



Análise de parâmetros hidráulicos e metodologias de dimensionamento para canais de drenagem: estudo de caso – Itabira/MG

Liomar da Silva Braga¹

Adinan Loureiro Muzzi²

Thiago Marques Viana³

RESUMO

As drenagens urbanas são um desafio para a engenharia em municípios brasileiros. O problema dialoga com a qualidade de vida e com a segurança da população. Nesse contexto, estudar as boas práticas de engenharia que envolvem projeto, dimensionamento e execução de drenagens é de suma importância para o meio técnico. O presente trabalho objetivou a comparação entre metodologias de cálculo da vazão de projeto de uma microbacia hidrográfica localizada no município de Itabira-MG, aplicando os métodos Racional, I-Pai Wu e SCS-CN. Foram avaliadas a variação entre os resultados obtidos entre si e em relação à vazão utilizada no dimensionamento da estrutura construída. O *software* ArcGis 10.5 foi utilizado para delimitação da microbacia hidrográfica. Visando tornar o trabalho eficiente, foi desenvolvido um *software* que processa os dados obtidos no ArcGis 10.5, calcula a vazão de projeto e a seção transversal do canal de drenagem. Os resultados demonstraram que a escolha entre qual metodologia é aplicada deve ser fundamentada no grau de detalhamento do projeto e na importância da estrutura de drenagem.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica. Drenagem Urbana. ArcGis.

¹Graduado em Engenharia Civil pela UNIFUNCESI, Itabira, MG, Brasil. E-mail: liomards16@gmail.com.

²Graduado em Engenharia Civil pela UNIFUNCESI, Itabira, MG, Brasil. E-mail: adinan@hotmail.com.

³Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Mestre em Engenharia Civil pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG. Atua como professor de Engenharia Civil na UNIFUNCESI e como Engenheiro Civil na Prefeitura Municipal de Santa Bárbara, MG, Brasil. E-mail: thiago.m.viana@hotmail.com.

Analysis of hydraulic parameters and sizing methodologies for drainage channels: case study – Itabira/MG

ABSTRACT

Urban drainage is a challenge for engineering in Brazilian municipalities. The problem is in dialogue with the quality of life and safety of the population. In this context, studying good engineering practices involving the design, sizing and execution of drainage systems is of utmost importance for the technical community. The present work aimed at comparing design flow calculation methodologies for a watershed located in the municipality of Itabira-MG, applying the Rational, I-Pai Wu and SCS-CN methods. The variation between the results obtained among themselves and in relation to the flow rate used in the sizing of the built structure were evaluated. The ArcGis 10.5 software was used for delimiting the watershed. Aiming to make the work efficient, a software was developed that processes the data obtained in ArcGis 10.5, calculates the design flow and the cross section of the drainage channel. The results showed that the choice between which methodology is applied should be based on the degree of detail of the project and the importance of the drainage structure.

Keywords: Watershed. Urban Drainage. ArcGis.

Artigo recebido em: 31/03/2022

Aceito em: 24/06/2022

1. INTRODUÇÃO

Os centros urbanos possuem uma relação histórica com os cursos hídricos. Baptista e Cardoso (2013) argumentam que ao longo do desenvolvimento das grandes civilizações, a formação das comunidades esteve estreitamente relacionada com a localização dos rios. Devido à necessidade de água para atividades como consumo, higiene, agricultura e em função da inexistência de técnicas de transporte deste recurso para locais distantes dos cursos hídricos, os rios se transformaram em um componente dos espaços que posteriormente viriam a se tornar cidades impermeabilizadas, refletindo em mudança no papel e comportamento das drenagens.

As drenagens urbanas fazem parte da rotina da maioria dos municípios brasileiros. Dados da Secretaria Nacional de Saneamento (2021) mostram que 45,3% dos municípios brasileiros possuem um sistema exclusivo de drenagem, 12% possuem sistema de drenagem misto e 21,3% possuem estruturas de drenagem que funcionam em conjunto com outro tipo de estrutura. Portanto conclui-se que 78,6% dos municípios brasileiros possuem alguma estrutura de drenagens ao longo de sua extensão. Tais dados demonstram a importância do estudo dos cursos hídricos nos planos de desenvolvimento dos municípios.

Baptista e Cardoso (2013) argumentam que a redução da capacidade de infiltração da água no solo associada ao aumento da vazão e à velocidade de escoamento aumentam os picos dos hidrogramas de cheias tornando inundações mais frequentes. Portanto o funcionamento correto dos dispositivos de drenagem está diretamente relacionado à segurança e ao conforto na circulação pelo espaço urbano.

De acordo com Tucci (2009), uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma área composta por diversas superfícies que captam o volume precipitado durante as chuvas, retém ao longo de sua topografia parte desse volume e transporta o volume excedente através de canais de drenagem para um ponto único de saída, que é chamado de exutório.

Para Tucci (2012), à medida que o espaço é impermeabilizado devido ao processo de urbanização, a água passa a ser transportada por canais de drenagem e as vazões dos sistemas de drenagem aumentam, fator que tende a tornar eventos de inundação mais frequentes. A forma como uma área é utilizada contribui para o escoamento superficial da água que chega ao exutório da bacia hidrográfica.

Netto *et al.* (2007) dividem as obras de drenagem urbana em dois grupos: as microdrenagens, que são responsáveis por coletar as águas das edificações, conduzindo-as

para as sarjetas e bueiros; enquanto, em um contexto mais amplo, as macrodrenagens são abastecidas pelas microdrenagens e transportam o escoamento para o exutório da bacia hidrográfica. O funcionamento das estruturas de macrodrenagem é mais complexo e seu dimensionamento exige o conhecimento da área total da bacia hidrográfica, tipos de uso e ocupação, topografia, assim como os aspectos sociais de como ocorre a ocupação do espaço geográfico da área analisada.

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), durante eventos de precipitação, parte da chuva infiltra no solo, porém outra parte deste volume não consegue se infiltrar; esse restante é definido como escoamento superficial. Tal volume de água escoar até chegar no curso hídrico, sendo responsável por gerar picos de vazão nos rios. Netto *et al.* (2007) definem que o efeito prático do escoamento superficial para as obras de drenagem é a necessidade de se estimar valores de vazão de projeto para as obras de drenagem urbana.

A partir do que foi apresentado anteriormente, foi levantado o seguinte questionamento: qual a vazão de projeto do canal de drenagem estudado e como diferentes metodologias de cálculo podem influenciar no dimensionamento da drenagem? Assim, este artigo visa avaliar os diferentes métodos de dimensionamento de canais abertos encontrados na literatura, quais sejam, o Método Racional, Método I-Pai Wu e o Método *Soil Conservation Service* (SCS-CN); estudar como as variáveis de entrada para o dimensionamento destes métodos influenciam no dimensionamento da vazão final; calcular a vazão de projeto de um canal de drenagem localizado em Itabira utilizando as três metodologias de cálculo; analisar se as atuais dimensões da drenagem atenderiam aos valores de vazões calculadas; e comparar os resultados calculados com os valores utilizados na obra. Para isso, como objetivos específicos primeiramente foi criado um software com as metodologias de dimensionamento estudadas e, na sequência, estudada sua aplicabilidade através de um estudo de caso.

Como já se conhece o potencial de majoração do método Racional se utilizado em bacias maiores, adicionalmente se pretende avaliar a magnitude da superestimativa da vazão de projeto e consequentemente das dimensões da seção transversal da drenagem. Considerada a relevância das drenagens no planejamento urbano, emerge a necessidade de metodologias de cálculo que considerem as particularidades da bacia hidrográfica, como os parâmetros numéricos usados para dimensionamento da drenagem que são influenciados pelo uso do solo ao longo da microbacia hidrográfica, topografia e distribuição das chuvas ao longo de um período de retorno.

