



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

ANTONIA LETÍCIA PAIVA DE SOUSA

**INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS FISIAGRÁFICOS NO TEMPO DE
CONCENTRAÇÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO RIO DE
JANEIRO (RJ) E DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA (CE)**

CRATEÚS, CE

2024

ANTONIA LETÍCIA PAIVA DE SOUSA

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS FISIAGRÁFICOS NO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (RJ) E DO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA (CE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
e Sanitária da Universidade Federal do Ceará,
como requisito à obtenção do título do grau de
bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador (a): Prof.^a Dra. Janine Brandão de
Farias Mesquita

CRATEÚS, CE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Universidade Federal do Ceará

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo (a) autor (a)

S696i Sousa, Antonia Letícia Paiva de.

Influência de parâmetros fisiográficos no tempo de concentração de bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro (RJ) e do município de Fortaleza (CE) / Antonia Letícia Paiva de Sousa. – 2024.
70 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Crateús, 2024.

Orientação: Prof. Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita.

1. escoamento superficial. 2. Equações empíricas. 3. Drenagem urbana. I. Título.

CDD 628

ANTONIA LETÍCIA PAIVA DE SOUSA

INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS FISIAGRÁFICOS NO TEMPO DE CONCENTRAÇÃO
DE BACIAS HIDROGRÁFICAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (RJ) E DO
MUNICÍPIO DE FORTALEZA (CE)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Ambiental
e Sanitária da Universidade Federal do Ceará,
como requisito à obtenção do título do grau de
bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: xx/xx/xxxx.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Carla Beatriz Costa de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alan Michell Barros Alexandre
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Aos meus pais, Maria Aparecida e Francisco
Das Chagas.

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre esteve guiando meus passos, fortalecendo meu propósito e amparando-me nos momentos difíceis.

Aos meus pais, Maria Aparecida Paiva de Sousa e Francisco Das Chagas de Souza Paiva, pelo empenho e apoio na minha formação acadêmica, pelo carinho e amor incondicional. Agradeço-lhes por serem minha base e meu porto seguro.

Aos meus irmãos, Maria Marianne Paiva de Souza e Francisco Isaac Paiva de Sousa, por estarem sempre presentes na minha vida, pelos momentos e conselhos compartilhados, por apoiarem a profissão que escolhi. Agradeço-lhes imensamente por tudo o que fizeram e fazem por mim.

A minha orientadora e exemplo de profissional, Professora Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita, pela exímia orientação, dedicação, paciência e pelas valiosas contribuições para que este estudo pudesse ser concluído.

Aos membros da banca, Professora Dra. Raimunda Moreira da Franca, Professor Dr. Alan Michell Barros Alexandre e Professora Dra. Carla Beatriz Costa de Araújo, pela disponibilidade e sugestões repassadas.

Aos membros do grupo de pesquisa em drenagem urbana que estão envolvidos no desenvolvimento deste projeto, Gustavo Siebra, Vitória Regina e Gabriel Carvalho, pelo apoio, paciência, persistência e experiência compartilhados.

A Universidade Federal do Ceará pela Bolsa de Iniciação Científica (IC) concedida, especialmente à Professora Janine, pela confiança e oportunidade de realizar pesquisa científica na área de concentração, evaporação e qualidade da água. Foi um grande desafio e uma experiência bastante enriquecedora conduzir pesquisas em áreas distintas.

Aos colegas do grupo de pesquisa evaporação e qualidade da água, Ludmylla Beatrice e José Sávio, por compartilharem seus conhecimentos e contribuírem para enriquecer nossos estudos.

A Professora Dra. Luana Viana Costa e Silva pelos ensinamentos repassados no período de vigência dos Projetos de Iniciação Acadêmica que participei. Gratidão pela orientação e confiança.

Aos amigos que a universidade me proporcionou, especialmente a Vitória Regina, José Sávio e Gabriel Carvalho, por sempre torcerem por mim e estarem presentes, oferecendo suporte ao longo de minha jornada acadêmica.

A todos os professores da Universidade Federal do Ceará, campus de Crateús, pelos grandiosos ensinamentos repassados ao longo da minha graduação.

A Universidade Federal do Ceará, por proporcionar que muitos estudantes, como eu, possam ingressar em uma universidade gratuita e de qualidade.

Meus agradecimentos a todos os que de alguma forma contribuíram para que essa etapa da minha vida fosse concluída.

“A ciência progride quando as observações nos forçam a mudar as nossas ideias preconcebidas.” – Vera Rubin.

RESUMO

O tempo de concentração (t_c) é uma variável relevante para a estimativa de vazões de pico em projetos hidrológicos e hidráulicos. Esse parâmetro possibilita compreender o comportamento da bacia em relação ao escoamento superficial, além de sua importância para o gerenciamento dos recursos hídricos. Nessa perspectiva, o presente trabalho tem por objetivo estimar o tempo de concentração (t_c) em bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e do município de Fortaleza, e avaliar a sensibilidade do t_c em relação aos parâmetros fisiográficos das bacias do estudo. Para isso, foram utilizados dados geoespaciais e ferramentas de geoprocessamento associadas a Sistemas de Informações Geográficas (SIG) para a obtenção de parâmetros fisiográficos. O *software* QGIS foi empregado para a obtenção dessas informações para ambos os locais do estudo. Posteriormente, foram calculados os tempos de concentração por meio de 10 fórmulas empíricas baseadas em características morfométricas de diferentes bacias hidrográficas. Em sequência, foi avaliada a influência da área da bacia, comprimento do talvegue e declividade, no resultado do t_c . Os resultados encontrados para as bacias do estado do Rio de Janeiro e do município de Fortaleza revelaram alta variabilidade nos tempos de concentração para uma mesma bacia. O t_c teve valores mínimo de 0,306 h e máximo de 52 h para as bacias de Fortaleza. Enquanto para o Rio de Janeiro, foram obtidos valores mínimos e máximos de 1,306 h e 443,69 h, respectivamente. A equação de Passini resultou em valores superestimados do tempo de concentração para os três parâmetros fisiográficos analisados e em ambos locais investigados. Por outro lado, a equação de Dooge, em relação às demais equações, apresentou menores tempos em relação aos demais métodos avaliados. Ao examinar o declive do talvegue das bacias de Fortaleza, verificou-se maior variabilidade do t_c para declividades maiores, enquanto para as do Estado do Rio de Janeiro, ocorreu uma pequena variação para os métodos de Dooge e Ventura, em declives menores. Ao analisar os parâmetros fisiográficos individualmente, verificou-se que as outras variáveis consideradas pelas equações experimentais também interferem no cálculo do tempo de concentração, assim como a sensibilidade deste em relação à declividade, com a influência da área e/ou comprimento do talvegue em algumas equações. Salienta-se que a sensibilidade das equações empíricas está relacionada às suas condições prévias de elaboração, como o local onde foram projetadas, fato que afeta os resultados alcançados. Por fim, estudos sobre o tempo de concentração possibilitam uma melhor compreensão acerca do comportamento da água em bacias hidrográficas, sendo, portanto, uma variável de referência importante para a prevenção de eventos extremos associados à intervenção humana e às mudanças climáticas, como inundações e alagamentos, além de sua aplicação no dimensionamento de obras hidráulicas.

Palavras-chave: Escoamento superficial; Equações empíricas; Drenagem urbana.

ABSTRACT

Time of concentration (t_c) is a relevant variable for estimating peak flows in hydrological and hydraulic projects. This parameter makes it possible to understand the behavior of the basin in relation to surface runoff, in addition to its importance for the management of water resources. From this perspective, the present study aims to estimate the concentration time (t_c) in watersheds in the state of Rio de Janeiro and the municipality of Fortaleza, and to evaluate the sensitivity of t_c in relation to the physiographic parameters of the study basins. For this, geospatial data and geoprocessing tools associated with Geographic Information Systems (GIS) were used to obtain physiographic parameters. The QGIS software was used to obtain this information for both study sites. Subsequently, the times of concentration were calculated by means of 10 empirical formulas based on morphometric characteristics of different watersheds. Subsequently, the influence of pelvic area, talweg length and slope on the t_c result was evaluated. The results found for the basins of the state of Rio de Janeiro and the municipality of Fortaleza revealed high variability in the concentration times for the same basin. The t_c had a minimum of 0.306 h and a maximum of 52 h for the Fortaleza basins. For Rio de Janeiro, minimum and maximum values of 1.306 h and 443.69 h were obtained, respectively. The Passini equation resulted in overestimated values of time of concentration for the three physiographic parameters analyzed and in both sites investigated. On the other hand, the Dooge equation, in relation to the other equations, presented shorter times in relation to the other methods evaluated. When examining the slope of the talweg in the basins of Fortaleza, there was greater variability of the t_c for larger slopes, while for those of the State of Rio de Janeiro, there was a small variation for the methods of Dooge and Ventura, in smaller slopes. By analyzing the physiographic parameters individually, it was found that the other variables considered by the experimental equations also interfere in the calculation of the time of concentration, as well as its sensitivity in relation to the slope, with the influence of the area and/or length of the thalweg in some equations. It should be noted that the sensitivity of empirical equations is related to their previous conditions of elaboration, such as the place where they were designed, a fact that affects the results achieved. Finally, studies on the time of concentration allow a better understanding of the behavior of water in watersheds, being, therefore, an important reference variable for the prevention of extreme events associated with human intervention and climate change, such as floods and floods, in addition to its application in the design of hydraulic works.

Keywords: Surface runoff; Empirical equations; Urban drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Bacia hidrográfica do Rio Macabu no estado do Rio de Janeiro.	21
Figura 2 – Ciclo Hidrológico.....	23
Figura 3 – Localização das bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro.....	33
Figura 4 – Tipos de solos no estado do Rio Janeiro.	34
Figura 5 – Características geomorfológicas das bacias do estado do RJ.	35
Figura 6 – Uso e ocupação do estado do Rio de Janeiro – 2022.	36
Figura 7 – Mapa de localização das bacias hidrográficas de Fortaleza, CE.....	37
Figura 8 – Características físicas e geomorfológicas das bacias de Fortaleza, CE..	38
Figura 9 – Uso e ocupação do solo do município de Fortaleza.	39
Figura 10 – Fluxograma com a metodologia para a obtenção do tc.....	40
Figura 11 – Extensão do talvegue principal.	43
Figura 12 – Metodologia para a extração de cotas altimétricas do curso de água.	43
Figura 13 – Tempo de concentração para as bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro	48
Figura 14 – Tempo de concentração em relação à área, para bacias do RJ.....	49
Figura 15 – Tempo de concentração em relação ao comprimento do talvegue, para bacias do RJ.....	51
Figura 16 – Tempo de concentração em relação à declividade, para bacias do RJ.	52
Figura 17 - Tempo de concentração para as bacias hidrográficas de Fortaleza.....	55
Figura 18 – Tempo de concentração em relação à área, para bacias de Fortaleza.	57
Figura 19 – Tempo de concentração em relação ao comprimento do talvegue, para bacias de Fortaleza.	58
Figura 20 – Tempo de concentração em relação à declividade para bacias de Fortaleza.....	60

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classes de declividade e relevo.	35
Tabela 2 – Características das equações empíricas para o Tempo de Concentração.	45
Tabela 3 – Dados físicos das bacias hidrográficas – RJ.	46
Tabela 4 – Tempo de concentração em horas para as bacias hidrográficas do estado do RJ. ..	47
Tabela 5 – Distribuição do tempo de concentração para as bacias do estado do Rio de Janeiro.	49
Tabela 6 – Dados fisiográficos das bacias hidrográficas do município de Fortaleza, CE.	53
Tabela 7 – Tempo de concentração em horas para as bacias hidrográficas de Fortaleza, CE. .	54
Tabela 8 – Distribuição do tempo de concentração para bacias hidrográficas de Fortaleza. ...	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
NEB	Nordeste Brasileiro
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
MDE	Modelo Digital de Elevação
RJ	Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
CE	Ceará
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

T_c	Tempo de concentração
L	Comprimento do talvegue principal
ΔH	Desnível – diferença entre a cota maior e menor
S_o	Inclinação ou declividade da bacia
S	Declividade do canal principal
S_3	Declividade média harmônica do talvegue principal
S_l	Declividade do curso de água principal (desnível de cotas pelo comprimento do talvegue principal)
H	Altura média da bacia
A	Área da bacia
m	Metro
km	Quilômetro
min	Minutos
m^2	Metro quadrado
km^2	Quilômetro quadrado
h	Horas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 Contextualização	16
1.2 Justificativa	19
1.3 Objetivos	20
<i>1.3.1 Objetivo geral</i>	20
<i>1.3.2 Objetivos específicos</i>	20
2 REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1 Bacias Hidrográficas	21
2.1.1 Aspectos hidrológicos	22
<i>2.1.1.1 Ciclo hidrológico</i>	22
<i>2.1.1.1 Precipitação</i>	23
<i>2.1.1.2 Interceptação</i>	23
<i>2.1.1.3 Infiltração</i>	24
<i>2.1.1.4 Escoamento superficial</i>	24
<i>2.1.1.5 Evapotranspiração</i>	25
<i>2.1.1.6 Vazão na bacia hidrográfica</i>	25
2.2 Tempo de concentração	26
2.2.1 Equações empíricas para a estimativa do tempo de concentração	27
<i>2.2.1.1 Equação de Kirpich</i>	27
<i>2.2.1.2 Equação de Ven Te Chow</i>	28
<i>2.2.1.3 Equação de Dooge</i>	28
<i>2.2.1.4 Equação de Ventura</i>	28
<i>2.2.1.5 Equação de Passini</i>	29
<i>2.2.1.6 Equação de Giandotti</i>	29
<i>2.2.1.7 Equação de Picking</i>	30
<i>2.2.1.8 Equação de Temez</i>	30
<i>2.2.1.9 Equação de Kerby</i>	30
<i>2.2.1.10 Equação de Kirpich I</i>	31
2.3 Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 Áreas de estudo	33
<i>3.1.2 Estado do Rio de Janeiro</i>	33
<i>3.1.3 Município de Fortaleza</i>	36
3.2 Metodologia para a aquisição de dados fisiográficos das bacias	39
<i>3.2.1 Aquisição de dados das bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro</i>	40
<i>3.2.2 Aquisição de dados fisiográficos das bacias hidrográficas do município de Fortaleza</i>	42
<i>3.2.3 Estimativa do tempo de concentração</i>	44
4 RESULTADOS	46
4.1 Tempo de Concentração para bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro	46
<i>4.1.1 Análise da influência da área de drenagem das bacias do estado do Rio de Janeiro</i> ..	49
<i>4.1.2 Análise da influência do comprimento do talvegue das bacias do estado do Rio de Janeiro</i>	50
<i>4.1.3 Análise da influência da declividade do curso de água principal das bacias do estado do Rio de Janeiro</i>	51
4.2 Tempo de concentração para bacias hidrográficas do município de Fortaleza	52
<i>4.2.1 Análise da influência da área de drenagem das bacias de Fortaleza (CE)</i>	57
<i>4.2.2 Análise da influência do comprimento do talvegue das bacias de Fortaleza (CE)</i>	58
<i>4.2.3 Análise da influência da declividade do curso de água principal das bacias de</i>	

<i>Fortaleza (CE)</i>	60
5 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

O crescimento urbano global, e a crescente frequência e severidade dos eventos climáticos extremos ocasionados pelas mudanças climáticas, têm afetado significativamente a infraestrutura dos recursos hídricos. Um dos principais impactos em decorrência desses fatores tem-se verificado na drenagem urbana, representado através do aumento da frequência e magnitude das inundações (TUCCI, 2002; YANG *et al.*, 2021). Problemas com inundações nos espaços urbanos, ocorrem quando a intensidade das chuvas é elevada e a vazão ultrapassa a capacidade de escoamento dos córregos e rios (SOBRAL *et al.*, 2018). Isto se deve, especialmente, à intensa impermeabilização das bacias hidrográficas urbanas e à ocupação inadequada desses espaços (GIORDANI, 2016).

Segundo dados do Instituto Estadual do Ambiente – INEA, (2015), órgão do estado do Rio de Janeiro, dentre os seis estados brasileiros que apresentam maior número de desastres registrados por chuvas intensas, encontra-se o estado do Rio de Janeiro. Como exemplos dessa realidade, destaca-se os escorregamentos em Angra dos Reis, na Ilha Grande e no Morro do Bumba (Niterói), além da severa inundação na cidade do Rio de Janeiro, em 2010; deslizamentos na Região Serrana, uma grande enxurrada em Xerém no ano de 2013; e eventos de inundações no município de Rio das Flores, em 2015.

Conforme dados da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA (2024), foram identificados 270 trechos inundáveis no estado do Rio de Janeiro em 74 dos 92 municípios. Do total de trechos, 135 (50%) possui alta vulnerabilidade a inundações graduais; 132 (48,89%), de média e 3 (1,11%), de baixa vulnerabilidade.

No estado do Rio de Janeiro, as características sazonais das chuvas são bem definidas. A proximidade com o oceano Atlântico, a topografia acidentada do estado, o padrão de circulação regional das massas de ar da atmosfera e alguns eventos de grande escala a nível planetário são alguns dos fatores que influenciam a sucessão dessas precipitações. As estações de outono e inverno se concentram entre os meses de março a setembro, nesse intervalo do ano apresentam chuvas comumente provocadas por entradas de frentes frias. Enquanto entre os meses de setembro e fevereiro acontecem as estações da primavera e do verão, com temperaturas elevadas e chuvas de convecção no final da tarde, sendo comum tempestades. Estas geralmente iniciam-se na região serrana, convergindo no sentido do litoral, com chuvas de curta duração e com maior intensidade (AZEVEDO, 2015).

Desastres em decorrência da elevada precipitação em um curto período de tempo, também é observado em outras regiões do país, assim como no Nordeste Brasileiro (NEB).

Com base em um estudo realizado por Saito *et al.* (2023), a partir de dados censitários e de áreas de risco de deslizamentos, enxurradas e inundações, identificaram que, no NEB a cada 100 pessoas residentes na região, 15 viviam expostas ao risco de deslizamentos ou inundações.

No Nordeste Brasileiro, as chuvas são influenciadas por vários sistemas atmosféricos. As precipitações que ocorrem no período de fevereiro a maio, possui influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) que atua sobre o oceano Atlântico. Nos meses de novembro a janeiro, as chuvas no centro sul são provocadas pelos Sistemas Frontais ou Frente Frias (FF). Enquanto os Vórtices Ciclônicos atuam de setembro a abril, com maior frequência no mês de janeiro. Por sua vez, os fenômenos El Niño, La Niña, Oscilação Sul (ENOS), os Ventos Alísios e a Pressão ao Nível do Mar (PNM) influenciam nos modelos de chuvas no NEB, com variação da intensidade de menor ou maior, conforme a localização geográfica dos estados do NEB (DE MOURA; SOBRINHO; DA SILVA, 2019).

Desse modo, evidencia-se que, a depender desses fenômenos atuantes, pode ocorrer eventos extremos como estiagens ou chuvas de maior magnitude, em decorrência da variação da distribuição e intensidade de chuvas nos estados do NEB. Como exemplo disso, o estado do Ceará, situado no NEB, é afetado por esses eventos extremos, além de longos períodos secos. O estado apresenta precipitações concentradas e intensas, que podem resultar em enchentes, inundações e alagamentos, possivelmente associados aos fenômenos climáticos e atmosféricos atuantes (LIMA; LIRA, 2021).

O estado do Ceará, região semiárida situada na porção setentrional do Nordeste brasileiro, é caracterizado pela presença de desvios positivos e negativos na intensidade pluviométrica entre os anos, acentuada pela distribuição espacial irregular das chuvas. É dotado de uma associação de componentes que possibilitam à formação de uma tendência do meio natural à ocorrência de eventos naturais perigosos, em especial, os gerados dos desvios positivos e negativos da pluviosidade e de forma localizada pelos processos erosivos intensos, acentuado pelas intervenções humanas em ambientes altamente vulneráveis (OLÍMPIO, 2013).

A nível local, bem como na bacia do rio Maranguapinho, no município de Fortaleza, os efeitos das inundações também podem ser desencadeados por ocupações irregulares e ambientalmente inadequadas ao longo das margens do Rio Maranguapinho e de seus tributários, e pela estruturação urbanística em toda a bacia (DE ALMEIDA; DE CARVALHO, 2010). Conforme Ceará (2015), a cidade de Fortaleza tem aproximadamente vinte pontos de alagamentos, que podem ser causados pela falta ou deficiência de uma rede de escoamento de águas pluviais.

Diante dessas informações, percebe-se que problemas com inundações estão inseridos no Brasil, em diversas regiões, independentemente da sazonalidade climática, assim como observado em dois estados com características climáticas e pluviométricas distintas, como o caso do estado do Ceará e do Rio de Janeiro.

