valores indicados nas tabelas supracitadas a fim de evitar majorações posteriores. Nesse caso, não há necessidade de digitar tais valores. Já o botão “Atualizar” efetua o cálculo do C com base nos valores digitados pelo usuário.

O APÊNDICE L compreende a interface que possibilita a obtenção do C pelo método proposto por Schueler (1987) que tem como base de cálculo a equação 8 do item 4.4.4. e apresenta as seguintes diretrizes de funcionamento:

- Os dados de entrada necessários são: coeficiente de frequência, área total da bacia em km², área impermeável da bacia (que pode ser especificada em km² ou porcentagem em relação à área total da bacia).
- Para evitar resultados inválidos, o programa não permite que o usuário especifique uma área impermeável superior à área total da bacia.
- O botão “Calcular e Gravar” efetua o cálculo do C com base nos valores digitados. Caso algum parâmetro essencial não seja preenchido, o resultado não é mostrado e o usuário é orientado a verificar os dados.

A interface que possibilita a obtenção do C pelo método proposto por Williams (1949) (APÊNDICE M) possui como base de cálculo a TAB. 6 e equação 7 do item 4.4.4. e apresenta as seguintes diretrizes de funcionamento:

- Os dados de entrada necessários são: coeficiente de frequência; área total da bacia em km²; caracterização da área quanto à topografia, tipo de solo e cobertura (tais parâmetros são selecionados em listagem).
- O botão “Calcular e Gravar” efetua o cálculo do C com base nos valores resultantes da caracterização. Caso algum parâmetro essencial não seja preenchido, o resultado não é mostrado e o usuário é orientado a verificar os dados.

Em todas as interfaces para cálculo do C, o botão “Reiniciar” limpa somente os dados da presente interface e possibilita a reinserção dos dados. O botão “Sair” retorna à Interface Principal do programa.

6.1.6 Interfaces para determinação do tempo de concentração

A interface que possibilita a obtenção do tempo de concentração (t_c) pela fórmula de Dooge (APÊNDICE N) apresenta como base de cálculo a equação 1 do item 4.4.2.1. Os dados de entrada necessários são a área da bacia de contribuição em km^2 e a declividade do talvegue em porcentagem (o programa converte a porcentagem para m/km , necessária à aplicação da fórmula de Dooge). Uma vez que a equação supracitada traz o resultado do tempo de concentração em horas, o mesmo é convertido automaticamente para minutos.

A obtenção do t_c pela fórmula da *Federal Aviation Agency*, conforme interface apresentada no APÊNDICE O, baseia-se na equação 2 do item 4.4.2.2. Os dados de entrada necessários são o coeficiente de deflúvio (escolhido com base na melhor caracterização da bacia), o comprimento do talvegue em m e a declividade do talvegue em porcentagem (o programa converte a porcentagem para m/m , necessária à aplicação da fórmula da *Federal Aviation Agency*).

O APÊNDICE P apresenta a interface que possibilita a obtenção do t_c pela fórmula de Kirpich, conforme equação 3 do item 4.4.2.3. Os dados de entrada necessários são o comprimento do talvegue em m e a declividade do talvegue em porcentagem (o programa converte a porcentagem para m/m , necessária à aplicação da fórmula de Kirpich).

A interface que possibilita a obtenção do t_c pelo método cinemático do SCS (APÊNDICE Q) apresenta como base de cálculo a equação 4 do item 4.4.2.4. Os dados de entrada necessários são o comprimento do talvegue em m e a velocidade de escoamento superficial em m/s de cada trecho. É possível criar uma descrição para cada trecho em análise, mas é dispensável ao cálculo. Caso algum trecho tenha um dos seus parâmetros não especificados, o mesmo não é considerado no cálculo.

O APÊNDICE R apresenta a interface que possibilita a obtenção do t_c pela fórmula da Onda Cinemática conforme equação 5 do item 4.4.2.5. Os dados de entrada necessários são: tipo de cobertura da bacia, que é selecionado numa listagem fornecida pelo próprio programa e que define automaticamente o coeficiente de rugosidade de Manning relativo ao tipo de cobertura selecionado; intensidade de precipitação em mm/h ; comprimento do talvegue em m ; declividade do talvegue em porcentagem (o programa converte automaticamente para m/m para o uso da fórmula da Onda Cinemática).

Diferentemente das metodologias anteriores, para que o t_c seja obtido corretamente nessa interface, é necessário que os parâmetros da equação IDF tenham sido previamente informados (preenchidos na interface para cálculo da intensidade média de precipitação). Isso

porque o método da Onda Cinemática calcula t_c em função de I e a determinação do I depende do t_c . Assim, usando o suplemento Solver do Excel, várias iterações são feitas até que seja encontrado um t_c que atenda simultaneamente a ambos os casos. Para conferir essa questão, foi adicionado a essa interface o botão “Fórmula IDF”, que possibilita acesso imediato à interface de obtenção da intensidade média de precipitação.

Para todas as interfaces para o cálculo de t_c , tem-se que:

- O botão “Calcular e Gravar” efetua o cálculo do t_c em minutos com base nos valores digitados. Caso algum parâmetro essencial não seja preenchido, o resultado não é mostrado e o usuário é orientado a verificar os dados.
- O botão “Reiniciar” limpa somente os dados da interface correspondente e possibilita a reinsertão dos dados.
- O botão “Sair” retorna à Interface Principal do programa.

6.1.7 Interfaces para elaboração de gráficos

A interface que relaciona os valores de C obtidos pelos diferentes métodos analisados (APÊNDICE S) é constituída por um gráfico que apresenta no eixo das abcissas o método de obtenção e no eixo das ordenadas os valores de C . O objetivo foi demonstrar como os valores de C variam em função dos diferentes métodos para uma mesma bacia.

O APÊNDICE T apresenta a interface que relaciona os valores de t_c obtidos pelos diferentes métodos analisados e constitui-se de um gráfico que apresenta no eixo das abcissas o seu método de obtenção e no eixo das ordenadas os valores de t_c . O objetivo também foi demonstrar como o t_c varia em função dos diferentes métodos para uma mesma bacia.

A interface que relaciona os valores de I obtidos a partir dos diferentes valores de t_c gerados pelos métodos analisados (APÊNDICE U) corresponde a um gráfico que apresenta no eixo das abcissas o método de obtenção de t_c e no eixo das ordenadas os valores de I . O objetivo também foi demonstrar como a intensidade de precipitação varia em função dos diferentes tempos de concentração obtidos para uma mesma bacia.