Itabira é um município localizado no interior de Minas Gerais que, segundo dados do IBGE (2019), possui uma área territorial de 1.253,704 km² e uma população de 120.904 habitantes. O canal de drenagem objeto de estudo deste trabalho está localizado no perímetro urbano da cidade, na Avenida Machado de Assis, cuja pavimentação segue paralelamente às margens do canal, e interliga duas importantes regiões da cidade, iniciando-se no bairro Machado e se estendendo até o bairro Gabiroba. As obras para construção do referido canal tiveram início em fevereiro de 2019 e foram concluídas em junho de 2020, fato que foi fator determinante na escolha deste projeto em razão do fator temporal (obra recente); devido à maior diversidade de documentos aos quais se pode ter acesso, consequentemente os objetivos aos quais este trabalho se propõe poderiam ser atingidos de forma mais eficaz.

Este trabalho contribui para o meio acadêmico como meio de consulta para trabalhos futuros, já que fornece informações que refletem o resultado do crescimento urbano para o dimensionamento de drenagens urbanas. Dada a relevância destas obras para o perímetro urbano que existe em torno da drenagem, pode-se afirmar que, no âmbito social, contribui-se por meio do desenvolvimento de um estudo que pode servir como referência para o planejamento de políticas públicas que conciliem crescimento urbano e gestão de recursos hídricos. Por fim, como contribuição para o profissional de engenharia, destaca-se que através deste estudo o profissional poderá consultar um comparativo entre o que é calculado e o que é aplicado, podendo assim antever como a ocupação do espaço geográfico em uma bacia hidrográfica afetará o dimensionamento das drenagens urbanas.

Segundo Costa e Diniz (2020), as dimensões das estruturas de drenagem devem ser capazes de transportar a vazão máxima calculada, direcionando-a corretamente para os sistemas a jusante. De acordo com a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo (2012), essa condição pode ser verificada através da Equação 1 de continuidade de Manning.

$$Q = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} * A * I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (1)$$

Sendo:

Q = vazão escoada (m³/s);

A = área molhada (m²);

R_h = raio hidráulico (m);

I = declividade longitudinal da drenagem (m/m);

n = coeficiente de Manning.

Netto *et al.* (2007) definem que a área molhada corresponde à área da seção transversal que está em contato com o escoamento, o raio hidráulico representa a resistência ao escoamento devido à declividade do canal de drenagem; esse parâmetro pode ser expresso em função do perímetro molhado, que, por sua vez, é definido como o comprimento que delimita a superfície da seção transversal em contato com o escoamento. No Quadro 1 são demonstrados os métodos de cálculo dos parâmetros hidráulicos das seções retangulares.

Quadro 1: Parâmetros hidráulicos para dispositivos de drenagem

Área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico da seção transversal					
Forma da seção transversal	Altura de água (m)	Área molhada (m ²)	Perímetro molhado (m)	Raio hidráulico (m)	Observações
Condutos abertos					
Retangular	Y	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	$b = \text{base}$
					$y = \text{profundidade}$

Fonte: Elaborado pelos autores (2021), adaptado de Netto *et al.* (2007, p. 368).

2. METODOLOGIA

Essa pesquisa tem natureza aplicada, por tratar de aspectos práticos de questões específicas. No que tange à abordagem, enquadra-se como quantitativa, já que foca sua análise nos cálculos de parâmetros hidráulicos de bacias e no dimensionamento de canais de drenagem.

Tratando dos objetivos, pode-se enquadrá-la como descritiva, por caracterizar aspectos hidráulicos da bacia hidrográfica e do canal de drenagem objeto de análise deste trabalho, ou seja, descreve-se a forma como os parâmetros físicos da bacia hidrográfica interagem resultando na vazão de projeto. Autores definem a pesquisa descritiva como sendo uma forma de pesquisa que visa relacionar interações entre variáveis de um grupo avaliando como os dados interagem entre si, aplicando técnicas padronizadas de coleta e análise (MENEZES e SILVA, 2005; FREITAS e PRODANOV, 2013).

Do ponto de vista executivo este trabalho adota o procedimento de estudo de caso, já que aborda objeto específico, avaliando suas características. Adicionalmente, aplicou-se o procedimento de Pesquisa Documental por basear-se nos documentos que compunham o

projeto do canal de drenagem. O trabalho se enquadra nesta metodologia de execução quando construído a partir de documentos que não passaram por tratamento analítico. (MENEZES e SILVA, 2005; FREITAS e PRODANOV, 2013).

A forma como a amostragem é definida foi não probabilística, por não levar em consideração aspectos matemáticos, mas sim disponibilidade de dados sobre o objeto de estudo deste trabalho. A técnica de análise de dados se baseia em uma análise estatística descritiva por apresentar conclusões quantitativas quanto aos parâmetros do canal de drenagem associado a uma análise desses dados visando aprimoramento desses parâmetros.

As etapas adotadas foram basicamente:

- tomada de um canal de macrodrenagem urbana como referência no município de Itabira;
- delimitação da bacia hidrográfica do referido canal e cálculo dos parâmetros necessários para o dimensionamento do canal por diferentes métodos, sendo o Método Racional, Método I-Pai Wu e Método SCS-CN;
- comparativo dos resultados obtidos para dimensionamento com o projeto e com as dimensões reais do canal executado;
- ponderação quanto à adequação de uso dos métodos, inclusive com quantificação da superestimativa esperada para o Método Racional, considerando as suas limitações de aplicação.

A delimitação da bacia hidrográfica foi feita utilizando o *software* ArcGis, manipulando uma imagem SRTM que contém dados geográficos da área objeto de estudo neste trabalho, a manipulação desta imagem resultou na definição da área drenada, canais de drenagem ao longo da área, dados de inclinação, elevação da bacia hidrográfica, modos de ocupação do solo e a respectiva área ocupada.

Os dados de uso e ocupação do solo foram utilizados como base para determinação dos coeficientes de escoamento superficial e posterior determinação da vazão máxima em cada metodologia de cálculo utilizada neste trabalho. Visando tornar a comparação entre os valores utilizados no projeto do canal de drenagem e os valores utilizados neste trabalho, o período de retorno considerado foi 25 anos, mesmo período utilizado no dimensionamento do canal de drenagem.

Visando tornar o processamento dos dados mais eficiente, foi desenvolvido um *software* utilizando a linguagem de programação C# para o cálculo da vazão de projeto através dos métodos Racional, I-Pai Wu e SCS-CN e dimensionamento da seção mínima necessária para o transporte desta vazão utilizando a equação de Manning. Os cálculos foram realizados em função de parâmetros obtidos no ArcGis, como área da bacia hidrográfica, tipo de solo, classe de uso do solo, maior e menor cota altimétrica, comprimento do talvegue e dados hidrológicos regionais obtidos no *software* Plúvio 2.1.

Os valores de vazão e seção transversal calculados através do *software* desenvolvido foram comparados com o valor de vazão máxima que consta no parecer técnico elaborado pela Prefeitura Municipal de Itabira para obter a outorga para realização da obra.

2.1 Método Racional

De acordo com Tucci (2009) o método racional é amplamente utilizado na estimativa da vazão máxima em bacias hidrográficas com áreas inferiores a 2 km². A sua simplicidade pode ser justificada pelo fato de englobar todos os fatores que transformam a precipitação em vazão em apenas um coeficiente. Este método considera que o tempo de duração da precipitação é igual ao tempo de concentração da bacia hidrográfica, as perdas são representadas por um coeficiente de escoamento determinado em função de características do uso do solo ao longo da área drenada e não se avalia a distribuição temporal da vazão.

