

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Tainara Cristina da Silveira

Modelagem e calibração de modelo para simulação de escoamento superficial da bacia do campus da UFSC, integrando informações da rede de drenagem urbana existente

Florianópolis

2022

Tainara Cristina da Silveira

Modelagem e calibração de modelo para simulação de escoamento superficial da bacia do campus da UFSC, integrando informações da rede de drenagem urbana existente

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel/Licenciado em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientadora: Thays Mitsuko Tsuji, MSc.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silveira, Tainara Cristina

Modelagem e calibração de modelo para simulação de escoamento superficial da bacia do campus da UFSC, integrando informações da rede de drenagem urbana existente / Tainara Cristina Silveira ; orientador, Thays Mitsuko Tsuji, 2022.

94 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Escoamento superficial. 3. MIKE+. 4. Drenagem urbana. 5. Modelagem hidrológi. I. Tsuji, Thays Mitsuko . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Tainara Cristina da Silveira

Modelagem e calibração de modelo para simulação de escoamento superficial da bacia do campus da UFSC, integrando informações da rede de drenagem urbana existente

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheira Sanitarista e Ambiental” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 22 de dezembro de 2022.

Prof. Maria Elisa Magri, Dr (a).
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Thays Mitsuko Tsuji, MSc.
Orientador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Patricia Kazue Uda, Dr.(a)
Avaliador(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Felipe Bublitz Bier, MSc.
Hydroinformatics Solutions

AGRADECIMENTOS

Gostaria inicialmente agradecer à UFSC que, apesar da jornada dificultosa, me concedeu ensino de qualidade e foi palco de muitas conquistas pessoais e profissionais. Como cotista de escola pública, reafirmo a importância de políticas públicas de acesso e permanência em Universidades. Espero que mais pessoas como eu possam usufruir deste ambiente.

Aos meus pais, Carlos e Irma e ao meu irmão Rodrigo pelo apoio durante esses 6 anos de estudo. Aos meus sobrinhos, Isabelly e Lorenzo por terem me proporcionado momentos de genuína alegria em meio ao caos, sem ao menos saberem.

À minha irmã, Cristiane, minha metade no mundo, minha pessoa favorita, por sempre ter acreditado no meu potencial, sem você eu não teria chegado até aqui. Espero poder retribuir tudo que você fez por mim.

À família que escolhi, meus amigos, em especial Edgar e Ingrid que me acompanharam durante todo esse processo. Edgar, apesar da distância de 8.656 km que nos separam, continuas sendo meu porto seguro, obrigada por tudo. Ingrid, obrigada por todas as palavras de conforto e por ser o melhor presente que a UFSC me deu.

Ao Lucas que surgiu no fim dessa caminhada e demonstrou apoio incondicional. Obrigada por ter me possibilitado momentos de respiro e por sempre me lembrar de que sou capaz. À Renata pela amizade duradoura e imutável.

Aos amigos que fiz na UFSC, Gisele, Gabriel e Elenita.

À equipe da EC Projetos pela oportunidade de estagiar. Em especial, ao Leonardo por ser uma inspiração como profissional formado na área ambiental que, com todo cuidado e atenção me guiou e moldou muitas das minhas competências.

À Thays por compartilhar de todo seu conhecimento em modelagem e por ser sempre muito solícita quando no surgimento de dúvidas. À prof. Patrícia por ter me concedido a oportunidade de trabalhar com o tema de modelagem.

À DHI por ceder a licença para uso do MIKE+ e ao pessoal da Hydroinfo que realizou todos os tramites para obtenção da licença.

A todos que de alguma forma estiveram comigo nessa jornada ou que apenas tenham passado pela minha vida, contribuindo positivamente para meu progresso acadêmico e profissional.