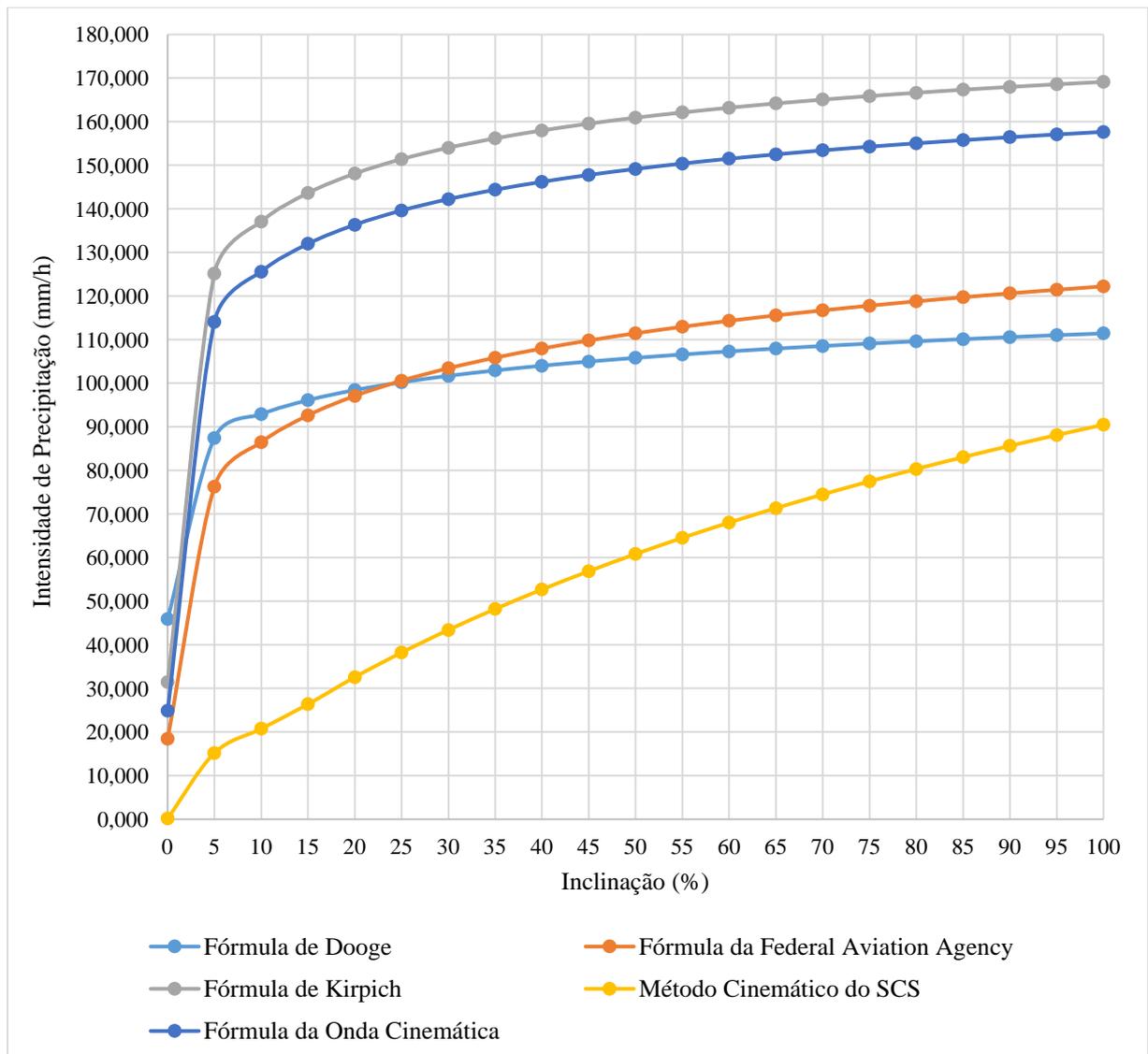
Por fim, o APÊNDICE V apresenta a interface que relaciona os valores de Q obtidos pelo Método Racional, com os diferentes valores de C obtidos pelos métodos analisados. Essa comparação é feita de forma individual para cada método de t_c , que deve ser selecionado previamente pelo usuário. Nessa interface, o gráfico apresenta no eixo das abcissas o método de obtenção de C e no eixo das ordenadas os valores de Q .

Em todas as interfaces de geração de gráficos, o botão “Gerar PDF” cria instantaneamente um relatório em formato “.pdf” que pode ser impresso em papel “A4” como formato padrão. O botão “Sair” retorna à Interface Principal do programa.

6.2 Aplicação da ferramenta computacional desenvolvida para a determinação das intensidades de precipitação no município de Formiga/MG em função da declividade do talvegue principal da bacia de contribuição

O GRAF. 1 apresenta os resultados de intensidade de precipitação em função da declividade do talvegue principal obtidos pela ferramenta computacional para a bacia menor.

Gráfico 1 - Intensidade de Precipitação x Declividade do Talvegue (Bacia Menor)



Fonte: O autor (2017).

Observa-se que os valores de intensidade de precipitação obtidos através dos tempos de concentração gerados a partir dos métodos de Dooge, Kirpich, *Federal Aviation Agency* e Onda Cinemática apresentam crescimento mais acentuado para relevos planos, que apresentam declividades compreendidas entre 0 e 3%, e suave-ondulados, que apresentam declividades compreendidas entre 3 e 8%. Tal característica não se fez tão expressiva para o método cinemático do SCS, embora seja observável em menor proporção.

Para relevos ondulados e montanhosos, que se caracterizam por apresentarem declividades superiores à 8%, nota-se um crescimento menos acentuado das intensidades de precipitação para os métodos anteriormente citados, com exceção do método cinemático do SCS, que apresenta taxa de variação consideravelmente elevada.

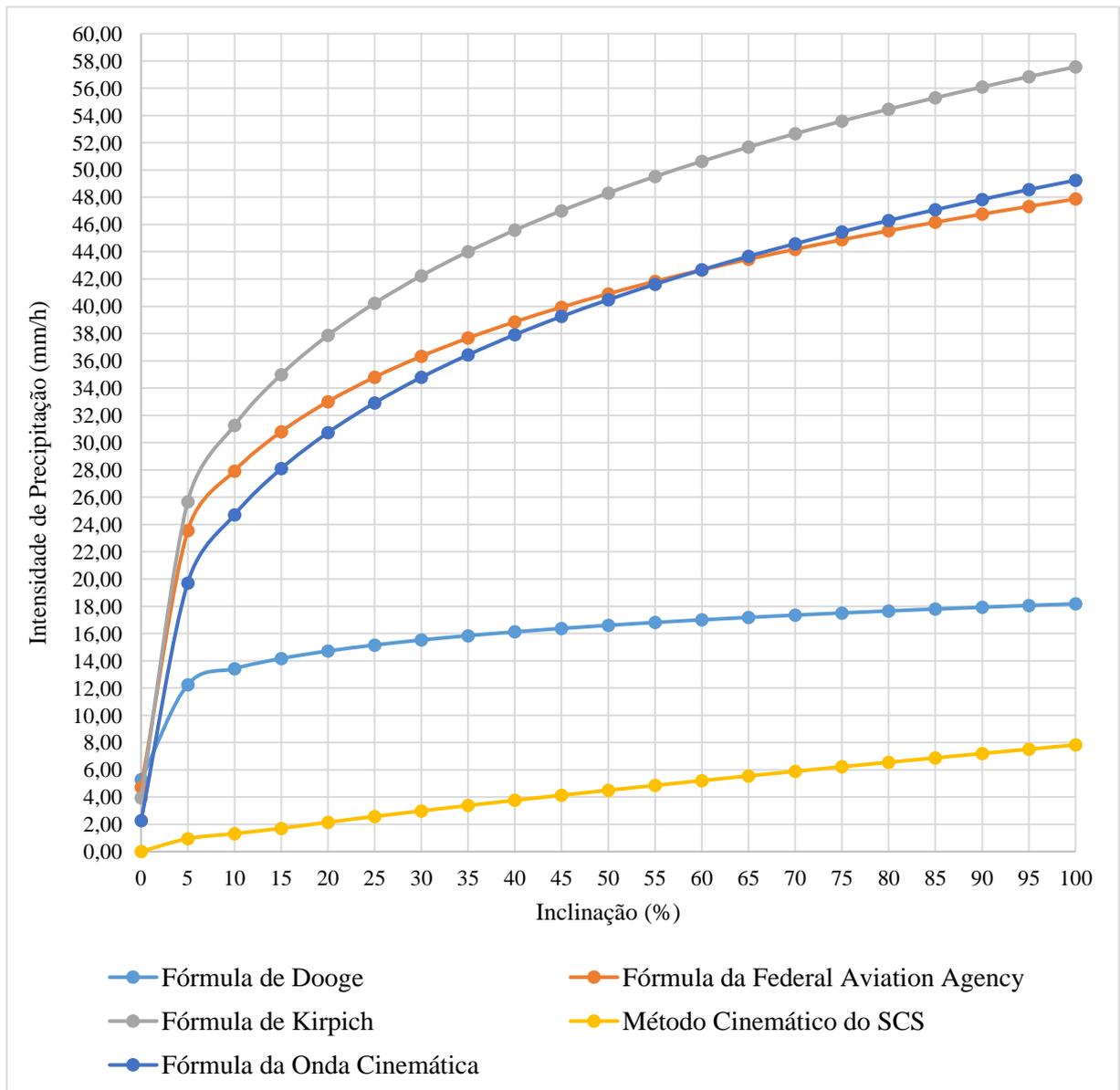
De um modo geral, tanto para relevos planos quanto ondulados, o método cinemático do SCS e a fórmula de Kirpich geraram as menores e as maiores intensidades de precipitação, respectivamente.