Essas premissas atingem resultados mais eficientes em bacias hidrográficas menores, com um menor tempo de concentração. Benini *et al.* (2003) afirmam que este método de cálculo de vazões considera o escoamento superficial, a intensidade da chuva e a área da bacia hidrográfica, sendo relacionados através da Equação 2.

$$Q = \frac{C * I * A}{3,6} \quad (2)$$

Sendo:

Q = vazão de pico (m³/s);

C = coeficiente de escoamento;

I = intensidade média máxima da chuva (mm/h);

A = área da bacia hidrográfica (km²).

De acordo com Guimarães (2009), é fundamental que na aplicação do método racional sejam considerados o tempo de concentração, o tempo de retorno, o coeficiente de escoamento e a intensidade da chuva; esses parâmetros podem ser obtidos através de equações ou ábacos específicos. Pinto *et al.* (2008) definem que o tempo de concentração é o intervalo de tempo para que a partícula de água se desloque do ponto mais distante da bacia hidrográfica até o seu exutório. Os principais fatores que influenciam no tempo de concentração são o comprimento e a declividade do talvegue. Há diversas fórmulas empíricas para determinação do tempo de concentração, uma das alternativas é a Equação 3.

$$T_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (3)$$

Sendo:

T_c = tempo de Concentração (min);

L = comprimento do Talvegue (Km);

H = elevação da bacia hidrográfica (m).

Nascimento e Jesus (2017) afirmam que a chuva é a principal forma de alteração na vazão nos canais de drenagem de bacias hidrográficas, tornando essencial a determinação de uma chuva crítica para o dimensionamento de obras de drenagem. Em regiões onde há ausência de dados pluviométricos, essa chuva pode ser determinada em função da relação de intensidade, duração e frequência desses eventos, essa relação calcula a intensidade de eventos críticos em função da probabilidade de ocorrência dessas chuvas em um período de tempo determinado no projeto. Esta relação pode ser expressa pela Equação 4.

$$I = \frac{K * T_R^a}{(t_c + b)^c} \quad (4)$$

Sendo:

I = intensidade de precipitação máxima (mm/h);

K, a, b e c = parâmetros de ajuste locais;

T_R = período de retorno (anos);

t_c = tempo de duração da chuva (min).

Guimarães (2009) argumenta que a determinação do coeficiente de escoamento é feita em função de diversos fatores, podendo ser citados tipo de uso, declividade e tempo de

retorno da precipitação. De acordo com alguns autores, “o coeficiente de escoamento superficial para ocupações e usos variados em uma mesma bacia pode ser calculado usando-se a média ponderada” (GAROTTI; BARBASSA, 2010, p. 23), por meio da Equação 5.

$$C = \frac{C_1A_1 + C_2A_2 + C_3A_3 + \dots + C_nA_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (5)$$

Sendo:

C = coeficiente de escoamento;

C_i = coeficiente de escoamento específico de um tipo de uso do solo;

A_i = área utilizada (Km²).

Alguns valores de coeficientes de escoamento utilizados para a ponderação do parâmetro C de bacias hidrográficas são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Coeficiente de escoamento (C) para diferentes condições de uso do solo e período de retorno

Superfície	TEMPO DE RETORNO (ANOS)						
	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/telhado	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Pastos							
Plano (0 - 2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Médio (2 - 7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Inclinado (>7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Florestas/reflorestamento							
Plano (0 - 2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Médio (2 - 7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Inclinado (>7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Fonte: Elaborado pelos autores (2021), adaptado de Cordeiro *et al.* (2019, p. 8-9).

2.2 Método I-Pai Wu

O método I-Pai Wu é uma variação do Método Racional amplamente aplicado no dimensionamento de pequenas bacias hidrográficas, podendo ser utilizado em bacias hidrográficas com dimensões entre 2 e 200 Km². O Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE, 2005) normatiza que em situações nas quais não há disponibilidade de dados históricos sobre a pluviometria do local, podem ser aplicados

métodos sintéticos de cálculo da vazão de projeto para o dimensionamento de obras hidráulicas.

Segundo Schlickmann e Back (2020), o método I-Pai-Wu é um aprimoramento do Método Racional por considerar fatores adicionais que interferem no comportamento do escoamento que se transforma em vazão no exutório da bacia. De acordo com Steffen e Rondon (2000), o método I-Pai Wu é semelhante ao Método Racional, porém difere devido à necessidade de se considerar um coeficiente K que representa o coeficiente de distribuição espacial da chuva. Esse valor numérico é obtido graficamente, em função da área drenada e da duração da precipitação. A vazão de projeto pode ser obtida através da Equação 6.

$$Q = 0,278 * C * I * A^{0,9} * K \quad (6)$$

Sendo:

Q = vazão de projeto (m^3/s);

C = coeficiente de escoamento superficial;

I = chuva de projeto (mm/h);

A = área da bacia hidrográfica (Km^2);

K = coeficiente de distribuição da precipitação.

O Coeficiente de escoamento superficial é uma relação entre dados da geometria da bacia hidrográfica e dados de uso e ocupação do solo, podendo ser definido pela Equação 7.

$$C = \frac{2}{1 + F} * \frac{C_2}{C_1} \quad (7)$$

Sendo:

C = coeficiente de escoamento superficial;

F = coeficiente de forma da bacia hidrográfica;

C_1 = fator de forma da bacia hidrográfica;

C_2 = coeficiente volumétrico de escoamento.

O Fator de forma C_1 pode ser calculado através da Equação 8.

$$C_1 = \frac{4}{2 + F} \quad (8)$$

Sendo:

C_1 = fator de forma da bacia hidrográfica;

F = coeficiente de forma da bacia hidrográfica.

O coeficiente de forma, por sua vez, é representado através da Equação 9.

$$F = \frac{L}{2 * \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0,5}} \quad (9)$$

Sendo:

F = coeficiente de forma da bacia hidrográfica;

L = comprimento do Talvegue (Km);

A = área da bacia hidrográfica (Km²).

O coeficiente C_2 representa o volume da precipitação que escoar ao longo da bacia hidrográfica. De acordo com Yogi (2018), a determinação desse coeficiente considera o tipo de uso e ocupação do solo e suas respectivas áreas. Em posse desses dados, estima-se o grau de impermeabilização do solo e, em áreas onde há múltiplos usos do solo, é feita uma ponderação entre os coeficientes de impermeabilização em função de cada área específica ocupada. Esse valor pode ser determinado através da Equação 10.

$$C_2 = \frac{\sum c_2 * A_i}{A} \quad (10)$$

Sendo:

C_2 = coeficiente volumétrico total;

c_2 = coeficiente volumétrico parcial;

A_i = área parcial (Km²);

A = área total (Km²).

As características da bacia hidrográfica são utilizadas no método I-Pai Wu para estimar o grau de impermeabilização da área e a ponderação do coeficiente de escoamento que será utilizado no cálculo da vazão de projeto para a bacia hidrográfica. Essa classificação é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2: Grau de impermeabilização do solo em função do seu uso

Grau de impermeabilização do solo	Cobertura ou tipo de solo	Uso do solo ou grau de urbanização
Baixo	Com vegetação rala e/ou esparsa	Zonas verdes não urbanizadas
	Solo arenoso seco	
	Terrenos cultivados	
Médio	Terrenos com manto fino de material poroso	Zona residencial com lotes amplos (maior que 1000m ²) Zona residencial rarefeita
	Solos com pouca vegetação	
	Gramados amplos	
	Declividades médias	
Alto	Terrenos pavimentados	Zona residencial com lotes pequenos (100 a 1000m ²)
	Solos argilosos	
	Terrenos rochosos estéreis ondulados	
	Vegetação quase inexistente	

Fonte: SÃO PAULO (1999, p. 114).

