



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EMPÍRICO E  
OBTIDO COM O HIDROGRAMA NA BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL**

**Laísa Maria Simonetti Mendonça**

**Belo Horizonte**

**2021**

**Laísa Maria Simonetti Mendonça**

**ANÁLISE COMPARATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EMPÍRICO E  
OBTIDO COM O HIDROGRAMA NA BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista

Orientadora: Profa. Dra. Lilia Maria de Oliveira

Belo Horizonte  
2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL - NS



ATA Nº 8 / 2021 - DCTA (11.55.03)

Nº do Protocolo: 23062.015644/2021-14

Belo Horizonte-MG, 12 de abril de 2021.

### FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

---

LAÍSA MARIA SIMONETTI MENDONÇA

ANÁLISE COMPARATIVA DO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO EMPÍRICO E OBTIDO  
COM O HIDROGRAMA NA BACIA DO RIBEIRÃO SERRA AZUL.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 09 de ABRIL de 2021

Banca examinadora:

Lilia Maria de Oliveira - Presidente da Banca Examinadora

Prof. Dra. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Orientadora

Luciana Peixoto Amaral

Prof. Dra. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - 1º Examinador

André Luiz Marques Rocha

Prof. Dr. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - 2º Examinador

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 8, ano: 2021, tipo: ATA, data de emissão: 12/04/2021 e o código de verificação: f557c72911



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL - NS



ATA Nº 8 / 2021 - DCTA (11.55.03)

Nº do Protocolo: 23062.015644/2021-14

Belo Horizonte-MG, 12 de abril de 2021.

*(Assinado digitalmente em 12/04/2021 14:05)*  
ANDRE LUIZ MARQUES ROCHA  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
Matricula: 2143906

*(Assinado digitalmente em 12/04/2021 11:31)*  
LILIA MARIA DE OLIVEIRA  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
Matricula: 1815815

*(Assinado digitalmente em 13/04/2021 18:48)*  
LUCIANA PEIXOTO AMARAL  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
Matricula: 1808233

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 8, ano: 2021, tipo: ATA, data de emissão: 12/04/2021 e o código de verificação: f557c72911

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir viver até aqui, guiar os meus passos e me fortalecer todos os dias de minha vida.

Aos meus pais, Luiz e Lilian, e aos meus irmãos, Luiz Paulo e Lucas, que não pouparam esforços para que eu pudesse realizar essa grande conquista. Vocês são essenciais na minha vida!

Ao meu namorado Julio, pelo apoio, paciência e por me acalmar durante os momentos de desespero.

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA-MG, empresa que realizei meu estágio obrigatório, que possui licença do software ArcGis 8.10.1, utilizada para obtenção de dados deste trabalho.

A professora Lilia Maria Oliveira, que me orientou neste trabalho. Obrigada pela paciência, compreensão, conselhos e orientações. Obrigada por dividir conhecimento, me proporcionar ensinamentos e me aconselhar nos momentos de desespero.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho final.

## RESUMO

LAÍSA MARIA SIMONETTI MENDONÇA, *Análise Comparativa do Tempo de Concentração Empírico e Obtido com o Hidrograma em uma Bacia Hidrográfica Rural em Minas Gerais*. 2021. 39f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

O tempo de concentração é um parâmetro muito utilizado em estudos para determinação das vazões máximas necessárias ao dimensionamento de estruturas hidráulicas. Para a determinação do tempo de concentração existem métodos diretos: análise de hidrogramas, uso de traçadores químicos e métodos indiretos: formulações empíricas encontradas na literatura. Dessa forma, o presente estudo buscou comparar o valor de tempo de concentração obtido através da análise do hidrograma e com o obtido pelas fórmulas de Kirpich, Ventura, Bransby-Williams e Giandotti. A área de estudo foi a bacia hidrográfica do ribeirão Serra Azul, afluente do rio Paraopeba, que possui área de drenagem de 112,4 km<sup>2</sup> e comprimento do talvegue principal de 22,02 km. Através da análise de hidrogramas para períodos de cheia do ano hidrológico 2019-2020 o valor médio de tempo de concentração encontrado foi de 40 horas. Entretanto considerou-se o valor obtido muito superior ao obtido por outros estudos desenvolvidos na bacia, o que pode ter ocorrido em função dos dados utilizados no presente estudo terem discretização de 24 horas. Pelas formulações empíricas o valor encontrado com o uso da equação de Ventura foi de 17,38 horas foi o que mais se aproximou do tempo de concentração de 15,5 horas adotado como tempo de concentração de referência para a bacia do ribeirão Serra Azul. Os resultados sugeriram que na análise do tempo de concentração da bacia do ribeirão Serra Azul seja incorporada análise do uso e ocupação do solo da bacia e que séries de vazões com mesma amplitude do estudo de referência sejam utilizadas para o traçado dos hidrogramas.

Palavras-chaves: Tempo de Concentração, Hidrograma, Formulações Empíricas.

## ABSTRACT

LAÍSA MARIA SIMONETTI MENDONÇA, Comparative Analysis of the Empirical and Obtained Concentration Time with the Hydrogram in a Rural River Basin in Minas Gerais. 2021. 39f. Monograph (Graduate) – Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2021.

The concentration time is a parameter widely used in studies to determine the maximum flow rates required when designing hydraulic structures. To determine the concentration time, there are direct methods, such as analysis of hydrograms and use of chemical tracers, and indirect methods: empirical formulations found in the literature. Thus, the present study sought to compare the general concentration time value of the hydrograph analysis with the ones obtained using the formulations of Kirpich, Ventura, Bransby-Williams and Giandotti. The study area was the river Serra Azul hydrographic basin, a tributary of the Paraopeba River, which has a drainage area of 112.4 km<sup>2</sup> and a length of the main thalweg of 22.02 km. Through the analysis of hydrographs for flood periods of the hydrological year 2019-2020 the average value of concentration time found was 40 hours. However, this value was considered much higher than the ones found by other studies developed in the basin, which may have occurred due to the fact that the data used in the present study has a discretization of 24 hours. For the empirical formulations, the value found with Ventura equation was 17.38 hours, which was the closest to the 15.5 hours concentration point adopted as the reference concentration time for the Serra Azul river basin. The results suggested that in the analysis of the concentration time of the Serra Azul stream basin, a study of soil's use and occupation should be incorporated,. Besides that, series of deviations with the same amplitude than that of the reference study should be used to map the hydrographs.

Keywords: Time of Concentration, Hydrograph, Empirical Formulations.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Caracterização do escoamento subterrâneo, subsuperficial e superficial.....	15
<b>Figura 2</b> - Hidrograma de evento, ilustrando a obtenção do tempo de pico,.....	16
<b>Figura 3</b> - Bacias Hidrográficas Federais de Minas Gerais.....	23
<b>Figura 4</b> - Procedimentos utilizados no ArcGis 8.10.1 para obtenção da rede de drenagem e delimitação da bacia hidrográfica.....	24
<b>Figura 5</b> - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Serra Azul a partir da Estação Jardim. ....	26
<b>Figura 6</b> - Perfil longitudinal da bacia hidrográfica do Ribeirão Serra Azul a partir da Estação Jardim. ....	27
<b>Figura 7</b> - Hidrograma de evento, evidenciando a obtenção do tempo de pico referente aos meses de Outubro e Novembro de 2019.....	28
<b>Figura 8</b> - Hidrograma de evento, evidenciando a obtenção do tempo de pico referente ao mês de Janeiro de 2020.....	29
<b>Figura 9</b> - Hidrograma de evento, evidenciando a obtenção do tempo de pico referente ao mês de Março de 2020.....	29
<b>Figura 10</b> - Hidrograma de evento, evidenciando a obtenção do tempo de pico referente ao mês de Maio de 2020.....	30



**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> - Quadro de equações para tempos de concentração.....	21
<b>Quadro 2</b> - Características fisiográficas da Bacia do Ribeirão Serra Azul, Itaúna/MG -Mateus Leme/MG (Estação Jardim).....	31
<b>Quadro 3</b> - Valores de tempo de concentração obtidos com a aplicação das equações selecionadas e sua comparação o Tempo de Concentração de Drumond (2004).....	32

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ANA	Agência Nacional das Águas
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
TC <sub>CALC</sub>	Tempo de Concentração Calculado
TC <sub>OBS</sub>	Tempo de Concentração Observado

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo Geral.....	13
2.2	Objetivos Específicos .....	13
3	REVISÃO DA LITERATURA.....	14
3.1	Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica .....	14
3.1.1	Ciclo Hidrológico .....	14
3.1.2	Bacia Hidrográfica.....	14
3.2	Escoamento subterrâneo, subsuperficial e superficial, hidrograma e vazões de projetos .....	15
3.2.1	Escoamento Subterrâneo, subsuperficial e superficial .....	15
3.2.2	Hidrograma.....	16
3.2.2	Vazões de projeto .....	17
3.3	Tempo de Concentração .....	18
3.3.1	Adoção das formulações empíricas para a estimativa do tempo de concentração .....	18
4	METODOLOGIA.....	23
4.1	Caracterização da Área de Estudo .....	25
4.2	Perfil Longitudinal .....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
5.1	Hidrogramas.....	28
5.2	Formulações Empíricas.....	31
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	35
7	REFERÊNCIAS .....	37

## 1 INTRODUÇÃO

Na engenharia, um problema frequente para a determinação de vazões de projeto está associado à disponibilidade de séries de dados hidrológicos (MOTA, 2016) e ao cálculo do tempo de concentração da bacia em estudo.