Ao tomar por base uma dada bacia de contribuição, quanto maior a declividade do talvegue principal, menor o tempo de concentração, ou seja, mais rapidamente a bacia irá contribuir em sua totalidade com a vazão gerada. Considerando-se a equação de chuvas intensas (equação 6 do item 4.4.3) e o fato de, em projetos de microdrenagem urbana, o tempo de duração da chuva ser igual ao tempo de concentração, conseqüentemente, quanto menor o valor de t_c maior será a intensidade de precipitação correspondente. Assim, tem-se que maiores declividades do talvegue levam a maiores intensidades de precipitação.

Logo, o método cinemático do SCS foi o que melhor representou esse comportamento, pois os valores de I crescem quase que linearmente com o aumento da declividade do talvegue.

Já o GRAF. 2 apresenta os resultados de intensidades de precipitação em função da declividade do talvegue principal obtidos pela ferramenta computacional para a bacia maior.

Gráfico 2 - Intensidade de Precipitação x Declividade do Talvegue (Bacia Maior).



Fonte: O autor (2017).

Observa-se que as curvas geradas apresentam um comportamento geral similar ao daquelas geradas para a bacia menor, diferindo-se essencialmente nos valores da intensidade de precipitação, que são consideravelmente menores.

Quanto maior a área e comprimento da bacia em análise, maior será o tempo de concentração necessário para que a mesma contribua em sua totalidade com a vazão gerada. Conseqüentemente, menor será a intensidade de precipitação equivalente. Nesse contexto, torna-se pertinente observar que a área é mais representativa do que a intensidade de precipitação para a vazão obtida através da aplicação do Método Racional.

Em geral, o método cinemático do SCS e a fórmula de Kirpich continuaram a gerar as menores e as maiores intensidades de precipitação respectivamente, tanto para bacias planas quanto onduladas. O método cinemático do SCS continuou apresentando uma relação quase que linear entre os valores de I e as declividades do talvegue.

Pelo Método Racional, observa-se que, fixando-se os valores de C e A , conforme aconteceu nesse trabalho, a vazão de projeto Q dependerá unicamente dos valores de I . Assim, quando maior a declividade o talvegue principal de uma bacia, maior será a vazão de projeto para sistemas de microdrenagem urbana. Assim, a fórmula de Kirpich, citada por Mota e Kobiyama (2015) como uma das mais conhecidas e aplicadas nos meios teórico e acadêmico, tende a levar a maiores valores de vazão de projeto a ser considerada para projetos de microdrenagem. Maiores valores de Q implicam em maiores dimensões das estruturas de microdrenagem, onerando o projeto.

Considerando-se que o risco de um sistema de microdrenagem falhar está relacionado ao tempo de retorno (TUCCI, 2000), e que o tempo de retorno nesse trabalho foi fixado em 5 anos para as análises tanto da bacia menor quanto da bacia maior, os diferentes valores de I encontrados influenciam unicamente nos maiores ou menores valores de Q que seriam estimados no Método Racional, ou seja, num maior ou menor custo das estruturas de microdrenagem.

Assim, pensando-se em um menor custo de projeto, a adoção do método cinemático do SCS apresenta-se como a mais favorável pois gerou os menores valores de I , o que implica em menores valores de vazão de projeto e conseqüentemente em menores dimensões das estruturas de microdrenagem. Há de ressaltar que Tucci (2000) considera o método cinemático do SCS como o mais correto do ponto de vista conceitual, pois analisa as características específicas do escoamento da bacia em estudo.

Diante da diversidade de comparações possíveis de serem realizadas a partir da ferramenta computacional desenvolvida neste trabalho, no que diz respeito à obtenção de parâmetros hidrológicos por métodos diversificados, propõe-se que trabalhos futuros a utilizem para fazer experimentações relacionadas ao próprio coeficiente de deflúvio. Através da simulação de cenários físicos (como vegetação, declividade, etc.), submetidos a situações distintas de precipitação, tornar-se-á possível verificar o comportamento do solo no que diz respeito ao escoamento superficial. Em posse dos valores do experimento, torna-se pertinente confrontá-los com os valores propostos pelas metodologias já existentes e verificar sua veracidade.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização da ferramenta computacional desenvolvida para a estimativa da intensidade de precipitação para duas bacias de áreas e comprimentos dos talwegues principais distintos, sujeitas a mesma variação de declividade, mostra que o método de Kirpich para o cálculo do tempo de concentração tende a gerar maiores valores de vazão de projeto, enquanto que o método cinemático do SCS gera os menores valores, se apresentando como o mais favorável do ponto de vista econômico.

Diante dos resultados obtidos, confirmou-se que a diversidade metodológica existente na literatura no que se refere à obtenção dos parâmetros hidrológicos aplicados a microdrenagem urbana realmente traz a possibilidade de uma dada situação de precipitação originar estruturas de drenagem com dimensões completamente distintas, o que pode causar prejuízos funcionais e de ordem econômica.

Para tanto, faz-se necessário um estudo mais aprofundado sobre novas metodologias de cálculo que sejam mais eficazes e condizentes com a realidade, de maneira que discrepâncias entre projetos de microdrenagem urbana sejam minimizadas. Assim, impactos socioambientais provenientes de sistemas de drenagem ineficazes poderiam ser evitados de maneira a assegurar o bem-estar para a população em dias chuvosos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS – ASCE. **Design and Construction of sanitary and storm sewers**. New York (Manuals and Reports of Engineering Practice, 37). 1969.

CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

DAEE/CETESB, São Paulo. **Drenagem urbana: manual de projeto**. 2. ed. São Paulo: CETESB, 1980.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem (2005)**. Disponível em: <http://ipr.dnit.gov.br/normas-e-manuais/manuais/documentos/715_manual_de_hidrologia_basica.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2017.

FERNANDES, C. **Microdrenagem - Um Estudo Inicial**. Campina Grande: DEC/CCT/UFPB, 2002. 196 p. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Drenagem.html>>. Acesso em: 10 set. 2017.

GAROTTI, L. M.; BARBOSA, A. P. **Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial**. Jan./abr. 2010. Artigo disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v15n1/v15n1a03.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2017.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1988. 291 p.

GÓMEZ, L. A. **Excel para engenheiros incluindo VBA**. Florianópolis: Visual Books, 2009. 222 p.

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 3. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2009. 494 p.

MANZANO, A. L. N. **Estudo dirigido de Microsoft Excel 2013**. 1. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda. 2015. 208 p.

MENDES, R.; COLOMBELLI, K. **Determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Videira, SC**. Jul./dez. 2013. Artigo disponível em: <https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/viewFile/3708/pdf_5>. Acesso em: 04 jun. 2017.

MEYER, M. **O que é Excel?** 2017. Disponível em: <<http://www.aprenderexcel.com.br/2013/artigos/o-que-e-excel>>. Acesso em: 05 out. 2017.