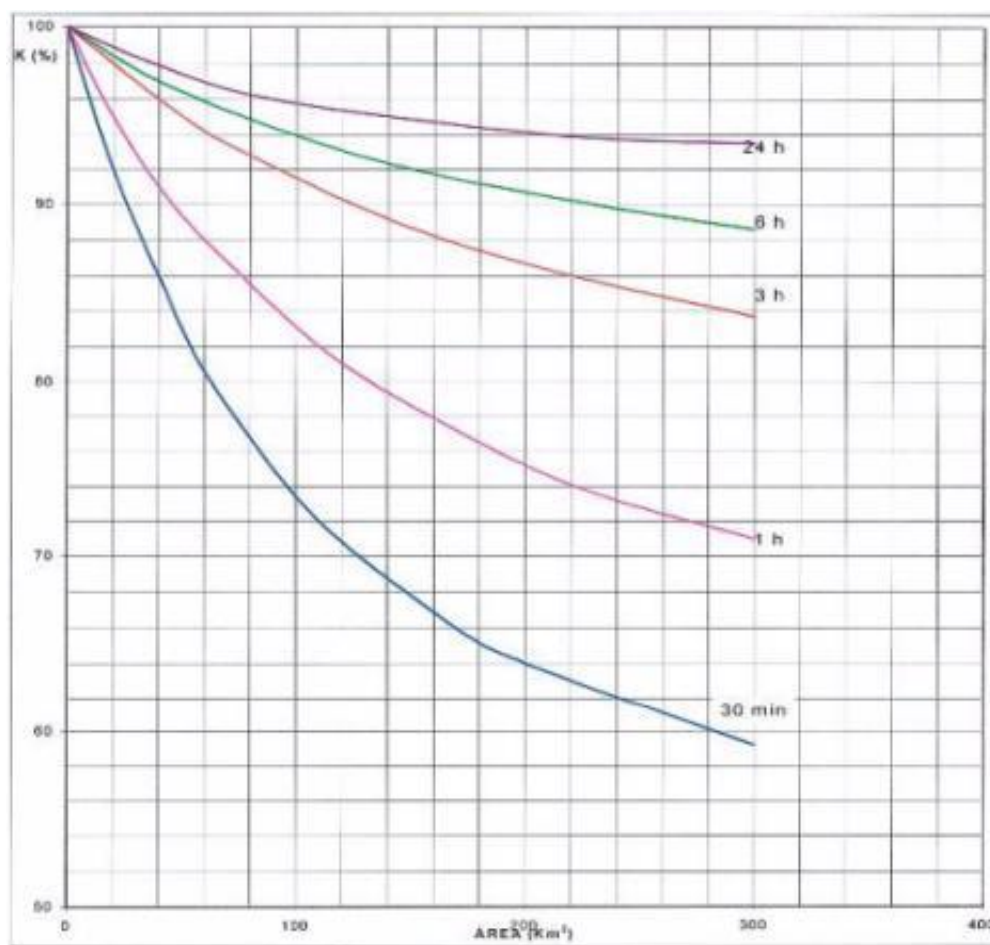
Em função do grau de impermeabilização da área, o método I-Pai Wu aplica valores de coeficientes de escoamento para cada tipo de área. Esses valores estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2: Coeficiente volumétrico de escoamento (c2)

Grau de impermeabilização da superfície	Coeficiente volumétrico de escoamento
Baixo	0,30
Médio	0,50
Alto	0,80

Fonte: SÃO PAULO (1999, p. 115).

De acordo com Yogi (2018), o método I-Pai Wu considera que a chuva não apresenta um comportamento uniforme durante o período da precipitação. Portanto, para o dimensionamento, há a necessidade de se adotar um coeficiente de distribuição K, que é obtido através de um ábaco que relaciona a área da bacia hidrográfica e a duração da precipitação. A Figura 1 apresenta o ábaco utilizado para a estimativa do coeficiente K.

Figura 1: Coeficiente de distribuição espacial da chuva

Fonte: Secretaria de Vias Públicas de São Paulo (1999).

Fernandez (2019) descreve que o coeficiente de distribuição espacial da chuva é obtido através do ábaco demonstrado na figura 1, relacionando a área da bacia hidrográfica e o tempo de concentração em horas, como resultado, obtêm-se o coeficiente K .

2.3 Método *Soil Conservation Service* (SCS-CN)

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), uma das formas mais utilizadas no cálculo do escoamento superficial em uma bacia hidrográfica é o método *Soil Conservation Service* (SCS-CN). Segundo Soares *et al.* (2017), esse método é muito utilizado devido à facilidade em ser aplicado e por requerer parâmetros simples de serem obtidos, como: uso do solo, precipitação e tipo de solo.

O método SCS-CN foi desenvolvido pelo órgão governamental americano *United States Department of Agriculture's Soil Conservation Service* (SCS-USDA), em 1950, e

tornou-se amplamente utilizado para o cálculo da vazão de projeto de estruturas de drenagem devido a sua simplicidade. De acordo com Paulino (2014), essa simplicidade deve-se ao fato de que sua aplicação depende de apenas três parâmetros: a precipitação, a umidade do solo e os dados de uso e cobertura do solo.

Ramos *et al.* (1999) recomendam que o método SCS-CN seja utilizado em bacias hidrográficas com áreas entre 3 e 250 km². Tal recomendação é semelhante ao que é afirmado por Tomaz (2002), que recomenda a aplicação do método em bacias com áreas inferiores a 280 km².

Cunha *et al.* (2015) citam que o método foi desenvolvido baseado em características de áreas rurais dos Estados Unidos e aplicado em outras áreas sem adaptação dos parâmetros para características regionais. Também há uma dependência significativa na escolha do *Curve number* (CN), como o método foi originalmente desenvolvido em áreas rurais, seus resultados são mais precisos nessas condições, porém é aplicado em áreas com condições ambientais diferentes.

De acordo com a Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo (2012), em bacias hidrográficas que possuem múltiplos usos do solo, o CN utilizado nos cálculos da vazão de projeto deve ser calculado através da média ponderada dos CNs de cada uso do solo na área drenada. Esses valores podem ser consultados em tabelas de acordo com a classificação do solo e o tipo de uso.

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), o cálculo do coeficiente CN utilizado no método SCS-CN depende da classificação do solo; esta classificação agrupa os solos em quatro classes A, B, C e D em ordem crescente de formação do escoamento. Tal classificação é apresentada no Quadro 3.

Quadro 3: Tipos de solos para a determinação do parâmetro CN

Tipo SCS	Características	Textura
A	Solos com baixo potencial de geração de escoamento superficial: solos arenosos ou siltosos, profundos e de alta capacidade de infiltração	Arenosa; Areia Franca; Franco Arenosa
B	Solos com pouco teor de argila, menos profundos ou com mais argila do que os solos do tipo A e de média capacidade de infiltração	Franco Siltosa; Franca
C	Solos com mais teor de argila do que os solos do tipo C, com uma camada mais impermeável abaixo da superfície ou pouco profundos	Franco Argilo Arenosa

Continua...

... Conclusão

Tipo SCS	Características	Textura
D	Solos com alto potencial de geração de escoamento superficial: solos argilosos, solos rasos sobre rochas impermeáveis, solos com lençol freático próximo à superfície, solos com capacidade de infiltração muito baixa	Franco Argilosa; Franco Argilo Arenosa; Argilo Arenosa; Argilo Siltosa; Argilosa.

Fonte: Collischonn e Dornelles (2013, p. 140).

O parâmetro CN é definido em função do tipo de uso do solo e a classificação deste solo obtida através do Quadro 3. Valores de CN utilizados em bacias hidrográficas rurais podem ser consultados no Quadro 4.

Quadro 4: Valores do parâmetro CN para diferentes condições de uso do solo em bacias rurais

Uso do solo	Superfície	A	B	C	D
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Florestas	Muito esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, de alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Elaborado pelos autores (2021), adaptado de Collischonn e Dornelles (2013, p. 140-141).