1.2 Justificativa

O tempo de concentração (t_c) é considerado o tempo necessário para que a água possa atravessar a bacia desde o ponto mais distante até o seu exutório, ou, ainda, pode ser definido como o tempo de resposta de uma bacia a um evento de precipitação (SAVOLDI NETO, 2022). De acordo com Mota e Kobiyama (2015), as aplicações do t_c são diversas, dentre elas, a implementação de sistemas de alerta contra inundações, projetos de drenagem urbana, separação do hidrograma e definição do intervalo de monitoramento hidrológico.

Essa variável hidrológica possui relevância para o gerenciamento dos recursos hídricos. A confiabilidade da estimativa do t_c é crucial para que se tenha resultados próximos à realidade no que se refere ao dimensionamento de obras hidráulicas, assim como em estudos hidrológicos com simulações do escoamento superficial e obtenção de vazões. A estimativa do tempo de concentração a partir do uso de equações empíricas revela-se como uma alternativa para a obtenção dessa variável.

Nessa perspectiva, estudos sobre o tempo de concentração e sua sensibilidade em relação aos aspectos físicos e geomorfológicos de bacias hidrográficas, auxiliam na identificação do comportamento das bacias em situações de inundações, diretamente associados ao tempo que a bacia leva para contribuir para o escoamento superficial. Além disso, o entendimento acerca dessa variável hidrológica possibilita melhorias na drenagem urbana, através do dimensionamento adequado de obras hidráulicas em medidas compensatórias estruturais como os reservatórios de detenção e retenção, além de outras contribuições, como os sistemas de alerta para a previsão de inundações e cheias.

Dada a relevância da aplicação do tempo de concentração na hidrologia, como forma de proporcionar estratégias para minimizar eventos de alagamentos e inundações, especialmente, em áreas de risco, este estudo teve o propósito de investigar esse parâmetro em bacias hidrográficas situadas em regiões com características climáticas distintas, situadas próximos à costa atlântica e com algumas características semelhantes quanto à geomorfologia, como a presença de falésias, formações geológicas comuns em áreas costeiras.

Portanto, o objetivo deste trabalho é analisar o tempo de resposta de bacias hidrográficas de Fortaleza e do estado do Rio de Janeiro em relação ao escoamento superficial, a partir de sua estimativa através de equações empíricas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Estimar o tempo de concentração de bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e do município de Fortaleza, Ceará, a partir de dez equações empíricas e avaliar a sensibilidade do tempo de concentração quanto a influência de parâmetros fisiográficos das bacias do estudo.

1.3.2 Objetivos específicos

- Calcular o tempo de concentração com diferentes equações empíricas baseadas em dados de bacias com diferentes características morfométricas;
- Obter os dados fisiográficos das bacias hidrográficas do estudo com o uso de Sistemas de Informações Geográficas;
- Avaliar a sensibilidade do tempo de concentração em relação aos parâmetros: área de drenagem, comprimento do talvegue e declividade;
- Comparar os resultados do tempo de concentração para as bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro em relação aos valores obtidos do tempo de concentração para as bacias do município de Fortaleza, Ceará.

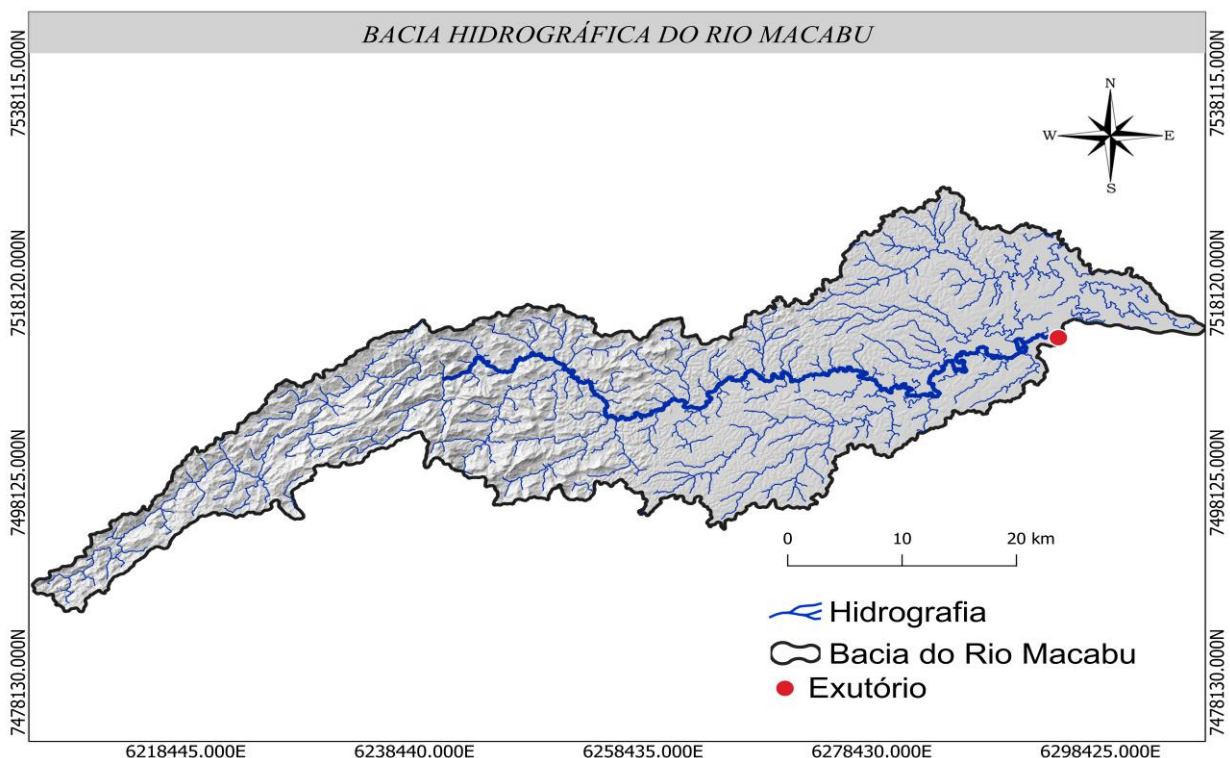
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Bacias Hidrográficas

No planejamento territorial, as bacias hidrográficas são consideradas uma unidade fundamental de análise para o desenvolvimento de ações e medidas estruturais e não estruturais, do ponto de vista de integrar a gestão dos recursos hídricos e a gestão ambiental. Essa definição foi instituída no Brasil através da Política Nacional de Recursos Hídricos, promulgada por meio da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 e, posteriormente, empregada na Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (CARVALHO, 2020).

Segundo Tucci (2004), a bacia hidrográfica, como exemplificado na Figura 1, é considerada uma área definida topograficamente, drenada por um curso d'água ou por um sistema de cursos d'água conectado de forma tal que uma única saída possa drenar toda a vazão efluente. Conforme Lima (2008), uma bacia hidrográfica abrange toda a área de captação natural da água da chuva que contribui para o escoamento superficial para o canal principal e seus afluentes.

Figura 1 – Bacia hidrográfica do Rio Macabu no estado do Rio de Janeiro.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

Essa área de contribuição pode ser vista como um sistema físico, com uma entrada referente ao volume de água precipitado e uma saída ou o volume de água escoado pelo exutório,

enquanto os volumes evaporados, transpirados e os infiltrados profundamente podem ser considerados as perdas intermediárias (TUCCI, 2002). Uma bacia hidrográfica possui características biofísicas específicas e está diretamente relacionada com elementos principais, como o tipo de solo, uso do solo, topografia, declividade e comprimento da inclinação (HUTAPEA *et al.*, 2020).

As características morfológicas de uma bacia hidrográfica, como sua área, forma, topografia, geologia, solo e cobertura vegetal, definem seu comportamento hidrológico. A fim de entender as inter-relações entre esses fatores de forma e os processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, é necessário descrever quantitativamente suas características (LIMA, 2008). Nessa perspectiva, para se ter uma melhor compreensão do entendimento das variáveis existentes em relação ao estudo de bacias, é essencial conhecer as características e singularidades de uma bacia hidrográfica (MAIA *et al.*, 2020).

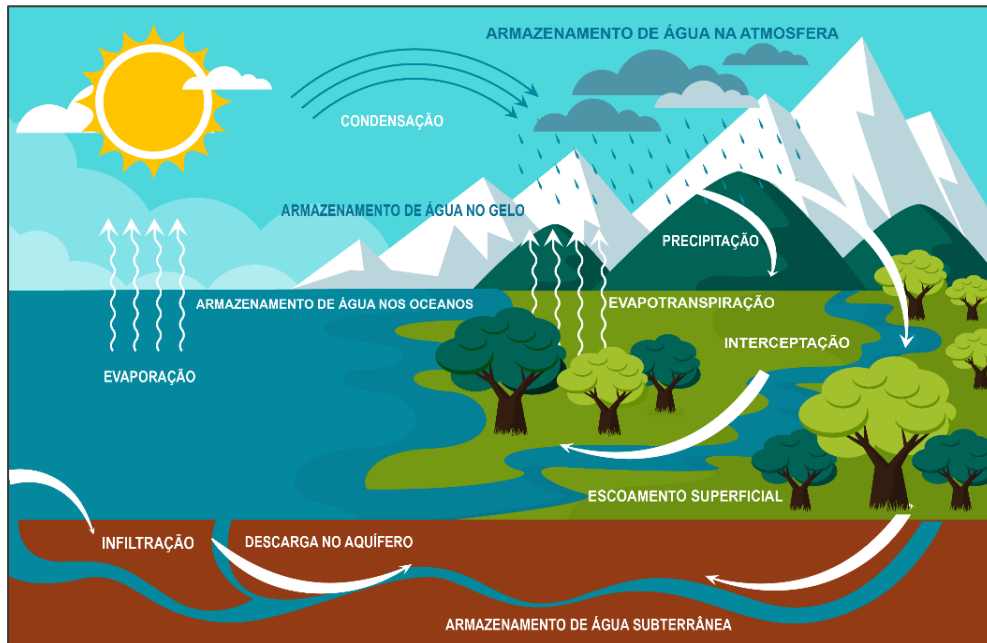
2.1.1 Aspectos hidrológicos

2.1.1.1 Ciclo hidrológico

A água é o recurso natural essencial para o processo dinâmico na natureza. Componente integral da Terra que participa e dinamiza todos os ciclos ecológicos e sustenta a vida no planeta (TUNDISI, 2003). Este recurso estratégico é o elemento primordial para o controle ambiental e exerce um papel indispensável para a manutenção e promoção do desenvolvimento socioeconômico sustentável (YANG, 2021).

Esse elemento faz parte do ciclo hidrológico global, um dos principais ciclos que equilibra e sustenta os demais ciclos ecológicos. O ciclo hidrológico é impulsionado pela radiação solar e pela gravidade (YANG, 2021), e está associado à troca contínua de água na hidrosfera, entre a atmosfera e a água do solo, águas superficiais, subterrâneas e das plantas (GOMES, 2023). A evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas e a percolação, infiltração e a drenagem são considerados os principais elementos que compõem o ciclo hidrológico (Figura 2) (TUNDISI, 2003).

Figura 2 – Ciclo Hidrológico.



Fonte: Adaptado do USGS (2019).

2.1.1.1 Precipitação

A precipitação é compreendida em hidrologia como toda água oriunda do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Esse fenômeno pode estar presente na forma de neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geadas e neve. O estado no qual a água se encontra é o fator que distingue essas formas de precipitações. Para o controle de inundações e erosão do solo, é essencial identificar a intensidade da precipitação. Por sua vez, a chuva é considerada o tipo de precipitação mais relevante para a hidrologia (TUCCI, 2001).

Conforme Silva (2015), a chuva é fornecida em termos de altura ou lâmina sobre a superfície, como se o quantitativo da água precipitada fosse distribuído de forma homogênea e uniforme em uma área de influência específica na bacia hidrográfica.

Em uma bacia rural, a precipitação consegue infiltrar, ser retida por depressões e vegetações, e evaporar pelo tempo que fica armazenada ou se desloca na bacia. A precipitação em espaços impermeáveis, em decorrência da urbanização, aumenta o escoamento superficial e a velocidade de deslocamento por condutos e canais, reduzindo a capacidade de infiltração e, conseqüentemente, diminuindo a evapotranspiração (TUCCI, 2016).

2.1.1.2 Interceptação

A vegetação consegue reter uma parte da chuva precipitada em uma área, antes de alcançar e umedecer o solo. A depender da densidade da vegetação que cobre o solo, esta fração

da precipitação pode ser maior ou menor (COLLISCHONN, 2001). Essa lâmina de água é entendida como o volume de água interceptado pela vegetação. De acordo com Tucci *et al.* (2015), a interceptação através da vegetação depende de diversos aspectos, tais como as características da precipitação e a condição do clima, aspectos da vegetação como o tipo e densidade, e período do ano.

2.1.1.3 Infiltração

A separação das chuvas em fluxo superficial e subterrâneo é um componente importante para a compreensão do ciclo hidrológico. Essa divisão é possível através do processo de infiltração e intervém em vários eventos de amplo interesse hidrológico, como a formação de escoamento superficial, recarga de aquíferos e carreamento de poluentes na zona vadosa e aquíferos (MORBIDELLI *et al.*, 2015). O processo de infiltração ocorre através do movimento da água da superfície para o solo, seja natural ou induzido artificialmente (FERGUSON, 2017).

De acordo com Morbidelli *et al.*, 2018, o processo de infiltração é controlado por diversos fatores, dentre eles, a profundidade, geomorfologia e propriedades hidráulicas do solo e características climáticas.

2.1.1.4 Escoamento superficial

A lâmina de água que escoar sobre uma superfície a partir da precipitação é considerada a parcela que contribui para o escoamento superficial. Esse fenômeno ocorre, segundo Pinto *et al.* (1976), quando a intensidade da precipitação sugere que a capacidade de infiltração no solo e os espaços nas superfícies retentoras tenham sido preenchidos, e, assim, o restante da precipitação passa a escoar pela superfície. No início do escoamento superficial, tem o surgimento de uma película laminar que aumenta de espessura, com base a precipitação prossegue, até alcançar um estado de equilíbrio. Além do escoamento superficial, existem outras trajetórias que a água percorre, como o escoamento subsuperficial e o escoamento subterrâneo.

Em bacias rurais que possuem a cobertura vegetal, o escoamento passa por interferências desta camada natural e grande parte da parcela de água que escoar se infiltra. Quando se trata de bacias urbanas, o escoamento é regido pela intervenção humana por meio de superfícies impermeáveis e sistemas de esgotos pluviais (TUCCI *et al.*, 2015). Dessa forma, o escoamento é retardado quando se trata de bacias rurais, enquanto em bacias impermeáveis o escoamento é maior, ocorrendo vazões de pico em um curto intervalo de tempo.

No escoamento superficial, a lâmina de água que percorre a bacia hidrográfica é

influenciada tanto por fenômenos climatológicos, como o ciclo hidrológico, quanto por fatores decorrentes de características físicas da bacia, tais como: tipo do solo, cobertura vegetal, área de drenagem, geometria da bacia, declividade, velocidade de escoamento, densidade de drenagem e distribuição preponderante dos cursos de água. A cobertura vegetal possibilita retardar a chegada da chuva ao solo e facilita a infiltração de água no solo. Outra alteração no escoamento é observada através da declividade da bacia, que pode influenciar na concentração e velocidade do desenvolvimento das enchentes, visto que quanto maior for a diferença de cotas altimétricas entre a cabeceira e o exutório, o escoamento da chuva e o risco de enchente será maior (AZEVEDO, 2015).

2.1.1.5 Evapotranspiração

Um dos componentes mais importantes do ciclo hidrológico é a evaporação, que pode afetar significativamente a disponibilidade de água em reservatórios e lagos, bem como o abastecimento de água para agricultura, geração de energia, abastecimento da população e entre outros usos (ROSSI, 2023). Esse componente é definido como um processo natural em que ocorre a transformação da água presente na superfície do solo e dos cursos de água, lagos e mares em vapor (GOMES, 2023). Enquanto a perda de água para a atmosfera em forma de vapor, devido a ações físicas e fisiológicas dos vegetais, é caracterizada por transpiração (GOMES, 2023).

A união desses dois conceitos importantes do ciclo hidrológico resulta na evapotranspiração, entendida como a perda de água por evaporação do solo e transpiração da planta. A evapotranspiração é um componente relevante para o balanço hídrico de uma bacia na totalidade (TUCCI, 2002).

2.1.1.6 Vazão na bacia hidrográfica

Os estudos de séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos regionais, e o comportamento das vazões e qualidade da água nas nascentes de cursos de água, possibilitam fornecer respostas relacionadas à disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas. Assim, contribuem para a gestão sustentável dos recursos hídricos (MARTINS, 2020). A quantificação das vazões configura-se como uma das tarefas de maior importância para o processo de tomada de decisões apropriadas em relação ao planejamento, aproveitamento e controle de recursos hídricos (FRANÇA *et al.*, 2019).

Diante disso, a vazão pode ser entendida como o volume de água que escoar em uma seção específica do curso de água em dado tempo. Esse parâmetro se divide em duas categorias:

em vazões normais e vazões de inundação. No primeiro caso, consistem em vazões que, ordinariamente, escoam no curso de água e no segundo, as que excedem um valor-limite ao ultrapassar a capacidade normal das seções de escoamento dos cursos de água (PINTO *et al.*, 1976). De acordo com Mello, Viola e Beskow (2010), para projetos de obras hidráulicas podem ser utilizadas as grandezas hidrológicas denominadas por vazões máximas; e, para a avaliação da disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas e comportamento do escoamento subterrâneo, podem ser empregadas as vazões mínimas.

2.2 Tempo de concentração

O tempo de concentração pode ser definido como o período necessário para que toda a precipitação ocorrida na bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial na seção de saída (ARAÚJO *et al.*, 2011; MAIA, 2019). Este parâmetro surge da hipótese de que a bacia hidrográfica possui uma resposta similar a um sistema linear, para o escoamento superficial direto (SILVEIRA, 2005).

Conforme Silveira (2016), a variável, tempo de concentração, pode ser compreendida como o tempo entre o centro do excesso de chuvas e o ponto de inflexão na recessão do hidrograma de escoamento direto. Assim, a diferença de tempo entre o ponto de inflexão e o final da precipitação efetiva é empregada para determinar o tempo de concentração na bacia. De acordo com Araújo *et al.* (2011), a sinuosidade, a forma da bacia, a sua declividade média e a declividade do seu curso de água principal são fatores que influenciam o tempo de concentração de uma determinada bacia. Esse tempo de contribuição é maior quando se trata de bacias grandes, em que a água percorre uma longa distância, e é menor em bacias pequenas. Além disso, o tempo de concentração é maior em bacias planas e menor em bacias montanhosas (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Conforme Almeida *et al.*, (2017), o entendimento acerca desse parâmetro é crucial para conhecer o comportamento de uma bacia hidrográfica durante eventos de chuva e para a determinação dos picos de vazão. Desse modo, a necessidade de estudar o tempo de concentração assume um papel importante, uma vez que permite compreender o comportamento do escoamento superficial na bacia hidrográfica, o qual está associado a diversos fenômenos como: erosão do solo, transporte de sedimentos, enxurradas, ocorrência de enchentes, e entre outras (MAMÉDIO; CASTRO; CORSEIUL, 2018).

Para diversos projetos hidrológicos, gestão de chuvas e escoamento, o tempo de concentração é considerado um dos parâmetros hidrológicos mais importantes. É utilizado como parâmetro de entrada, na grande maioria das análises hidrológicas para projetar sistemas

urbanos de coleta e transferência de escoamento superficial (HASHEMI *et al.*, 2020). Também pode ser utilizado na determinação de vazões máximas, para pequenas e grandes bacias hidrográficas (MAMÉDIO; CASTRO; CORSEIUL, 2018). Para o cálculo do tempo de concentração de bacias rurais, existe uma série de formulações que consideram como parâmetros preponderantes o comprimento do talvegue principal e a declividade média da bacia (GOMES, 2023).

2.2.1 Equações empíricas para a estimativa do tempo de concentração

No Brasil, diversas bacias hidrográficas ainda não possuem monitoramento e, conseqüentemente, não possuem dados suficientes para permitir o cálculo do seu tempo de concentração, pelo método hidrológico a partir da análise do hidrograma e hietograma (MAMÉDIO; CASTRO; CORSEIUL, 2018). O hidrograma mencionado é alcançado por meio do monitoramento de chuva e vazão em uma bacia hidrográfica. Dessa forma, os valores do tempo de concentração podem ser estimados desde que seja estabelecido o ponto de inflexão do hidrograma (DURANT *et al.*, 2017).

Desse modo, devido à ausência de dados de monitoramento em uma bacia, torna-se inviável a obtenção do tempo de concentração por tal análise, sendo necessário o uso de fórmulas empíricas para a determinação deste parâmetro. Em vista disso, existem diversas fórmulas empíricas baseadas nas características físicas da bacia hidrográfica, que podem ser utilizadas para estimar o tempo de concentração (PAULINO, 2014).