MICROSOFT CORPORATION. **Guia do Usuário do Visual Basic: Automatizando, personalizando e programando no Microsoft Excel com O Microsoft Visual Basic Programmin System, Applications Edition.** 1993 – 1994. *Microsoft Corporation*. Todos os direitos reservados. 378 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ciclo Hidrológico.** 2012. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

MORAES, M. **Atlas Rio Macaé.** 2015. Disponível em: <<http://www.marcusmoraes.com.br/projeto/5764>>. Acesso em: 28 ago. 2017.

MOTA, A. A.; KOBIYAMA, M. **Reconsiderações sobre a Fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração.** Disponível em: <https://abrh.s3-sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/176/78600f4f6fa84d6c5d7b611ec565a7b2_5b5c74cd9547089745afc6f5fb1ab676.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.

MOURA, L. F.; ROQUE, B. F. D. S. **Excel cálculos para engenharia, formas simples para resolver problemas complexos.** São Carlos: EdUFSCar (Editora da Universidade Federal de São Carlos), 2013. 162 p.

PINTO, N. L. D. S. et al. **Hidrologia Básica.** São Paulo: Editora Edgard Bluger. 2008. 278 p.

PORTO, R. L. L. et al. **Hidrologia Aplicada, departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária.** São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. **Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos - Método Racional. Secretaria de Vias Públicas.** São Paulo, 1999. Disponível em: <<http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/NORMAS%20T%C3%89CNICAS%20INSTRU%C3%87%C3%95ES%20NOVAS/Hidr%C3%A1ulica%20e%20drenagem%20urbana/DH-H03.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

PRUSKI, F. F. et al. **Escoamento Superficial.** 2. ed. Viçosa: Editora UFV, 2014. 87 p.

PRUSKI, F. F. et al. **Comparação entre dois métodos para determinação do volume de escoamento superficial.** R. Bras. Ci. Solo. 2001. Artigo disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n2/16.pdf>>. Acesso em: 04 mai. 2017.

SCHUELER, T. **Controlling urban runoff.** Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987. 210 p.

SILVA, L. D; CARVALHO, D. F. **Capítulo 2 - Ciclo Hidrológico.** Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2017.

SILVA, L. P. **Hidrologia Engenharia e Meio Ambiente.** 1. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2015. 330 p.

STUDART, T.; CAMPOS N. **Capítulo 1 – Hidrologia Aplicada**. 2004. Disponível em: <http://www.deha.ufc.br/ticiana/Arquivos/Graduacao/Apostila_Hidrologia_grad/Cap_1_Introducao_2004.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2017.

TOMAZ, P. **Capítulo 2 – Método Racional**. 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo02.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2017.

TOMAZ, P. **Capítulo 3 – Tempo de concentração**. 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidraulicos/capitulo04.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2017.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2000. 943 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - CENTRO DE TECNOLOGIA (CTEC). **Planejamento dos sistemas de drenagem urbana: redes de drenagem (tradicional)**. 2012. Disponível em: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:4PaXC_VVEFEJ:www.ctec.ufal.br/professor/mgn/Parte01bConceituandoDrenagemUrbanaProjetoDeRedeTradicional.ppt+&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 02 set. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA - DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO. **Capítulo 2 - Bacia Hidrográfica**. 2005. Disponível em: <[http://www.grh.ufba.br/download/2005.2/Apostila\(Cap2\).pdf](http://www.grh.ufba.br/download/2005.2/Apostila(Cap2).pdf)>. Acesso em: 12 mai. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG. **Deflúvio superficial direto**. 2014. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren03.html>>. Acesso em: 21 mai. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ. **Capítulo 4: Precipitação**, 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap4-PPT.pdf>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA – UFV. *Software Plúvio 2.1*. 2006. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/gprh/software.htm>>. Acesso em: 15 mai. 2017.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Editora McGraw Hill do Brasil, 1975. 245 p.

WILKEN, P. S. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 477 p.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Tela de Login	51
APÊNDICE B – Interface: Central de Apoio.....	52
APÊNDICE C – Interface Principal do Programa (Parâmetros Básicos)	53
APÊNDICE D – Interface Principal do Programa (Análises Gráficas)	54
APÊNDICE E – Área de Acesso Rápido	55
APÊNDICE F – Botões de Controle e Ajuda	56
APÊNDICE G – Interface: Obtenção de I (Equação IDF).....	57
APÊNDICE H – Interface: Obtenção de C (ASCE, 1969).....	58
APÊNDICE I – Interface: Obtenção de C (Ocupação da Área, UFCG - 2014)	59
APÊNDICE J – Interface: Obtenção de C (P.S. Wilken, 1978).....	60
APÊNDICE K – Interface: Obtenção de C (Revestimento Superficial, UFCG - 2014)	61
APÊNDICE L – Interface: Obtenção de C (Schueler, 1987).....	62
APÊNDICE M – Interface: Obtenção de C (Williams, 1949)	63
APÊNDICE N – Interface: Obtenção de tc (Fórmula de Dooge).....	64
APÊNDICE O – Interface: Obtenção de tc (Fórmula da <i>Federal Aviation Agency</i>)	65
APÊNDICE P – Interface: Obtenção de tc (Fórmula de Kirpich).....	66
APÊNDICE Q – Interface: Obtenção de tc (Método Cinemático do SCS).....	67
APÊNDICE R – Interface: Obtenção de tc (Fórmula da Onda Cinemática)	68
APÊNDICE S – Análise Gráfica Comparativa (C)	69
APÊNDICE T – Análise Gráfica Comparativa (tc)	70
APÊNDICE U – Análise Gráfica Comparativa (I).....	71
APÊNDICE V – Análise Gráfica Comparativa (Q)	72

APÊNDICE A – Tela de Login



iTCC

LOGIN



Usuário

Senha

Acessar Limpar Cancelar

Fonte: O autor (2017).

APÊNDICE B – Interface: Central de Apoio

Central de Apoio
X

ITCC - PRIMEIROS PASSOS



PASSO 1

- ✓ O cálculo da intensidade de precipitação é feito através da equação IDF, cujos parâmetros de ajuste são obtidos pelo software Pluvio (UFV).
- ✓ É possível obter a intensidade de precipitação através da digitação de um tempo de concentração e período de retorno arbitrários.

PASSO 2

- ✓ Estão disponíveis 5 métodos distintos para o cálculo do Tempo de Concentração.
- ✓ Para a realização da análise gráfica comparativa, é necessário que pelo menos um dos métodos tenha sido corretamente executado.

PASSO 3

- ✓ Estão disponíveis 6 métodos distintos para o cálculo do Coeficiente de Deflúvio.
- ✓ Para a realização da análise gráfica comparativa, é necessário que pelo menos 2 métodos tenham sido corretamente executados.

PASSO 4

- ✓ A análise gráfica comparativa permite verificar com facilidade a influência dos diferentes coeficientes de deflúvio nas vazões de projeto para cada método de cálculo do Tempo de Concentração.

Continuar

APÊNDICE C – Interface Principal do Programa (Parâmetros Básicos)

ITCC - Determinação de Parâmetros Hidrológicos Diversos
X

A Equação I.D.F.

B Asce, 1969

C Ocupação da Área

D P.S. Wilken, 1978

E Revestimento Superficial

F Schueler, 1987

G Williams, 1949

H Fórmula de Dooge

I Fórmula da Federal Aviation Agency

J Fórmula de Kirpich

K Método Cinemático do SCS

L Fórmula da Onda Cinemática

Intensidade de precipitação

Coefficiente de Deflúvio

Tempo de Concentração



ACESSO RÁPIDO

C **COEFICIENTE DE DEFLÚVIO**

- Asce, 1969
- Ocupação da Área
- P.S. Wilken, 1978
- Revestimento Superficial
- Schueler, 1987
- Williams, 1949

Tc **TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min)**

- Fórmula de Dooge
- Fórmula Federal Aviation Agency
- Fórmula de Kirpich
- Método Cinemático do SCS
- Fórmula da Onda Cinemática

I **INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO (mm/h)**

- Fórmula de Dooge
- Fórmula Federal Aviation Agency
- Fórmula de Kirpich
- Método Cinemático do SCS
- Fórmula da Onda Cinemática

1. Limpar Tudo

2. Bloquear

3. Gravar Cópia

4. Gravar/Sair

ITCC - Distribuição não autorizada.