Enquanto alguns valores de CN para bacias hidrográficas urbanas são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5: Valores do parâmetro CN para diferentes condições de uso do solo em bacias urbanas

Utilização ou cobertura do solo	A	B	C	D
Zonas industriais	81	88	91	93
Parques de estacionamento, telhados, viadutos etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98

Fonte: Elaborado pelos autores (2021), adaptado de Collischonn e Dornelles (2013, p. 140-141).

Collischonn e Dornelles (2013) afirmam que o método SCS-CN baseia-se no balanço hídrico aplicado na superfície do solo. A Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano de São Paulo (2012) afirma que esse método é amplamente difundido em áreas que não dispõem de dados fluviométricos. Quando a precipitação for superior à capacidade de infiltração do solo ($P > 0,2S$), admite-se que há escoamento superficial, podendo ser determinado através da Equação 11.

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S} \quad (11)$$

Sendo:

P_{ef} = precipitação efetiva (mm);

P = precipitação total (mm);

S = retenção máxima potencial (mm).

De acordo com Cunha *et al.* (2015), a retenção máxima potencial também pode ser denominada índice de armazenamento, ou perdas máximas potenciais, e pode ser definida como uma reação da bacia hidrográfica à chuva. O parâmetro S pode ser obtido através da análise dos dados de cobertura do solo e do tipo de solo existente ao longo da bacia hidrográfica. Esses dados são quantificados através do parâmetro CN. Segundo Paulino (2014) o parâmetro CN representa a capacidade de retenção do solo de uma determinada área drenada e esse valor adimensional varia entre 0 e 100. Cada tipo de ocupação do solo possui um valor de CN determinado que representa o grau de impermeabilização da superfície. Segundo alguns autores, “caso a bacia apresente diversos tipos de solo e de ocupação, deve-se adotar o valor de CN obtido pela média ponderada dos diversos CNs correspondentes às áreas homogêneas” (RAMOS *et al.*, 1999, p. 63). Tal relação é demonstrada na Equação 12.

$$CN = \frac{CN_1 A_1 + CN_2 A_2 + CN_3 A_3 + \dots + CN_n A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (12)$$

Sendo:

CN = curve number total;

CN_i = curve number parcial;

A_i = área utilizada (Km²).

O parâmetro CN ponderado é utilizado para o cálculo da retenção máxima potencial S através da Equação 13.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (13)$$

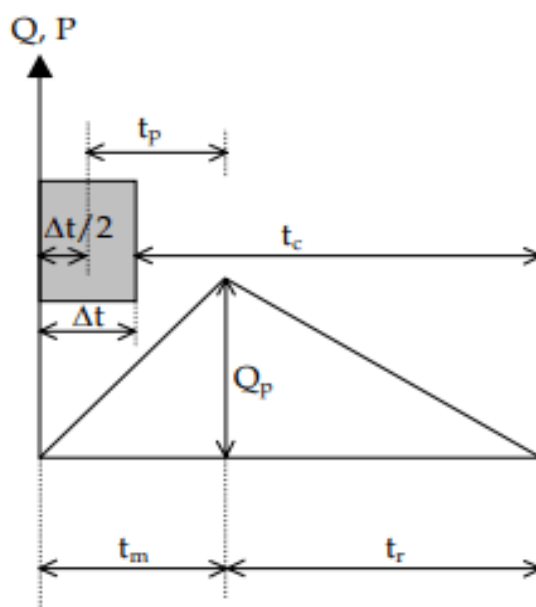
Sendo:

S = retenção máxima potencial (mm);

CN = *curve number* total.

O Departamento de Esgotos Pluviais de Porto Alegre (2005) afirma que os processos hidrológicos que atuam na bacia hidrográfica podem ser resumidos em precipitação, infiltração, perdas iniciais, e escoamento superficial. O escoamento superficial é o processo que irá compor a vazão utilizada no dimensionamento das obras de drenagem; para isso é necessário dividir o processo em duas etapas: separação do escoamento superficial e sua propagação ao longo da bacia hidrográfica. O método SCS transforma o escoamento em vazão através do hidrograma triangular unitário, representado genericamente na Figura 2.

Figura 2: Hidrograma triangular unitário



Fonte: Departamento de Esgoto Pluvial de Porto Alegre (2005).

A vazão de pico unitária Q_p é determinada em função dos parâmetros demonstrados no hidrograma, sendo calculada pela Equação 14.

$$Q_p = \frac{0,208 * A}{t_m} \quad (14)$$

Sendo:

Q_p = vazão de pico unitária ($\text{m}^3\text{s}^{-1}/\text{mm}$);

A = área da bacia hidrográfica (km^2);

t_m = tempo de ascensão (min).

A duração da precipitação, denotada por Δt , pode ser calculada através da Equação 15.

$$\Delta t = 0,133 * t_c \quad (15)$$

Sendo:

Δt = tempo de duração (min);

t_c = tempo de concentração (min).

$$t_p = 0,6 * t_c \quad (16)$$

Sendo:

t_p = tempo de pico (min);

t_c = tempo de concentração (min).

$$t_r = 1,67 * t_p \quad (17)$$

Sendo:

t_r = tempo de recessão (min);

t_p = tempo de pico (min).

$$t_m = \frac{t_d}{2} + t_p \quad (18)$$

Sendo:

t_m = tempo de ascensão (min);

t_d = tempo de duração (min);

t_p = tempo de pico (min).

A determinação da vazão de projeto para a área estudada é feita através da sobreposição das vazões de pico unitárias para cada chuva efetiva, a vazão de projeto será representada pela vazão máxima do hidrograma de projeto obtido através da Equação 19.

$$Q_t = \sum_{i=1}^t P_{ef_i} * h_{t-i+1} \quad (19)$$

Sendo:

Q_t = vazão (m³/s);