Destaca-se que a determinação do tempo de concentração por meio de fórmulas empíricas está sujeita às imprecisões e incertezas resultantes do tipo de escoamento que a fórmula propõe representar (ARAÚJO *et al.*, 2011). Ao se estudar o tempo de concentração de bacias hidrográficas, um dos problemas mais recorrentes está associado ao fato de que essas fórmulas foram desenvolvidas para bacias com distintas características morfométricas (MAIA, 2019). Portanto, conhecer as características das bacias utilizadas para desenvolver as equações empíricas, mostra-se relevante para identificar se estas são adequadas para as bacias hidrográficas que se almeja obter o cálculo do tempo de concentração.

2.2.1.1 Equação de Kirpich

A equação de Kirpich (1) foi desenvolvida para bacias rurais de até 0,45 km² de área (SILVEIRA, 2005) e com canais de alta declividade (PORTO *et al.*, 2001; QUEIROZ E ALVES, 2020). Segundo Franco (2004), é uma equação empírica bastante utilizada, desenvolvida em

1940, a partir de dados de sete pequenas bacias rurais do Tennessee (Estados Unidos), com declividades variando de 3% a 10%.

$$T_c = 57. \left(\frac{L^3}{\Delta H} \right)^{0,385} \quad (1)$$

Em que,

T_c = Tempo de Concentração, em minutos;

L = Comprimento do talvegue, em metros; e

H = desnível, em metros.

2.2.1.2 Equação de Ven Te Chow

Segundo Lança (2000) a equação de Ven Te Chow (2) se baseia em dados coletados de 20 bacias hidrográficas rurais, sendo recomendada para áreas variando entre 1 e 19 km².

$$T_c = 0,8773 \left(\frac{L}{\sqrt{S_0}} \right)^{0,64} \quad (2)$$

Em que,

T_c = Tempo de concentração, em horas;

L = Comprimento do talvegue, em km; e

S_0 = Inclinação ou declividade da bacia, em m/km.

2.2.1.3 Equação de Dooge

A equação de Dooge (3) recomendada por Franco (2004) foi baseada em dados de dez bacias rurais da Irlanda com áreas entre 140 e 930 km². Essa equação deve obter melhores resultados do tempo de concentração em bacias onde predomina escoamento de canais (PORTO, 1995; SILVEIRA, 2005).

$$T_c = 21,88. A^{0,41}. S^{-0,17} \quad (3)$$

Em que,

T_c = Tempo de Concentração, em minutos;

A = Área da bacia, em km²; e

S = Declividade, em m/m.

2.2.1.4 Equação de Ventura

A equação de Ventura (4) foi projetada com dados de bacias hidrográficas localizadas na Itália. Tal equação é recomendada para bacias rurais médias e pequenas (SILVEIRA, 2005).

$$T_c = 240 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot L}{\Delta H}} \quad (4)$$

Em que,

T_c = Tempo de Concentração, em minutos;

A = Área da bacia, em (km²);

L = Comprimento do talvegue, em (km); e

ΔH = Desnível – diferença de cota entre o ponto mais alto do talvegue e seu exutório, em metros.

2.2.1.5 Equação de Passini

A equação de Passini (5) foi projetada a partir de bacias hidrográficas rurais da Itália, sendo recomendada para bacias com área e declividade menores (GREPPI, 2005).

$$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{S}} \quad (5)$$

Em que,

T_c = Tempo de Concentração, em horas;

A = Área, em km²;

L = Comprimento do talvegue, em km; e

S = Declividade, em m/m.

2.2.1.6 Equação de Giandotti

Conforme Grimaldi *et al.* (2012), a equação de Giandotti (6) foi calibrada em 12 bacias hidrográficas da Itália com áreas de drenagem variando de 170 a 70.000 km².

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5L}{0,8 \cdot \sqrt{H}} \quad (6)$$

Em que,

T_c = Tempo de concentração, em horas;

A = Área da bacia, em km²;

L = Comprimento do talvegue, em km; e

H = altura média da bacia, em m.

2.2.1.7 Equação de Picking

Em relação ao tempo de concentração através da equação de Picking (7), são utilizados dois dados, o comprimento do talvegue em km e a declividade em m/m. (LANÇA, 2000). O tempo de concentração é expresso em horas, através da seguinte equação:

$$T_c = 0,0883(L)^{0,667}(S)^{-0,333} \quad (7)$$

Em que,

T_c = Tempo de concentração, em horas;

L = Comprimento do talvegue, em km; e

S = Declividade, em m/m.

2.2.1.8 Equação de Temez

A expressão para o tempo de concentração proposta por Temez (1978), foi obtida com base na análise de várias bacias localizadas na Espanha, a equação (8) sugerida, pode ser aplicada em bacias hidrográficas naturais com áreas até 3000 km² (MARTINS, 2000).

$$T_c = 0,3 \left(\frac{L}{S^{0,25}} \right)^{0,76} \quad (8)$$

Em que,

T_c = Tempo de concentração, em horas;

L = Comprimento do talvegue, em km; e

S = Declividade, em m/m.

2.2.1.9 Equação de Kerby

A equação de Kerby (9), foi desenvolvida em 1959 a partir de dados de bacias com escoamento superficial predominante, áreas menores que 0,05 km², rios menores que 0,37 km e declividades de até 1% (MCCUEN *et al.*, 1984; FERREIRA, 2019).

$$T_c = 37 \left(\frac{La}{S} \right)^{0,47} \quad (9)$$

Onde:

T_c = Tempo de Concentração, em minutos;

L = Comprimento do talvegue, em km;

a = Coeficiente que varia conforme a rugosidade; e

S = Declividade, em m/m.

2.2.1.10 Equação de Kirpich I

A equação modificada de Kirpich é aplicada para bacias com área de drenagem superior a 1 km² (DIAS *et al.* 2015). Fernandes et al. (2017) recomenda a seguinte equação:

$$Tc = 0,0196 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H}\right)^{0,385} \quad (10)$$

Em que,

Tc = Tempo de concentração, em minutos;

L = Comprimento do talvegue, em m; e

ΔH = Desnível, em m.

2.3 Geoprocessamento aplicado aos recursos hídricos

O geoprocessamento pode ser interpretado como uma associação de tecnologias designadas a coleta e o tratamento de informações espaciais, bem como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com níveis de sofisticação distintos. Esse conjunto de técnicas pode ser aplicado a pessoas que utilizam em seu ofício, a cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica (ROSA; BRITO, 2013).

Uma das geotecnologias de geoprocessamento é o Sistema de Informação Geográfica (SIG) (FERNANDES, 2022). Considerada uma ferramenta poderosa para manipulação e análise de informações espaciais (VIJITH; SATHEESH, 2006; KUMAR; SAMUEL, 2015; SONI, 2017). É um instrumento inovador que possibilita realizar diversas aplicações, dentre elas, permite compilar, armazenar, gerenciar, manipular (FREITAS, 2022) e fornecer informações espaciais para uma melhor compreensão (RAWAT; MISHRA, 2016).

Para Pande (2017), essa ferramenta é aplicada para avaliar uma diversidade de parâmetros de bacias hidrográficas, oferecendo um ambiente versátil e um instrumento importante para identificação, interpretação e análise de informações espaciais associadas às bacias hidrográficas.

De acordo com Fitz (2018), o geoprocessamento pode ou não ser agregado ao SIG. Ainda conforme o mesmo autor, esse compilado de tecnologias permite a manipulação, a análise, a simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados. As técnicas de geoprocessamento em SIG são pertinentes, visto que possibilitam a extração de bacias hidrográficas e suas redes hidrográficas (PANDE, 2017).

O emprego de técnicas geoespaciais, como dados de sensoriamento remoto, incluindo

os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), e seu processamento, análise e demonstração de modelagem com um Sistema de Informação Geográfica (SIG), permite obter dados para a obtenção de parâmetros morfométricos, úteis para a análise hidrológica da bacia (PATEL *et al.*, 2022; SINGH *et al.*, 2023). Esses parâmetros conseguem explicar a influência da topografia nos processos de geração de escoamento superficial nas bacias hidrográficas e aumento da vazão nos canais dos rios (SINGH *et al.*, 2023).

Dentre os parâmetros morfométricos utilizados em estudos da influência da topografia em inundações, pode-se citar: a área e perímetro da bacia, ordem do rio, comprimento do rio, densidade de drenagem, razão de textura, razão de bifurcação, relevo da bacia, razão de relevo, coeficiente de rugosidade, tempo de concentração, coeficiente de infiltração e fator de forma (BHATT; AHMED, 2014; ALAM *et al.*, 2021).

Diversos estudos foram realizados com a utilização de Sistemas de Informações Geográficas para obter dados morfométricos de bacias hidrográficas. Em um estudo desenvolvido por Santos *et al.* (2020), teve como ferramenta para a caracterização morfométrica de uma bacia em Pernambuco, a utilização de geoprocessamento em SIGs. Outros estudos realizados também utilizaram os recursos da geotecnologia para a obtenção de informações morfométricas de bacias hidrográficas, como o alcance da ordem de rios, razão de bifurcação da bacia, comprimento do rio principal, fator de forma, densidade de drenagem e entre outros (BRAGA *et al.*, 2017; DIAS *et al.*, 2020; SINGH *et al.*, 2020; OLIVEIRA *et al.*, 2021).

3 METODOLOGIA

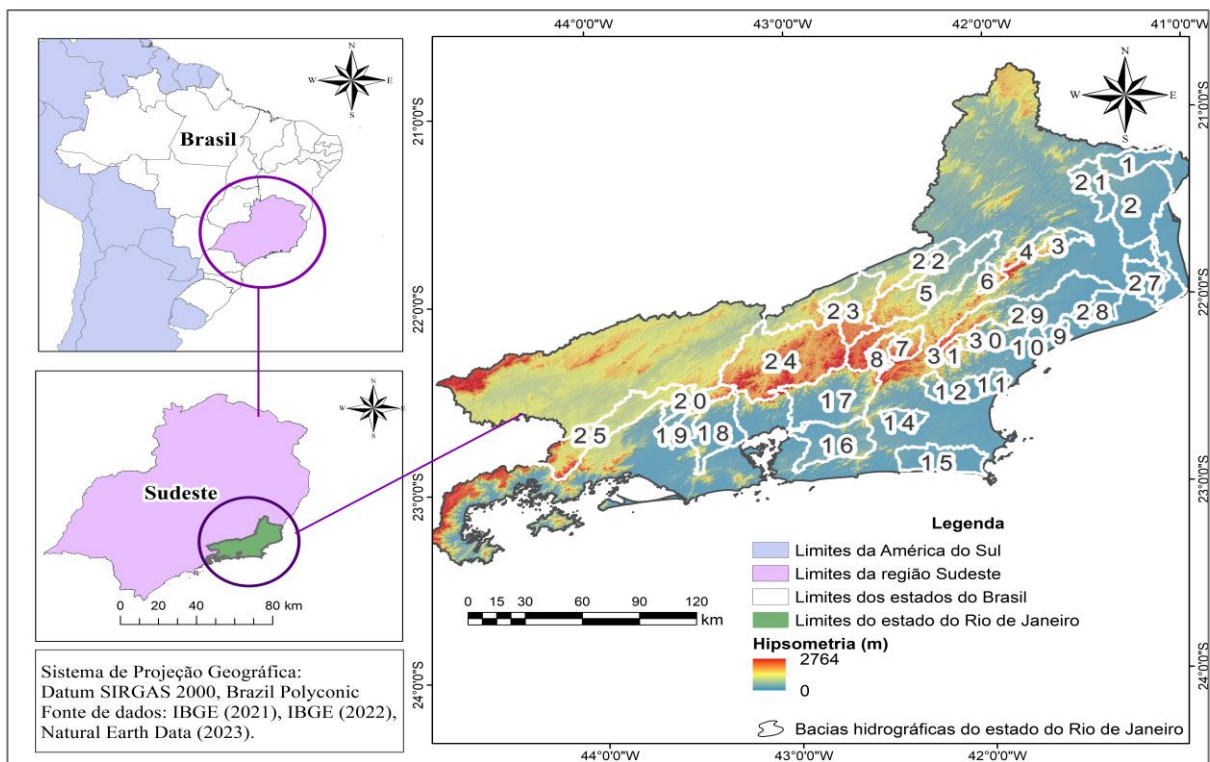
3.1 Áreas de estudo

Para o presente estudo, foram selecionadas bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e do município de Fortaleza, no estado do Ceará.

3.1.2 Estado do Rio de Janeiro

As bacias hidrográficas mostradas na Figura 3, encontram-se localizadas no estado do Rio de Janeiro, o qual está situado na Região Sudeste. Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), o estado mencionado apresenta uma área territorial de 43.750,425 km², uma população de 16.055.174 habitantes, e uma densidade demográfica de 366,97 hab./km² (IBGE, 2022).

Figura 3 – Localização das bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro.

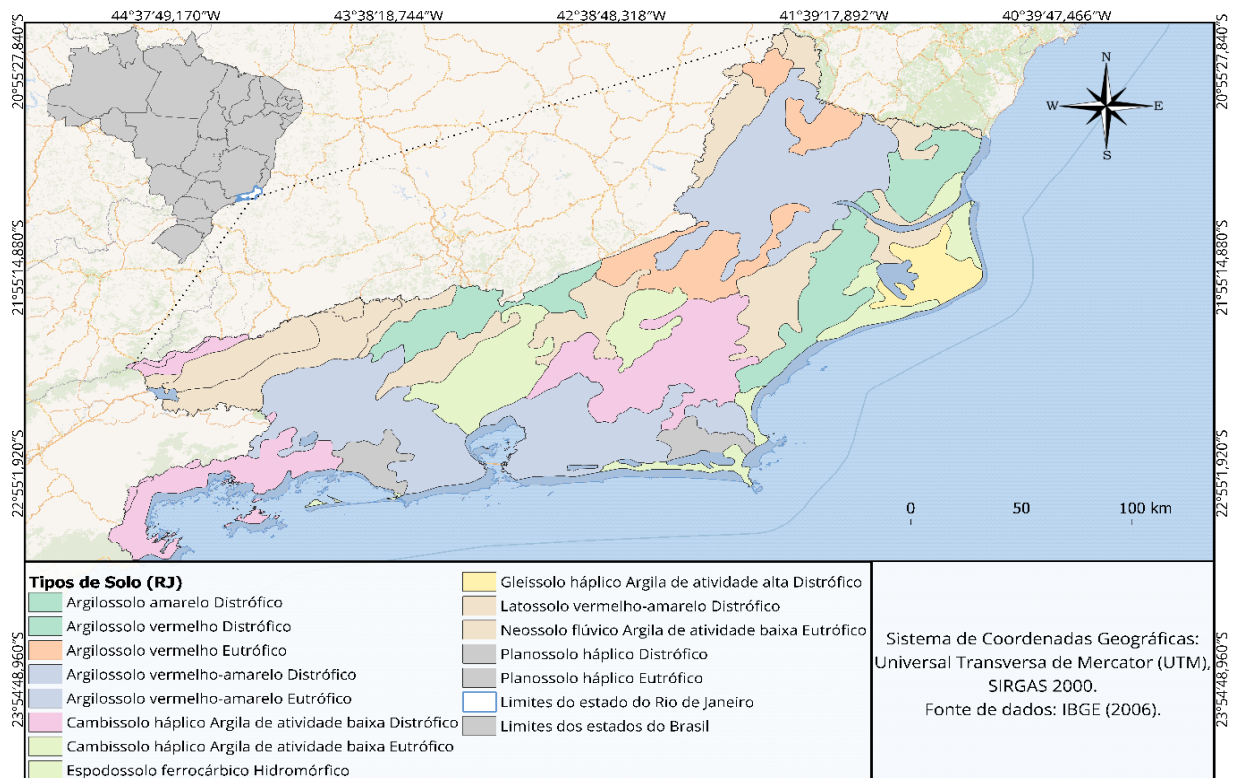


Fonte: elaborado pela autora (2024).

O estado do Rio de Janeiro, em relação ao clima, conforme a classificação climática de Köppen (1948), apresenta diversidade climática, já que é dividido amplamente em Clima Tropical (A), ao Norte e ao Leste, e Clima Temperado (C), a Oeste e ao Sul do estado (UFSC, 2013). Com base em informações geoespaciais fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2002), o estado se destaca pelas temperaturas, quente, subquente,

mesotérmico brando e mesotérmico mediano e, com o tipo de umidade, classificado em semi-úmido, úmido e super-úmido. Além disso, apresenta diversidade de tipos de solos, como ilustrado na Figura 4. Com os tipos de solos: Argilossolo amarelo Distrófico, Argilossolo vermelho Distrófico, Argilossolo vermelho Eutrófico, Argilossolo vermelho-amarelo Distrófico, Argilossolo vermelho-amarelo Eutrófico, Cambissolo háplico Argila de atividade baixa Distrófico, Cambissolo háplico Argila de atividade baixa Eutrófico, Espodossolo ferrocárbico Hidromórfico, Gleissolo háplico Argila de atividade alta Distrófico, Latossolo vermelho-amarelo Distrófico, Neossolo flúvico Argila de atividade baixa Eutrófico, Planossolo háplico Distrófico e Planossolo háplico Eutrófico (IBGE, 2006).

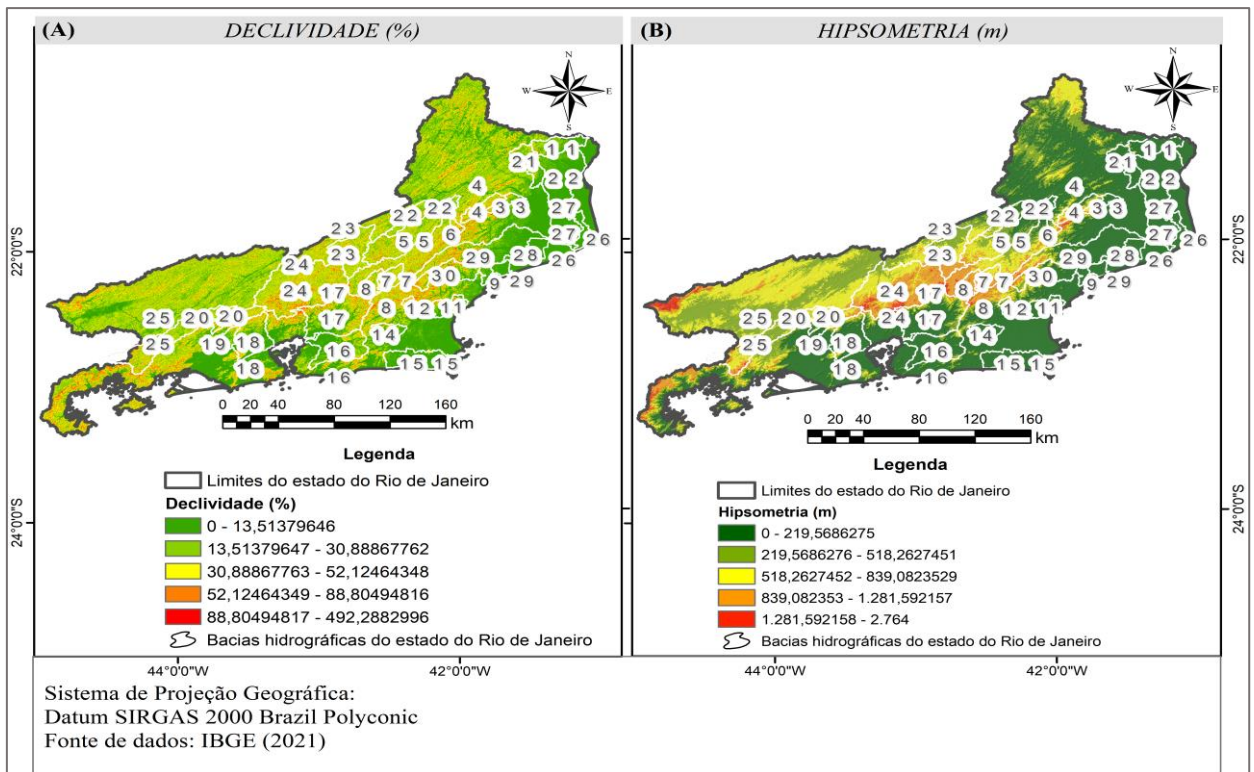
Figura 4 – Tipos de solos no estado do Rio Janeiro.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

De acordo com Girão *et al.* (2022), o estado apresenta regiões com cotas altimétricas próximas às do nível do mar, em especial, nas áreas litorâneas. Dessa forma, como se observa na Figura 5-B, as cotas altimétricas para o estado do Rio de Janeiro variam entre 0 m e 2764 m. Quanto à geomorfologia do local, é possível identificar na Figura 5-A, a variação do relevo conforme a declividade.