“People today have forgotten they're really just a part of nature. Yet, they destroy the nature on which our lives depend. The most important things for human beings are clean air and clean water and the trees and grass that produce them. Everything is being dirtied, polluted forever. Dirty air, dirty water, dirtying the hearts of men.”
(Akira Kurosawa, 1990)

RESUMO

As intervenções antrópicas modificam o ciclo hidrológico, principalmente no que diz respeito ao escoamento superficial. Alterações nos padrões do uso e ocupação do solo e a implementação de estruturas de drenagem urbana convencionais tendem a aumentar as vazões máximas e reduzir os tempos de pico de vazão. Tais situações podem ser observadas na bacia do campus UFSC, já que se trata de uma região notoriamente urbana com histórico de desastres relacionados a inundações. De modo a contribuir para a gestão de bacias hidrográficas, os modelos hidrológicos surgem como ferramentas para mitigação de impactos, uma vez que permitem estimar e prever o escoamento superficial para diferentes cenários, presentes ou futuros. Neste sentido, se objetiva com o presente estudo calibrar e simular o escoamento superficial na bacia do campus da UFSC, através da aplicação do módulo hidrológico do MIKE+, integrando informações da rede de drenagem atualmente existente. Para isso, foi aplicado o modelo chuva-vazão referente ao hidrograma unitário, juntamente com o modelo de infiltração SCS CN, que possibilitaram a determinação do escoamento na bacia por meio do módulo chuva-vazão. A saída do módulo chuva-vazão foi considerada como entrada para o módulo hidrodinâmico do modelo, que se baseia na aplicação das equações de *Saint Venant*, permitindo assim, a estimativa do escoamento superficial na rede de drenagem propriamente dita. Ao todo, foram utilizados seis eventos de chuva para calibração e validação do modelo. Os resultados do teste de sensibilidade mostraram que os parâmetros mais sensíveis são o CN, fator de área e AMC, sendo que o *lagtime* foi o parâmetro menos sensível. No que tange os resultados das modelagens hidrológicas-hidráulicas, foram obtidos resultados pouco satisfatórios antes e após calibração, seja pelo hidrograma SCS Triangular ou SCS Adimensional. Dentre os eventos avaliados para estimativa do escoamento superficial na bacia do rio do Meio, 50% apresentaram índice RMSE satisfatório e 17% atingiram valores de correlação superiores a 0,30. Nenhum dos eventos atingiu valores satisfatórios para a métrica de Nash. Além disso, os ajustes no tempo de pico foram insatisfatórios, uma vez que os hidrogramas simulados tenderam, no geral a antecipar o tempo de pico em comparação com os tempos reais. Quanto as estimativas de escoamento superficial diretamente na rede de drenagem, os resultados se mantiveram insatisfatórios, com o modelo apresentando baixa aderência. O escoamento superficial foi subestimado, no entanto, a ocorrência dos tempos de pico nos hidrogramas simulados se assemelhou aos tempos de pico reais, representando uma melhora em comparação com a simulação sem rede de drenagem.

Palavras-chave: Escoamento superficial. MIKE+. Drenagem urbana. Modelagem hidrológica.

ABSTRACT

Human interventions modify the hydrological cycle, especially regarding surface runoff. Changes in land use and occupation patterns and implementation of conventional urban drainage structures tend to increase peak flows and reduce peak flow times. Such situations can be observed in the UFSC campus basin since it is a notoriously urban region with a history of flood-related disasters. In order to contribute to the management of watersheds, hydrological models emerge as tools for mitigating impacts, as they allow the estimation and prediction of surface runoff for different scenarios. In this sense, the objective of the present study is to calibrate and simulate surface runoff in the UFSC campus basin, through the application of the MIKE+ hydrological, integrating information from the currently existing drainage network. For this, the rainfall-runoff model referring to the unitary hydrograph was applied, together with the infiltration model SCS CN, which made it possible to determine the runoff in the basin through the rainfall-runoff module. The output of the rainfall-runoff module was considered as input for the hydrodynamic model, which is based on the application of Saint Venant's equations, thus allowing the estimation of surface runoff in the drainage network itself. In all, six rainfall events were used for model calibration and validation. The sensibility test results showed that the most relevant parameters are CN, area factor and AMC, with *lagtime* being the least sensitive parameter. Regarding the results of the hydrological-hydraulic modeling, satisfactory results were not obtained before and after calibration, either by the SCS Triangular or SCS Dimensional hydrograph. Among the events evaluated to estimate surface runoff in the Rio do Meio basin, 50% presented a satisfactory RMSE index and 17% reached correlation values greater than 0.30. None of the events reached satisfactory values for the Nash metric. In addition, adjustments to peak time left something to be desired, as the simulated hydrographs tended, in general, to anticipate peak times compared to actual times. As for the estimates of surface runoff directly in the drainage network, the results remained unsatisfactory, with the model showing low adherence. The surface runoff was underestimated, however, the occurrence of peak times in the simulated hydrographs resembled the real peak times, representing an improvement compared to the simulation without drainage network.