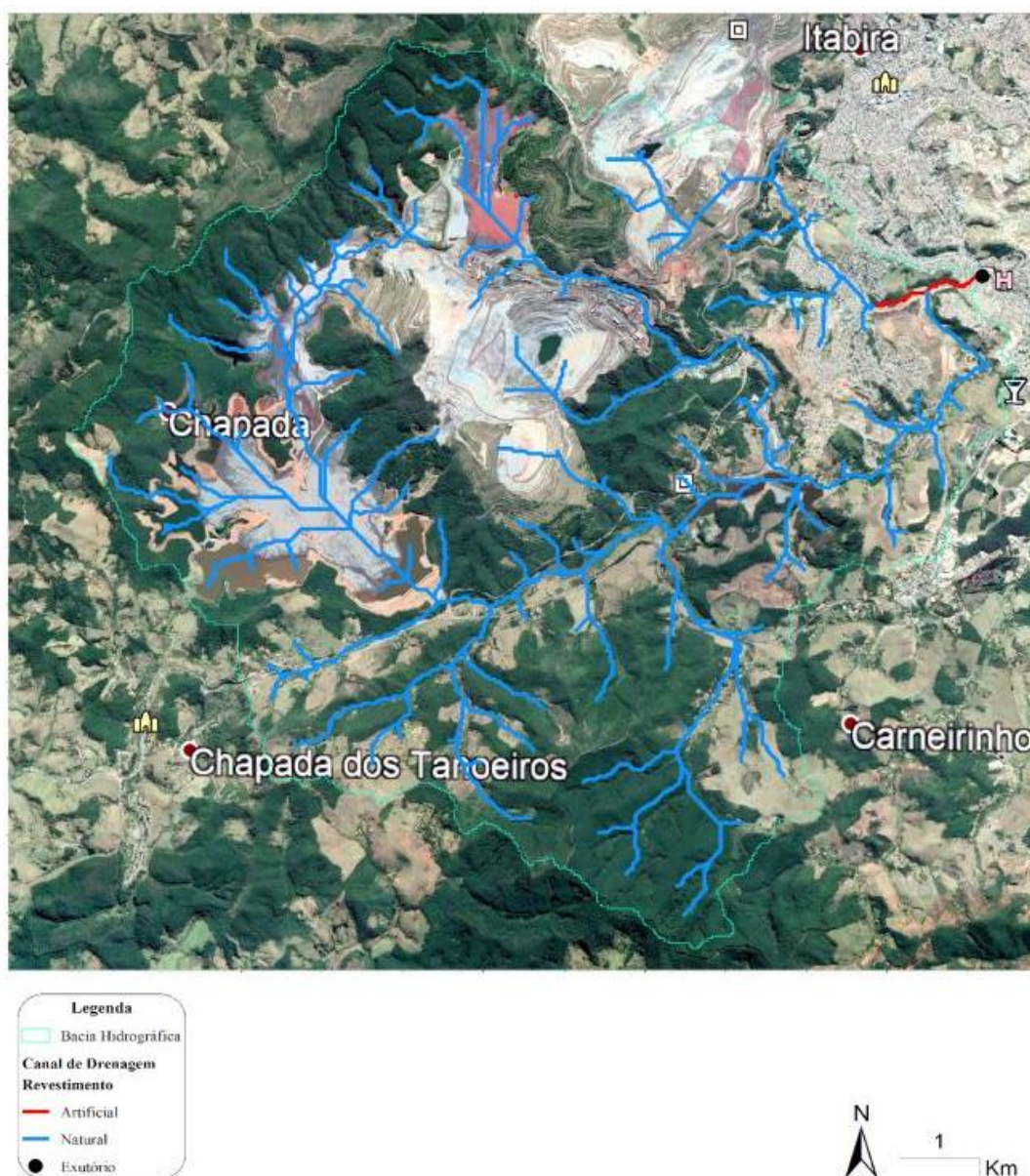
P_{ef_i} = precipitação efetiva (mm);

h = ordenadas do hidrograma unitário (m³/s mm⁻¹).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

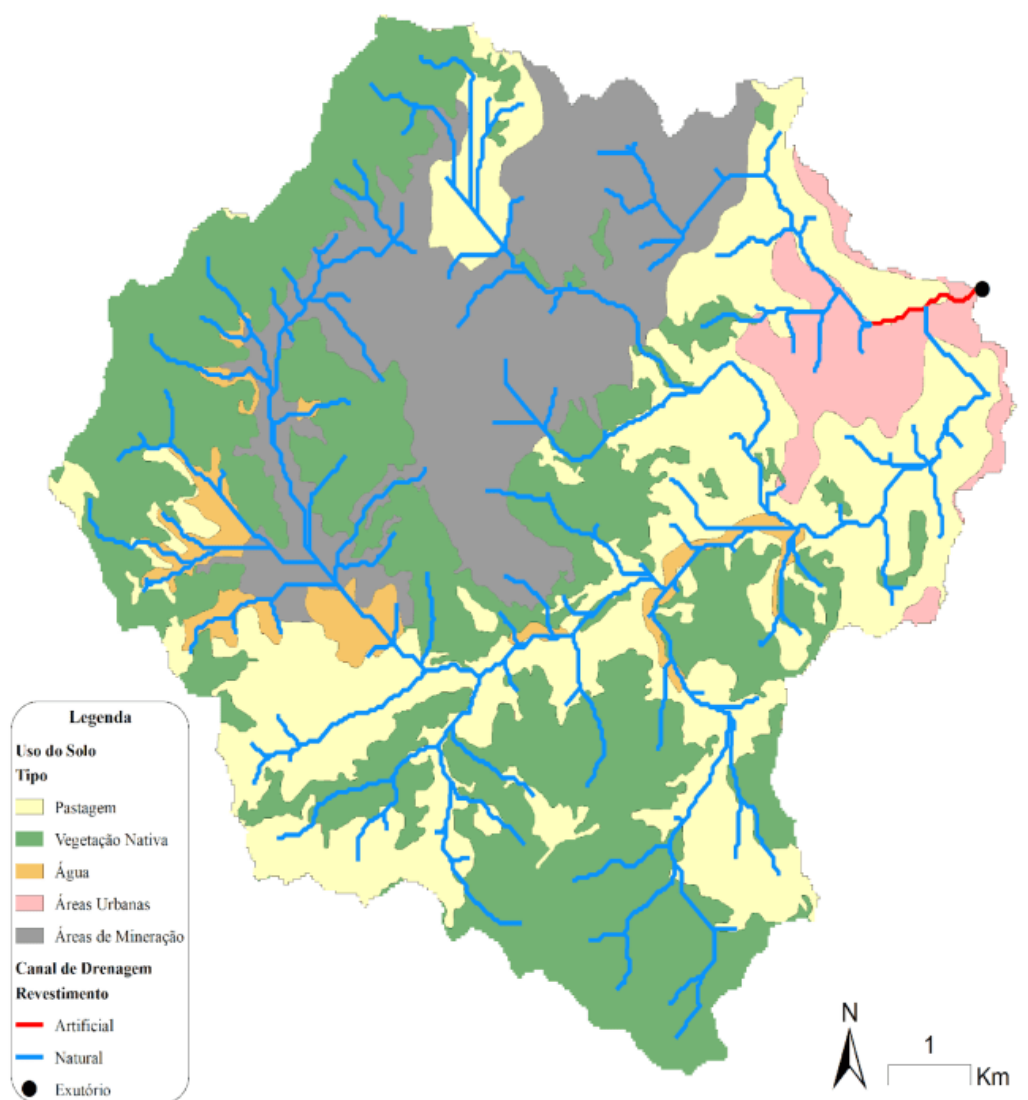
A delimitação da bacia hidrográfica resultou em uma área drenada de 81,89 km². O talvegue possui 18 km de extensão, drenando desde a cota mais elevada da bacia situada aos 1290 metros de altitude até o exutório da bacia hidrográfica aos 690 metros de altitude, podendo ser observada genericamente na Figura 3, onde pode ser identificado o limite da bacia hidrográfica, os canais de drenagem e o canal de drenagem e a extensão do canal de drenagem construído.

O parecer técnico elaborado pela Prefeitura Municipal de Itabira afirma que a área de drenagem utilizada para o dimensionamento do empreendimento foi igual a 84,40 km² e vazão máxima calculada foi 93,70 m³/s, o resultado utilizado no empreendimento foi obtido através do *software* HEC-HMS *Hydrologic Modeling System*. Will (2017) afirma que este *software* possui uma grande gama de modelos matemáticos que transformam a chuva em vazão, obtendo resultados detalhados que podem ser utilizados para o dimensionamento de obras hidráulicas. A vazão máxima da bacia hidrográfica utilizada na obra do canal de drenagem foi determinada através do método *Soil Conservation Service* (SCS-CN) que é uma das possibilidades para o cálculo disponíveis no HEC-HMS.

Figura 3: Bacia hidrográfica delimitada

Fonte: Elaborado pelos autores por meio do *software* ArcGis (2021).

Os coeficientes de escoamento representam o grau de impermeabilização do solo, em bacias hidrográficas com múltiplos modos de uso e ocupação do solo como pode ser visto na Figura 4. O coeficiente aplicado no cálculo da vazão de projeto é obtido através da ponderação em função da área ocupada por cada modo e classe do solo.

Figura 4: Tipos de uso do solo na bacia hidrográfica

Fonte: Elaborado pelos autores por meio do *software* ArcGis (2021).