Figura 5 – Características geomorfológicas das bacias do estado do RJ.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

A partir da classificação do Instituto Nacional de Reforma Agrária - INCRA (2006), foram identificados os tipos de relevo conforme os valores da declividade em porcentagem. A declividade no estado do Rio de Janeiro varia de 0% a 492,28% (Figura 5-A). Em vista disso, consoante a Tabela 1, as bacias hidrográficas estão inseridas em relevos que variam de plano a escarpado. Estas classificações devem-se à presença de serras isoladas e locais, cordões arenosos, dunas e restingas, colinas, morros, planícies fluviais e flúvio-marinhas e Serras escarpadas (INEA, 2023).

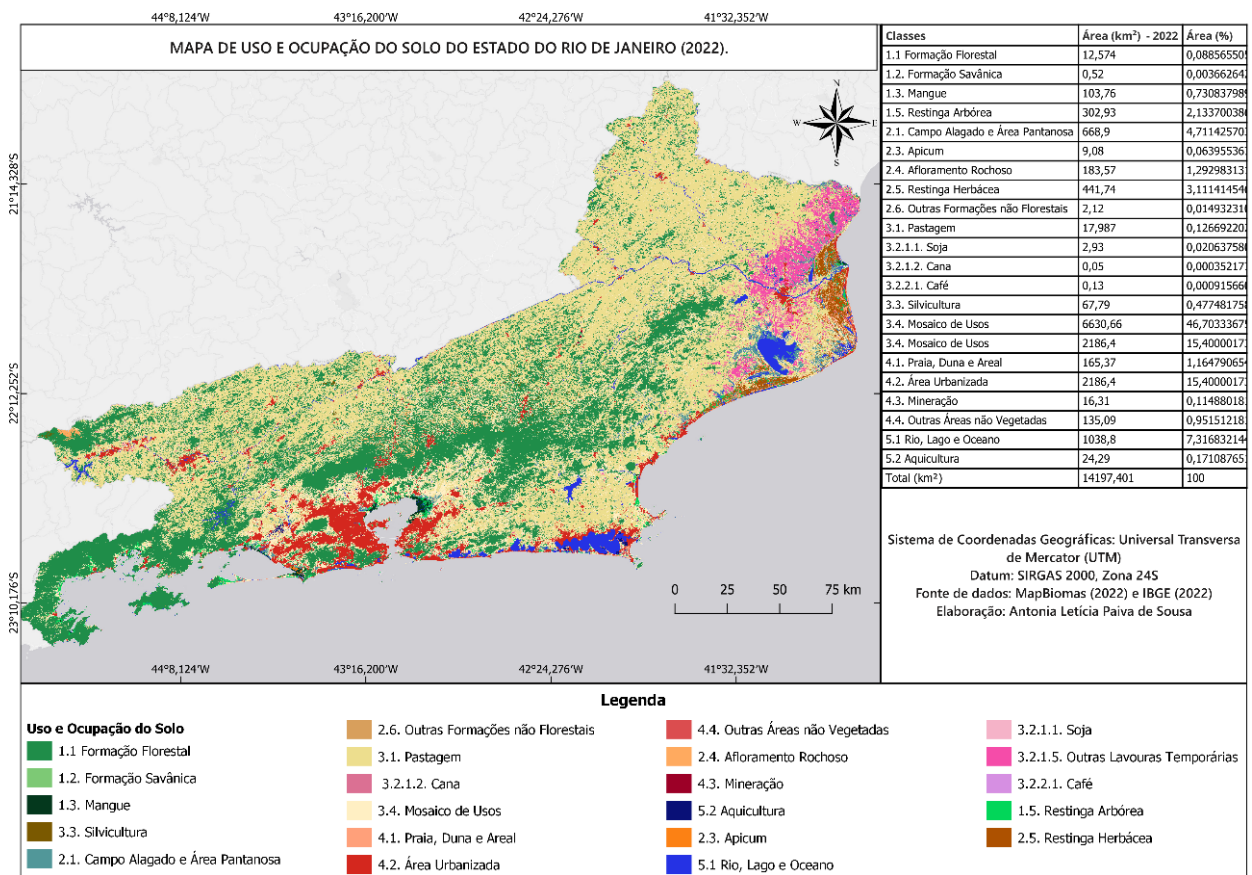
Tabela 1 - Classes de declividade e relevo.

CLASSES DE RELEVO	CLASSES DE DECLIVIDADE	
	Declividade (%)	Declividade (Graus)
Plano	0 – 2	0° a 1°8'45''
Suave Ondulado	2 – 5	1°8'45'' a 2°51'45''
Moderadamente Ondulado	5 – 10	2°51'45'' a 5°42'38''
Ondulado	10 – 15	5°42'38'' a 8°31'51''
Forte Ondulado	15 – 45	8°31'51'' a 24°13'40''
Montanhoso	45 – 70	24°13'40'' a 34°59'31''
Escarpado	> 70	> 34°59'31''

Fonte: adaptado de (INCRA, 2006).

O uso e ocupação do estado do Rio de Janeiro, como indicado na Figura 6, é bastante diversificado, com a presença de formação florestal, campos, atividades agrícolas, mineração e entre outras. A urbanização do Rio de Janeiro ocupa um percentual de 15,4%, com uma área de 2.186,4 km² em relação à área total do estado. Por outro lado, aproximadamente 11,77% desta, predomina a presença de áreas com cobertura vegetal, além de outras ocupações como áreas agrícolas.

Figura 6 – Uso e ocupação do estado do Rio de Janeiro – 2022.



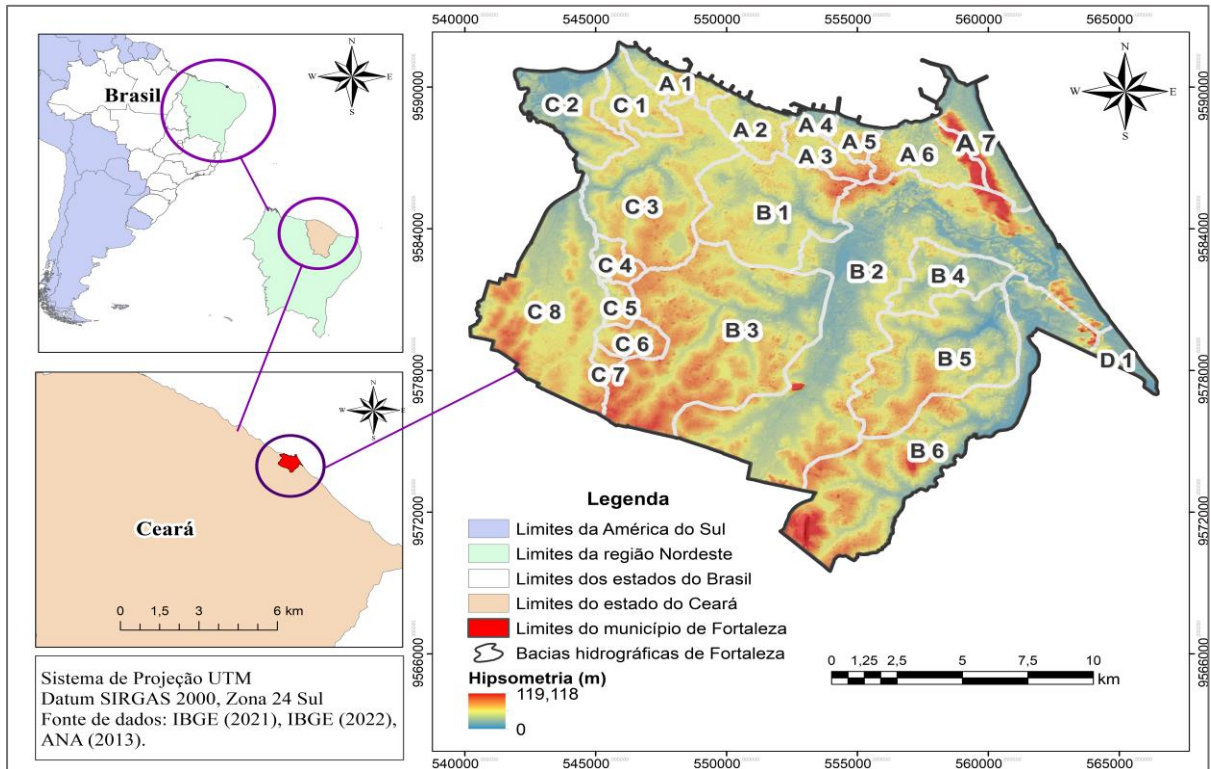
Fonte: elaborado pela autora (2024).

3.1.3 Município de Fortaleza

As bacias hidrográficas destacadas na Figura 7 estão localizadas no município de Fortaleza, capital do estado do Ceará. Segundo o Instituto de Pesquisas e Estratégia Econômica do Estado do Ceará – IPECE (2017), o município está compreendido sob as coordenadas geográficas, 38°29'12" W (longitude) e 3°44'10" S (latitude). Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), Fortaleza apresenta uma população de

2.428.708 habitantes, uma área territorial de 312,353 km² e uma densidade demográfica equivalente a 7.775,52 hab./km². Além disso, apresenta como municípios limítrofes, Caucaia, Maracanaú, Pacatuba, Itaitinga, Eusébio e Aquiraz (IPECE, 2017).

Figura 7 – Mapa de localização das bacias hidrográficas de Fortaleza, CE.



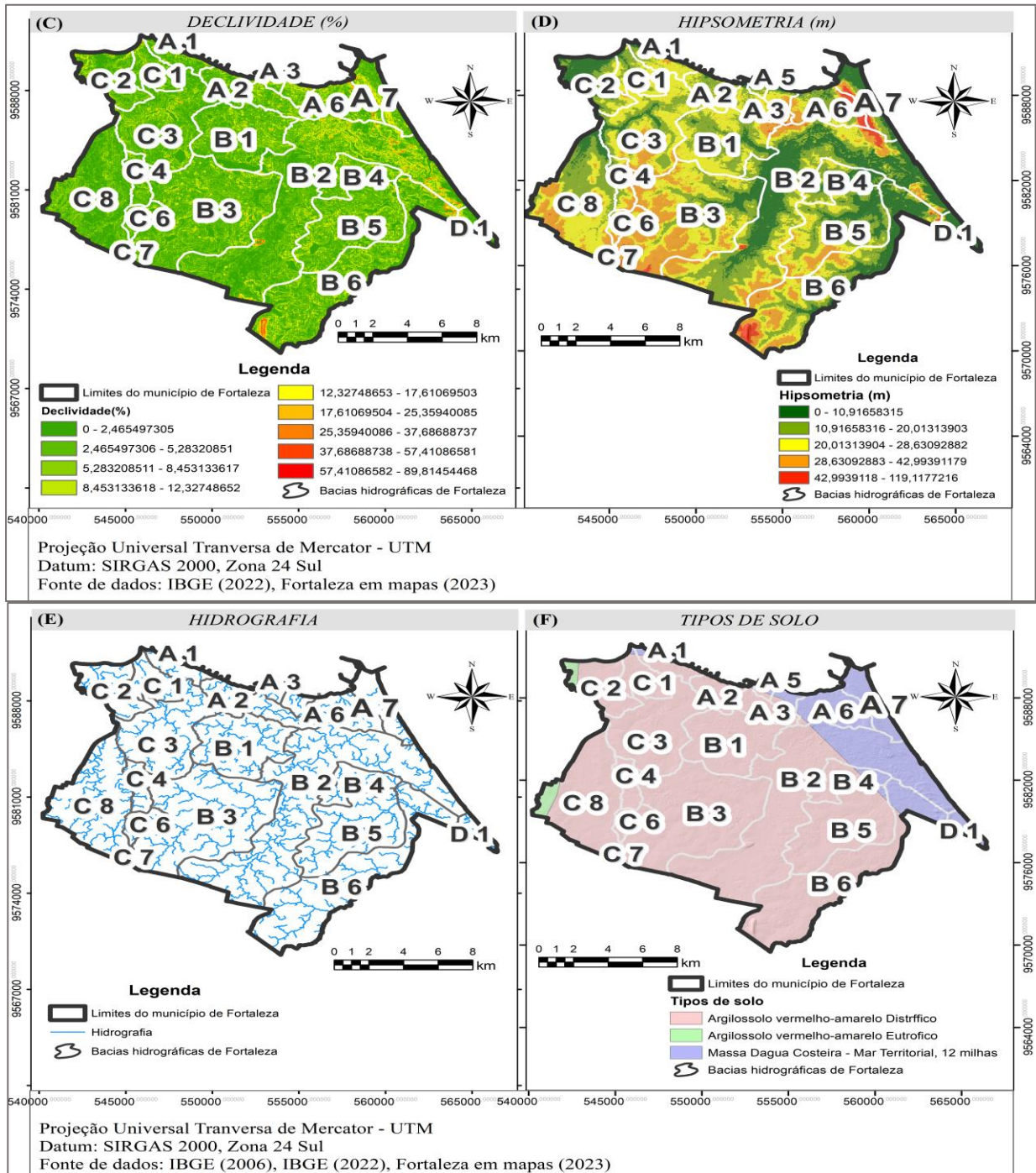
Fonte: elaborado pela autora (2024).

A capital do estado do Ceará está inserida numa região semiárida com clima tropical quente subúmido ou tropical chuvoso, com uma temperatura média anual de 26,6 °C, com máximas e mínimas de 31 °C e 22,5 °C, respectivamente, e uma pluviosidade média de 1.338 milímetros (FORTALEZA, 2019). O município de Fortaleza está inserido na Região Hidrográfica formada por 16 Bacias Hidrográficas Metropolitanas independentes que correspondem a uma área de drenagem de 15.085 km², o que equivale a 10,18% do território cearense (CEARÁ, 2020). A hidrografia principal dessa área de estudo é contemplada pelas bacias da Vertente Marítima, do Rio Cocó, do Rio Maranguapinho e do Rio Pacoti (Fortaleza, 2015).

O município de Fortaleza contém declividades que variam de 0% a 89,81% (Figura 8 – A) e possui cotas altimétricas que variam desde o nível do mar (0 metros) a cotas maiores que 100 metros (Figura 8 – B). No local destacam-se os tipos de solo: Argilossolo-amarelo

Distrófico em uma porção maior do município e Argilossolo-vermelho Eutrófico com menor representatividade no local.

Figura 8 – Características físicas e geomorfológicas das bacias de Fortaleza, CE.

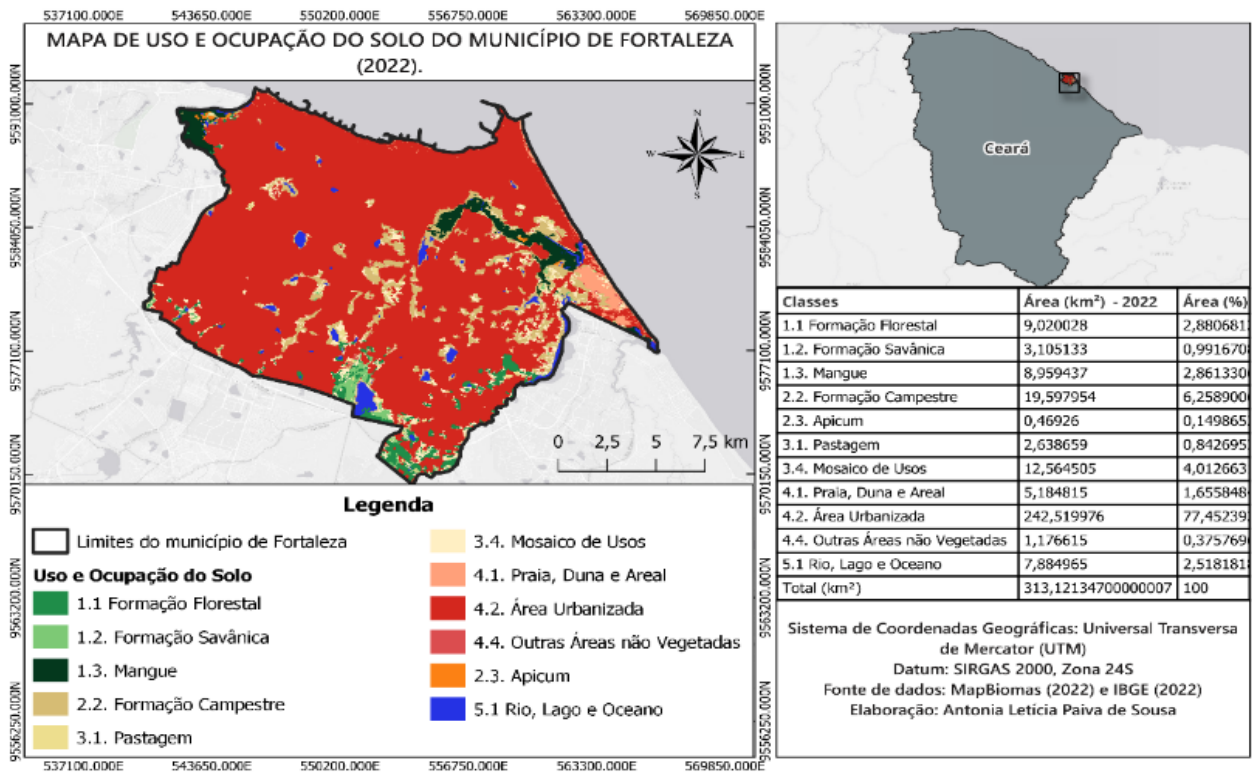


Fonte: elaborado pela autora (2024).

O uso e ocupação do município, conforme indicado na Figura 9, é marcado pela elevada taxa de urbanização, representando 77,45% da área de Fortaleza. Enquanto o percentual de

áreas naturais com cobertura vegetal é de aproximadamente 15,64%. Dessa forma, devido à preponderância de área impermeável no local de estudo, pode-se afirmar que as bacias hidrográficas do município de Fortaleza são urbanas.

Figura 9 – Uso e ocupação do solo do município de Fortaleza.

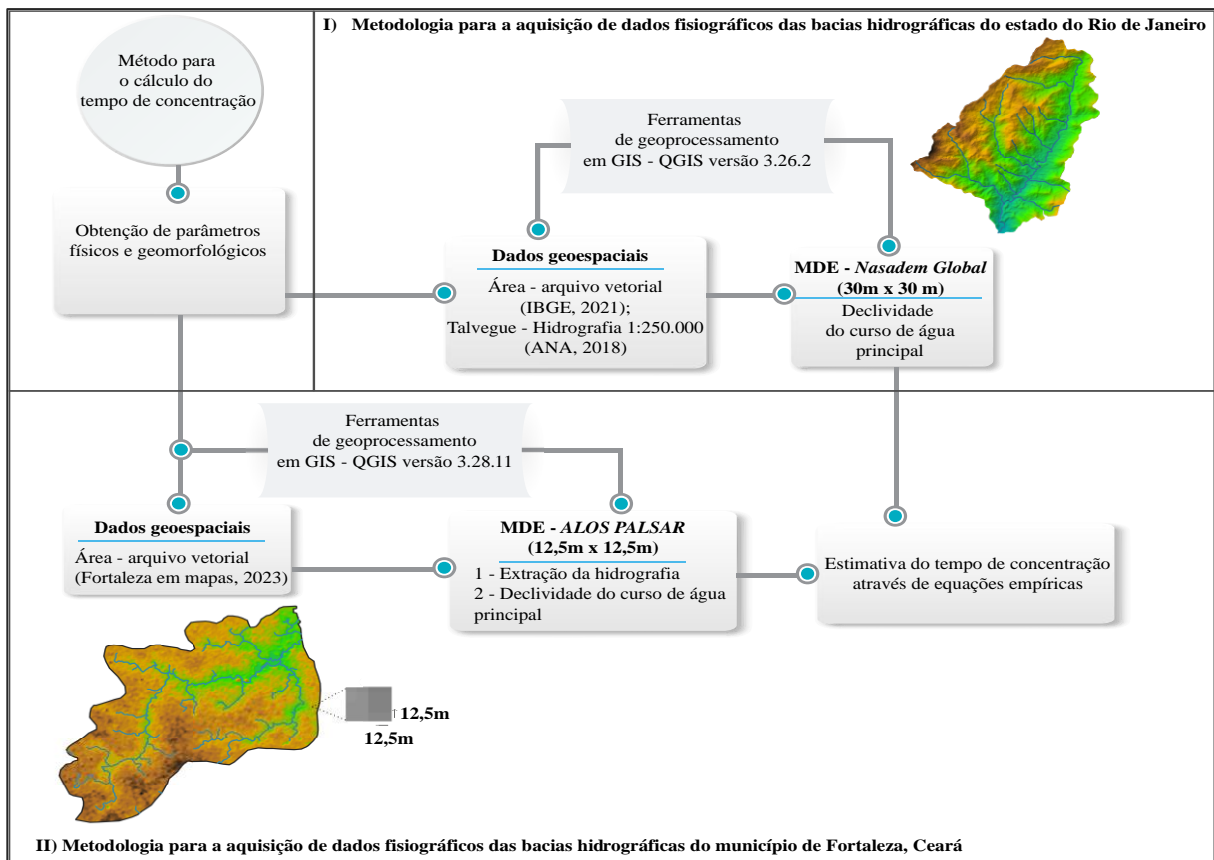


Fonte: elaborado pela autora (2024).