Fonte: O autor (2017).

APÊNDICE D – Interface Principal do Programa (Análises Gráficas)

ITCC - Determinação de Parâmetros Hidrológicos Diversos
Parâmetros Básicos | **Análises Gráficas**
Ajuda

A Coeficientes de Deflúvio por métodos distintos

B Tempos de Concentração por métodos distintos

C Intensidades de Precipitação por diferentes Tempos de Concentração

D Vazões de Projeto variáveis pelo Tempo de Concentração



Análises Gráficas Comparativas

ACESSO RÁPIDO

C COEFICIENTE DE DEFLÚVIO	Tc TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min)	I INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO (mm/h)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Asce, 1969 ▪ Ocupação da Área ▪ P.S. Wilken, 1978 ▪ Revestimento Superficial ▪ Schueler, 1987 ▪ Williams, 1949 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fórmula de Dooge ▪ Fórmula Federal Aviation Agency ▪ Fórmula de Kirpich ▪ Método Cinemático do SCS ▪ Fórmula da Onda Cinemática 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fórmula de Dooge ▪ Fórmula Federal Aviation Agency ▪ Fórmula de Kirpich ▪ Método Cinemático do SCS ▪ Fórmula da Onda Cinemática

1. Limpar Tudo
2. Bloquear
3. Gravar Cópia
4. Gravar/Sair

ITCC - Distribuição não autorizada.

APÊNDICE F – Botões de Controle e Ajuda

ITCC - Determinação de Parâmetros Hidrológicos Diversos
X

Parâmetros Básicos | Análises Gráficas

A Equação I.D.F.

B Asce, 1969
C Ocupação da Área
D P.S. Wilken, 1978

E Revestimento Superficial
F Schueler, 1987
G Williams, 1949

H Fórmula de Dooge
I Fórmula da Federal Aviation Agency
J Fórmula de Kirpich

K Método Cinemático do SCS
L Fórmula

Ajuda

Intensidade de precipitação

Coeficiente de Deflúvio

Tempo de Concentração

ACESSO RÁPIDO

C **COEFICIENTE DE DEFLÚVIO**

- Asce, 1969
- Ocupação da Área
- P.S. Wilken, 1978
- Revestimento Superficial
- Schueler, 1987
- Williams, 1949

Tc **TEMPO DE CONCENTRAÇÃO (min)**

- Fórmula de Dooge
- Fórmula Federal Aviation Agency
- Fórmula de Kirpich
- Método Cinemático do SCS
- Fórmula da Onda Cinemática

I **INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO (mm/h)**

- Fórmula de Dooge
- Fórmula Federal Aviation Agency
- Fórmula de Kirpich
- Método Cinemático do SCS
- Fórmula da Onda Cinemática



1. Limpar Tudo 2. Bloquear 3. Gravar Cópia 4. Gravar/Sair

Fonte: O autor (2017).

APÊNDICE G – Interface: Obtenção de I (Equação IDF)

EQUAÇÃO I.D.F.

A Equação IDF é utilizada para determinar a intensidade de chuvas Intensas para as regiões brasileiras. Os parâmetros a seguir podem ser obtidos com o software Pluvio 2.1, desenvolvido e disponibilizado pelo grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos - DEA da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Disponível em: <http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>

Tempo de Retorno (anos)

Tempo de Concentração (min)

Parâmetros de Ajuste Locais (Plúvio)	
Parâmetro K	
Parâmetro a	
Parâmetro b	
Parâmetro c	

CENTRAL DE APOIO

1 Equação I.D.F.

$$i = \frac{k T^a}{(t + b)^c}$$

i - Intensidade média da precipitação intensa em mm/h.
 T - Tempo de retorno em anos.
 t - Duração da precipitação em minutos.
 k, a, b, c - Parâmetros de ajuste locais fornecidos pelo Plúvio.

2 Tempo de Retorno por Tipo de Obra e Ocupação

Tipo de Obra	Tipo de Ocupação	Período de Retorno (anos)
Micro-drenagem Residencial	Residencial	2
Micro-drenagem Comercial	Comercial	5
Micro-drenagem Edifícios de serviços ao público	Edifícios de serviços ao público	5
Micro-drenagem Aeroportos	Aeroportos	2 - 5
Micro-drenagem Áreas comerciais e artérias de tráfego	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 - 10
Macro-drenagem Áreas comerciais e residenciais	Áreas comerciais e residenciais	50 - 100
Macro-drenagem Áreas de importância específica	Áreas de importância específica	500

Calcular e Gravar

Reiniciar

Intensidade de Precipitação (mm/h)

Sair

APÊNDICE H – Interface: Obtenção de C (ASCE, 1969)

ASCE, 1969

Coeficiente de deflúvio

Coeficiente de frequência (Cf)

Área total da bacia (km²)

Especificar individualmente as áreas de cada zona (km²)
 Obter as áreas de cada zona pelo percentual da área total da bacia (%)

Parâmetros de Cálculo		
Zona	Descrição	C
01		
02		
03		
04		
05		
06		
07		
08		
09		
10		

Totais Válidos:

Coeficiente de deflúvio (C)

CENTRAL DE APOIO

1 Coeficiente de Frequência (Cf)

Tempo de Retorno (Anos)	Coeficiente de Frequência (Cf)
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

2 Valores do Coeficiente de Deflúvio (ASCE, 1969)

Superfície	C
Asfalto	0,70 - 0,95
Concreto	0,80 - 0,95
Tijolo	0,70 - 0,85
Calçada	0,75 - 0,85
Telhado	0,75 - 0,95
Gramado em solos arenosos	
Plano, 2%	0,05 - 0,10
Declive médio, 2 a 7%	0,10 - 0,15
Declive alto, 7%	0,15 - 0,20
Gramado em solos compactados	
Plano, 2%	0,13 - 0,17
Declive médio, 2 a 7%	0,18 - 0,22
Declive alto, 7%	0,25 - 0,35

[Sair](#)

Fonte: O autor (2017).

APÊNDICE I – Interface: Obtenção de C (Ocupação da Área, UFCG - 2014)

OCUPAÇÃO DA ÁREA

Coeficiente de Deflúvio

Coeficiente de frequência (Cf)

Área total da bacia (km²)

Especificar individualmente as áreas de cada zona (km²)
 Obter as áreas de cada zona pelo percentual da área total da bacia (%)

Zona	Descrição	Área (km ²)	%	C
01				
02				
03				
04				
05				
06				
07				
08				
09				
10				

Totais Válidos:

Cálculo Padrão

Atualizar

Reiniciar

Coeficiente de deflúvio (C)

CENTRAL DE APOIO

1 Coeficiente de Frequência (Cf)

Tempo de Retorno (Anos)	Coeficiente de Frequência (Cf)
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

2 Valores do Coeficiente de Deflúvio (Ocupação da Área)

Natureza da Superfície	C
Áreas centrais, densamente construídas, com ruas pavimentadas	0,70 - 0,90
Áreas adjacentes ao centro, com ruas pavimentadas	0,50 - 0,70
Áreas residenciais com casas isoladas	0,25 - 0,50
Áreas suburbanas pouco edificadas	0,10 - 0,20

Sair

APÊNDICE J – Interface: Obtenção de C (P.S. Wilken, 1978)