Os coeficientes de escoamento aplicados para cada método de cálculo utilizado neste trabalho podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Coeficientes C da bacia hidrográfica

Uso	Método Racional	Método SCS-CN	Método I-Pai Wu
	Coeficiente de Escoamento (C)	Curve Number (CN)	Coeficiente de Escoamento (c_2)
Pastagem	0,34	25	0,50
Vegetação Nativa	0,31	26	0,30
Água	1,0	100	0,80
Mineração	0,90	100	0,80
Urbana	0,90	100	0,80

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A consulta ao *software* Plúvio 2.1 resultou nos dados hidrológicos para o município de Itabira que são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Dados hidrológicos de Itabira

<i>K</i>	1543,634
<i>a</i>	0,181
<i>b</i>	19,742
<i>c</i>	0,808

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

O método Racional foi utilizado visando avaliar se esse método realmente apresentaria resultados superestimados de vazão de projeto e seção transversal. Os resultados obtidos da aplicação deste método podem ser observados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados do método racional

Tempo de Concentração (min)	Tempo de Duração (min)	Coefficiente de Escoamento	Intensidade da Chuva (mm/h)	Área Drenada (Km ²)	Vazão de Projeto (m ³ /s)
139,95	139,95	0,56	45,95	81,89	583,90

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A aplicação do método I-Pai-Wu resultou nos dados apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Resultados Do Método I-Pai Wu

Tempo de Concentração (min)	Tempo de Duração (min)	Coefficiente de Escoamento	Coefficiente de Distribuição da Chuva	Intensidade da Chuva (mm/h)	Área Drenada (Km ²)	Vazão de Projeto (m ³ /s)
139,95	139,95	0,34	0,87	45,95	81,89	222,73

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

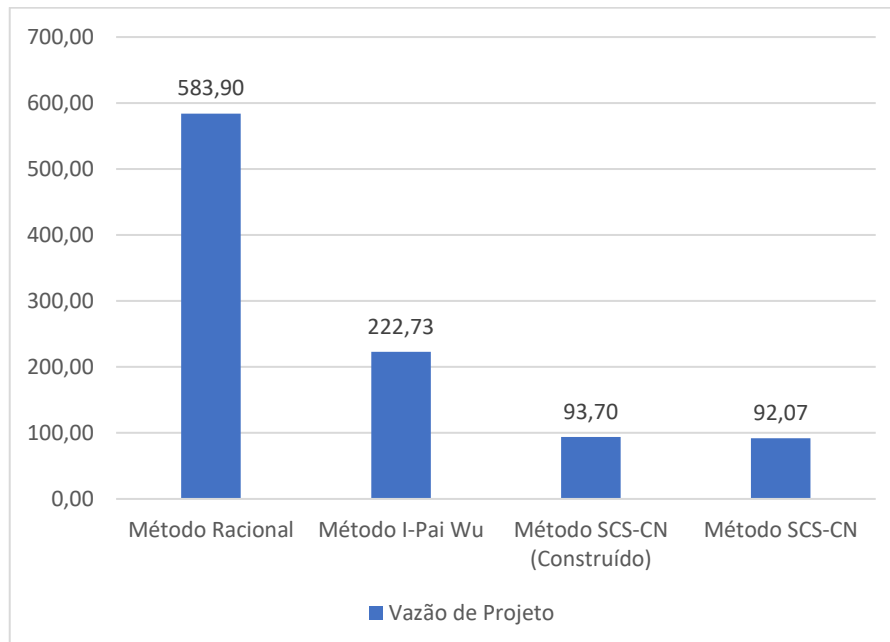
A aplicação do método SCS-CN é a mais recomendada para bacias hidrográficas com as características da área analisada neste trabalho. Os resultados obtidos na aplicação desta metodologia estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Resultados do método SCS-CN

Tempo de Concentração (min)	Tempo de Duração (min)	Curve Number (CN)	Intensidade da Chuva (mm/h)	Precipitação Efetiva (mm)	Área Drenada (Km ²)	Vazão de Projeto (m ³ /s)
139,95	18,6	47,45	45,95	7,74	81,89	92,07

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Os resultados demonstraram as restrições de cada metodologia de cálculo. O método racional realmente superestimou a vazão de projeto. Guimarães (2009) destaca que, quando aplicado no cálculo de vazões em bacias hidrográficas extensas, o método racional tende a superestimar os resultados e, conseqüentemente, majorar as dimensões dos dispositivos de drenagem. Portanto, ficou evidenciada a premissa prevista na bibliografia, de que esse método não deve ser utilizado para a determinação da vazão de projeto de bacias hidrográficas que superem seus limites de aplicação. O resultado obtido pelo método racional foi 162,15% superior ao resultado obtido no método I-Pai Wu e 534,19% superior ao resultado obtido no método SCS-CN. Esses dados podem ser observados no Gráfico 1.

Gráfico 1: Vazão de projeto (m³/s)

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A aplicação do método I-Pai Wu obteve um resultado inferior em relação à vazão de projeto obtida através do método racional. Entretanto, seu resultado ainda é distante do resultado obtido pelo método SCS, apresentado uma variação percentual de 141,91%.

O método SCS-CN foi utilizado para o dimensionamento do empreendimento. O resultado obtido por este trabalho se aproximou do resultado considerado no projeto. A diferença de 1,63 m³/s pode ser justificada pela diferença nas áreas de drenagem delimitadas. Essa variação, por sua vez, pode derivar de pequenas diferenças na utilização do *software* e do sistema de coordenadas geográficas empregado na delimitação da bacia hidrográfica. Embora ocorra tal variação entre métodos iguais, pode-se afirmar que isso não compromete de forma significativa o dimensionamento do dispositivo de drenagem analisado.

Utilizando as equações de dimensionamento de dispositivos de drenagens de Manning, as dimensões mínimas da drenagem para cada vazão de projeto estão apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Seção transversal mínima

Método de Cálculo	Vazão (m ³ /s)	Largura (m)	Profundidade (m)	Área (m ²)
Método SCS-CN (Construído)	93,70	7,15	3,30	24,64
Método Racional	583,90	10,00	9,26	92,60
Método I-Pai Wu	222,72	7,15	6,26	44,80
Método SCS-CN	92,07	7,15	3,17	22,67

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Como apresentado na Tabela 8, as dimensões atuais do canal de drenagem suportam a vazão obtida através do método SCS-CN. Já o método I-Pai Wu resultou em uma vazão que demanda dimensões superiores às dimensões construídas. O método Racional superestimou os valores de vazão e conseqüentemente as dimensões da seção transversal, confirmando que este método de cálculo não é aplicável para o dimensionamento de estruturas de drenagem em bacias hidrográficas com áreas superiores aos seus limites de aplicação.

Como resultado da aplicação do método I-Pai Wu, a vazão de projeto obtida é inferior a vazão obtida através do método racional. Embora seja recomendado para áreas entre 2 e 200km², a seção transversal construída não suportaria a vazão calculada. Não se pode afirmar que esse método não é adequado, infere-se que este resultado seja mais favorável à segurança da estrutura.

O método SCS-CN foi o mesmo método utilizado na determinação da vazão de projeto do empreendimento construído, há pequena variação na vazão, porém quando

dimensionada a seção transversal necessária para transportar a vazão calculada, observa-se que as dimensões construídas superam as dimensões mínimas necessárias.

4. CONCLUSÃO

O presente artigo se propôs a analisar as características da bacia hidrográfica localizada no município de Itabira/MG e como seria o desempenho de diferentes métodos de cálculo de vazão de projeto e se as atuais dimensões da drenagem seriam suficientes para atender a esses resultados. Como demonstrado ao longo do artigo, todos os métodos possuem limitações de aplicação. Testado fora de seu limite de aplicação, o método Racional apresentou resultados superestimados em comparação com os demais métodos de dimensionamento utilizados para a elaboração deste artigo, demonstrando-se inviável para a área estudada. Os aprimoramentos contidos no método I-Pai Wu foram capazes de fornecer um resultado inferior ao método racional, porém a seção transversal mínima é superior à seção construída com base em cálculos feitos através do método SCS-CN. As duas metodologias foram aplicadas dentro de seus limites de aplicação e esta deve levar em consideração o nível de detalhamento do projeto, em que se pode escolher entre um resultado mais economicamente viável ou outro que favoreça a segurança da estrutura.