O tempo de concentração é um dos parâmetros utilizados na determinação de vazões máximas (vazões de projeto) (MC CUEN; WONG; RAWLS, 1984; WONG, 2009).

Segundo Mc Cuen, Wong e Rawls (1984), o tempo de concentração é o tempo requerido para que uma partícula da água escoe superficialmente do ponto mais distante da bacia hidrográfica até o exutório em um percurso hidráulico. Tucci (2008) definiu que tempo de concentração é o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia atinja a seção principal.

O tempo de concentração é importante, pois reflete a velocidade com que a bacia hidrográfica responde a eventos de precipitação, (PAVLOVIC E MOGLEN, 2008), correlacionando à chuva efetiva, de intensidade constante, à vazão do corpo d'água (SILVEIRA, 2005). Existem diversos fatores que influenciam o tempo de concentração de uma bacia, por exemplo, suas características físicas sendo os principais; forma, declividade, tipo da cobertura vegetal, comprimento, declividade, bem como as condições do solo (textura, teor de umidade) da bacia.

Para calcular o tempo de concentração foram propostas diversas fórmulas, por diversos autores, por meio de métodos experimentais, sendo fundamental avaliar as condições nas quais essas fórmulas foram geradas, identificando suas limitações e aplicabilidade a fim de ter maior precisão no cálculo.

A motivação desse trabalho se deu na perspectiva de identificar a eficiência do cálculo do tempo de concentração a partir do uso de algumas equações existentes na literatura, quando comparado ao efetivo monitoramento climático da bacia. Nem todas as bacias possuem dados de monitoramento (chuva e vazão), assim, na maior parte, o tempo de concentração é obtido através do uso de equações.

Dessa forma, o presente estudo buscou avaliar fórmulas existentes para o cálculo de tempo de concentração na bacia do Ribeirão Serra Azul, pertencente a bacia hidrográfica do Rio Paraopeba. A bacia hidrográfica escolhida possui uso e ocupação do solo por atividades rurais e conta com estações de monitoramento de chuva e vazão, o que possibilitou o cálculo do tempo de concentração e sua comparação com os resultados obtidos com o uso de equações.

A hipótese central do trabalho foi analisar quais das equações de tempo de concentração, escolhidas, são mais adequadas para a bacia do Ribeirão Serra Azul monitorada na estação fluviométrica Jardim (40811100) pertencente à Agência Nacional de Águas (ANA).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral do trabalho é comparar tempos de concentração obtidos de maneira empírica e direta (usando o hidrograma) em uma bacia rural.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar uma bacia rural com relação às variáveis necessárias ao cálculo do tempo de Concentração;
- Determinar o tempo de concentração da bacia por meio de equações e dos dados hidrológicos;
- Avaliar as equações que mais se adequaram as bacias rurais.
- Comparar os dados obtidos com estudos semelhantes existentes.

### **3 REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1 Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica**

##### *3.1.1 Ciclo Hidrológico*

O ciclo hidrológico é definido como o comportamento natural das águas em seus diferentes estados físicos em um sistema de circulação, seguindo do oceano para atmosfera e posteriormente para os continentes, de forma subterrânea ou superficial, e retornando novamente ao ciclo (CPRM, 2020).

As diferentes fases do ciclo hidrológico são: a) evaporação, no qual moléculas de água na superfície ganham energia, e se elevam a atmosfera. b) precipitação, por gravidade, a água condensada na atmosfera precipita até chegar à superfície, esta pode ser interrompida, não chegando até a superfície terrestre, sendo absorvida pela vegetação e devolvida por transpiração, ao ciclo. c) escoamento superficial, a água circula sobre toda a superfície, de altas altitudes a baixas altitudes d) escoamento subterrâneo, uma parcela da água que infiltra nos solos, percola e é armazenada no subsolo (CPRM, 2020).

As características físicas da bacia hidrográfica como relevo, tipos de solo, vegetação, entre outros também influenciam nos escoamentos das águas, assim como as atividades desenvolvidas pelo homem na bacia podem alterar o ciclo natural das águas (FINKLER, 2012).

##### *3.1.2 Bacia Hidrográfica*

Segundo Tucci (2008), p.40, bacia hidrográfica compreende a uma área que converge os escoamentos para um determinado ponto de saída, isto é, um sistema de drenagem que une superfícies vertentes formadas por cursos d'água que confluem para um único ponto, o exutório. A área da bacia hidrográfica é delimitada topograficamente, direcionando o sentido do escoamento de áreas mais elevadas para áreas menos elevadas.

O comportamento dos corpos d'água de uma bacia hidrográfica depende da topografia, clima e bioma em que se está inserida, pois interferem diretamente nos processos de evaporação, precipitação e no escoamento subterrâneo e superficial (TUCCI, 2008).

## 3.2 Escoamento subterrâneo, subsuperficial e superficial, hidrograma e vazões de projetos

### 3.2.1 Escoamento Subterrâneo, subsuperficial e superficial

O escoamento das águas no ciclo hidrológico ocorre principalmente devido às precipitações, podendo ocorrer de três maneiras diferentes: escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, conforme Figura 1. A fase de escoamento superficial no ciclo hidrológico se caracteriza pelo movimento das águas na superfície terrestre, isto é, o deslocamento das águas na superfície das bacias hidrográficas e seus canais. O escoamento subsuperficial se refere ao deslocamento das águas imediatamente abaixo da superfície, localizado próximo à altura das raízes da cobertura vegetal, e o escoamento subterrâneo é definido como o deslocamento das águas no aquífero, que é a região saturada do solo (SPERLING, 2007).

O escoamento subsuperficial ocorre nas primeiras camadas de solos, se tornando superficial principalmente quando houver uma pequena depressão no relevo, sendo complexo de ser estabelecido.

**Figura 1** - Caracterização do escoamento subterrâneo, subsuperficial e superficial.



Fonte: Adaptada de SCHUELER, 1987, apud Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba – PR, 2002.



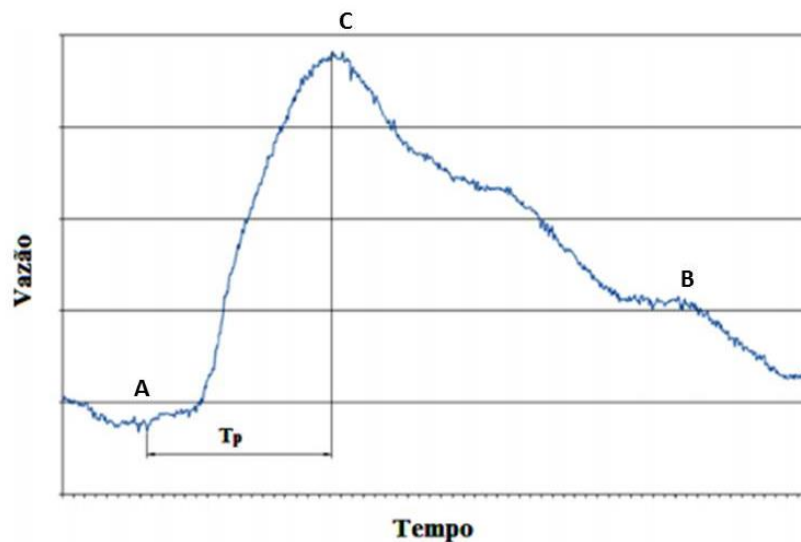
### 3.2.2 Hidrograma

O hidrograma é uma representação gráfica das condições da bacia hidrográfica que relaciona a vazão ao longo do tempo. Essa representação permite compreender o comportamento das águas, identificando a ocorrência de vazões máximas e mínimas, relacionando os diferentes fatores de contribuição de uma bacia hidrográfica: chuva, escoamento e aporte do aquífero. Geralmente, o hidrograma apresenta a curva como na Figura 2, onde é fácil identificar o pico, produzido por precipitações em um determinado intervalo de tempo (FINKLER, 2012).