P.S. WILKEN, 1978

Coeficiente de Deflúvio

Coeficiente de frequência (Cf) Área total da bacia (km²)

Especificar individualmente as áreas de cada zona (km²)
 Obter as áreas de cada zona pelo percentual da área total da bacia (%)

Zona	Descrição	Área (km ²)	%	C
01				
02				
03				
04				
05				
06				
07				
08				
09				
10				

Totais Válidos:

Coeficiente de deflúvio (C)

CENTRAL DE APOIO

1 Coeficiente de Frequência (Cf)

Tempo de Retorno (Anos)	Coeficiente de Frequência (Cf)
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

2 Valores do Coeficiente de Deflúvio (WILKEN, 1978)

Zonas	C
Edificação muito densa:	
Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com calçadas pavimentadas	0,70 - 0,95
Edificação não muito densa:	
Partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitantes, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 - 0,70
Edificações com poucas superfícies livres:	
Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 - 0,60
Edificações com muitas superfícies livres:	
Partes residenciais com ruas macadâmizadas ou pavimentadas	0,25 - 0,50
Subúrbios com alguma edificação:	
Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 - 0,25
Matas, parques e campos de esporte:	
Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação	0,05 - 0,20

APÊNDICE K – Interface: Obtenção de C (Revestimento Superficial, UFCG - 2014)

REVESTIMENTO DA SUPERFÍCIE

Coeficiente de Deflúvio

Coeficiente de frequência (Cf)

Área total da bacia (km²)

Especificar individualmente as áreas de cada zona (km²)
 Obter as áreas de cada zona pelo percentual da área total da bacia (%)

Parâmetros de Cálculo			
Zona	Descrição (Opcional)	Área (km ²)	%
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			

Totais Válidos:

Cálculo Padrão Atualizar Reiniciar

Coeficiente de deflúvio (C)

CENTRAL DE APOIO

1 Coeficiente de Frequência (Cf)

Tempo de Retorno (Anos)	Coeficiente de Frequência (Cf)
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

2 Valores do Coeficiente de Deflúvio (Revest. Superficial)

Natureza da Superfície	C
Pavimentadas com concreto	0,80 - 0,95
Asfaltadas em bom estado	0,85 - 0,95
Asfaltadas e má conservadas	0,70 - 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos rejuntados	0,75 - 0,85
Pavimentadas com paralelepípedos não rejuntados	0,50 - 0,70
Pavimentadas com pedras irregulares e sem rejuntamento	0,40 - 0,50
Macadamizadas	0,25 - 0,60
Encascalhadas	0,15 - 0,30
Passesos públicos (Calçadas)	0,75 - 0,85
Telhados	0,75 - 0,95
Terrenos livres e ajardinados	
1) Solos arenosos	
i < 2%	0,05 - 0,10
2% < i < 7%	0,10 - 0,15
i > 7%	0,15 - 0,20
2) Solos pesados	
i < 2%	0,15 - 0,20
2% < i < 7%	0,20 - 0,25
i > 7%	0,25 - 0,30

Sair

APÊNDICE L – Interface: Obtenção de C (Schueler, 1987)

SCHUELER, 1987

Coeficiente de deflúvio

Coeficiente de frequência (Cf)

Área total da bacia (km²)

Especificar diretamente a área impermeável da bacia (km²)
 Obter a área impermeável pelo percentual da área total da bacia (%)

Área Impermeável (km ²)	Área Impermeável (%)

Cálculo Padrão

Coeficiente de deflúvio (C)

CENTRAL DE APOIO

1 Coeficiente de Frequência (Cf)

Tempo de Retorno (Anos)	Coeficiente de Frequência (Cf)
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

2 Equação de Schueler

C = 0,05 + 0,009 x AI

Rv = coeficiente volumétrico
AI = área impermeável (%)

[Sair](#)

APÊNDICE M – Interface: Obtenção de C (Williams, 1949)

Coeficiente de Deflúvio

WILLIAMS, 1949

Coeficiente de frequência (Cf)

Área total da bacia (km²)

Necessário apenas p/ o cálculo da Vazão

X

CENTRAL DE APOIO

1 Coeficiente de Frequência (Cf)

Tempo de Retorno (Anos)	Coeficiente de Frequência (Cf)
2 a 10	1,00
25	1,10
50	1,20
100	1,25

2 Valores do Coeficiente de Deflúvio Para Áreas Rurais

Tipo de Área	C'
1. Topografia	
Terreno plano, declividade de 0,2 a 0,6 m/km	0,30
Terreno com declividade de 3 a 4 m/km	0,20
Morros, declividade de 30 a 50 m/km	0,10
2. Solo	
Argila impermeável	0,10
Permeabilidade média	0,20
Arenoso	0,40
3. Cobertura	
Áreas cultivadas	0,10
Árvores	0,20

C = 1 - (C'1 + C'2 + C'3)

Parâmetros de Cálculo

Tipo de Área	C'
1. Topografia	
2. Solo	
3. Cobertura	

Cálculo Padrão Reiniciar

Coeficiente de deflúvio (C)

Sair

APÊNDICE N – Interface: Obtenção de tc (Fórmula de Dooge)

FÓRMULA DE DOOGE

Tempo de Concentração

A Fórmula de Dooge foi determinada para bacias rurais com áreas de drenagem variando de 140 a 930 km², sendo mais apropriada para escoamentos em canais.

Parâmetros de Cálculo	
A	Área da bacia de contribuição (km ²)
S	Declividade equivalente da bacia de contribuição (%)

Tempo de Concentração (min)

CENTRAL DE APOIO

1 Fórmula de Dooge - Literatura

$$tc = 1,18 \times A^{0,41} / S^{0,17}$$

Sendo:

- tc - Tempo de concentração em horas.
- A - Área da bacia de contribuição em km².
- S - Declividade equivalente da bacia de contribuição (m/km).

Tempo de Concentração (min)

APÊNDICE O – Interface: Obtenção de tc (Fórmula da *Federal Aviation Agency*)

Tempo de Concentração

FÓRMULA DA FEDERAL AVIATION AGENCY

A Fórmula da Federal Aviation Agency é recomendada para bacias pequenas, com predominância de escoamento de superfície, pois foi especificamente desenvolvida para drenagem de aeroportos.

CENTRAL DE APOIO

Fórmula da Federal Aviation Agency

tc = 0,69 . (1,1 - C). L^{0,5} . S^{-0,33}

Sendo:

- tc - Tempo de concentração em minutos.
- C - Coeficiente de escoamento superficial (adimensional).
- L - Comprimento máximo do talvegue em metros.
- S - Declividade equivalente da bacia de contribuição (m/m).

Parâmetros de Cálculo	
C	Coeficiente de escoamento superficial (adimensional):
L	Comprimento máximo do talvegue (m):
S	Declividade equivalente da bacia de contribuição (%):

Calcular e Gravar

Reiniciar

Tempo de Concentração (min)

Sair

APÊNDICE P – Interface: Obtenção de tc (Fórmula de Kirpich)

FÓRMULA DE KIRPICH

Tempo de Concentração

A Fórmula de Kirpich foi desenvolvida para ser utilizada em bacias não maiores que 0,5 km² e declividades entre 3 e 10%.

CENTRAL DE APOIO

1 Fórmula de Kirpich

$$tc = 0,019 \cdot L^{0,77} / S^{0,385}$$

Sendo:

- tc - Tempo de concentração em minutos.
- L - Comprimento do talvegue em metros.
- S - Declividade do talvegue em m/m.