Keywords: Runoff. MIKE+. Urban drainage. Hydrological modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hidrogramas comparativos de bacias urbanizadas e não urbanizadas.	35
Figura 2 - Esquema ilustrativo do fluxo de informação na modelagem hidrológica do MIKE+.	38
Figura 3 - Princípios do hidrograma unitário: em a) princípio da proporcionalidade e em b) princípio da superposição.	40
Figura 4 - Hidrograma SCS: em a) hidrograma triangular e b) hidrograma adimensional, onde t é o tempo, p é a precipitação, Q é a vazão, Q_p é a vazão de pico, T_p é o tempo de subida do hidrograma, t_p é o tempo de pico (<i>lagtime</i>), t_b é o tempo de base e d é a duração da chuva. .	41
Figura 5 - Localização da bacia do campus UFSC em Florianópolis.	44
Figura 6 - Hidrografia da bacia do campus UFSC.	45
Figura 7 - Declividade da bacia campus UFSC.....	47
Figura 8 - Tipos de solos encontrados na bacia campus UFSC.....	48
Figura 9 - Uso e ocupação do solo da bacia campus UFSC no ano de 2016.	50
Figura 10 - Precipitação anual e média anual entre os anos de 1997 e 2020.	52
Figura 11 - Fluxograma metodológico.	54
Figura 12 - Sub-bacias definidas para a área de estudo.....	55
Figura 13 - Localização da estação pluviométrica e fluviométrica.	60
Figura 14 - CN obtido para a bacia do campus UFSC.	62
Figura 15 - CN médio ponderado por sub-bacia.	63
Figura 16 - Rede de drenagem da bacia campus UFSC.	67
Figura 17 - Pontos de monitoramento do NEA.	68
Figura 18 - escoamento superficial na bacia: evento 350 com método SCS Triangular.	76
Figura 19 - escoamento superficial na bacia: evento 350 com método SCS Adimensional....	77
Figura 20 - escoamento superficial na bacia: evento 420 com método SCS Triangular.	78
Figura 21 - escoamento superficial na bacia: evento 420 com método SCS Adimensional....	78
Figura 22 - escoamento superficial na bacia: evento 477 com método SCS Triangular.	80
Figura 23 - escoamento superficial na bacia: evento 477 com método SCS Adimensional....	80
Figura 24 - escoamento superficial na bacia: evento 482 com método SCS Triangular.	81
Figura 25 - escoamento superficial na bacia: evento 482 com método SCS Adimensional....	82
Figura 26 - escoamento superficial na bacia: evento 483 com método SCS Triangular.	83
Figura 27 - escoamento superficial na bacia: evento 483 com método SCS Adimensional....	83