3.2 Metodologia para a aquisição de dados fisiográficos das bacias

O fluxograma da Figura 10 mostra as etapas utilizadas para o alcance dos objetivos propostos na pesquisa.

Figura 10 – Fluxograma com a metodologia para a obtenção do tc.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

3.2.1 Aquisição de dados das bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro

Para o estado do Rio de Janeiro, foram selecionadas 31 bacias hidrográficas para o estudo do tempo de concentração. A aquisição de informações de dados físicos, tais como o comprimento do talvegue e área, deu-se a partir de dados geoespaciais na forma de arquivos vetoriais, fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021) e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2018). Esses arquivos, sendo bacias hidrográficas de nível 6 (IBGE, 2021), e cursos de água da base hidrográfica Ottocodificada 1:250.000 (ANA, 2018).

A análise e aquisição dos dados foi realizada com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento. Os arquivos vetoriais foram inseridos em ambiente SIG (Sistemas de informações Geográficas), em específico, a partir do uso do software QGIS versão 3.26.2 - Buenos Aires, para a execução da análise de dados físicos das bacias hidrográficas selecionadas. Os dados geoespaciais utilizados foram a área total em km² e o comprimento do talvegue em km, fornecidos nos arquivos vetoriais.

A declividade média do curso de água foi obtida a partir de um modelo digital de elevação (MDE) do tipo *NASADEM Global Digital Elevation Model*, gerado com o auxílio do plugin *OpenTopography DEM Downloader* presente no software QGIS. O modelo adotado possui uma resolução de pixels de 30m x 30m. Conforme o Programa de Sistemas de Dados de Ciências da Terra (ESDS), Earth Data (2023), os produtos de dados NASADEM foram provenientes de dados de telemetria originais da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), uma colaboração que foi realizada entre a NASA e a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), que também teve a participação das agências espaciais alemã e italiana. O principal objetivo do SRTM era produzir um MDE quase global da Terra utilizando interferometria de radar.

O MDE obtido foi reprojetoado para o sistema UTM - Universal Transversa de Mercator, datum SIRGAS 2000, resultando em três MDEs com as zonas 23 S, 24 S e Brazil Polyconic (para as bacias localizadas entre a zona 23s e 24s), respectivamente. A identificação dos fusos ou zonas é de suma importância para a obtenção da elevação.

Diante disso, ainda com o *software* QGIS, foram extraídos os vértices ao longo da camada vetorial do comprimento do talvegue. Com os vértices obtidos, foi gerada outra camada vetorial com os valores amostrados do MDE. Posteriormente, com a nova camada de pontos amostrados, isto é, com os valores de elevação para cada vértice, selecionou-se os pontos das extremidades do curso de água (considerando a nascente e o exutório).

A declividade do curso de água principal foi obtida a partir dos valores de elevação do curso de água principal, em que, selecionaram-se dois pontos nas extremidades do arquivo raster da hidrografia para extrair as cotas altimétricas menor e maior. Diante dos valores de elevação, foi possível obter a declividade S_1 , a partir da Equação 11, expressa pela relação da diferença de cotas ou desnível, entre o ponto mais distante e a saída da bacia e pelo comprimento do talvegue, que é a distância do ponto mais remoto da bacia até a saída da bacia, medido ao longo do canal de drenagem (PAIVA, a; PAIVA, b, 2016).

$$S_1 = \left(\frac{\Delta H}{L} \right) \quad (11)$$

Em que,

S_1 = Declividade, em m/m;

ΔH = Desnível (diferença entre a cota maior e menor), em metros; e

L = Comprimento do talvegue, em metros.

3.2.2 Aquisição de dados fisiográficos das bacias hidrográficas do município de Fortaleza

Para o presente estudo foram selecionadas 22 bacias hidrográficas para o município de Fortaleza, Ceará. A análise e aquisição de dados foi realizada com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento em ambiente SIG, a partir do QGIS versão 3.28.11 *Firenze*. A aquisição de informações de dados físicos, bem como a área de drenagem, deu-se a partir de um arquivo vetorial fornecido pelo portal de dados, Fortaleza em Mapas (Fortaleza, 2023). Os demais dados fisiográficos, como o comprimento do talvegue principal e a declividade do curso de água principal, foram extraídos a partir de ferramentas de geoprocessamento.

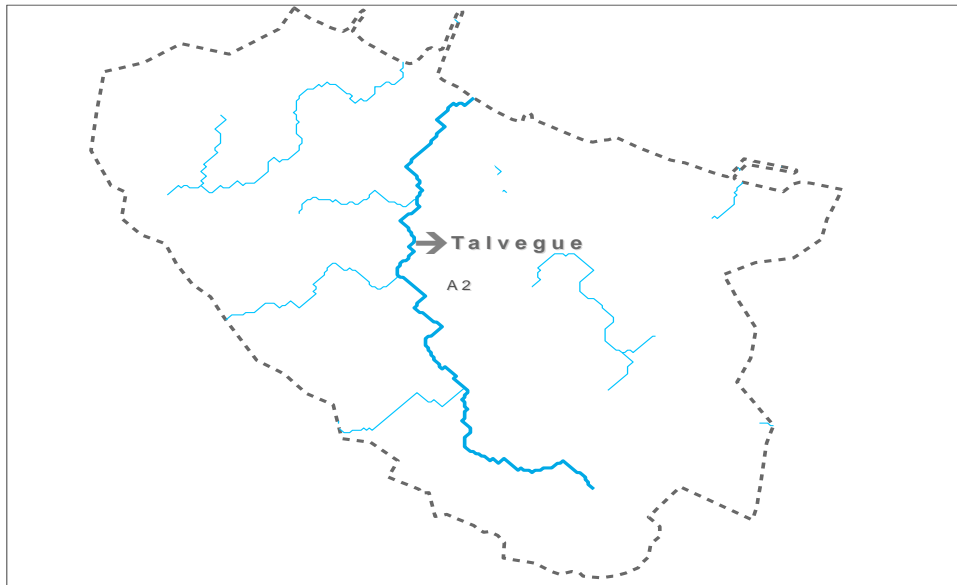
A hidrografia das bacias de Fortaleza foi gerada com o auxílio do *software* QGIS, a partir de dois Modelos Digitais de Elevação (MDE) – *Alos Palsar* de alta resolução corrigido, com uma densidade espacial de pixels de 12,5 m x 12,5 m da plataforma, *Earth data* da NASA. A priori foi realizada um preenchimento de falhas com a ferramenta, “preencher células NoData”. Em sequência, foi executada uma reprojeção do MDE para o sistema de coordenadas, Universal Transversa de Mercator (UTM), datum SIRGAS 2000 e zona 24S. Além disso, foi realizada uma correção dos valores negativos presentes no arquivo raster (MDE).

A identificação dos fusos ou zonas é de suma importância para a obtenção da elevação. Conforme Rosa e Brito (2013), no Brasil encontram-se os fusos de numeração de 18 a 25, com ordem crescente do Acre para o Oceano Atlântico. O autor ressalta também que o conhecimento acerca do fuso é fundamental para o correto posicionamento das coordenadas do sistema UTM.

Com o *software* QGIS na seleção de caixa de ferramentas (*toolboxes*), consultou-se o *Whitebox Tools*, um plugin presente no referido *software*. Assim, foi utilizada a ferramenta *hydrological Analysis*, em que através desta, selecionou-se, a priori, a função *BreachDepressions* para a correção de depressões e preenchimento de possíveis falhas no MDE selecionado. Esta etapa é importante para que se tenha resultados satisfatórios na obtenção da hidrografia das bacias. Em sequência, por intermédio das funções *D8Pointer* e *D8FlowAccumulation*, foram extraídas as direções do fluxo de água e o fluxo de água acumulado, respectivamente.

Por fim, a hidrografia foi gerada com o comando *ExtractStreams*. Assim, foi ajustado o tamanho da drenagem de modo que a hidrografia resultante estivesse compatível com a rede hidrográfica existente no município de Fortaleza. O talvegue foi obtido conforme o critério de maior extensão do curso de água, conforme indicado na Figura 11. Com a seleção deste parâmetro fisiográfico, foram extraídos os dados do comprimento do talvegue através da calculadora do QGIS.

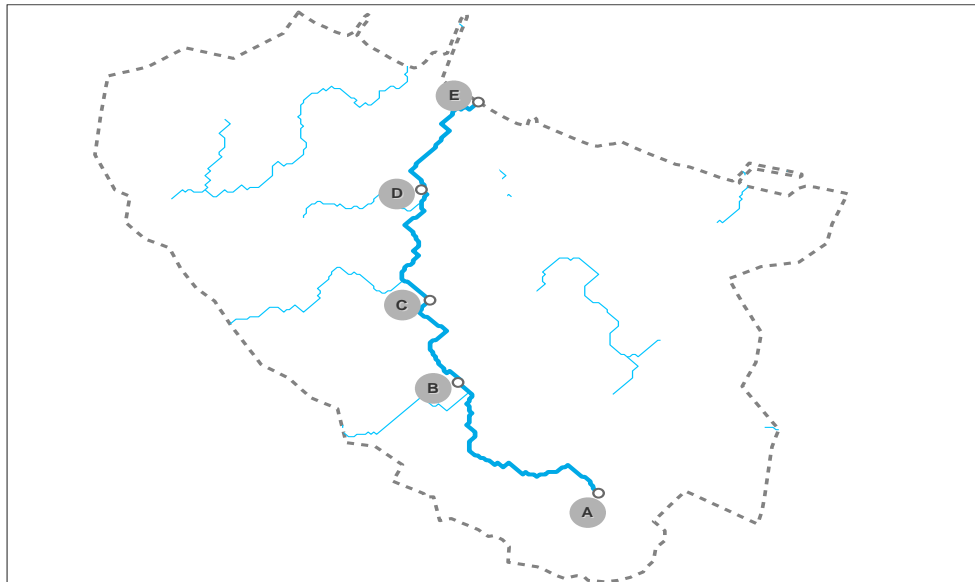
Figura 11 – Extensão do talvegue principal.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

A declividade do curso de água principal foi obtida através de valores de elevação do curso de água principal, em que, selecionaram-se cinco pontos representativos ao longo do curso de água de maior comprimento, conforme mostra a Figura 12.

Figura 12 – Metodologia para a extração de cotas altimétricas do curso de água.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

Com o *software* QGIS, foi utilizada a ferramenta *extrair vértices*, que possibilitou selecionar cinco pontos representativos ao longo do perfil longitudinal do curso de água

principal. Em sequência, por meio da função *amostrar valores do raster*, foram obtidos os valores elevação do MDE para os pontos selecionados. A distância entre os pontos foi gerada automaticamente. Com base nessa distância, calculou-se a declividade pelo Método da Média Harmônica ou Declividade Equivalente (S_3), conforme a Equação 12. Com esse método obtém-se a declividade de cada trecho ao longo da extensão do perfil longitudinal do curso de água principal e a média de cada um dos trechos (MOTTA, 2024).

$$S_3 = \left[\frac{\sum L_i}{\sum \left(\frac{L_i}{\sqrt{S_i}} \right)} \right]^2 \quad (12)$$

Em que,

S_3 = Declividade média harmônica, em m/m;

L_i = Distância de cada trecho do curso de água, em m; e

S_i = Declividade de cada trecho do curso de água, em m/m.

3.2.3 Estimativa do tempo de concentração

A partir dos dados fisiográficos gerados, foi obtida a estimativa do tempo de concentração segundo a aplicação de 10 equações empíricas descritas na Tabela 2. Através da mesma, é possível verificar as principais características físicas das bacias que deram origem às equações. Por último, foi avaliada a sensibilidade do cálculo do tempo de concentração, em relação à influência da área das bacias, do comprimento do talvegue e da declividade.

Tabela 2 – Características das equações empíricas para o Tempo de Concentração.

Equação	Parâmetros e unidades	Referências	Nº de bacias para o estudo	Características das bacias de origem	Tipo	Local
1 – Kirpich: $T_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H}\right)^{0,385}$	tc, em (min); L (comprimento do talvegue), em (m); e H (desnível), em (m).	Silveira (2005), Franco (2004), Queiroz e Alves (2020) e Porto et al, (2001).	7	Área > 0,45 km ² , declividade - S (%) variando entre 3 e 10 e comprimento do talvegue - L < 1,2 km.	Rural	Estados Unidos
2 - Ven Te Chow: $T_c = 0,8773 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0,64}$	tc, em (h); L (comprimento do talvegue), em (km); e So (a inclinação ou declividade da bacia), em (m/km).	Lança (2000)	20	Área variando entre 1 e 19 km ²	Rural	Estados Unidos
3 – Dooge: $T_c = 21,88 \cdot A^{0,41} \cdot S^{-0,17}$	tc, em (min); S, em (m/m); A, em (km ²).	Silveira (2005) e Franco (2004).	10	Área entre 140 e 930 km ² .	Rural	Irlanda
4 – Ventura: $T_c = 240 \cdot \sqrt{\frac{A \cdot L}{\Delta H}}$	tc, em (min); A, em (km ²); L, em (km); e ΔH (desnível – diferença de cota entre o ponto mais alto do talvegue e seu exutório), em (m).	Silveira (2005) e Assunção (2012).	-	Recomendada para bacias rurais médias e pequenas.	Rural	Itália
5 – Passini: $T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{S}}$	tc, em (h); A, em (km ²); L, em (km); e S, em (m).	Lo Bosco <i>et al.</i> (2002) e Greppi (2005).	-	Recomendada para pequenas bacias rurais com declividades menores.	Rural	Itália
6 – Giandotti: $T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5L}{0,8 \cdot \sqrt{H}}$	tc, em (h); A, em (km ²); L, em (km); e H é a altura média da bacia, em (m).	Grimaldi <i>et al.</i> (2012).	12	Área variando de 170 a 70.000 km ²	Rural	Itália
7 – Picking: $T_c = 0,0883 \cdot (L)^{0,667} \cdot (S)^{-0,333}$	tc, em (h); L, em (km); S, em (m/m).	Lança (2000).	-	-	-	-
8 – Temez: $T_c = 0,3 \cdot \left(\frac{L}{S^{0,25}}\right)^{0,76}$	tc, em (h); L, em (km); e S, em (m/m).	Sampaio <i>et al.</i> (2016).	-	Área até 3000 km ²	-	Espanha
9 – Kerby: $T_c = 37 \cdot \left(\frac{L \cdot a}{S}\right)^{0,47}$	tc, em (min); L, em km; a = coeficiente que varia conforme a rugosidade; e S, em (m/m).	McCuen <i>et al.</i> (1984), Wanielista (1997); Ferreira (2019).	-	Área inferior a 0,05 km ² e declividade – S até 1 %.	-	Estados Unidos
10 – Kirpich I: $T_c = 0,0196 \cdot \left(\frac{L^3}{\Delta H}\right)^{0,385}$	Tc, em (min); L, em (m); e ΔH, em (m)	Fernandes <i>et al.</i> (2017) e Dias <i>et al.</i> (2015)	-	Área superior a 1 km ²	-	-

Legenda: - sem dados para mostrar.

Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2023).

4 RESULTADOS

4.1 Tempo de Concentração para bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro

Os dados fisiográficos obtidos para as bacias do estado do Rio de Janeiro estão resumidos na Tabela 3. As bacias do estado do Rio de Janeiro possuem área de drenagem variando de 106,13 km² a 2059,03 km² e comprimento do talvegue principal com valores de 18,33 km a 145,24 km. Enquanto os valores mínimo e máximo da declividade dos cursos de água principais foram de 0,003% e 4,58%, respectivamente.

Tabela 3 – Dados físicos das bacias hidrográficas – RJ.

Bacias	Área (km ²)	Talvegue – L (Km)	Desnível - ΔH (m)	Declividade - S (%)
1 - Bacia do Córrego do Juvêncio	408,20	53,37	326,00	0,611
2 - Bacia da Lagoa do Campelo	1061,48	53,29	28,00	0,053
3 - Bacia do Rio Preto (RJ) 1	196,65	41,98	1014,00	2,415
4 - Bacia do Rio do Colégio	216,96	44,48	1388,00	3,120
5 - Bacia do Rio Negro (RJ)	1149,55	138,84	981,00	0,707
6 - Bacia do Córrego Santíssimo	131,77	34,45	859,00	2,494
7 - Bacia do Ribeirão São Domingos (RJ)	237,44	30,96	866,00	2,797
8 - Bacia do Rio Santo Antônio (RJ)	178,51	32,72	776,00	2,371
9 - Bacia do Córrego da Maricota	124,85	18,33	34,00	0,185
10 - Bacia do Canal Jurumirim	106,13	21,98	53,00	0,241
11 - Bacia do Rio das Ostras	152,38	21,59	28,00	0,130
12 - Bacia do Rio Dourado (RJ)	126,98	18,87	335,00	1,776
13 - Bacia do Rio da Aldeia Velha	120,73	30,20	894,00	2,960
14 - Bacia do Rio Capivari (RJ)	200,37	30,34	570,00	1,879
15 - Bacia da Laguna de Araruama	621,64	63,20	290,00	0,459
16 - Bacia do Rio Caceribu	795,21	65,35	211,00	0,323
17 - Bacia do Rio Guapiaçu	1263,26	63,60	1444,00	2,271
18 - Bacia Tinguá-Iguaçu	719,88	39,79	875,00	2,199
19 - Bacia do Rio dos Poços	190,39	32,46	1487,00	4,581
20 - Bacia do Rio Santana (RJ)	317,21	50,86	1224,00	2,407
21 - Bacia do Córrego da Onça (RJ)	409,36	50,22	170,00	0,339
22 - Bacia do Ribeirão das Areias	383,56	65,73	787,00	1,197
23 - Bacia do Rio Paquequer	758,55	70,01	1025,00	1,464
24 - Bacia do Rio Preto (RJ) 2	2059,03	106,71	1613,00	1,512
25 - Bacia do Rio Pirai (RJ)	1100,11	125,62	1017,00	0,810
26 - Bacia da Água Preta ou Rio Doce	250,53	57,21	2,00	0,003
27 - Bacia do Rio Pitangueiras	376,40	47,02	2,00	0,004
28 - Bacia da Lagoa Feia	319,17	40,09	9,00	0,022
29 - Bacia do Rio Macabu	1323,48	145,24	1332,00	0,917
30 - Bacia do Rio São Pedro (RJ)	446,58	42,52	1094,00	2,573
31 - Bacia do Rio Sana	108,07	22,30	987,00	4,426

Fonte: SOUSA *et al.* (2023).

Os valores do tempo de concentração para as bacias do estado do Rio de Janeiro encontram-se na Tabela 4. Conforme a mesma, os valores mínimos e máximos obtidos do tc, foram de 1,306 h (método de Dooge) na bacia do Rio Sana e 443,685h (método de Passini) na bacia da Água Preta ou Rio Doce, respectivamente.

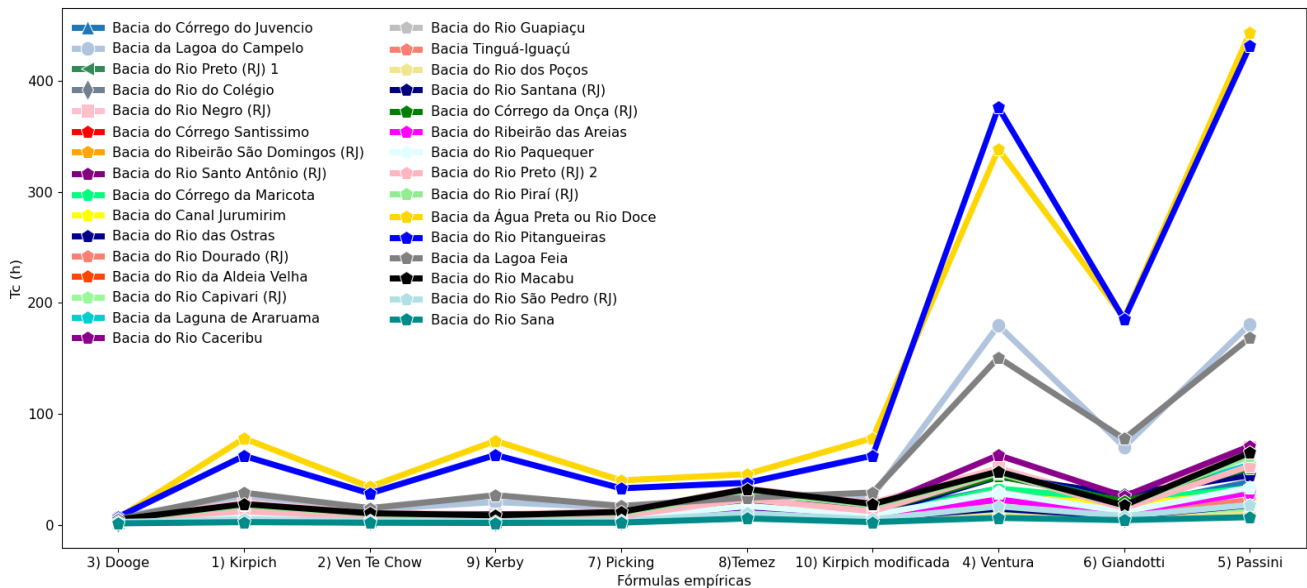
Tabela 4 – Tempo de concentração em horas para as bacias hidrográficas do estado do RJ.