A Figura 2 representa um hidrograma característico da seção do curso d'água em que apresenta características de início e fim da precipitação. A vazão cresce do ponto A ao ponto C, atingindo o tempo de pico ( $T_p$ ), em que toda bacia está contribuindo com o escoamento superficial no ponto monitorado,

O escoamento superficial permanece durante algum tempo, representado pelo decréscimo da vazão ao longo do tempo (trecho CB) retornando ao regime da bacia hidrográfica, incluindo a contribuição do aquífero (SOUZA PINTO, 1976).

**Figura 2** - Hidrograma de um evento chuvoso, ilustrando a obtenção do tempo de pico,



Fonte: Adaptado de Almeida et al. (2013).

Esse comportamento de diminuição da vazão após à precipitação (trecho CB), chama-se curva de depleção do escoamento superficial, onde se encerra o escoamento superficial, é resta o

escoamento subterrâneo, caso o curso de água seja perene. Ressalta-se que em momentos de precipitação, a vazão subterrânea pode ser aumentada, por ser diretamente influenciada devido ao processo de infiltração da água ao solo (SOUZA PINTO, 1976).

O tempo de pico ( $T_p$ ) pode ser relacionado ao tempo de concentração ( $T_c$ ) utilizando-se a relação, (Gray, 1970) expressa na equação (1).

$$T_c = \frac{T_p}{0,6} \quad (1)$$

na qual:

$T_c$ : tempo de concentração (hr)

$T_p$ : tempo de pico (hr)

### 3.2.2 Vazões de projeto

As vazões de projeto são caracterizadas por vazões máximas (vazões de pico), pois são essas vazões de referências no dimensionamento em obras hidráulicas. Para o cálculo de vazões de projeto há dois métodos: diretos e indiretos. Os métodos diretos utilizam os dados de monitoramento de vazões com a aplicação de distribuições estatísticas e os métodos indiretos empregam modelos matemáticos, como por exemplo: o método do Hidrograma Unitário e o Método Racional (PINHEIRO,2011).

No Método do Hidrograma Unitário, usa-se a representação gráfica (hidrograma) para determinação da vazão por meio de precipitações efetivas. No Método Racional, determina-se a vazão de projeto por meio da equação (2):

$$Q = 0,278 C \times i \times A \quad (2)$$

na qual:

Q: vazão de pico ( $m^3/s$ )

C: coeficiente de escoamento superficial (adimensional)

i: intensidade da chuva de projeto (mm/h)

A: área de drenagem ( $km^2$ )

Para o uso de método indiretos é necessária a obtenção, dentro outras variáveis, do tempo de concentração da bacia hidrográfica.

### 3.3 Tempo de Concentração

Segundo Silveira (2005) o tempo de concentração é um parâmetro hidrológico que surge da hipótese que a bacia hidrográfica responde como sistema linear para o escoamento superficial direto. Decorre desta hipótese a definição de tempo de concentração como o tempo necessário para que toda a bacia esteja contribuindo na seção de saída. Nesta condição hipotética de resposta linear da bacia o tempo de concentração é o tempo de equilíbrio quando se estabelece o regime permanente entre uma chuva efetiva de intensidade constante e o escoamento superficial direto dela decorrente.

Segundo Mc Cuen, Wong e Rawls (1984), definem o tempo de concentração como o tempo requerido para que uma partícula da água escoe superficialmente do ponto mais distante da bacia hidrográfica até o exutório em um percurso hidráulico. Segundo Tucci (2008) tempo de concentração é o tempo necessário para que a água precipitada no ponto mais distante da bacia atinja a seção principal.

O tempo de concentração é uma variável difícil de ser estimada e deve ser medida a partir da observação simultânea dos eventos pluviais e hidrogramas. Outra maneira de se obter o tempo de concentração é através do uso de diferentes fórmulas empíricas que englobam diferentes características fisiografias de uma bacia hidrográfica, sendo difícil escolher o mais adequado (SILVEIRA, 2005).

O tempo de concentração pode ser estimado por meio de métodos diretos ou indiretos. Os métodos diretos são fundamentados por informações hidrometeorológicas através de representações gráficas (hidrogramas) ou do uso de traçadores. Os métodos indiretos são fundamentados por equações empíricas desenvolvidas a partir de características fisiográficas. Comumente, são utilizados os métodos indiretos quando não tem informações hidrometeorológicas (OJIMA,2017).

#### 3.3.1 Adoção das formulações empíricas para a estimativa do tempo de concentração

Existem diversas formulações empíricas para a determinação de tempo de concentração, as quais podem ser encontradas em alguns trabalhos de análise das formulações empíricas de tempo de concentração. Segundo Almeida et al. (2013) essas formulações requerem características físicas e climáticas das bacias estudadas.

As bacias possuem diversas características geomorfológicas que influenciam no escoamento superficial das águas pluviais, dentre elas a Área de Drenagem, a Declividade e o Comprimento da Linha de Talvegue (L) possuem maior destaque para o cálculo do tempo de concentração (ARAÚJO et. al., 2011).

A área de drenagem, segundo Tucci (1993), é um dado fundamental para definir a potencialidade hídrica da bacia hidrográfica, porque seu valor multiplicado pela lâmina da chuva precipitada define o volume de água recebido pela bacia.

Silveira (2005) constatou que a maioria das fórmulas que utiliza a área da bacia como uma variável explicativa exibe a tendência de superestimação do tempo de concentração independente da amplitude das áreas aceitas para as fórmulas.

A declividade dos terrenos de uma bacia é um conceito importante, pois controla em boa parte a velocidade com que se dá o escoamento superficial, já que quanto mais íngreme for o terreno, mais rápido será o escoamento superficial, o tempo de concentração será menor e os picos de enchentes maiores (ARAÚJO et. al, 2011). Por fim, tem-se o comprimento da linha de Talvegue que corresponde ao perfil longitudinal da altura sobre o plano, ou seja, da seção de saída – exutório - até a nascente principal

Farias Júnior. e Botelho (2011) analisaram comparativamente para a Bacia do Rio Córrego-Friburgo –RJ, vinte e uma (21) formulações empíricas existentes foram utilizadas para o cálculo do tempo de concentração. Os resultados apontaram que as formulações mais adequadas foram Bransby-Williams, Temez, Williams, McCuen e George Ribeiro, haja visto que obtiveram valores semelhantes ao do método gráfico para a bacia em estudo.

Almeida et al. (2013) analisaram comparativamente os valores obtidos de tempos de concentração por 10 fórmulas e análise do hidrograma de um evento de precipitação para a sub-bacia do Córrego Guariroba. A equação que mais se aproximou do valor obtido pelo método do hidrograma foi a equação de Giandotti.

Dentre as formulações empíricas, apresentadas nos trabalhos descritos anteriormente, tem-se as formulações empíricas propostas por Kirpich, McCuen, Bransby-Williams, Giandotti.

A equação de Kirpich (3) é expressa por:

$$Tc = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385} \quad (3)$$

na qual:

Tc: tempo de concentração (h)

L: comprimento do talvegue principal ou fundo de vale (km)

S: declividade (m/m)

A equação de Ventura (4) é expressa por:

$$Tc = 0,127 \times A^{0,5} \times S^{-0,5} \quad (4)$$

na qual:

Tc: tempo de concentração (h)

A: área de drenagem (km<sup>2</sup>)

S: declividade medida pela razão entre o desnível máximo e o comprimento L do percurso (mm<sup>-1</sup>)

A equação de Bransby-Williams (5) é expressa por:

$$Tc = \frac{14,6 \times L}{I^{0,2} \times A^{0,1}} \quad (5)$$

na qual:

Tc: tempo de concentração (min)

L: comprimento do talvegue principal (km)

A: área de drenagem (km<sup>2</sup>)

I: declividade do talvegue (m/m)

A equação de Giandotti (6) é expressa por:

$$Tc = 0,0559 \times (4,0A^{0,5} + 1,5L) \times L^{-0,5} \times S^{-0,5} \quad (6)$$

na qual:

Tc: tempo de concentração (h)

L: comprimento do talvegue principal (km)

A: área de drenagem (km<sup>2</sup>)

O Quadro 1 é um resumo das equações para tempos de concentração adotadas no presente estudo:

**Quadro 1** - Quadro de equações para tempos de concentração.

Autor	Equações	Fonte
Kirpich	$Tc = 0,0663 \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$	Silveira (2005)
Ventura	$Tc = 0,127 \times A^{0,5} \times S^{-0,5}$	Silveira (2005)
Bransby-Williams	$Tc = \frac{14,6 \times L}{I^{0,2} \times A^{0,1}}$	Franco (2004)
Giandotti	$Tc = 0,0559 \times (4,0A^{0,5} + 1,5L) \times L^{-0,5} \times S^{-0,5}$	Silveira (2005)

Fonte: Própria Autora.