Figura 28 - Escoamento superficial na bacia: evento 596 com método SCS Triangular.	85
Figura 29 - Escoamento superficial na bacia: evento 596 com método SCS Adimensional....	85
Figura 30 - Escoamento superficial na rede de drenagem: evento 350 com método SCS Triangular.	90
Figura 31 - Escoamento superficial na rede de drenagem: evento 420 com método SCS Triangular.	91
Figura 32 - Escoamento superficial na rede de drenagem: evento 477 com método SCS Triangular.	91
Figura 33 - Escoamento superficial na rede de drenagem: evento 596 com método SCS Triangular.	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Metodologias utilizadas no MIKE+ para cálculo do escoamento superficial.....	37
Quadro 2 - Detalhamentos dos métodos de infiltração presentes no modelo UHM do MIKE+.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Áreas calculadas para cada classe de declividade na bacia do campus UFSC.....	47
Tabela 2 - Áreas calculadas para cada classe de uso e ocupação do solo na bacia campus UFSC.	51
Tabela 3 - Número de deflúvio para os diferentes grupos hidrológicos de solos.....	58
Tabela 4 - Eventos de precipitação selecionados para a modelagem.	61
Tabela 5 - Parâmetros imputados no MIKE+ para determinação do <i>lagtime</i>	64
Tabela 6 - Seções transversais adotadas para os canais retangulares.	68
Tabela 7 - Classificação da qualidade para diferentes métricas.	69
Tabela 8 - Teste de sensibilidade para o parâmetro CN.	71
Tabela 9 - Teste de sensibilidade para o parâmetro fator de área.....	71
Tabela 10 - Teste de sensibilidade para o parâmetro AMC.	71
Tabela 11 - Teste de sensibilidade para o parâmetro <i>lagtime</i>	72
Tabela 12 - Parâmetro AMC adotado para os eventos de chuva antes e após calibração.	73
Tabela 13 - Parâmetro CN adotado para as sub-bacias antes e após calibração.	74
Tabela 14 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 350.	77
Tabela 15 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 420.	79
Tabela 16 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 477.	81
Tabela 17 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 482.	82
Tabela 18 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 483.	84
Tabela 19 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 596.	86
Tabela 20 - Resumo dos resultados obtidos para os eventos medidos e simulados após calibração.....	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMC	<i>Antecedent Moisture Condition</i>
Cf	Clima mesotérmico úmido
Cfa	Clima subtropical
Cfb	Clima temperado
CN	<i>Curve number</i>
DHI	<i>Danish Hydraulic Institute</i>
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FUNDAGRO Catarina	Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural do Estado de Santa Catarina
HU	Hidrograma Unitário
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPUF	Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis
LabHidro	Laboratório de Hidrologia
LABURB	Laboratório de Urbanismo
LAUTEC	Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias
MDE	Modelo Digital de Elevação
MOUSE	<i>Modeling of Urban Sewer</i>
NAM	<i>Nedbør-Afstrømnings-Model</i>
NEA	Núcleo de Estudos Ambientais
ONU	Organização das Nações Unidas
PMISB	Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico
PRAD	Projeto de Recuperação da Qualidade da Água dos Córregos do campus Reitor João David Ferreira Lima
RMSE	<i>Root Mean Squared Error</i>
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SDE	Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Sustentável
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UHM	<i>Unit Hydrograph Module</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	31
2	OBJETIVOS	33
2.1	OBJETIVO GERAL	33
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	34
3.1	CICLO HIDROLÓGICO E URBANIZAÇÃO	34
3.2	MODELOS HIDROLÓGICOS	35
3.2.1	MIKE+	36
3.2.2	Método do hidrograma unitário.....	39
3.2.3	Modelos de infiltração	42
3.3	CALIBRAÇÃO	43
4	ÁREA DE ESTUDO	44
4.1	Localização	44
4.2	Relevo	46
4.3	Pedologia	48
4.4	Uso e ocupação do solo	49
4.5	Clima e regime de chuvas	51
5	METODOLOGIA.....	53
5.1	MODELAGEM	54
5.1.1	Discretização da bacia	54
5.1.2	Modelo de infiltração.....	56
5.1.3	Transformação chuva-vazão.....	59
5.2	DADOS DE ENTRADA	59
5.2.1	Dados pluviométricos e fluviométricos	59
5.2.2	Vazão de base	61
5.2.3	Curve number	62

5.2.4	Lagtime	64
5.2.5	Rede de drenagem.....	66
5.3	CALIBRAÇÃO	69
6	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
6.1	TESTE DE SENSIBILIDADE	71
6.2	CALIBRAÇÃO	73
6.3	ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA	76
6.4	ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA REDE DE DRENAGEM	89
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	94
	REFERÊNCIAS.....	96

1 INTRODUÇÃO

As intervenções antrópicas em ambientes naturais modificam o ciclo hidrológico, principalmente no que diz respeito ao escoamento superficial (TUCCI, 2005). Em bacias urbanizadas, as alterações nos padrões do uso e ocupação do solo, através da retirada da cobertura vegetal para impermeabilização do solo contribuem para o aumento nas vazões máximas, como consequência da redução na infiltração e evapotranspiração da água (TUCCI, 2008).