Por fim o método SCS-CN consistiu em uma comparação entre o modelo de cálculo utilizado pelo *software* HEC-HMS e o *software* desenvolvido para este trabalho. Os resultados próximos e a seção mínima necessária compatível com a seção construída mostram que este método adota a seção mais economicamente viável.

O modelo computacional desenvolvido demonstra a importância da aplicação de conhecimentos para otimização do dimensionamento de obras de engenharia. Tal ferramenta tornou o processamento dos dados mais eficiente e possibilitou a simulação mais precisa do dimensionamento da seção transversal, podendo ser aplicada na definição da vazão de projeto de outras bacias hidrográficas e no dimensionamento da seção transversal de forma detalhada.

Portanto, consideradas as limitações encontradas para a consulta de documentos descrevendo o processo de dimensionamento do canal de drenagem, verifica-se que as etapas necessárias para a aplicação dos métodos de cálculo de vazão de projeto para bacias hidrográficas e dimensionamento de canal de drenagem apresentam resultados coerentes com as limitações de cada metodologia. Para trabalhos futuros, sugere-se a avaliação de

como é o comportamento da vazão de projeto diante de modificações no uso e ocupação do solo, tornando o comportamento da bacia hidrográfica mais previsível para o dimensionamento de estruturas de drenagem em face do crescimento urbano regulamentado por instrumentos legais, como os Planos Diretores e Leis de Uso e Ocupação dos Solos.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, Márcio Benedito; CARDOSO, Adriana Sales. Rios e cidades: uma longa e sinuosa história. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 20, n. 2, p. 124-153, 2013.

BENINI, Rubens de Miranda; MARTIOLI, Cid; MENDIONDO, Eduardo Mario. Uso de SIG Associado ao Método Racional para Previsão de Vazões na Bacia do Córrego do Mineirinho, São Carlos-SP. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Goiânia-GO. **Anais...** Porto Alegre; São Paulo: ABRH-Acquacon, 2004. v. 1. p. 1-10, 2004.

BRASIL, Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico Temático Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas**. Brasília: SNIS/MDR, 2021.

COLLISCHONN, Walter, DORNELLES, Fernando. **Hidrologia Para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Editora ABRH, 2013.

CORDEIRO, Tárík Silveira; ABREU, Hendiel Aparecida de; SILVA, Priscila Rhayane da; MULLER, Rayner Felipe Maciel; ALVARENGA, Daiane Fernandes; PORTILHO, Douglas Barbosa; CORDEIRO, Juni; CORDEIRO, José Luiz. Análise morfométrica da Bacia Hidrográfica do Ribeirão Candidópolis, Itabira (MG). **Research, Society and Development**, v. 8, nº. 1, p. 1-18, 2019.

COSTA, João Carlos Teixeira da; DINIZ, Denise Maciel De Almeida. Dimensionamento de sistema de drenagem pluvial em marquise de concreto por meio de modelagem computacional e aplicação da NBR 10844/1989. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 10925-10943, 2020.

CUNHA, Stéphanie Fernandes; SILVA, Francisco Eustáquio Oliveira e; MOTA, Tainá Ulhoa; PINHEIRO, Mário Cicareli. Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 837-848, 2015.

FERNANDEZ, Oscar Vicente Quinonez. Análise morfométrica e simulações da vazão máxima no rio Bandeira e afluentes, município de Campo Bonito, oeste do estado do Paraná – sul do Brasil. **Boletim Paulista de Geografia**, São Paulo, n. 101, p. 62-80, 2019.

FREITAS, Ernani Cesar de.; PRODANOV, Cleber Cristiano. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Universidade FEEVALE, 2013.

GAROTTI, Leonardo Monteiro; BARBASSA, Ademir Paceli. Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 1, p. 19-28, 2010.

GUIMARÃES, Renato Castelo. **Comparação entre duas metodologias de cálculo e propagação de vazões em coletores de redes de drenagem urbana: o método racional e equações de Saint-Venant**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – área de concentração: Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/3673>. Acesso em: 11 abr. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais**. Estimativas da população residente com data de referência 1º de julho de 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg/itabira.html?>. Acesso em: 10 de abr. 2021.

ITABIRA (MG). Processo nº 08364/2018. Protocolo nº 852390/2018. **Parecer Técnico: Água Superficial**. Itabira, ano 18, p. 12, 17 dez. 2018.

MENEZES, Estera Muszkat; SILVA, Edna Lúcia da. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Revista Atual. Florianópolis: UFSC, 2005.

NASCIMENTO, Yuri Dos Santos; JESUS, Janisson Batista de. Relações intensidade-duração-frequência de precipitações para o município de Tucano, Bahia. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 13, n. 4, p. 302-306, 2017.

NETTO, José Martiniano de Azevedo; FERNANDEZ, Miguel Fernandez y; ARAÚJO, Roberto de; ITO, Acácio Eiji. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. atualizada. São Paulo: Editora Blucher, 2007.

PAULINO, Paloma Fernandes. **Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas**. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos-SP, 2014.

PINTO, Nelson L. de Souza; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. **Hidrologia básica**. São Paulo: Editora Blucher, 2008.

PORTO ALEGRE, Departamento de Esgotos Pluviais. **Plano Diretor De Drenagem Urbana**. Manual De Drenagem Urbana, Volume VI, 2005.

RAMOS, Carlos Lloret; BARROS, Mário Thadeu Leme de; PALOS, José Carlos Francisco. **Diretrizes Básicas para projetos de Drenagem Urbana**. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, 1999.

SÃO PAULO, Secretaria De Vias Públicas. **DP-H06: Diretrizes de Projeto para Estudos Hidrológico – Método de “I-PAI-WU”**. São Paulo, 1999.

SÃO PAULO, Secretaria de Estado de Energia. **Recursos Hídricos e Saneamento**. São Paulo: Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), 2005.

SÃO PAULO, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais** – aspectos tecnológicos: fundamentos. São Paulo, 2012.

SCHLICKMANN, Ronei de Lima; BACK, Álvaro José. Avaliação de métodos de estimativa de vazão máxima para dimensionamento de bueiros. **Revista Técnico-Científica de Engenharia Civil Unesc-CIVILTEC**, v. 3, n. 1, p. 1-16, 2020.

SOARES, Marcia Regina Gomes de Jesus; FIORI, Chisato Oka; SILVEIRA, Claudinei Taborda da; KAVISKI, Eloy. Eficiência do Método Curve Number de Retenção de Águas Pluviais. **Mercator**, Fortaleza, v. 16, p. 1-16, 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S198422012017000100201&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 11 abr. 2021.

STEFFEN, Jorge Luiz; RONDON, Manoel Afonso Costa. Determinação da vazão de projeto em bacias urbanas. In: **Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Porto Alegre-RS. 2000.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos hidrológicos hidráulicos para obras municipais**. 2. ed. São Paulo: Editora Navegar, 2002.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS; ABRH, 2009.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Gestão da drenagem urbana. **Textos para Discussão**. CEPAL/IPEA, Brasília, n°. 48, 50 p., 2012.

WILL, Robson. **Aplicação do HEC-HMS como contribuição ao estudo dos aportes hídricos na Lagoa da Conceição gerados pelo rio João Gualberto**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

YOGI, Fernando. **Parâmetros de estudo em vazão de projeto para renovação de outorga de barramento**. 2018. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) - Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/10495>. Acesso em: 11 abr. 2021.