A equação de Kirpich foi criada nos Estados Unidos e sua aplicabilidade é recomendada para áreas de bacias rurais menores que 0,45 km<sup>2</sup>, com declividades de 3% a 10% e com comprimentos de até 1,2 km (SILVEIRA, 2005).

Entretanto, Silveira (2005) também constatou no seu estudo que o método de Kirpich pode ser usado com bons resultados em bacias rurais de médio e grande porte, uma vez que, essa fórmula, cuja validade teórica seria para bacias até 0,45 km<sup>2</sup>, funcionou bem para bacias entre 153 e 11.162 km<sup>2</sup>.

As equações de Ventura e Giandotti são equações de tempo de concentração italianas recomendadas para áreas rurais e são eventualmente usadas para estudos no Brasil. As equações não possuem informações de obtenção e aplicabilidade quanto a área, declividade e comprimento do rio principal. Em contrapartida, já sabido que as equações foram criadas na Itália logo, pressupõe que suas aplicabilidades foram em bacias pequenas a médias devido aos estudos hidrológicos da região (SILVEIRA, 2005).

A equação de Bransby-Williams é recomendada para bacias hidrográficas rurais com áreas de drenagem inferiores a 130 km<sup>2</sup> (GERICKE; SMITHERS, 2013).

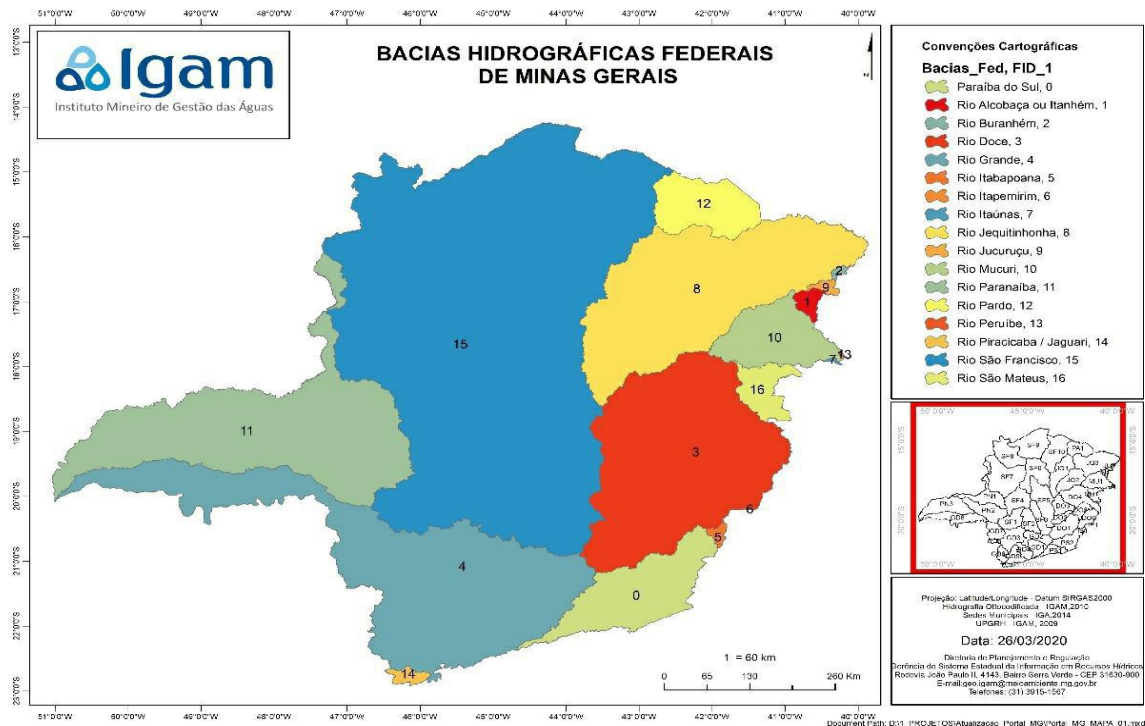
## 4 METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada pesquisa bibliográfica utilizando: artigos científicos, monografias, dissertações e teses, para avaliar quais são as equações mais indicadas para cálculo de tempos de concentração de bacias hidrográficas rurais.

O banco de dados hidrológicos do Hidroweb foi utilizado para selecionar a bacia rural, em função da existência de dados de monitoramento fluviométrico e pluviométricos. Preferencialmente, buscou-se selecionar uma bacia rural localizada no estado de Minas Gerais para ser utilizada no estudo de caso.

Em Minas Gerais, as bacias hidrográficas existentes, estão dispostas na Figura 3 (IGAM, 2020). Selecionou-se a maior bacia federal, que possui área no estado de Minas Gerais, a bacia do Rio São Francisco (número 15), por ser uma bacia que engloba vários municípios e regiões para melhor seleção das bacias rurais e maior abrangência de estudo no Estado, com diferentes características físicas.

**Figura 3 - Bacias Hidrográficas Federais de Minas Gerais.**



Fonte: IGAM (2020).



Sabe-se que a bacia do Rio São Francisco é muito extensa e engloba vários municípios. Com isso, para uma seleção mais precisa quanto à bacia para posterior estudo de caso, selecionou a bacia do Rio Paraopeba.

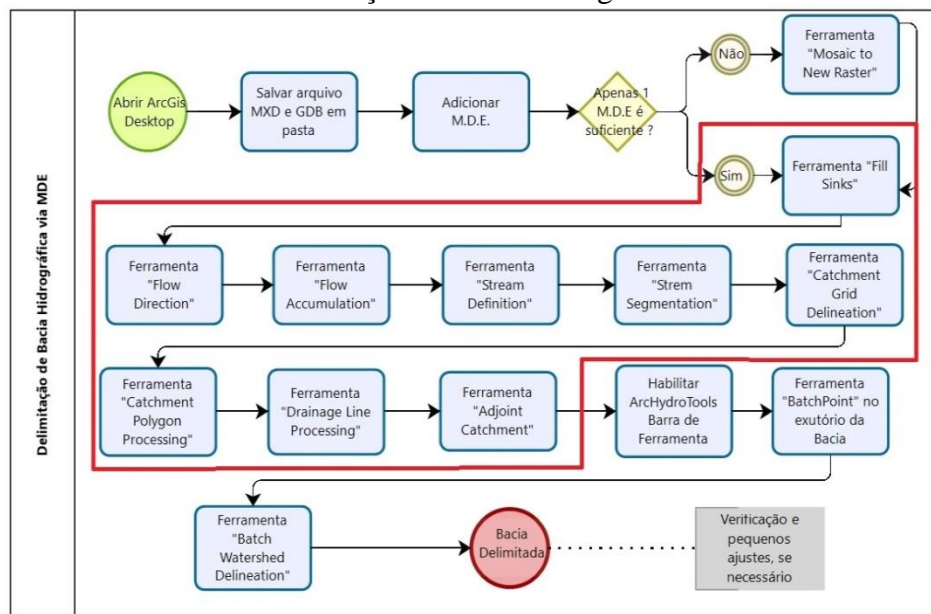
Como a autora deste trabalho é estagiária da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), selecionou para estudo o Ribeirão Serra Azul onde localiza-se o reservatório Serra Azul, pertencente a COPASA e utilizado para o abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte.

A caracterização da bacia através da obtenção de dados físicos (áreas, comprimento de rios, declividade do rio e da bacia, etc.) foi realizada através do uso de imagens de satélite e do software ArcGIS 8.10.1.

A área de drenagem, o comprimento do rio principal assim como o perfil longitudinal foram obtidos para a seção exutória localizada na estação fluviométrica JARDIM (40811100), localizada nas coordenadas -20.0475 de Latitude e -44.4089 de Longitude.

O Fluxograma apresentado na Figura 4 ilustra o processo de obtenção da rede de drenagem e posterior delimitação da bacia utilizando o modelo digital de elevação SRTM.

**Figura 4** - Procedimentos utilizados no ArcGIS 8.10.1 para obtenção da rede de drenagem e delimitação da bacia hidrográfica.



Fonte: Facury (2020).