Além disso, a implementação de estruturas de drenagem urbana convencionais tende a agravar a situação, visto que aceleram o escoamento superficial, transferindo grandes vazões a outras partes da bacia, implicando em menores tempos de pico de vazão (TUCCI, 2008; POMPEO, 2000). Tais alterações corroboram para mudanças quali-quantitativas nas águas (TUCCI, 1998), intensificando os riscos relacionados ao assoreamento, alagamento, inundação e danos às obras civis (TONIOLO, 2011).

A bacia do campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) é uma bacia notoriamente urbana com histórico de desastres relacionados a inundações (MULUNGO, 2012). Tais eventos decorrem em virtude do crescimento urbano desordenado (KOBAYAMA *et al.*, 2006) e construção de sistemas de drenagem subdimensionados e malconservados (MONTEIRO *et al.*, 2021).

A bacia hidrográfica apresenta, ainda, características morfométricas que favorecem eventos de inundação, como baixa capacidade de drenagem (LAURENTI *et al.*, 2018) e declividade acentuada nas encostas, com áreas praticamente planas próximas ao estuário que, junto com o avanço do desmatamento e ocupação irregular, culminam no aumento na magnitude e frequência de inundações na região (BEZ *et al.*, 1999).

Neste contexto, os modelos hidrológicos são ferramentas capazes de fornecer previsões a respeito das alterações nos processos hidrológicos de uma bacia urbanizada (BEVEN, 2012). Através destes modelos é possível prever e estimar o escoamento superficial, podendo-se avaliar o uso de ferramentas na mitigação de impactos na drenagem, a partir da simulação de diferentes cenários, auxiliando assim, na gestão de bacias hidrográficas (SOUZA; CRISPIM; FORMIGA, 2012).

Os modelos hidrológicos também são vinculados a outros propósitos, como: melhor compreender os fenômenos hidrológicos, realizar a análise de consistência e preenchimento de falhas em séries históricas, prever vazão em tempo real, avaliar os efeitos na bacia hidrográfica

em função de mudanças no uso do solo e no clima (TUCCI, 1998) e prever dados de vazão em bacias não monitoradas (BRIGHENTI, 2015).

Uma vez que tais modelos tratam-se de representações matemáticas do que ocorre no mundo real (SILBERSTEIN, 2006) e, muitas vezes abrangem elevado número de parâmetros e variáveis que se inter-relacionam (TUCCI, 1998), faz-se necessário a inclusão de etapa para calibração do modelo. Esta etapa é muito importante, pois admite o alcance de resultados mais fidedignos com a realidade, possibilitando o uso do modelo com maior segurança (VAN LIEW; ARNOLD; BOSCH, 2005).

Alguns estudos relativos à modelagem hidrológica na bacia do Itacorubi, a qual abrange a bacia do campus da UFSC, já foram realizados (MULUNGO, 2012; TOSCANO, 2018; LARA; KOBİYAMA, 2012; GALVANE, 2018; MONTEIRO *et al.*, 2021). Contudo, a aplicação de modelos nestes estudos não considerou a rede de drenagem pluvial da bacia como dado de entrada, fator interveniente no escoamento superficial (TUCCI, 2005) e que faz parte do escopo deste trabalho.

À vista do exposto, objetiva-se com o presente trabalho simular o escoamento superficial na bacia do campus UFSC, integrando a rede de drenagem existente por meio da aplicação do modelo MIKE+ desenvolvido pela *Danish Hydraulic Institute* (DHI). Para avaliar a aderência dos resultados das simulação em função dos dados observados em campo no processo de calibração, utilizou-se as funções objetivos de coeficiente de determinação (R^2), coeficiente de eficiência do modelo *Nash-Sutcliffe* e a raiz quadrática média, do inglês *Root Mean Squared Error* (RMSE).

O trabalho foi conduzido junto ao Laboratório de Águas Pluviais Urbanas e Técnicas Compensatórias (LAUTEC), estabelecido no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, o qual desenvolveu (SANTANA, 2019; WU, 2019; SCOTTI, 2022) e vêm desenvolvendo trabalhos acadêmicos na linha de pesquisa acerca de modelagem hidráulico-hidrológica.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Simular o escoamento superficial na bacia do campus da UFSC, através da aplicação dos módulos hidrodinâmico e hidrológico do MIKE+.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definem-se como objetivos específicos do presente trabalho, os seguintes:

- i. Realizar análise de sensibilidade com os parâmetros utilizados no método SCS-CN e hidrograma unitário do MIKE+.
- ii. Calibrar o modelo hidrológico MIKE+ e simular o escoamento superficial na bacia do campus UFSC.
- iii. Integrar a rede de drenagem de águas pluviais existente na bacia do campus UFSC ao módulo hidrodinâmico do *software* MIKE+ e simular o escoamento superficial na rede de drenagem;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CICLO HIDROLÓGICO E URBANIZAÇÃO

Segundo informações da Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 55% da população mundial atualmente habita áreas urbanas e as estimativas indicam que até 2050 esse número alcançará 70% (ONU, 2019). Em relação ao Brasil, tem-se 84,7% da população vivendo em cidades, índice de urbanização considerado como sendo equivalente ao de países desenvolvidos (IBGE, 2015; GOBBI, [202-?]).

Esse crescimento urbano ocasiona alterações no ciclo hidrológico, uma vez que vem acompanhado por alterações no uso e ocupação do solo, a partir da remoção da cobertura vegetal e consequente impermeabilização do solo (MESQUITA; LIMA NETO, 2020) e implementação de sistemas convencionais para controle de águas pluviais, como os canais retificados e galerias (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019).

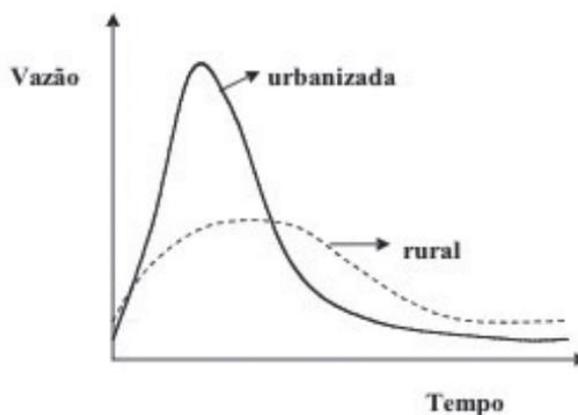
Especialmente em países em desenvolvimento, os sistemas de manejo de águas pluviais urbanas foram concebidos tendo-se como base o conceito higienista (TUCCI, 2003a), a partir da coleta e afastamento rápido das águas das chuvas (CHRISTOFIDIS; ASSUMPÇÃO; KLIGERMAN, 2019). Como consequência desta conformação urbana, tem-se o aumento na frequência e magnitude de enchentes, agravadas também por fatores como as mudanças climáticas (IPCC, 2022).

A urbanização acarreta nas seguintes alterações do ciclo hidrológico:

- i. Redução da infiltração no solo e por conseguinte redução no escoamento de base, com rebaixo do nível do lençol freático;
- ii. Redução na evapotranspiração por conta da supressão vegetal;
- iii. Aumento do escoamento superficial (Tucci, 2005).

Além disso, em uma bacia urbana as vazões máximas são superiores as observadas em uma bacia não urbanizada e o tempo do pico de vazão é antecipado, visto que os condutos pluviais aumentam a velocidade do escoamento superficial (TUCCI, 2008), conforme é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Hidrogramas comparativos de bacias urbanizadas e não urbanizadas.



Fonte: Tucci (2008).

Nesse sentido, dentre as alterações no ciclo hidrológico mencionadas, o aumento do escoamento superficial é amplamente estudado e vinculado às alterações nos padrões de uso e ocupação do solo (JUSTINO; PAULA; PAIVA, 2011; NUNES; FIORI, 2008; FARIA; BARBASSA; SILVEIRA, 2014; BENINI; MEDIONDO, 2015; SANTOS; LOLLO, 2016; RODRIGUES & BLANCO, 2018). No geral, os estudos convergem para os mesmos resultados, com a vazão de pico aumentando juntamente com a impermeabilização do solo, especialmente em cenários futuros com maior adensamento urbano.

Vale ressaltar ainda que, características fisiográficas como geologia e pedologia e fatores climatológicos como a pluviosidade também podem influenciar na resposta hidrológica das bacias urbanas (TUCCI, 1997).