Bacias	(1) Kirpich	(2) Ven Te Chow	(3) Dooge	(4) Ventura	(5) Passini	(6) Giandotti	(7) Picking	(8) Temez	(9) Kerby	(10) Kirpich I
1 - Bacia do Córrego do Juvêncio	10,119	6,268	3,153	32,698	38,592	15,750	6,844	16,238	6,468	10,151
2 - Bacia da Lagoa do Campelo	25,994	13,730	7,080	179,793	180,87 3	70,243	15,478	25,852	20,477	26,077
3 - Bacia do Rio Preto (RJ) 1	4,955	3,462	1,850	11,414	14,045	6,610	3,690	10,421	3,028	4,971
4 - Bacia do Rio do Colégio	4,694	3,310	1,844	10,548	13,017	5,962	3,522	10,372	2,759	4,709
5 - Bacia do Rio Negro (RJ)	19,977	11,031	4,703	51,021	69,694	19,409	12,338	32,666	9,468	20,041
6 - Bacia do Córrego Santíssimo	4,203	3,019	1,562	9,195	11,323	5,886	3,199	8,911	2,718	4,216
7- Bacia do Ribeirão São Domingos (RJ)	3,704	2,718	1,950	11,654	12,556	6,492	2,868	8,040	2,449	3,715
8 - Bacia do Rio Santo Antônio (RJ)	4,119	2,969	1,784	10,975	12,631	6,506	3,144	8,653	2,717	4,132
9 - Bacia do Córrego da Maricota	7,033	4,632	2,376	32,819	33,050	21,887	4,991	9,041	6,855	7,055
10 - Bacia do Canal Jurumirim	7,312	4,784	2,126	26,540	29,174	18,014	5,163	9,875	6,600	7,335
11 - Bacia do Rio das Ostras	9,155	5,767	2,740	43,359	44,604	27,315	6,271	10,957	8,758	9,184
12 - Bacia do Rio Dourado (RJ)	3,013	2,290	1,629	10,697	10,845	7,087	2,398	6,016	2,403	3,023
13 - Bacia do Rio da Aldeia Velha	3,555	2,627	1,463	8,078	9,661	5,277	2,768	7,805	2,358	3,567
14 - Bacia do Rio Capivari (RJ)	4,250	3,048	1,946	13,063	14,381	7,562	3,230	8,539	2,925	4,264
15 - Bacia da Laguna de Araruama	12,868	7,654	3,933	46,557	54,200	20,193	8,427	19,496	8,011	12,909
16 - Bacia do Rio Caceribu	15,118	8,750	4,619	62,774	70,927	25,657	9,688	21,379	9,600	15,166
17 - Bacia do Rio Guapiaçu	6,986	4,607	4,008	29,836	30,926	11,051	4,969	14,456	3,790	7,009
18 - Bacia Tinguá-Iguaçu	4,929	3,447	3,200	22,886	22,284	9,981	3,673	10,184	3,086	4,945
19 - Bacia do Rio dos Poços	3,177	2,393	1,638	8,154	9,259	4,762	2,511	7,588	1,986	3,187
20 - Bacia do Rio Santana (RJ)	5,751	3,919	2,252	14,522	17,591	7,454	4,198	12,064	3,320	5,770
21 - Bacia do Córrego da Onça (RJ)	12,121	7,282	3,490	43,988	50,852	21,186	8,000	17,345	8,296	12,159
22 - Bacia do Ribeirão das Areias	9,168	5,774	2,741	22,639	28,940	11,149	6,286	16,739	5,199	9,197
23 - Bacia do Rio Paquequer	8,908	5,637	3,504	28,792	33,550	11,881	6,131	16,904	4,873	8,936
24 - Bacia do Rio Preto (RJ) 2	12,171	7,307	5,248	46,684	53,005	15,034	8,035	23,144	5,852	12,210
25 - Bacia do Rio Piraí (RJ)	17,551	9,906	4,513	46,628	62,056	17,799	11,030	29,501	8,473	17,607
26 - Bacia da Água Preta ou Rio Doce	77,928	34,196	6,209	338,611	443,68 5	186,405	40,011	45,657	75,664	78,176
27 - Bacia do Rio Pitangueiras	62,129	28,326	7,096	376,271	431,53 0	185,164	32,884	37,895	62,922	62,327
28 - Bacia da Lagoa Feia	28,966	15,023	4,999	150,829	168,60 6	77,547	16,993	24,476	26,715	29,059
29 - Bacia do Rio Macabu	18,707	10,445	4,766	48,053	65,087	17,601	11,657	32,171	8,555	18,767
30 - Bacia do Rio São Pedro (RJ)	4,884	3,421	2,562	16,665	17,964	7,927	3,644	10,397	2,958	4,899
31 - Bacia do Rio Sana	2,411	1,903	1,306	6,250	6,883	4,222	1,978	5,743	1,692	2,419

Fonte: elaborada pela autora (2023).

Com base no gráfico da Figura 13, verifica-se uma alta variabilidade dos resultados do tempo de concentração para uma mesma bacia do estudo, assim como verificado no estudo desenvolvido por Sampaio *et al.* (2016), para bacias rurais do estado do Ceará. Ainda observando a Figura 13 e a Tabela 4, é possível avaliar que o t_c apresentou a maior variação observada para os métodos de Dooge (6,209h) e Passini (443,685h) para a bacia da Água Preta ou Rio Doce. Por outro lado, a menor variação encontrada foi na bacia do Rio Sana (31), de 1,306h a 6,88h, para os métodos de Dooge e Passini, respectivamente. Ressalta-se que esta bacia possui a segunda menor área e a maior declividade.

Figura 13 – Tempo de concentração para as bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro



Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2023).

Conforme a Tabela 5, tem-se a frequência com que os valores de t_c se encontram na distribuição do tempo de concentração em intervalos que variam entre valores inferiores a 5h e superiores a 400h. Diante disso, verifica-se que a maior frequência resultante foi para os tempos de concentração inferiores a 5h. No entanto, constataram-se valores elevados, superestimados do t_c , isto é, valores superiores a 400h. Salienta-se que os valores do tempo de concentração situados no intervalo entre 300 e 400 h, foram obtidos pelos métodos de Ventura e Passini.

Pramana e Harisuseno (2024), também obtiveram tempos de concentração elevados para as equações de Ventura (425,1 h) e Passini (237,09 h) aplicadas na sub-bacia Brantas Hilir localizada em Java Oriental, uma província da Indonésia. A referida bacia também é considerada como rural com área de 3,525 km² e talvegue de 92,12 km.

Tabela 5 – Distribuição do tempo de concentração para as bacias do estado do Rio de Janeiro.

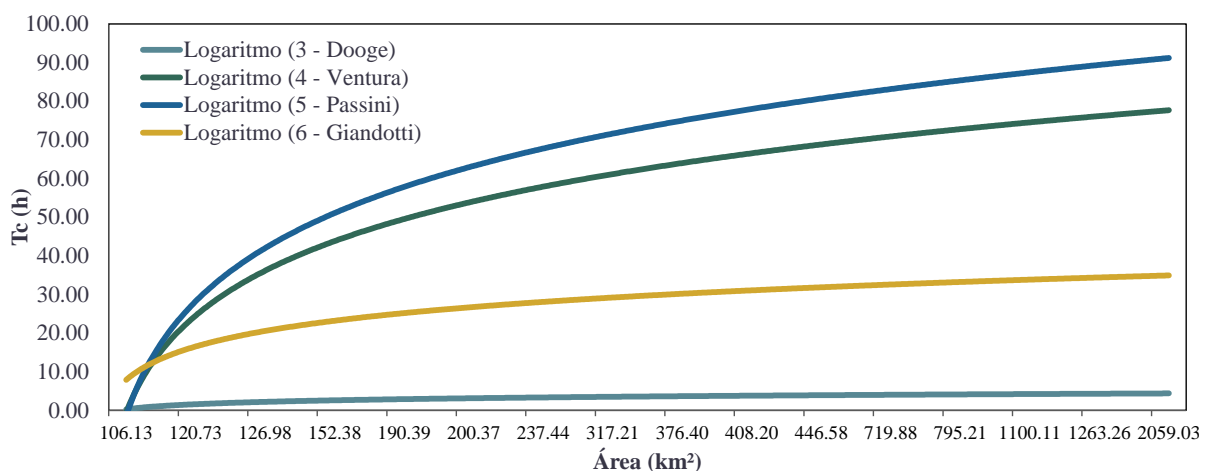
Intervalo	Frequência
$tc < 5h$	99
$5 h < tc < 10h$	76
$10 < tc < 20h$	62
$20h < tc < 50h$	46
$50 < tc < 100h$	17
$100h < tc < 200h$	6
$200 < tc < 300h$	0
$300 < tc < 400h$	2
$tc > 400h$	2
Total	310

Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2023).

4.1.1 Análise da influência da área de drenagem das bacias do estado do Rio de Janeiro

O gráfico da Figura 14 mostra a variação do tempo de concentração em relação à área de drenagem das bacias estudadas. As equações de Ventura, Passini, Giandotti e Dooge foram utilizadas, por considerarem a área como parâmetro. Ao observar a Figura 14, nota-se que os métodos de Ventura e Passini se aproximaram e divergiram significativamente dos demais modelos. Almeida *et al.* (2014) também verificaram essa aproximação na sub-bacia do Córrego Guariroba com área de drenagem de 361,940 km², localizada no estado do Mato Grosso do Sul, em que as equações de Passini e Ventura, superestimaram o tempo de concentração e aproximaram entre si, com valores de 43,657h e 43,052h, respectivamente.

Figura 14 – Tempo de concentração em relação à área, para bacias do RJ.



Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2023).

Segundo a Tabela 4, as equações de Dooge e Ventura apresentaram valores máximos do tempo de concentração na bacia do Rio Pitangueiras, com valores de 7,10h e 376,27h, respectivamente. Já as equações de Passini e Giandotti resultaram em tempos maiores na bacia da Água Preta ou Rio Doce, com valores de 443,69h e 186,41h, respectivamente.

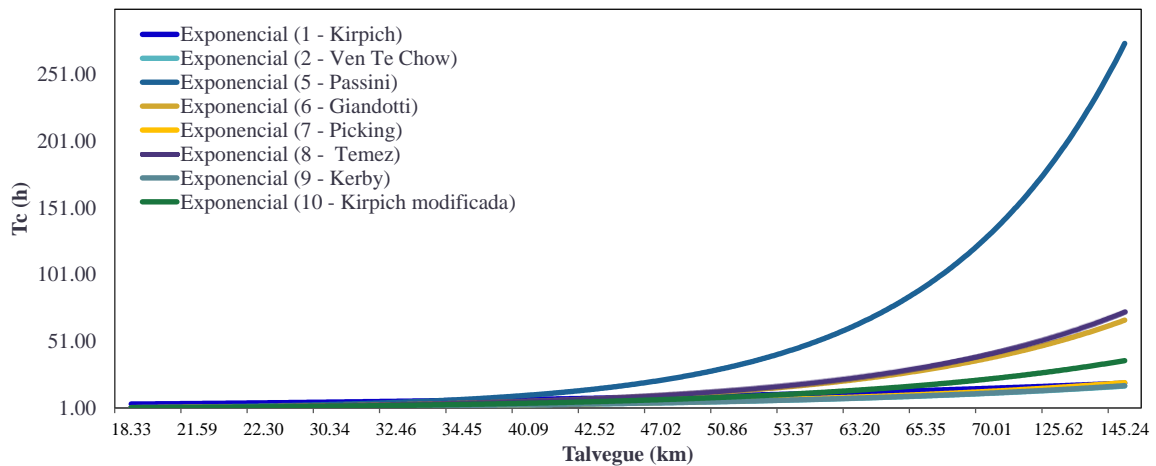
O método de Giandotti distanciou-se dos resultados dos demais métodos que consideram a área como parâmetro em suas equações. Já em relação à Dooge, os valores do tempo de concentração foram inferiores aos demais modelos, com variação de 1,31 a 7,10h. Surpreendentemente, a maior bacia do estudo não teve o maior tempo de concentração segundo as fórmulas utilizadas. Segundo Silveira (2005), essas fórmulas tendem a superestimar o tempo de concentração, independentemente do tamanho da área considerada.

A equação de Passini considera o talvegue e a declividade, enquanto a fórmula de Dooge considera a área e a declividade, exceto o comprimento do talvegue. As equações de Giandotti e Ventura utilizam o talvegue e o desnível como parâmetros. Os menores tempos de concentração foram encontrados na bacia do Rio Sana, que possui a segunda menor área, conforme a Tabela 3.

4.1.2 Análise da influência do comprimento do talvegue das bacias do estado do Rio de Janeiro

A Figura 15 mostra a análise da influência do tempo de concentração em relação ao comprimento do talvegue. Conforme o gráfico da Figura 15, quanto menor for o comprimento do talvegue, mais próximos serão os valores de tempo de concentração obtidos. Entre as equações utilizadas, Ven Te Chow, Kirpich, Picking, Kerby e Kirpich modificada apresentaram maior aproximação nos valores de tempo de concentração. A equação de Temez revelou valores próximos aos encontrados pelo método de Giandotti e tais equações empíricas divergiram ligeiramente dos demais modelos matemáticos. Por outro lado, Passini foi a equação que gerou maior variabilidade do tempo de concentração em relação aos demais métodos avaliados.

Figura 15 – Tempo de concentração em relação ao comprimento do talvegue, para bacias do RJ.



Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2023).

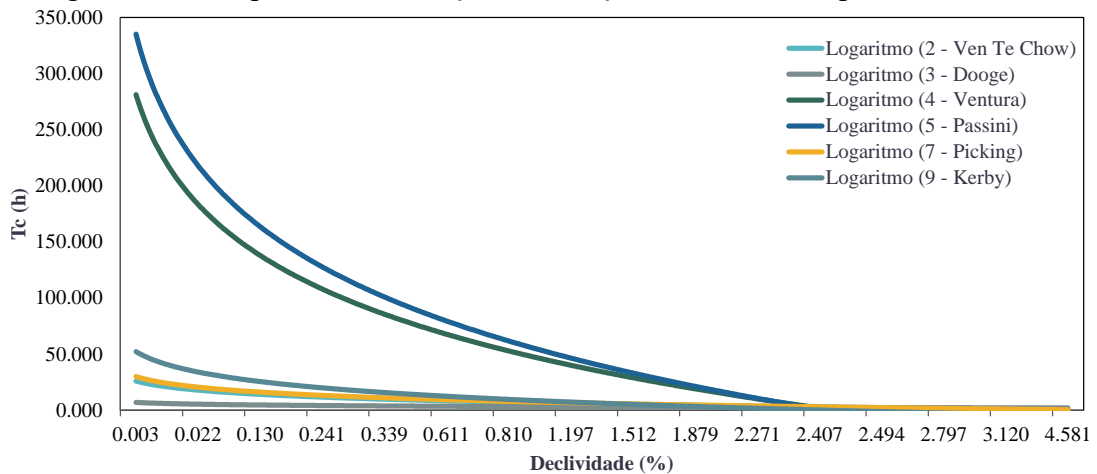
Ressalta-se que a maioria das equações considera a declividade como parâmetro, exceto Passini e Giandotti, que também consideram a área e a declividade. Passini apresentou maior sensibilidade aos parâmetros do que Giandotti. Avaliando as equações que possuem o comprimento do talvegue, verificou-se que os menores valores do tempo de concentração foram encontrados na bacia do Rio Sana que contém o quinto menor talvegue (20,30 km). Já os maiores tempos de concentração ocorreram na bacia da Água Preta ou Rio Doce, que possui o décimo maior talvegue (57,21 km).

4.1.3 Análise da influência da declividade do curso de água principal das bacias do estado do Rio de Janeiro

A sensibilidade das equações em relação à declividade foi analisada utilizando a metodologia de Sampaio *et al.* (2016). Os dados de declividade foram dispostos em ordem crescente no eixo x do gráfico da Figura 16, enquanto o tempo de concentração em horas foi representado em linhas de tendência em escala logarítmica. As equações consideradas foram Ven Te Chow, Passini, Ventura, Kerby, Dooge e Picking, que possuem a declividade como parâmetro.

No gráfico da Figura 16, as equações de Picking, Ven Te Chow e Dooge apresentaram tempos de concentração mais semelhantes entre si. Já as equações de Ventura e Passini mostraram maior distanciamento dos demais métodos e apresentaram proximidade entre si. A equação de Passini teve a maior variação nos resultados em relação às outras equações analisadas.

Figura 16 – Tempo de concentração em relação à declividade, para bacias do RJ.



Fonte: Adaptado de Sousa *et al.* (2023).

Ao analisar os valores de declividade das bacias do estudo, constatou-se que os menores tempos de concentração foram na bacia do Rio Sana, com a segunda maior declividade, de 4,426%. Os maiores tempos de concentração para as equações de Ven Te Chow, Passini, Picking e Kerby, foram encontrados na bacia da Água Preta ou Rio Doce, com declividade de 0,003%, a menor declividade encontrada. Para Dooge e Ventura, o maior tempo de concentração foi na bacia do Rio Pitangueiras, com a segunda menor declividade (0,004%). Ambas as bacias são caracterizadas como litorâneas, localizadas em cotas altimétricas próximas ao nível do mar.

4.2 Tempo de concentração para bacias hidrográficas do município de Fortaleza

Os dados fisiográficos obtidos a partir de ferramentas de geoprocessamento para as bacias do município de Fortaleza estão resumidos na Tabela 6. As bacias de Fortaleza apresentam área variando de 1,02 km² a 64,36 km² e comprimento do talvegue principal com valores mínimo e máximo de 1,20 km e 28,78 km, respectivamente. Enquanto os valores da declividade do curso de água principal foram inferiores a 1%.

Tabela 6 – Dados fisiográficos das bacias hidrográficas do município de Fortaleza, CE.

Bacias	Área (km ²)	Talvegue – L (Km)	Desnível - ΔH (m)	Declividade - S (%)
C1 - Bacia C1	6,57	4,88	17	0,162
C2 - Bacia C2	10,23	8,57	6	0,089
C3 - Bacia C3	24,51	15,70	7	0,046
C4 - Bacia C4	2,70	2,90	15	0,142
C5 - Bacia C5	2,02	1,20	12	0,314
C6 - Bacia C6	3,45	3,54	8	0,077
C7 - Bacia C7	1,02	1,27	4	0,249
C8 - Bacia C8	28,09	12,47	16	0,049
B5 - Bacia do Canal da Avenida Aguanambi	24,56	12,34	18	0,028
B2 - Bacia do Canal do Jardim América	64,36	28,78	23	0,020
D1 - Bacia D1	2,54	2,49	6	0,242
A1 - Bacia da Lagoa do Mel	4,20	1,82	15	0,208
B4 - Bacia da Lagoa do Opaia	8,02	6,88	7	0,055
A7 - Bacia da Lagoa do Papicu	7,25	2,72	9	0,156
B1 - Bacia da Lagoa do Porangabussu	20,92	11,82	12	0,017
B6 - Bacia do Riacho da Lagoa do Pal Mirim (Lagoa Azul)	36,53	6,48	18	0,116
A3 - Bacia do Riacho Jacarecanga	4,49	3,65	9	0,197
A5 - Bacia do Riacho Maceió (Riacho Lagoa do Papicu)	2,27	1,30	19	0,308
A4 - Bacia do Riacho Pajeú	1,16	1,59	10	0,384
A6 - Bacia do Riacho Papicu (Riacho Corrente)	9,16	4,91	11	0,060
A2 - Bacia do Riacho Sangradouro Lagoa do Mel	5,61	3,38	15	0,145
B3 - Bacia do Riacho Tauape	42,77	15,94	20	0,039

Fonte: elaborada pela autora (2024).

Os resultados do tempo de concentração alcançados a partir da aplicação das equações empíricas presentes na Tabela 2 para as vinte e duas bacias hidrográficas de Fortaleza, encontram-se na Tabela 7. Os valores mínimos e máximos obtidos do tc, conforme a Tabela 7, foram de 0,309 h e 92,95 h, respectivamente. Considerando esse valor máximo obtido por Passini como um *outlier*, em geral, o tempo de concentração para as bacias de Fortaleza concentrou-se no intervalo variando de 0,309 h (método de Dooge) a 52 h (método de Passini).