A Figura 4 apresenta o passo a passo dos procedimentos para delimitação da bacia hidrográfica. Foi utilizado o modelo digital de elevação do terreno (MDE) obtido a partir SRTM. Com o MDE foi gerado o relevo e a rede de drenagem (estes passos estão indicados no contorno em vermelho). Finalizando foi adicionada à seção exutório (Batchpoint) e delimitada a bacia.

Para a determinação do comprimento do rio principal assim como a declividade da bacia foi usada a ferramenta Measure disponível no software. E, com o auxílio da mesma, obteve-se o perfil longitudinal do curso de água utilizado para cálculo das declividades do talvegue.

Com os dados da estação fluviométrica foi elaborado, através do programa Microsoft Excel, gráficos de vazão versus tempo para cada mês entre os anos 2019 e 2020 e, então, selecionaram meses com ocorrência de chuva para obtenção do hidrograma destes eventos chuvosos e conseqüentemente cálculo do tempo de concentração.

Os dados utilizados no estudo foram referentes aos meses de Outubro/ Novembro de 2019, Janeiro de 2020, Março de 2020 e Maio de 2020, no período chuvoso do ano hidrológico 2019-2020, e, a partir disso, foi identificado e calculado o tempo de pico e o tempo de concentração, identificado para os dias de crescente vazão.

Num segundo momento, utilizou-se as fórmulas apresentadas no Quadro 1 para o cálculo do tempo de concentração. Este resultado foi comparado com o tempo de concentração obtido com os hidrogramas.

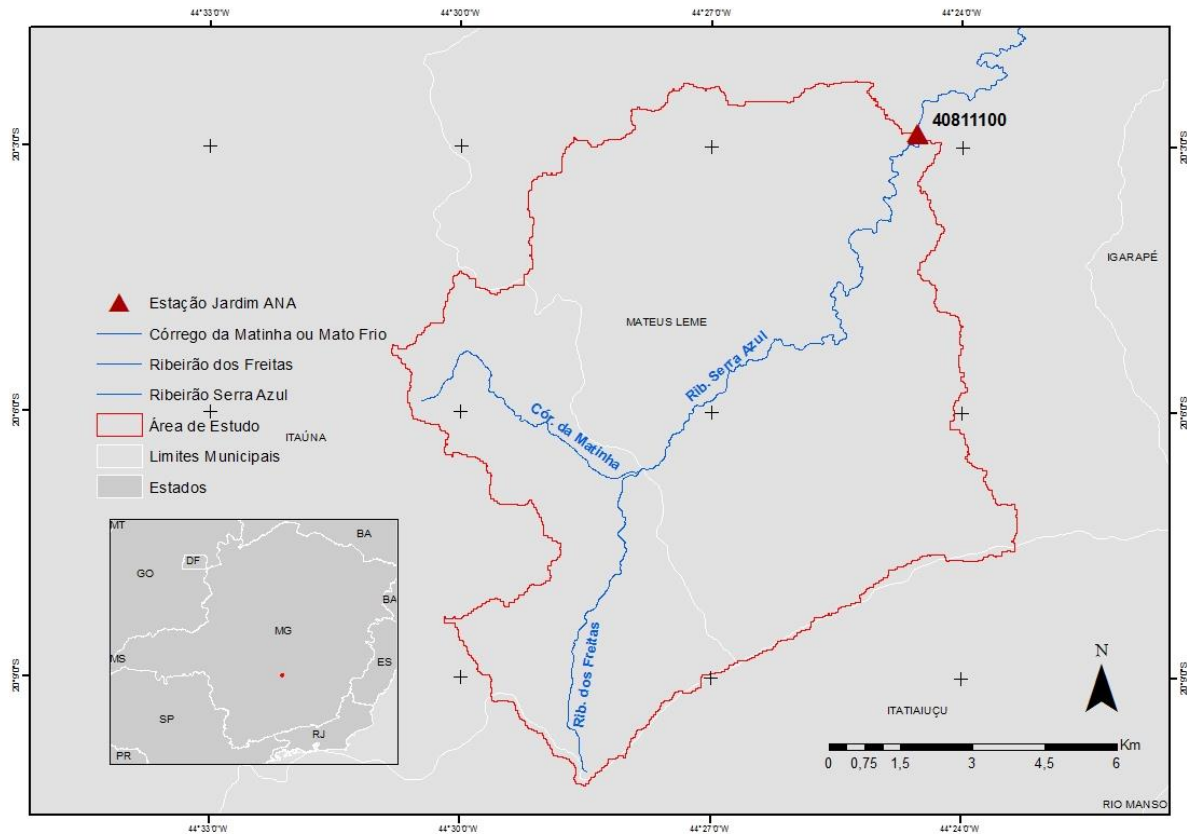
A avaliação do valor de tempo de concentração obtido foi realizada conforme a revisão da literatura para estudos semelhantes..

#### **4.1 Caracterização da Área de Estudo**

A área de estudo selecionada foi a bacia do Ribeirão Serra Azul, a partir do exutório da estação fluviométrica Jardim, nas coordenadas -20.0475 de Latitude e -44.4089 de Longitude. A estação Jardim é de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), localizada no Ribeirão Serra Azul.

A 1180 m de altitude, nasce o Ribeirão Freitas, no município de Itaúna/MG, em que se junta ao Córrego da Matinha ou Mato Frio e, a partir dessa confluência, passa a se denominar Ribeirão Serra Azul. Na Figura 5 é identificada a área de drenagem a partir do exultório na Estação Jardim. A área da bacia hidrográfica é igual a 112,4 km<sup>2</sup>, e o comprimento do talvegue principal igual a 22,02 km.

**Figura 5** - Bacia Hidrográfica do Ribeirão Serra Azul a partir da Estação Jardim.



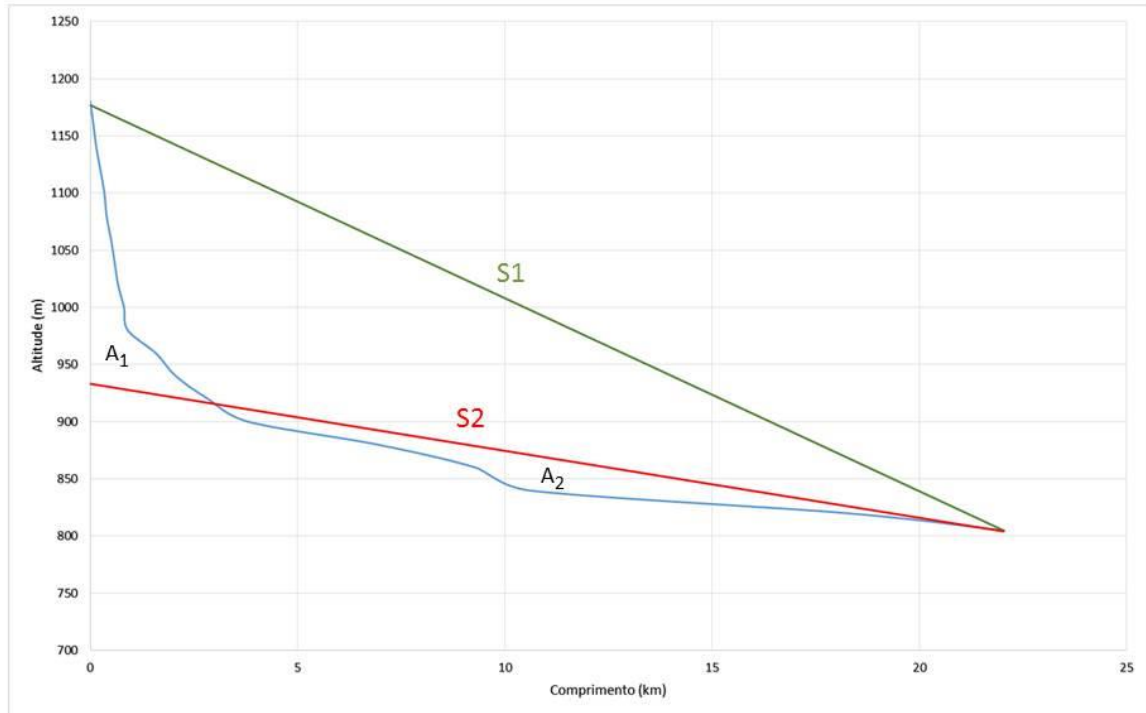
Fonte: Própria Autora.