3.2 MODELOS HIDROLÓGICOS

Os modelos hidrológicos são ferramentas que visam simular processos reais, sendo utilizados na representação dos processos hidrológicos dentro de uma área delimitada, comumente adotada como sendo a bacia hidrográfica (SILBERSTEIN, 2006). De acordo com Beven (2012), os modelos podem ser aplicados visando propósitos puramente acadêmicos. Contudo, seu principal emprego é na geração de previsões hidrológicas capazes de fornecerem subsídios aos tomadores de decisão (BEVEN, 2012).

O avanço computacional e a ampliação dos conhecimentos em hidrologia permitiram o desenvolvimento de modelos hidrológicos complexos (JAKEMAN; HORNBERGER, 2013; SILVA; NAGHETTINI; FERNANDES, 2014) e de aplicação rápida e acessível (CHAFFE,

2009). Contudo, tais modelos não passam de representações matemáticas e aproximações da realidade e, portanto, não representam rigorosamente os processos ocorridos na natureza (DAVID, 2020).

Os modelos hidrológicos recebem diversas classificações, a depender de sua estrutura: estocásticos ou determinísticos; concentrados ou distribuídos; conceituais, empíricos ou baseados na física do sistema (CHAFFE, 2009). A seleção do modelo mais adequado para aplicação dependerá das características da bacia, objetivos da modelagem e disponibilidade de dados de entrada (TUCCI, 1998).

Dentre os modelos hidrológicos existentes, destaca-se o modelo chuva-vazão, do inglês *rainfall-runoff model*. Neste tipo de modelo avalia-se a resposta da bacia hidrográfica em termos quantitativos (vazão) a uma determinada precipitação (MACHADO, 2005). Os modelos chuva-vazão devem descrever a distribuição espacial da precipitação, as perdas por interceptação, evaporação, depressão do solo, infiltração, percolação e água subterrânea, escoamento superficial, subsuperficial e no rio (TUCCI, 1998).

O surgimento dos modelos chuva-vazão deve-se, essencialmente, à necessidade da geração de séries históricas de vazões contínuas e mais representativas (TUCCI, 1998), visto que a disponibilidade de estações pluviométricas tende a ser maior no Brasil em comparação com as fluviométricas (BRASIL, 2021). Desta maneira, a partir de dados de precipitação podem ser estimadas vazões para determinada bacia, considerando cenários atuais ou futuros (TUCCI, 1998).

No âmbito da drenagem urbana, diversos modelos foram desenvolvidos, sendo comumente utilizado o *Storm Water Management Model* (SWMM) por se tratar de ferramenta computacional de domínio público livre (SILVEIRA *et al.*, 2022). No entanto, existem modelos mais robustos, como é o caso do MIKE+, desenvolvido pela *Danish Hydraulic Institute* (DHI). Trata-se de um software comercial, que permite a integração de diferentes sistemas hidráulicos, incluindo redes de distribuição de água, coleta de efluentes e redes pluviais (DHI, 2022a).

3.2.1 MIKE+

O modelo MIKE+ foi desenvolvido pela empresa DHI, sediada na Dinamarca, que possui foco em soluções voltadas para recursos hídricos, especialmente por meio dos *softwares* “MIKE Powered by DHI”. O modelo MIKE+ foi lançado em 2020 e seu diferencial reside na

possibilidade de integrar diferentes sistemas em uma única plataforma (DHI, 2020). Para tanto, o modelo detém módulos transversais, os quais incluem:

- i. MIKE+ *Rainfall-Runoff* – possibilita determinar o escoamento superficial, combinando diferentes modelos chuva-vazão em uma simulação;
- ii. MIKE+ *Control* – permite incluir em tempo real dispositivos de controle, como bombas, vertedores e válvulas para otimizar a capacidade total do sistema;
- iii. MIKE+ *Transport* – avalia o transporte de poluentes por meio da advecção-dispersão de sedimentos com diferentes granulometrias;
- iv. MIKE+ *ECO Lab* - examina fenômenos complexos de qualidade da água através de diferentes processos biológicos em redes de abastecimento.

O MIKE+, assim como outros *softwares* desenvolvidos pela DHI, como o MIKE 11 e o MIKE 1D, dispõe de diferentes metodologias em sua estrutura para determinação do escoamento superficial (Quadro 1), sendo elas: Nedbør-Afstrømnings-Model (NAM), método da curva tempo-área, modelo da onda cinemática, modelo de reservatório linear (C1 e C2) e o método do hidrograma unitário (DHI, 2022b).