Parâmetros de Cálculo

L	Comprimento do Talvegue (m)	
S	Declividade do talvegue (%)	

Tempo de Concentração (min)

[Sair](#)

APÊNDICE Q – Interface: Obtenção de tc (Método Cinemático do SCS)

Tempo de Concentração

MÉTODO CINEMÁTICO DO SCS

O Método Cinemático do SCS foi desenvolvido para bacias compostas de trechos de declividades variáveis, baseando-se no fato de que a somatória dos tempos de trânsito em cada trecho nada mais é que o tempo de concentração. Do ponto de vista conceitual, este método é o mais correto, pois permite que se leve em conta as características específicas da bacia.

CENTRAL DE APOIO

X

1 Método Cinemático do SCS

$T_1 = L_1 / (60 \times V_1)$, $T_2 = L_2 / (60 \times V_2)$, $T_3 = L_3 / (60 \times V_3)$, ..., $T_i = L_i / (60 \times V_i)$

Onde

- T - Tempo de concentração do trecho em minutos.
- L - Comprimento do talvegue em metros.
- V - Velocidade média do trecho em m/s.

2 Velocidade de Escocamento Superficial (m/s)

Tipo de escoamento	0% ≤ S ≤ 3%	4% ≤ S ≤ 7%	8% ≤ S ≤ 11%	S ≥ 12%
① <i>superfície</i>				
- Florestas	0-0,5	0,5-0,8	0,8-1,0	1,0-
- Pastagens	0-0,8	0,8-1,1	1,1-1,3	1,3-
- Áreas cultivadas	0-0,9	0,9-1,4	1,4-1,7	1,7-
- Pavimentos	0-2,6	2,6-4,0	4,0-5,2	5,2
② <i>Em canais</i>				
- Mal definidos	0-0,6	0,6-1,2	1,2-2,1	***
- Bem definidos	Manning	Manning	Manning	Manning

Parâmetros de Cálculo		L (m)	V (m/s)
Trecho	Descrição (Opcional)		
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			

Calcular e Gravar

Reiniciar

Tempo de Concentração (min)

Sair

Fonte: O autor (2017).

APÊNDICE R – Interface: Obtenção de tc (Fórmula da Onda Cinemática)

FÓRMULA DA ONDA CINEMÁTICA

A Fórmula da Onda Cinemática foi deduzida teoricamente a partir da equação de Chézy com coeficiente de Manning sob a suposição de precipitação de intensidade constante com duração igual ao tempo de concentração. É aplicável a bacias pequenas nas quais o escoamento sobre a superfície é predominante.

Tempo de Concentração

Cobertura da bacia

Parâmetros de Cálculo	
n	Coefficiente de Rugosidade de Manning
L	Comprimento do Talvegue (m)
S	Declividade do Talvegue (%)
I	Intensidade de Precipitacao (mm/h) - Cálculo Automático

Calcular e Gravar

Reiniciar

Tempo de Concentração (min)

[Sair](#)

CENTRAL DE APOIO

Fórmula da Onda Cinemática

$$t = \frac{6,99 \cdot (n \cdot L / S^{0,5})^{0,60}}{i^{0,4}}$$

Sendo:

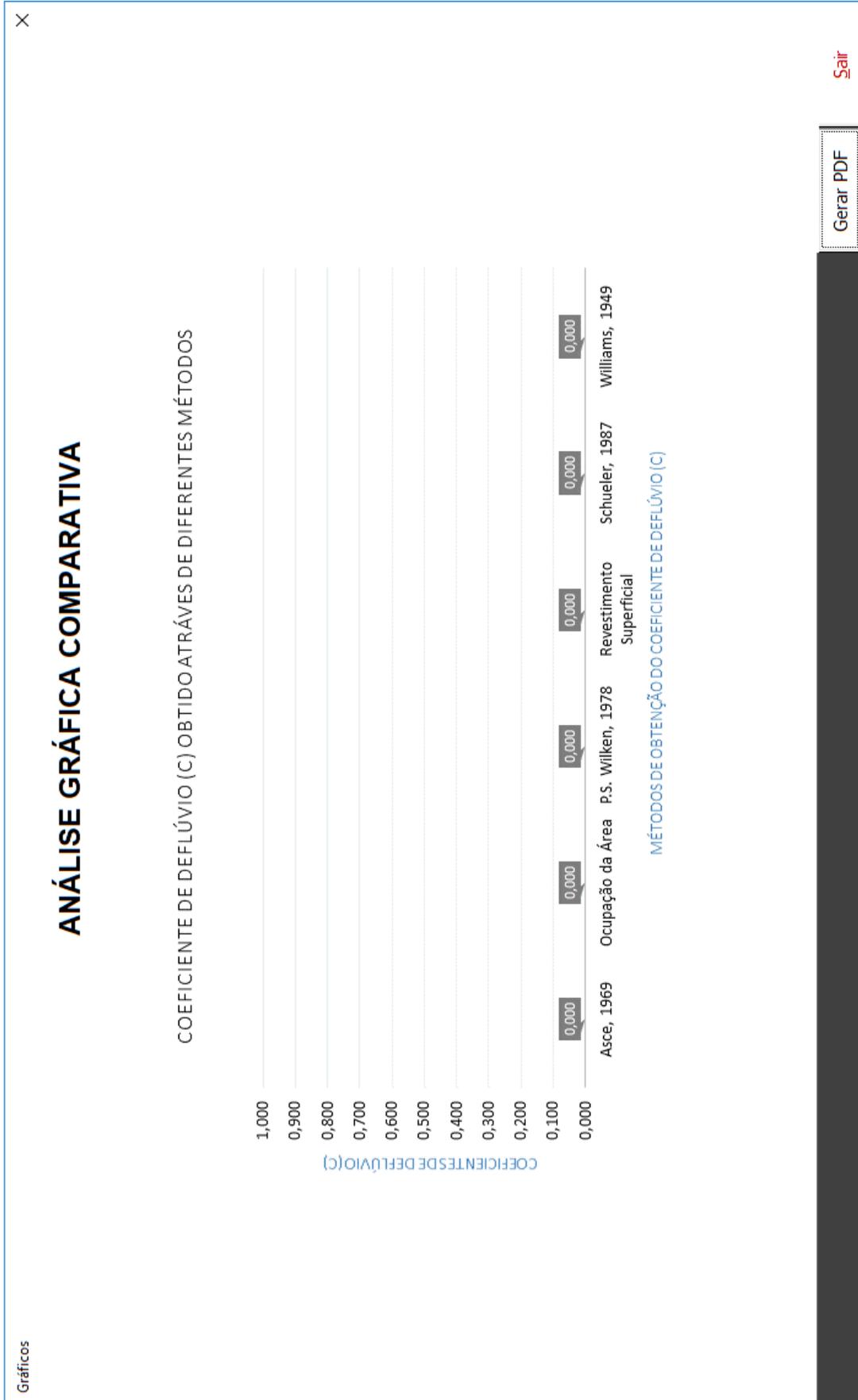
- t - Tempo de escoamento superficial em minutos.
- n - Coeficiente de Manning (adimensional).
- L - Comprimento do talvegue em metros.
- S - Declividade do talvegue em m/m.
- I - Intensidade da precipitação em (mm/h).