## 4.2 Perfil Longitudinal

O perfil longitudinal foi traçado a partir das informações extraídas do talvegue principal (altitude e comprimento) com auxílio do software Arcgis 8.10.1. Foram calculadas duas declividades para Ribeirão Serra Azul (S1 e S2). A declividade média (S1) foi obtida igual 0,017 m/km, considerando a variação de altitude entre a Nascente (1180m) e a Exutória (805 m) e o comprimento do talvegue (22 km). A declividade equivalente (S2), considera uma linha que intercepta o perfil longitudinal, de modo a possibilitar que as áreas A1 e A2 (Figura

6), estabelecidas entre a reta e o perfil sejam aproximadamente iguais. Desta forma obtivemos a declividade S2 igual a 0,006 m/m.

**Figura 6** - Perfil longitudinal da bacia hidrográfica do Ribeirão Serra Azul a partir da Estação Jardim.



Fonte: Própria Autora.

Nas formulações utilizadas neste estudo trabalhou-se com declividade equivalente S2.

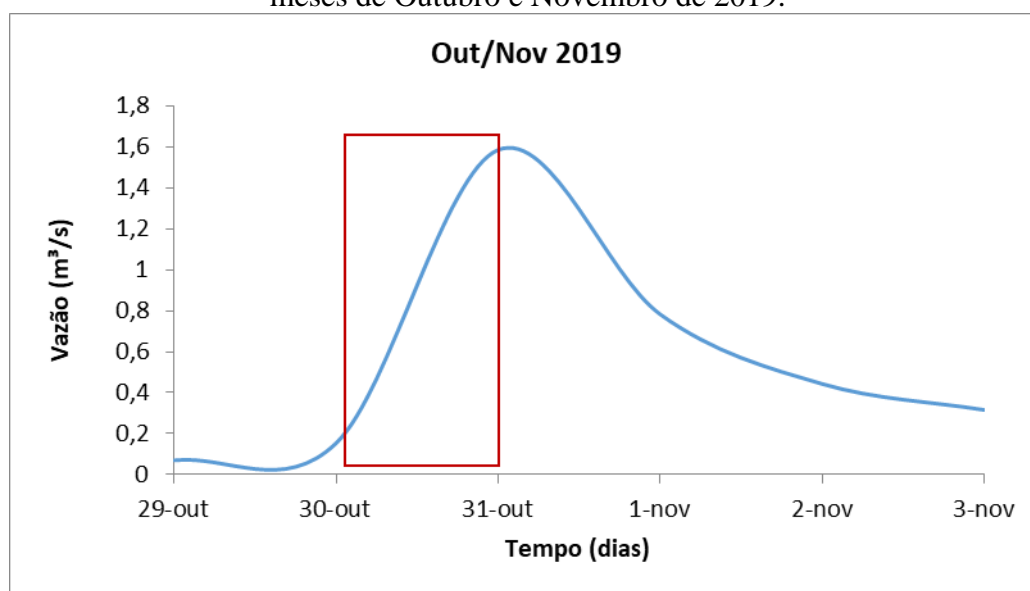
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Hidrogramas

As vazões utilizadas para o traçado do hidrograma foram obtidas no site da ANA - Agência Nacional das Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br>) para a estação fluviométrica JARDIM (40811100) nos anos de 2019 e 2020.

Para o ano de 2019, foi analisado o hidrograma obtido entre os dias 29 de Outubro a 03 de Novembro (Figura 7). O pico de vazão ocorreu no dia 31/10, com tempo de pico igual a 24 horas, considerando o início da ascensão do escoamento superficial no dia 30/10. Considerando a relação estabelecida da Equação 1 o tempo de concentração foi de 40 horas.

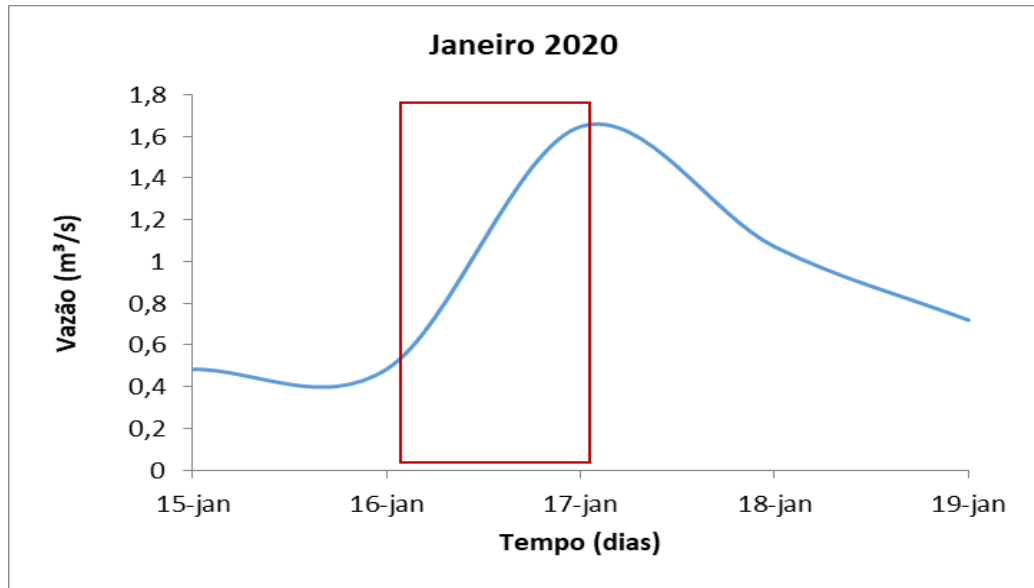
**Figura 7** - Hidrograma de evento, evidenciando a obtenção do tempo de pico referente aos meses de Outubro e Novembro de 2019.



Fonte: Própria Autora.

Para o ano de 2020, entre os dias 15 e 19 de Janeiro, o tempo de pico foi de 24 horas e, pela relação estabelecida da Equação 1, tem-se, um tempo de concentração de 40 horas pela análise do hidrograma, conforme a Figura 8.

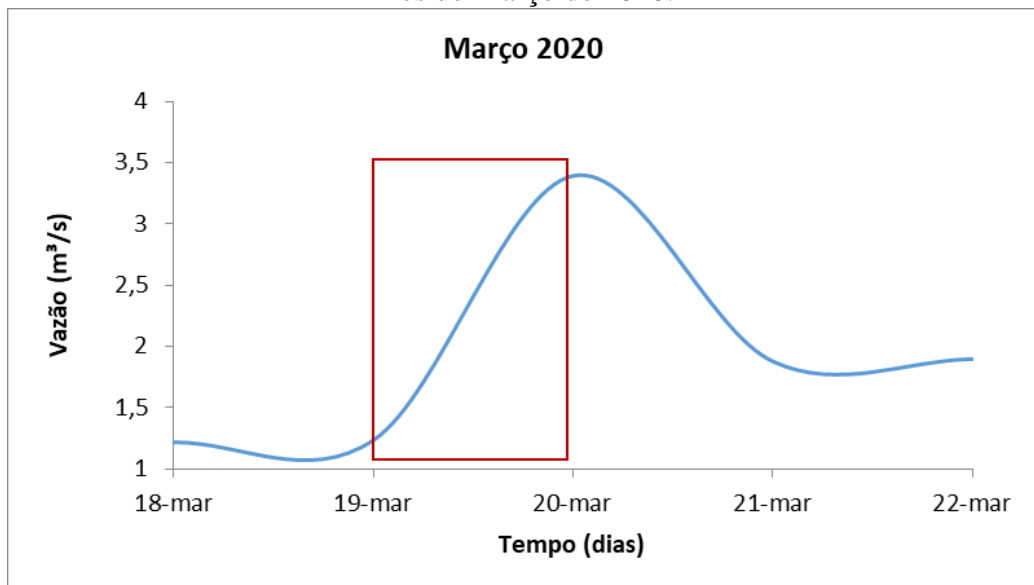
**Figura 8** - Hidrograma de evento, evidenciando a obtenção do tempo de pico referente ao mês de Janeiro de 2020.



Fonte: Própria Autora.

Para o mês de Março de 2020, entre os dias de 18 e 22, foi identificado um tempo de pico de 24 horas e, pela relação estabelecida da Equação 1, o tempo de concentração foi de 40 horas pela análise do hidrograma, conforme Figura 9.