Esses valores foram próximos aos encontrados em bacias rurais do estado do Ceará com valores de área de 156 km² a 11210 km², em que Sampaio *et al.* (2016), obtiveram valores mínimos (0,49h) e máximos (65,49h), porém considerando as equações de Kerby e Picking, respectivamente. Já em um estudo realizado por Araújo *et al.* (2011), com 13 bacias urbanas de Fortaleza, ao aplicarem equações empíricas para bacias rurais, verificaram tempos de concentração em um intervalo menor que os encontrados no presente estudo, de 0,41h (equação

de Temez) a 18,6h (equação de Passini).

Ressalta-se, todavia, que no estudo de Araújo *et al.* (2011), a metodologia empregada para a aquisição de parâmetros fisiográficos foi diferente da utilizada no presente estudo, ou seja, sem a utilização de geotecnologias. Além disso, em bacias urbanas com menores áreas o tempo que a água percorre a bacia do ponto mais remoto até o exutório, é menor, e, dessa forma, com a aplicação de equações empíricas rurais para as vinte e duas bacias urbanas de Fortaleza, possivelmente, pode ter superestimado o tempo de concentração.

Tabela 7 – Tempo de concentração em horas para as bacias hidrográficas de Fortaleza, CE.

Bacias	(1) Kirpich	(2) Ven Te Chow	(3) Dooge	(4) Ventura	(5) Passini	(6) Giandotti	(7) Picking	(8) Temez	(9) Kerby	(10) Kirpich modificada
C1	1,991	2,074	0,727	5,495	8,528	7,535	2,160	3,393	3,922	1,998
C2	5,700	3,601	0,965	15,293	16,074	18,514	3,837	5,832	6,768	5,718
C3	10,806	6,544	1,544	29,659	36,551	28,967	7,151	10,465	12,249	10,840
C4	1,147	1,553	0,517	2,894	5,705	4,990	1,598	2,346	3,274	1,151
C5	0,453	0,685	0,400	1,801	2,591	3,822	0,681	1,033	1,488	0,454
C6	1,840	2,147	0,634	4,945	8,989	7,966	2,239	3,067	4,797	1,846
C7	0,736	0,765	0,315	2,280	2,362	5,260	0,764	1,126	1,704	0,739
C8	6,022	5,548	1,617	18,712	34,458	17,632	6,020	8,691	10,710	6,041
Canal da Avenida Aguanambi	5,689	6,571	1,680	16,415	43,209	15,974	7,179	9,574	13,797	5,708
Canal do Jardim América	13,766	12,537	2,636	35,898	92,952	27,744	14,073	19,382	23,934	13,809
D1	1,368	1,186	0,460	4,105	4,062	7,295	1,207	1,886	2,369	1,372
Lagoa do Mel	0,669	1,018	0,580	2,857	4,661	4,989	1,029	1,529	2,191	0,671
Lagoa do Opaia	4,166	3,640	0,947	11,233	17,464	14,465	3,881	5,399	7,628	4,179
Lagoa do Papicu	1,296	1,446	0,762	5,924	7,401	8,754	1,483	2,194	3,038	1,300
Lagoa do Porangabussu	6,327	7,515	1,715	18,160	51,999	18,386	8,255	10,200	17,149	6,347
Riacho da Lagoa do pal mirim	2,703	2,766	1,555	14,506	19,613	14,123	2,916	4,484	5,241	2,711
Riacho Jacarecanga	1,818	1,618	0,602	5,399	6,188	8,221	1,668	2,622	3,123	1,824
Riacho Maceió	0,414	0,724	0,422	1,577	2,790	3,236	0,721	1,098	1,556	0,415
Riacho Pajeú	0,670	0,768	0,309	1,722	2,140	3,747	0,767	1,229	1,544	0,672
Riacho Papicu	2,369	2,853	0,985	8,083	15,620	10,373	3,010	4,108	6,250	2,376
Riacho Sangradouro	1,369	1,698	0,694	4,500	7,557	6,641	1,754	2,622	3,475	1,373
Lagoa do Mel RiachoTauape	7,339	6,973	1,996	23,352	48,103	19,790	7,638	10,929	13,350	1,229

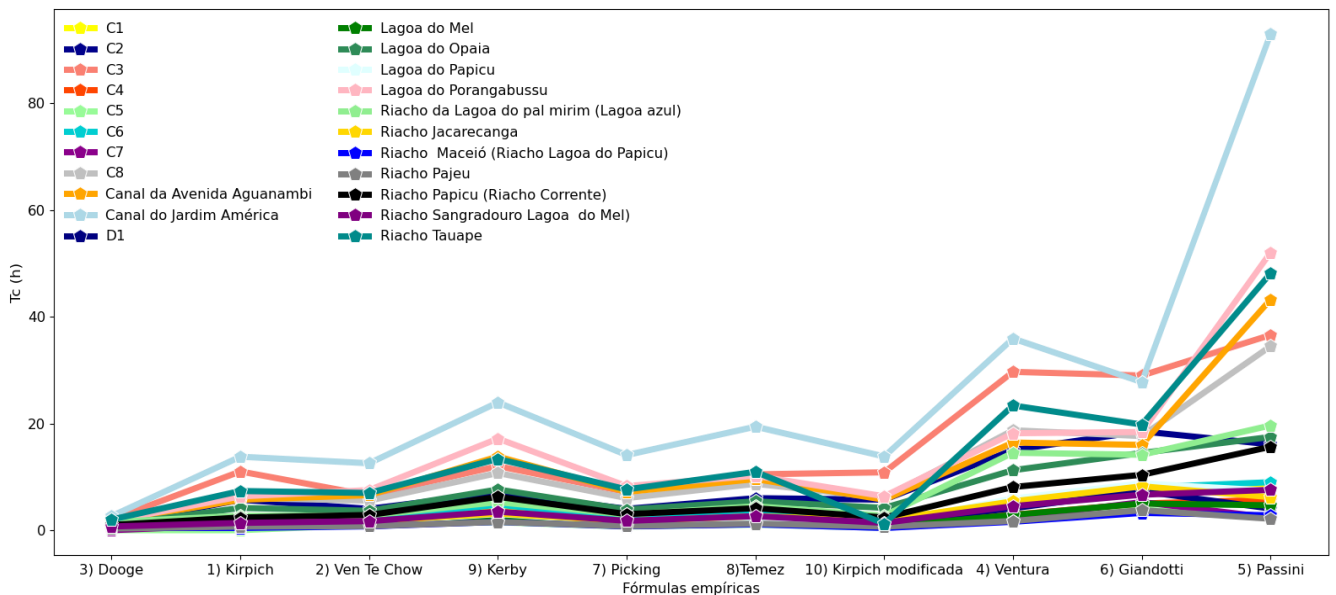
Fonte: elaborada pela autora (2024).

Analisando graficamente os dados dispostos na Tabela 7, verifica-se a partir da Figura 17, uma alta variação do tempo de concentração para os métodos em análise, especialmente o método de Passini. Do mesmo modo, como observado nas bacias do estado do Rio de Janeiro, constatou-se uma elevada variabilidade do tc para uma mesma bacia.

A maior variação observada para uma mesma bacia foi para os métodos de Dooge (2,636h) e Passini (92,952 h) considerando-se a bacia do Canal do Jardim América. Por outro lado, verificou-se que, a menor variação encontrada, de 0,415h a 3,236h, ocorreu na bacia do Riacho Maceió (Riacho da Lagoa do Papicu), para os métodos de Kirpich modificada e Giandotti, respectivamente.

Em um estudo realizado por Maia *et al.* (2019) para a bacia do Corrêgo do Fundo, em Minas Gerais, foi verificado menor valor do tempo de concentração para a equação de Giandotti, considerando uma área de drenagem de 17,80 km². Almeida *et al.* (2014), também verificaram que o método de Giandotti apresentou melhor desempenho quando comparado o valor encontrado do tc pelo Método do Hidrograma para a bacia do Córrego Guariroba. Por outro lado, considerando áreas de drenagem maiores, ou seja, superior a 100 km², como as observadas no estado do Rio de Janeiro, a referida equação superestimou o valor do tempo de concentração.

Figura 17 - Tempo de concentração para as bacias hidrográficas de Fortaleza.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

A bacia do Riacho Maceió possui uma área e comprimento do talvegue menores, de 2,27 km² e 1,30 km, respectivamente. Essa bacia ainda apresenta a terceira maior declividade (0,308%). Ressalta-se que essas características foram semelhantes as que foram encontradas na

bacia do Rio Sana do estado do Rio de Janeiro. Em vista disso, constata-se que as equações empíricas conseguem gerar resultados satisfatórios com menor variabilidade dos valores do t_c , para bacias que possuem maior declividade do curso de água principal, e menores área e comprimento do talvegue.

Por outro lado, a maior diferença obtida dos valores do tempo de concentração foi observada em bacias com menores declividades, e área e talvegue com valores intermediários. Essas características foram identificadas na bacia do Canal do Jardim América, que possui área e talvegue maiores, e um percentual de declividade menor. Similarmente, tem-se a bacia da Água Preta ou Rio Doce do estado do Rio de Janeiro, com área e talvegues com valores intermediários e apresentando a menor declividade (0,003%) dentre as bacias do referido estado.

Conforme Targa *et al.* (2023), explicam que o tempo de concentração aumenta quando ocorre diminuição da declividade equivalente, aumento da área e comprimento do talvegue. Tal comportamento também foi identificado em uma bacia do estudo de Mamédio, Castro e Corseiul (2018), onde realizaram o cálculo do tempo de concentração para três bacias rurais utilizando o método hidrológico e através de equações empíricas. Os resultados alcançados pelos referidos autores revelaram que, para a bacia de Taboão com maior área e comprimento do talvegue, e com a menor declividade entre as três bacias analisadas, foi a que apresentou maior variação, com tempos mínimo e máximo de 4,16h e 31,46h, respectivamente. Diante disso, verifica-se que tal comportamento independe do tipo de bacia, seja urbana ou rural.

Consoante a Tabela 8, é possível observar que os valores do tempo de concentração tiveram frequências que variaram no intervalo de tempo, inferior a 5h a valores entre 40h e 80h. Ainda analisando a Tabela 8, constata-se que os valores do tempo de concentração, na maioria, apresentaram a maior frequência no intervalo de tempo inferior a 5h. No entanto, dentre os 220 valores do t_c provenientes das vinte e duas bacias hidrográfica analisadas, verificou-se a presença de um valor extremo para o tempo de concentração, situado no intervalo superior a 90h.

Tabela 8 – Distribuição do tempo de concentração para bacias hidrográficas de Fortaleza.

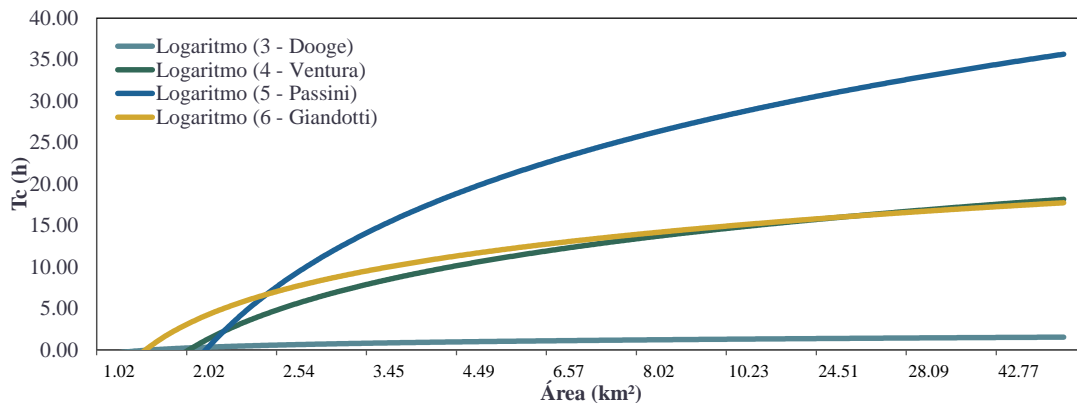
Intervalo	Frequência
$t_c < 5h$	131
$5 h < t_c < 10h$	44
$10 < t_c < 20h$	33
$20h < t_c < 40h$	8
$40 < t_c < 80h$	3
$80 < t_c < 90 h$	0
$t_c > 90h$	1
Total	220

Fonte: elaborada pela autora (2024).

4.2.1 Análise da influência da área de drenagem das bacias de Fortaleza (CE)

O gráfico da Figura 18 revela a variação do tempo de concentração em relação à área de drenagem das bacias do município de Fortaleza. A análise da sensibilidade das equações empíricas em relação à área teve como critério a seleção de equações que possuem tal parâmetro em comum. Conforme a Figura 18, observa-se que, com o aumento da área de drenagem, o tempo de concentração possui a tendência de aumentar e quanto menor a área, mais próximos se encontram os valores dessa variável hidrológica.

Figura 18 – Tempo de concentração em relação à área, para bacias de Fortaleza.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

Com exceção do método de Giandotti, as equações empíricas de Dooge, Ventura e Passini apresentaram maiores tempos de concentração para a maior bacia do município de Fortaleza, a bacia do Canal do Jardim América, com valores de 2,64h, 35,90h e 92,95h, respectivamente. Desse modo, o maior tempo de concentração foi alcançado na maior área de drenagem por meio da equação de Passini. Destaca-se que a referida equação resultou em maiores valores de t_c para as bacias do estado do Rio de Janeiro. Em vista disso, nota-se a

tendência que esse método possui de superestimar os resultados do tempo de concentração.

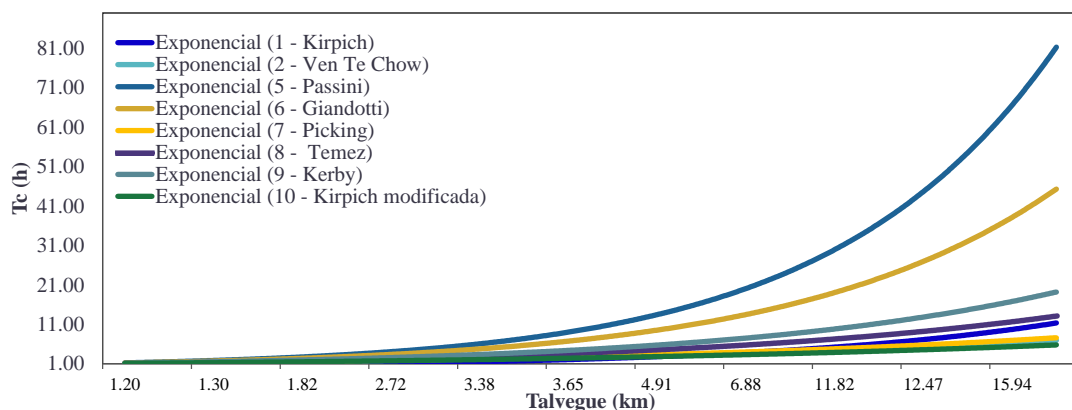
Contudo, a equação de Passini foi projetada levando-se em conta o talvegue e a declividade. Dessa forma, a sensibilidade destes parâmetros, possivelmente, pode ter influenciado nos resultados do tempo de concentração da bacia do Canal do Jardim América que possui a segunda menor declividade. Tal observação foi identificada em um estudo realizado por Araújo *et al.* (2011) em bacias urbanas de Fortaleza, onde constataram que bacias com áreas grandes e declividades baixas, os valores do tempo de concentração determinados através dos métodos de Ventura e Passini demonstram divergências consideráveis em relação aos demais métodos empíricos utilizados no referido estudo.

Por outro lado, por meio da equação de Dooge foi encontrado o menor tempo de concentração (0,315h) na bacia C7 que possui a menor área dentre as bacias em análise, conforme a Tabela 5. Ventura e Giandotti obtiveram menores tempos em relação à área de drenagem da bacia do Riacho Maceió (Riacho da Lagoa do Papicu), com valores de 1,58h e 3,24h, respectivamente. Enquanto Passini resultou no menor t_c (2,14h) para a bacia do Riacho Pajeú, que contém a segunda menor área.

4.2.2 Análise da influência do comprimento do talvegue das bacias de Fortaleza (CE)

A Figura 19 exibe a influência do comprimento do talvegue no resultado do tempo de concentração para as bacias de Fortaleza. Conforme a Figura 19, nota-se o mesmo comportamento obtido para as bacias do estado do Rio de Janeiro, ou seja, para menores talvegues, os valores do tempo de concentração encontram-se mais próximos independentemente do método empírico.

Figura 19 – Tempo de concentração em relação ao comprimento do talvegue, para bacias de Fortaleza.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

As equações de Passini e Giandotti divergiram dos demais modelos conforme o aumento do comprimento do talvegue, especialmente Passini que resultou em valores superiores do t_c em relação aos demais métodos. Enquanto as equações de Ven Te Chow, Kirpich, Picking, Kerby, Temez e Kirpich modificada apresentaram maior aproximação nos valores de tempo de concentração mesmo com o crescimento do talvegue.

Além do comprimento do talvegue, Passini e Giandotti são métodos projetados com dados da área de drenagem e declividade, enquanto as demais equações consideram apenas declividade e talvegue. Entretanto, conforme mostrado na Figura 14 para as bacias hidrográficas do Rio de Janeiro, é notório que a equação de Passini apresentou maior sensibilidade aos parâmetros fisiográficos do que Giandotti.

Dentre as equações avaliadas nesta seção, conforme a Tabela 5, verificou-se que os maiores tempos de concentração foram registrados na bacia do Canal do Jardim América que possui maior área (64,36 km²) e comprimento do talvegue (28,78 km), exceto para a equação de Giandotti, a qual teve maior tempo na bacia C3 que contém o terceiro maior talvegue.

Ao analisar os menores tempos, identificou-se uma alta variabilidade entre as equações empíricas. Kerby, Ven Te Chow, Picking e Temez alcançaram valores inferiores do t_c na bacia C5 que possui menor talvegue (1,20 km). Enquanto Kirpich, Giandotti e Kirpich modificada tiveram menores tempos na bacia que apresenta o terceiro menor talvegue (bacia do Riacho Maceió - Riacho Lagoa do Papicu) e apenas Passini divergiu de todos, com o menor tempo em uma bacia com o quarto menor talvegue.

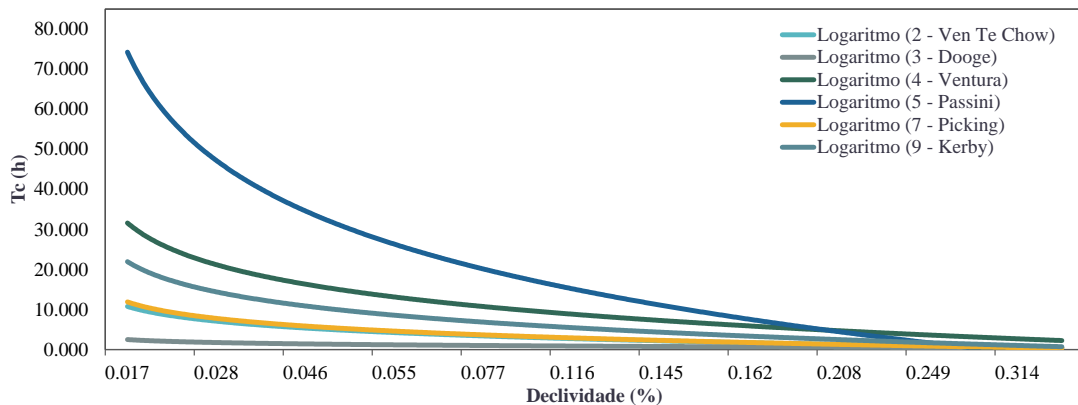
Esses resultados, quando comparados como os que foram encontrados para as bacias do Rio de Janeiro, percebe-se que para bacias maiores (macro drenagem) assim como as localizadas no referido estado, as equações empíricas se comportaram distintamente em algumas circunstâncias. O t_c máximo e mínimo não foram obtidos em bacias com o maior e menor talvegue, respectivamente.

Enquanto o tempo de concentração em relação a este parâmetro fisiográfico, seus números foram coerentes para as bacias de Fortaleza, que possuem área e comprimento do talvegue menores em relação as do estado do Rio de Janeiro. Mesmo com a variabilidade encontrada em tempos de concentração menores, estes foram encontrados em unidades de planejamento de recursos hídricos com talvegues até 1,59 km. Já para os valores superiores de t_c , a maioria das equações forneceu resultados satisfatórios, isto é, foram obtidos no maior talvegue.

4.2.3 Análise da influência da declividade do curso de água principal das bacias de Fortaleza (CE)

Em relação à declividade, os maiores tempos de concentração para todos os métodos empíricos foram encontrados na bacia do Canal do Jardim América, que possui a segunda menor declividade. Ven Te Chow, Picking e Kerby tiveram menores valores de tempo na bacia C5, a qual contém a segunda maior declividade. Já para Dooge e Passini os menores tempos foram encontrados na bacia do Pajeú, que compreende a maior declividade do curso de água. Enquanto Ventura demonstrou menor tempo na bacia do Riacho Maceió, com valor de 1,577h. Conforme a Figura 20, a equação de Passini foi a que apresentou maior distanciamento em relação aos demais modelos analisados.