2 Coeficiente de Rugosidade de Manning

Descrição	n
Concreto com bom acabamento	0,012
Asfalto suave (de textura lisa)	0,013
Asfalto de textura áspera	0,016
Concreto ou argamassa de cimento acabado com espalhadeira	0,014
Concreto ou argamassa de cimento alisado manualmente	0,016
Concreto ou argamassa de cimento com acabamento áspero	0,020
Paralelepípedos argamassados	0,020
Argila compactada	0,030
Pouca vegetação	0,020
Vegetação densa	0,350
Vegetação densa e floresta	0,400

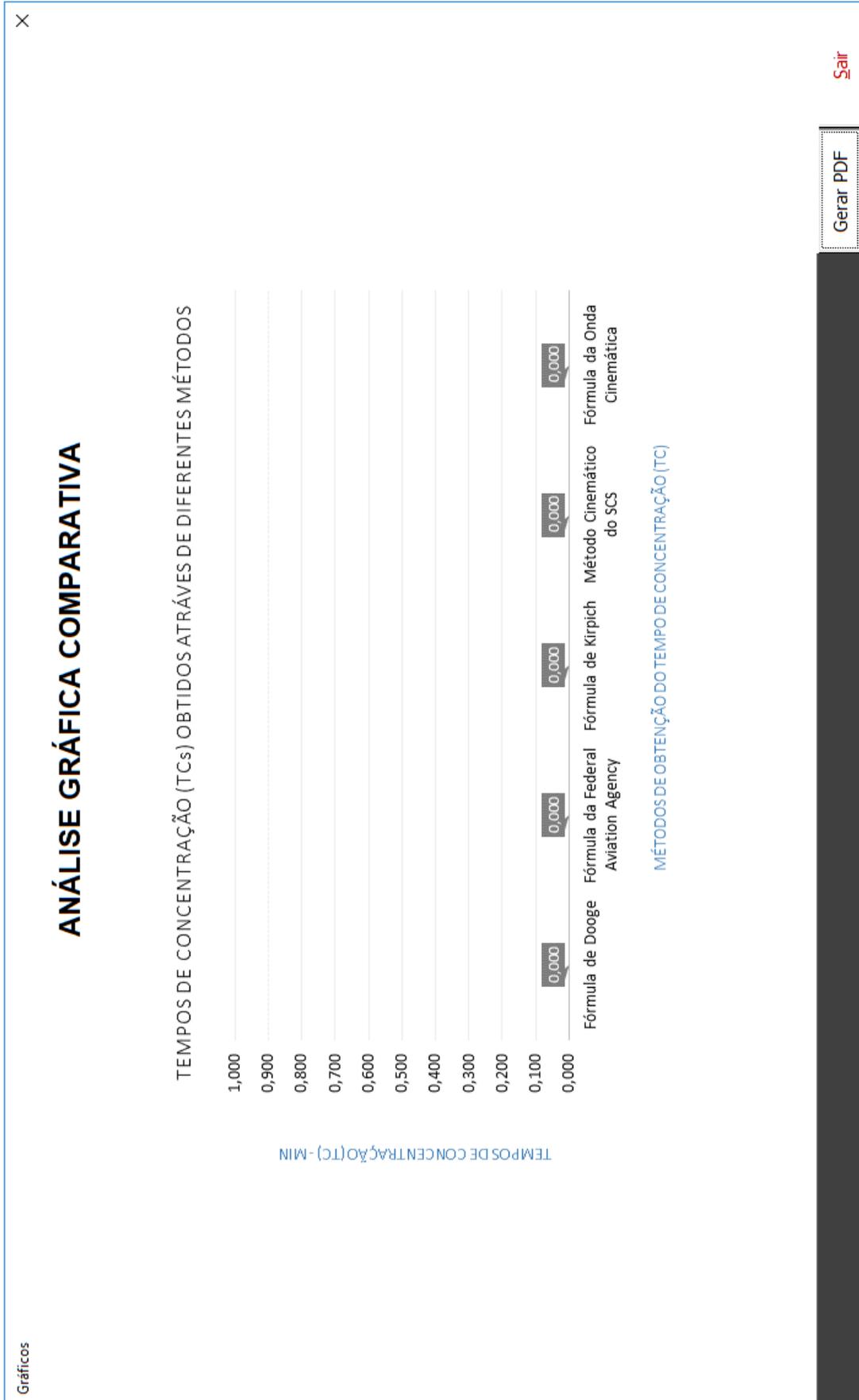
Fórmula IDF

APÊNDICE S – Análise Gráfica Comparativa (C)

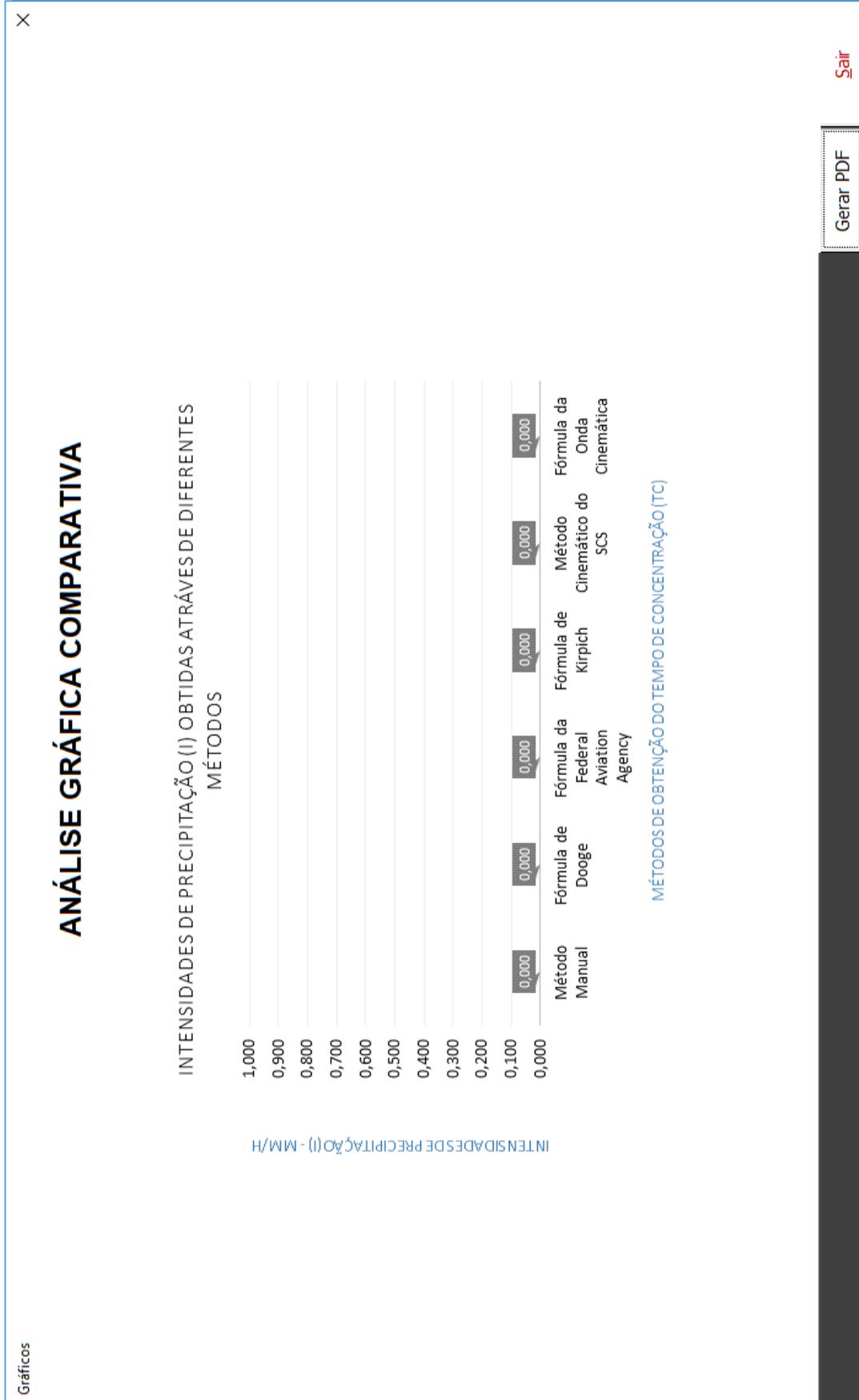


Fonte: O autor (2017).

APÊNDICE T – Análise Gráfica Comparativa (tc)



APÊNDICE U – Análise Gráfica Comparativa (I)



APÊNDICE V – Análise Gráfica Comparativa (Q)