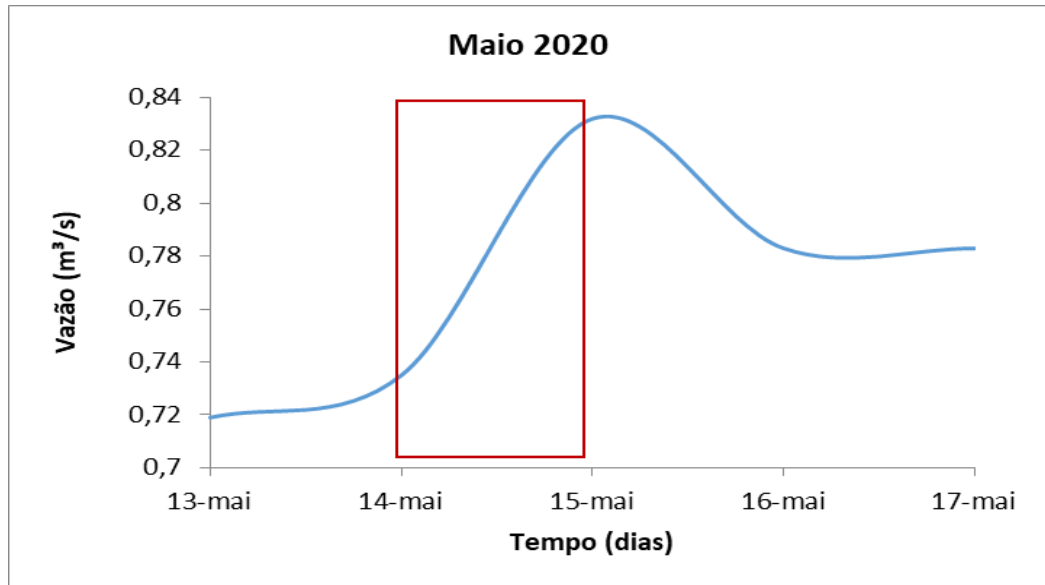
**Figura 9** - Hidrograma de evento, evidenciando a obtenção do tempo de pico referente ao mês de Março de 2020.



Fonte: Própria Autora.

No mês de Maio de 2020, entre os dias de 13 e 17, foi identificado tempo de pico de 24 horas e, pela relação estabelecida da Equação 1, o tempo de concentração foi de 40 horas pela análise do hidrograma, conforme Figura 10.

**Figura 10** - Hidrograma de evento, evidenciando a obtenção do tempo de pico referente ao mês de Maio de 2020.



Fonte: Própria Autora.

Os resultados obtidos para os 4 eventos avaliados (Figuras 7 ; 8 ; 9 e 10) indicaram um tempo de pico de 24 horas e tempo de concentração de 40 horas, ou seja, mesmo em uma faixa grande de variação de vazões (0,72 a 3,5 m<sup>3</sup>/s) não houve diferença para o tempo de concentração obtido.

Isto nos leva a crer que o Tempo de Concentração da bacia é inferior a 24 horas, e não foi possível definir de maneira exata seu valor, pois os dados disponíveis no site da ANA - Agência Nacional das Águas (<http://hidroweb.ana.gov.br>) possuem uma discretização no tempo de 24 horas, ou seja, não são disponibilizados em intervalos menores, por exemplo, horários.

Visando confirmar os resultados obtidos ou a suposição do problema de discretização dos dados, buscou-se outros estudos realizados na bacia do Ribeirão Serra Azul com obtenção do seu tempo de concentração.

Drumond (2004) em seu estudo analisou durante 5 anos (1997 a 2001), por meio da técnica do uso de traçadores, o tempo de concentração da bacia do Ribeirão Serra Azul, tendo obtido um tempo de concentração médio, aproximado, de 15,5 horas para estação Jardim, obtido em 19 campanhas com a vazão variando de 1,69 m<sup>3</sup>/s a 10,7 m<sup>3</sup>/s.

Cunha et al. (2015), avaliaram a precipitação efetiva e hidrogramas de cheia de projeto resultantes da aplicação da metodologia do Hidrograma Unitário com 190 eventos de chuva e vazão observados na bacia do ribeirão Serra Azul, Minas Gerais, entre 08/01/1997 e 28/05/2008. Os resultados indicaram que o tempo de concentração da bacia varia entre 15 e 29 horas, com tempo de concentração médio de 22 horas.

Considerando os dados obtidos nos estudos realizados na bacia do ribeirão Serra Azul: Drumond (2004) e Cunha et al. (2015), verifica-se que o tempo de concentração da bacia é inferior ao que foi obtido no presente estudo.

Assim, optou-se por considerar na sequência deste estudo, o tempo de concentração igual a 15,5 horas obtido por Drumond (2004), para validação das equações utilizadas.

## 5.2 Formulações Empíricas

O resultado do tempo de concentração obtido pelas formulações empíricas se deu pelo cálculo matemático utilizando as variáveis físicas da bacia extraídas com o auxílio do software Arcgis 8.10.1, conforme exposto no Quadro 2:

**Quadro 2** - Características físicas da Bacia do Ribeirão Serra Azul, Itaúna/MG-Mateus Leme/MG (Estação Jardim).

Área da Bacia	112,4 Km <sup>2</sup>
Comprimento do Talvegue	22,02 Km
Diferença de Nível	375 m
Declividade equivalente do Talvegue (S <sub>2</sub> )	0,006 m/m

Fonte: Própria Autora.



Considerando as informações físicas disponíveis (área, comprimento e declividade) para a bacia do ribeirão Serra Azul, na estação Jardim (Quadro 2), foram selecionadas quatro (4) formulações empíricas para estudo: Kirpich, Ventura, Bransby-Williams e Giandotti, apresentadas anteriormente no Quadro 1.

Os resultados obtidos para o Tempo de Concentração ( $TC_{CALC}$ ), assim como sua comparação ao tempo de concentração de 15,5 horas ( $TC_{OBS}$ ) (Drumond, 2004), são apresentados no Quadro 3.

**Quadro 3** - Valores de tempo de concentração obtidos com a aplicação das equações selecionadas e sua comparação com o Tempo de Concentração de Drumond (2004).

<b>Autores</b>	<b>Tempo de Concentração - (<math>TC_{CALC}</math>) (h)</b>	<b>Drumond (2004)</b> $(TC_{CALC} - TC_{OBS}) / TC_{OBS}$
Kirpich	5,14	- 0,67
Ventura	17,38	0,12
Bransby-Williams	23,90	0,54
Giandotti	11,60	- 0,25

Fonte: Própria Autora.

Considerando os dados apresentados no Quadro 3, verificou-se que em comparação ao estudo de Drumond (2004) o tempo de concentração obtido com a equação de Ventura, superestimou o  $TC_{OBS}$  em 12%, tendo sido este o melhor resultado obtido e o pior resultado para  $TC_{CALC}$  foi obtido para Kirpich, que subestimou  $TC_{OBS}$  em 66%.

Estudos realizados no Brasil, para análise do tempo de concentração por meio das formulações empíricas também encontraram resultados bem diferentes em função da formulação empírica adotada.

Durant et al. (2017) verificaram que o tempo de concentração, em uma bacia urbanizada de 8,27 km<sup>2</sup> de área de drenagem, obtido pela formulação de Kirpich apresentou o pior resultado, com mais de erro 400% para o valor médio encontrado com o uso de hidrograma.

A equação de Kirpich foi criada nos Estados Unidos e sua aplicabilidade é recomendada para áreas de bacias rurais menores que  $0,45 \text{ km}^2$ , com declividades de 3% a 10% e com comprimentos de talvegue até 1,2 km (SILVEIRA, 2005). Este pode ser o motivo do tempo de concentração obtido por Kirpich ter tido o pior desempenho para a bacia do ribeirão Serra Azul, uma vez que a área da bacia e o comprimento do talvegue são bastante superiores aos limites de desenvolvimento da equação.

Silva Júnior et al. (2019) avaliou o tempo de concentração para uma bacia hidrográfica com área de  $34,84 \text{ km}^2$ , comprimento do talvegue principal de 12,12 km, desnível total de 320 m e declividade equivalente de 0,026 m/m e obteve resultados bastante diferente para o tempo de concentração, dentre os métodos avaliados o autor destacou a formulação de Ventura como a mais adequada para o cálculo do tempo de concentração da bacia.

Neste estudo a equação de Ventura também foi a mais adequada, semelhante ao ocorrido com Silva Júnior et al. (2019). Isto leva a crer que outras variáveis, além de áreas, comprimentos e declividade, são necessárias para explicar a maior adequação da equação de Ventura.

A equação de Bransby-Williams é recomendada para bacias hidrográficas rurais com áreas de drenagem inferiores a  $130 \text{ km}^2$  (GERICKE; SMITHERS, 2013). Entretanto, apesar desta equação ser desenvolvida para uma área aproximada a deste trabalho seu resultado superestimou o tempo de concentração obtido por Drumond (2004).

Isto pode estar relacionado ao constatado por Silveira (2005) que a maioria das fórmulas que utiliza a área da bacia como uma variável explicativa exibe a tendência de superestimação do tempo de concentração independente da amplitude das áreas aceitas para as fórmulas.