Figura 20 – Tempo de concentração em relação à declividade para bacias de Fortaleza.



Fonte: elaborado pela autora (2024).

A partir destes resultados, percebe-se que, para maiores declividades, os menores tempos de concentração tiveram maior variabilidade. Isto é, apenas os modelos de Dooge e Passini resultaram no menor tempo na bacia com maior declividade do estudo. O oposto ocorreu para as bacias do estado do Rio de Janeiro, que apresentaram baixa variabilidade dos métodos quanto aos valores superiores e inferiores de t_c em menores e maiores declividades, respectivamente.

Ainda considerando o estado do Rio de Janeiro, as equações apresentaram desempenho satisfatório quanto à tendência do tempo de concentração reduzir conforme aumenta-se a declividade. Ressalta-se que as bacias desta área de estudo possuem declividades pequenas até maiores que 4%, portanto, apresentam declives maiores quando comparadas às bacias de Fortaleza, que compreende menores declividades, com valores de 0,017% a 0,314%.

5 CONCLUSÃO

O presente estudo estimou o tempo de concentração de bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro e do município de Fortaleza a partir de equações empíricas. Além disso, avaliou a sensibilidade dos parâmetros fisiográficos das bacias no resultado dessa variável hidrológica. Diante da metodologia realizada para a obtenção dos dados fisiográficos das bacias para o cálculo do tempo de concentração, foi possível verificar semelhanças e diferenças do t_c para os locais investigados.

As bacias hidrográficas do Rio de Janeiro possuem áreas e comprimentos dos talwegues maiores, comparados aos encontrados nas bacias de Fortaleza. Enquanto o declive do perfil longitudinal do curso de água principal para Fortaleza foram valores baixos, não alcançando 1% de declividade. Já o estado do Rio de Janeiro também apresentou menores declividades, porém teve 45,16% dos valores da declividade do curso de água principal superiores a 1%. Todavia, ressalta-se a diferença do método de aquisição desse parâmetro geomorfológico, o que pode ter influenciado nos valores de declividade.

Ao analisar os parâmetros fisiográficos individualmente, verificou-se que as outras variáveis consideradas pelas equações empíricas também influenciaram no cálculo do tempo de concentração, assim como a sensibilidade deste em relação à declividade, com a influência da área e/ou comprimento do talvegue em algumas equações. A equação de Passini resultou em valores superestimados do tempo de concentração para os três parâmetros fisiográficos e em ambos locais investigados. Já a equação de Ventura, recomendada para bacias rurais médias e pequenas, ao ser aplicada em bacias grandes do Rio de Janeiro, gerou valores superestimados do t_c próximos ao método de Passini, ao verificar a influência da área e declividade.

Por outro lado, a equação de Dooge, para todas as bacias desta pesquisa, apresentou menores tempos em comparação aos demais métodos avaliados. Quando se estudou o declive do talvegue das bacias de Fortaleza, verificou-se maior variabilidade do t_c para declividades maiores. Enquanto para as do estado do Rio de Janeiro, ocorreu ligeira variação para os métodos de Dooge e Ventura, em declives menores.

Em geral, ao comparar o tempo de concentração dos locais do presente estudo, constatou-se que para Fortaleza que dispõe de bacias hidrográficas urbanas e menores, os valores do tempo de concentração foram inferiores aos que os que foram obtidos para as bacias de macrodrenagem do estado do Rio de Janeiro. Portanto, o escoamento superficial nessas bacias menores irá ocorrer em um intervalo de tempo reduzido. Destaca-se que para atestar a vulnerabilidade destas quanto à propensão a episódios de inundações é necessário a investigação de outros parâmetros morfométricos como o fator de forma das bacias, uso e

ocupação do solo, entre outros.

Ressalta-se que, a sensibilidade das equações empíricas está relacionada às suas condições prévias de elaboração, como o local onde foram projetadas, o que afeta os resultados alcançados. Dessa forma, a análise realizada neste estudo é fundamental para uma escolha mais assertiva da equação empírica, isto é, aquela que melhor se adeque as características de bacias hidrográficas que necessitam obter informações sobre o comportamento de seu escoamento superficial.

Por fim, a análise desses tempos de concentração em bacias possibilita uma melhor compreensão acerca do comportamento hidrológico em unidades de planejamento de recursos hídricos, além de sua aplicação no dimensionamento de obras hidráulicas. Portanto, é uma variável importante para a prevenção de eventos extremos associados à intervenção humana e mudanças climáticas, como inundações e alagamentos.

Para trabalhos futuros sugere a comparação da extração dos parâmetros fisiográficos a partir de diferentes modelos digitais de elevação com diferentes resoluções espaciais, e a influência destas no resultado da estimativa do tempo de concentração. Sugere também o comparativo entre o tempo de concentração obtido pelo método do hidrograma e segundo as equações empíricas.

REFERÊNCIAS

- ALAM, A.; AHMED, B.; SAMMONDS, P.. Flash flood susceptibility assessment using the parameters of drainage basin morphometry in SE Bangladesh. **Quaternary International**, v. 575, p. 295-307, 2021.
- ALMEIDA, I. K. et al. Estimation on time of concentration of overland flow in watersheds: a review. **Geosciences**, v. 33, n. 4, p. 661-671, 2014.
- AIMEIDA, I.K., *et al.* Performance of methods for estimating the time of concentration in a watershed of a tropical region. **Hydrological Sciences Journal**, p.2406-2414, 2017.
- ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Catálogo de Metadados da ANA: Base Hidrográfica Ottocodificada 1:250.000 (BHO250), 2018. Disponível em: <<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/0f57c8a0-6a0f-4283-8ce3-114ba904b9fe>> Acesso em: 10 de Fev. de 2023.
- ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Dados abertos da ANA: Vulnerabilidade a inundações - Trechos de Curso Dágua Inundáveis. Disponível em: <https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/62a3924c1da34f73bf5b7132677213ea_0/about> Acesso em: 5 de Jun. de 2024.
- ARAÚJO, B.A.M, *et al.* (2011). Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, In: **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió – Alagoas, pp. 1 – 18, 2011.
- ASSUNÇÃO, V. R.A. Proposta de Metodologia de Cálculo para Reservatórios de Detenção em Bacias Hidrográficas Urbanizadas. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2012, 170p.
- AZEVEDO, M.A. Integrando água e planejamento urbano—um estudo sobre intervenções mitigadoras de enchentes na Grande Tijuca. Trabalho de conclusão de curso (monografia), Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2015, 132p.
- BHATT, S.; AHMED, S. A. Morphometric analysis to determine floods in the Upper Krishna basin using Cartosat DEM. **Geocarto International**, v. 29, n. 8, p. 878-894, 2014.
- BRAGA, B. B. *et al.* Análise das características fisiográficas e do tempo de concentração da bacia do Carão, Ceará. 2017.
- CARVALHO, A. T. F.. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. Caderno Prudentino de Geografia, v. 1, n. 42, p. 140-161, 2020.
- CEARÁ. Assembleia Legislativa. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Caderno das bacias hidrográficas metropolitanas: informações sobre saneamento básico. Fortaleza: INESP, 2020.
- CEARÁ. Prefeitura Municipal de Fortaleza. Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas do município de Fortaleza, p. 232, 2015.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. 1ª edição. Porto Alegre: **Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH)**, 2013. v. 1. 336p.

COLLISCHONN, W.. Simulação hidrológica de grandes bacias. 2001.

DE ALMEIDA, L. Q.; DE CARVALHO, P. F.. Riscos naturais e sítio urbano-inundações na bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, Região Metropolitana de Fortaleza, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 11, n. 2, 2010.

DE MOURA, M. S. B.; SOBRINHO, J. E.; DA SILVA, T. G. F.. Aspectos meteorológico do semiárido brasileiro. 2019.

DIAS, R. H. S. *et al.* Influência do uso e ocupação do solo no escoamento superficial na cidade de Ji-Paraná-RO, Amazônia Ocidental. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 5, p. 1493-1508, 2015.

DIAS, A. A. *et al.* Caracterização ambiental e análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Itaueira, Piauí, Brasil. **GEOSABERES: Revista de Estudos Geoeeducacionais**, v. 11, n. 1, p. 265-276, 2020.

DURANT, P. C. *et al.* Tempo De Concentração Em Uma Bacia Hidrográfica Experimental Parcialmente Urbanizada. **Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos-SBRH, Santa Catarina**, 2017.

FERGUSON, B.. Infiltração de águas pluviais. **Imprensa CRC**, 2017.

FERNANDES, A. P.. Geoprocessamento aplicado à espacialização de indicadores do serviço de abastecimento de água nas macrorregiões do estado do Ceará. Trabalho de conclusão de curso (monografia), Universidade Federal do Ceará, Crateús, p.51, 2022.

FERNANDES, R.O. *et al.* (2017). Análise de Sensibilidade em Hidrogramas de Cheias Máximas Obtidos pelo Método do SCS em uma Bacia Urbana. **Associação Brasileira de Águas Subterrâneas: ABAS**, pp. 243-254.

FERREIRA, P.F. (2019). Tempo de Concentração e Parâmetros da Metodologia da Curva Número: Uma Avaliação para Bacias. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Maria, 2019, 189p.

FITZ, P. R.. **Geoprocessamento sem complicação**. Oficina de textos, 2018.

FRANÇA, L. M. *et al.* Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2377-2391, 2019.

FRANCO, E. J. (2004). Dimensionamento de Bacias de Detenção das Águas Pluviais com base no Método Racional. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, 2004, 155p.

FREITAS, C. L. de *et al.* Análise de sistema de distribuição de água real no sul de Minas Gerais com o uso de sistema de informação geográfica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 31-39, 2022.

GIORDANI, L. C.. Dimensionamento de reservatório de detenção para controle de enchentes em Fortaleza/CE. Trabalho de conclusão de curso (monografia), Universidade Federal do Ceará, 2016.

GIRÃO, R. *et al.* Mapa Geomorfológico do Estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.15, n.01, p.153-174, 2022.

GREPPI, M. *Idrologia*. 4ª ed. (Reimpressão). Milano: Ed. Ulrico Hoepli, 2005. 371p.

GRIMALDI, S. *et al.* Time of concentration: a paradox in modern hydrology. **Hydrological Sciences Journal**, v. 57, n. 2, p. 217-228, 2012.

GOMES, M. N. J.. Aspectos hidrológicos-hidráulicos e avaliação da eficiência de biorretenções: modelos, princípios e critérios de projeto de técnicas compensatórias de 3ª geração. 2023. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo.

HASHEMI, G. Z. *et al.* The Impact of Pavement Permeability on Time of Concentration in a Small Urban Watershed with a Semi-Arid Climate. *Water Resour Manage*, p. 2969–2988 (2020).

HUTAPEA, S. *et al.* Biophysical Characteristics of Deli River Watershed to Know Potential Flooding in Medan City, Indonesia. **Journal of Rangeland Science**, v. 10, n. 3, p. 316-327, 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico: Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rj.html>> Acesso em: 25 de Jan. de 2024.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e estados. Censo Demográfico: Fortaleza, 2022. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/fortaleza.html>> Acesso em: 25 de Jan. de 2024.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências: informações ambientais - Climatologia, 2002. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/climatologia/15817-clima.html>> Acesso em: 20 de Jan. de 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências: informações ambientais - solo, 2006. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/15829-solos.html>> Acesso em: 20 de Jan. de 2023.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências: informações ambientais – Bacia e Divisões Hidrográficas do Brasil, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html>> Acesso em: 25 de Jan. de 2023.

INCRA, Instituto Nacional de Reforma Agrária. 2006. Manual de obtenção de terras e perícia judicial, p. (29)., 2006.

INEA, Instituto Estadual do Meio Ambiente. Boletim Águas e Território. Diretoria de Gestão das Águas e do Território (Digat), nº 10 de janeiro de 2015.

IPECE, Perfil Municipal. Fortaleza, 2017. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do

Ceará. Disponível em: < https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Fortaleza_2017.pdf> Acesso em: Out. de 2023.

KUMAR, A.; SAMUEL, S. K.; VYAS, V.. Morphometric analysis of six sub-watersheds in the central zone of Narmada River. **Arabian Journal of Geosciences**, v. 8, p. 5685-5712, 2015.

LANÇA, R. M. M.. **Contribuição para o estudo de cheias recorrendo a um modelo distribuído**. Universidade de Evora (Portugal), 2000.

LIMA, M. A. S.; LIRA, M. A. T.. A variabilidade climática e os desastres naturais no Estado do Ceará (1991-2019). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 36, p. 603-614, 2021.

LIMA, W. P.. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Acesso em: 20 Out. 2023.

LO BOSCO, D., LEONARDI, G., SCOPELLITI, F. II dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale. Italy: Facoltà di Ingegneria, Università Degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.

MAIA, J.C.P.. Tempo de concentração em três bacias hidrográficas de Uberlândia, Minas Gerais 2019. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MAIA, J. C. P. *et al.* Avaliação do tempo de concentração em uma pequena bacia hidrográfica do cerrado de Minas Gerais. **Revista Augustus**, v. 24, n. 49, p. 12-23, 2019.

MAMÉDIO, F.M.P., CASTRO, N.M.R., CORSEUIL, C.W. (2018). Tempo de concentração para Bacias Rurais Monitoradas na Região do Planalto Basáltico no Sul do Brasil. **Revista de Gestión del Agua de América Latina: REGA**, Porto Alegre, vol. 15, pp.1-17.

MARTINS, A. M. *et al.* Análise de não homogeneidades de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, PB, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06, p. 2896-2907, 2020.

MARTINS, F.J.P.. **Dimensionamento hidrológico e hidráulico de passagens inferiores rodoviárias para águas pluviais**. Instituto Politecnico de Viseu (Portugal), 2000.

MCCUEN, R.H.; WONG S.L.; RAWLS, W.J.(1984). Estimating urban time of concentration. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.110, n.7, pp.887 – 904.

MELLO, C.R. de; VIOLA, M. R.; BESKOW, S.. Vazões máximas e mínimas para bacias hidrográficas da região Alto Rio Grande, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 494-502, 2010.

MORBIDELLI, R. et al. (2015) Infiltration on sloping surfaces: Laboratory experimental evidence and implications for infiltration modeling. **Journal of Hydrology**, vol. 523, p. 79-85.

MORBIDELLI, R. et al. Role of slope on infiltration: A review. **Journal of hydrology**, v. 557, p. 878-886, 2018.

- MOTA, A.A, KOBİYAMA, M. (2015). Reconsiderações sobre a Fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos: RBRH**, vol. 20, n. 1, Porto Alegre, jan./mar., pp. 55 – 59.
- MOTTA, J.V.S.. Calibração e validação de um modelo hidrológico para a bacia do córrego Vilarinho. Belo Horizonte/MG. 75 f. Monografia (Graduação em Engenharia Urbana) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2024.
- OLÍMPIO, J. L. S.. Desastres naturais associados à dinâmica climática no Estado do Ceará: subsídios à gestão dos riscos de secas e de inundação. Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2013, 228p.
- OLIVEIRA, U.C. de *et al.* Geotecnologias como subsídio à gestão de bacias hidrográficas: uma análise morfométrica na sub-bacia hidrográfica do rio Coreaú, Ceará. 2021.
- PAIVA, J. B. D. de; PAIVA, E. M. C. D. de (Org.). Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Porto Alegre: **ABRH**, 2016.
- PANDE, C. B.; MOHARIR, K.. GIS based quantitative morphometric analysis and its consequences: a case study from Shanur River Basin, Maharashtra India. **Applied Water Science**, v. 7, n. 2, p. 861-871, 2017.
- PATEL, A. et al. AHP and TOPSIS based sub-watershed prioritization and tectonic analysis of Ami River Basin, Uttar Pradesh. **Journal of the Geological Society of India**, v. 98, n. 3, p. 423-430, 2022.
- PAULINO, P. F.. Estudo sobre a sensibilidade dos parâmetros do método SCS na determinação de hidrogramas de cheia em bacias urbanas. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014, 128p.
- PORTO, R.L *et al.* Drenagem Urbana. In: TUCCI, C.E.M (Org.) (2001). Hidrologia: Ciência e Aplicação. 2ª edição, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001, pp. 805-848.
- PORTO, R.L.L., (1995). Escoamento Superficial Direto, In: TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L.L.
- PINTO, N.L. de, *et al.* Hidrologia básica. Editora Blucher, 1976.
- PRAMANA, Y. H.; HARISUSENO, D. Time of concentration estimated of overland flow. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2024. p. 012004.
- QUEIROZ, M.S, ALVES, N.S.. Aplicação de Diferentes Fórmulas de Tempo de Concentração para uma Bacia Hidrográfica Urbana. **Revista Tocantinense de Geografia**, Araguaína, v. 09, n. 18 Mai.- Agosto, 2020, pp. 219 – 230.
- RAWAT, K.S., MISHRA, A.K. Evaluation of relief aspects morphometric parameters derived from different sources of DEMs and its effects over time of concentration of runoff (TC). **Earth Sci Inform** 9, 409–424 (2016).

- ROSA, R.; BRITO, J. L. S.. Introdução ao geoprocessamento. **UFU: Apostila. Uberlândia**, 2013. Disponível em:
<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7676925/mod_resource/content/1/Apostila_Geop_rosa.pdf> Acesso em: 04 de Set. de 2023.
- ROSSI, J. B.. Estimativas de evaporação de reservatórios no Brasil por sensoriamento remoto. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 94., 2023.
- SAITO, S. M. *et al.* População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 31, p. e46320, 2023.
- SAMPAIO, A.S. *et al.* Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias rurais. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, In:**XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Aracaju, Sergipe, 2016.
- SARKAR, D. *et al.* Análise morfométrica usando SRTM-DEM e GIS da bacia do rio Nagar, Indo-Bangladesh Barind Tract. **J Indian Soc Remote Sens** **48** , p. 597–614, 2020.
- SAVOLDI NETO, O.. Análise sobre o tempo de concentração da bacia do Rio do Meio no município de Florianópolis/SC. Trabalho de conclusão de curso (monografia), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022, 72p.
- SCHATZ, B. C.. Análise da suscetibilidade à inundação na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Enxofre por meio de ferramentas de geoprocessamento. Trabalho de conclusão de curso (monografia), Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022, 72p.
- SILVEIRA, A. L. L. da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. **Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS: ABRH.** Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.
- SILVEIRA, L. B. P.. Tempo de concentração em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia - MG. 2016. 86 f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.
- SINGH, A. P. *et al.* Morphometric analysis of Ghaghara River Basin, India, using SRTM data and GIS. **Journal of the Geological Society of India**, v. 95, p. 169-178, 2020.
- SINGH, D. *et al.* Fusing morphometric characteristics with extreme precipitation indices for identifying the most vulnerable sub-basin at risk of flooding. **Journal of Hydro-environment Research**, v. 50, p. 44-56, 2023.
- SOBRAL, B. S *et al.* Variabilidade espaço-temporal e interanual da chuva no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 22–JAN/JUN, p. 281 - 308, 2018.
- SONI, S.. Assessment of morphometric characteristics of Chakrar watershed in Madhya Pradesh India using geospatial technique. **Applied Water Science**, v. 7, p. 2089-2102, 2017.
- SOOMRO, Shan-e-hyder et al. River flood susceptibility and basin maturity analyzed using a coupled approach of geo-morphometric parameters and SWAT model. **Water Resources Management**, v. 36, n. 7, p. 2131-2160, 2022.

SOUSA, A. L. P. *et al.* Análise do tempo de concentração: um estudo de bacias hidrográficas do estado do Rio de Janeiro-RJ. XXV - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2023.

TUCCI, Carlos E.M, et al. Hidrologia: ciência e aplicação. 4ªed. 7ª reimp. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2015, p.939.

TUCCI, Carlos EM. Drenagem urbana. **Ciência e cultura**, v. 55, n. 4, p. 36-37, 2003.

TUCCI, Carlos EM. Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. **Revista de Gestão de água da América Latina**, v. 13, n. 1, p. 29-42, 2016.

TUCCI. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Organizado por Carlos E.M.Tucci. 3ªed. Porto Alegre: Editora da UFRGS – ABRH, 2002.

TUNDISI, J. G.. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

TARGA, M. S. *et al.* Aplicação de diferentes equações para cálculo do tempo de concentração em bacias hidrográficas. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, v. 1, n. 7, 2023.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. **Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012**. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Vol. Rio de Janeiro, 2ª ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013.

VIJITH, H.; SATHEESH, R. GIS based morphometric analysis of two major upland sub-watersheds of Meenachil river in Kerala. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 34, p. 181-185, 2006.

WANIELISTA, M., KERSTEN, R., EAGLIN, R. Hydrology, Water Quantity and Quality Control. 2ª Ed., John Wiley & Sons, 1997.

YANG, D.; YANG, Y.; XIA, J.. Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. **Geography and Sustainability**, v. 2, n. 2, p. 115-122, 2021.

YANG, L. et al. Runoff changes in the major river basins of China and their responses to potential driving forces. **Journal of Hydrology**, v. 607, p. 127536, 2022.