Almeida et al. (2013) em sua análise de tempo de concentração verificaram para uma bacia com área de  $362 \text{ km}^2$ , comprimento do talvegue principal de aproximadamente 32 km, desnível total de 100 m e declividade equivalente de 0,0032 m/m que a equação de Giandotti foi a que mais se aproximou do resultado encontrado para o tempo de concentração obtido pelo método do hidrograma.

Entretanto, apesar da equação de Giandotti utilizar a área da bacia como um parâmetro de cálculo, o Tempo de Concentração foi subestimado no nosso estudo, quando comparado ao

valor obtido por Drumond (2004). Isto diferente da suposição de Silveira (2005) de que a área da bacia pode conduzir a superestimação do tempo de concentração pelas equações que fazem uso desta variável.

Durant et al. (2017) verificaram que o tempo de concentração em uma bacia urbanizada de 8,27 km<sup>2</sup> de área de drenagem, obtido com o uso da fórmula de Giandotti foi o que apresentou melhor resultado, apenas 10% de erro para o valor médio encontrado pelo hidrograma.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste estudo foi possível verificar que apesar da existência de diversas formulações empíricas para o cálculo de tempo de concentração é necessário que estas sejam testadas e analisadas criteriosamente visto que as condições de uso e aplicabilidade podem tornar o valor obtido bastante variável.

Foi possível verificar que o georreferenciamento por meio do software Arcgis 8.10.1 possibilitou a identificação das características fisiografias da bacia hidrográfica do estudo, necessárias ao cálculo do tempo de concentração da bacia do ribeirão Serra Azul.

O resultado encontrado para a equação de Kirpich não representou adequadamente o tempo de concentração da bacia do ribeirão Serra Azul, considerando o valor obtido por Drumond (2004) o que pode ter ocorrido em função das características da bacia do ribeirão Serra Azul serem diferentes das utilizadas na obtenção da equação, no entanto, optou-se por testá-la devido a sua grande aplicabilidade da equação de Kirpich em estudos hidrológicos no Brasil.

As equações de Ventura e Bransby- Willians foram as que obtiveram os melhores resultados para o cálculo do tempo de concentração da bacia hidrográfica do Ribeirão Serra Azul, considerando o estudo de Drumond (2004). Entretanto, sugere-se que outras formulações de cálculo do tempo de concentração sejam testadas.

Com o estudo foi possível concluir que o método do hidrograma, obtido com dados hidrológicos com intervalos de 24 horas não é adequado para estimar o tempo de pico quando este é inferior a este intervalo de tempo, e conseqüentemente não é adequado ao cálculo do tempo de concentração.

Sugere-se que estudos futuros sejam conduzidos com dados mais discretizados no tempo para a definição dos tempos de pico e de concentração da bacia Serra Azul, de preferência dados horários.

As diferenças entre os tempos de concentração obtidos pelas equações e o tempo de concentração calculado por Drumond (2004) podem ter ocorrido em função dos períodos diferentes de análise. Os estudos de Drumond (2004) foram realizados entre 1997 e 2001 e

este estudo utilizou informações vazão de 2019 e 2020, ou seja, houve um intervalo de, aproximadamente, 20 anos entre os estudos.

Durante este período de 20 anos, pode ter havido alteração no uso do solo da bacia com possíveis reflexos nas vazões escoadas no ribeirão Serra Azul. Outro aspecto a ser considerado se refere as vazões (0,72 a 3,5 m<sup>3</sup>/s) avaliadas no presente estudo que compreenderam um intervalo diferente do testado por Drumond em 2004 de 1,69 m<sup>3</sup>/s a 10,7 m<sup>3</sup>/s.

Desta forma sugere-se que, para trabalhos futuros, seja avaliado o uso do solo da bacia nos dois períodos (1997/2001 e 2019/2020) e selecionados hidrogramas que compreendam o mesmo intervalo de vazões de Drumond (2004).

## 7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, I.K.; ANACHE, J.A.A.; ALMEIDA,V.R.; ALVES SOBRINHO, T. **Estimativa de Tempo de Concentração em Bacia Hidrográfica**. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídrico, Bento Gonçalves, 2013.

ANA - **Agência Nacional das Águas**. Acesso em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 09 out. 2020.

ARAÚJO, B. A. M. ; SILVEIRA, C da S; SOUZA, J. L; MAIA JÚNIOR, J. V. F; ALMEIDA, F. A. F.; STUDART, T. M. C. **Análise do Tempo de Concentração em função das Características Fisiográficas em Bacias Urbanas**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Serviço Geológico do Brasil. **Ciclo Hidrológico**. Acesso em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas-Rede-Ametista/Ciclo-Hidrologico-1376.html>. Acesso em: 02 nov. 2020.

CUNHA, S. F., SILVA, F. E. O., MOTA, T. U., & PINHEIRO, M. C. **Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 20(4), 837-848. 2015.

DRUMOND, M. M. **A Técnica de traçadores e o seu potencial para ampliar o conhecimento hidrológico sobre as bacias brasileiras: um estudo aplicado à bacia representativa de Juatuba–MG**. 2004. 304p. 2004. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos)–Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

DURANT, P. C., SILVEIRA, L. B. P., CARVALHO, H. P., MARTINS, L. C., MENDES, N. G., ATARASSI, R. T. **Tempo De Concentração Em Uma Bacia Hidrográfica Experimental Parcialmente Urbanizada**. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2017.

FACURY, D.M; Trabalho Interno – COPASA-MG – **Delimitação de Bacias Hidrográficas**. 2020.

FARIAS JÚNIOR, J.E.F; BOTELHO, R.G.M. **Análise comparativa do tempo de concentração: um estudo de caso na bacia do Rio Cônego, Município de Nova Friburgo, RJ**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

FINKLER, R. **Planejamento, Manejo e Gestão de Bacias: Unidade 1 A Bacia Hidrográfica**. 2012 (Desenvolvimento de Material Didático ou Institucional) Curso a distância, promovido pela Agência Nacional de Águas, de 19 de janeiro a 16 de fevereiro de 2016.

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com Base no Método Racional**. Dissertação do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

GRAY, D.M. (1970). **Handbook on the principles of hidrology**. New York. Huntigton: Water Information. Center.

GERICKE, O. J.; SMITHERS, J. C. **Review of methods used to estimate catchment response time for the purpose of peak discharge estimation**. Hydrological Sciences Journal, v. 59, n. 11, p. 1935–1971, 2013.

IGAM - **Instituto Mineiro de Gestão das Águas**. Acesso em: <http://www.igam.mg.gov.br/>. Acesso em: 09 out. 2020.

MOTA, T. U. **Associação entre os métodos SCS-CN e GRANDEx para cálculo de vazões máximas**. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos –Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2016.

MC CUEN, R. H., WONG, S. L., RAWLS, W. J. **Estimating urban time of concentration**. Journal of Hydraulic Engineering 110 (7), pp 887-904. 1984.

MENDES, J.B.; LOBO, G.A.; CANDIA, M.M. **Determinação do tempo de concentração numa bacia rural de São Paulo**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió, 2011.

OJIMA, C C. **Análise comparativa entre diversas fórmulas de tempo de concentração em bacias hidrográficas**. Belo Horizonte, 2017.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Manual de Drenagem Urbana Região Metropolitana de Curitiba - PR**. v.1. 2002.

PAVLOVIC, S. B., MOGLEN, G. E. **Discretization issues in travel time calculation**. Journal of Hydrologic Engineering 13(2), pp. 71–79. 2008.

SILVA JÚNIOR, C. G; VIEIRA, Z. C; SANTOS, D. L. **Análise comparativa entre equações de tempo de concentração na bacia hidrográfica do Riacho Salgado em Gararu/SE**. 2019.

SILVEIRA, A.L.L. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol 10, jan/mar, Porto Alegre, pp 5-23. 2005.

SOUZA PINTO, N.L; HOLTZ, A C T; MARTINS,, J A. **Hidrologia Básica**. São Paulo, Ed. Edgard Blucher, 1976

SPERLING, M. V. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 1.ed. Belo Horizonte: UFMG, 196 pp.2007.

PINHEIRO, M.C. **Diretrizes para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamentos hidráulicos em obras de mineração**. ABRH, 2011.

TUCCI, CEM-Hidrologia; **HIDROLOGIA, M. ciência e aplicação**. ABRH e UFRGS, Editora da Universidade, Porto Alegre, 1993.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. Estudos Avançados 22(63), p 97-112, 2008.

WONG, T. S.W. **Evolution of kinematic wave time of concentration formulas for overland flow**. Journal of Hydrologic Engineering 1, p. 739-744. 2009.