Quadro 1 - Metodologias utilizadas no MIKE+ para cálculo do escoamento superficial.

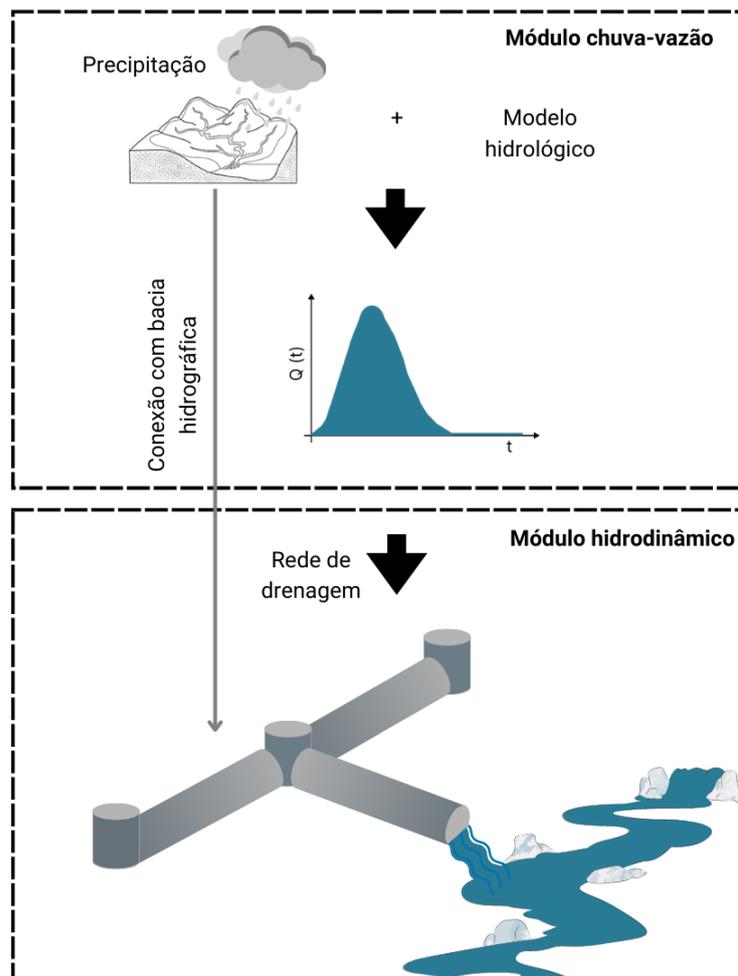
Método	Descrição	Requisitos de dados de entrada
NAM	É um modelo conceitual, concentrado e determinístico, que simula as componentes do escoamento superficial, sub-superficial e de base em função do teor de umidade em quatro compartimentos diferentes.	Moderado
Tempo-área	Método onde a quantidade de escoamento é controlada pelas perdas hidrológicas e pelo tamanho da área contribuinte. O hidrograma do escoamento é baseado no tempo de concentração da bacia e na curva Tempo-Área.	Mínimo
Onda cinemática	O escoamento superficial é calculado como escoamento em um canal aberto, levando em conta as forças gravitacionais e de atrito. O quantitativo escoado depende das perdas hidrológicas e do tamanho da área contribuinte. Como parâmetros norteadores desse modelo tem-se o comprimento, declividade e rugosidade da bacia hidrográfica, os quais são inseridos na equação de Manning.	Moderado
Reservatório linear (C1 e C2)	O cálculo do escoamento é baseado em um tratamento abrangente de perdas, considerando o princípio do reservatório linear. O MIKE+ apresenta o modelo C1 e C2, onde são utilizados um reservatório linear e dois reservatórios lineares em série, respectivamente.	Mínimo
Método do hidrograma unitário	Do inglês, <i>Unit Hydrograph Module (UHM)</i> , refere-se ao modelo que determina a chuva efetiva através do hidrograma sintético de Snyder ou hidrograma sintético adimensional e triangular do <i>U.S. Soil Conservation Service (SCS)</i> . Neste módulo, as perdas por infiltração	Mínimo

Método	Descrição	Requisitos de dados de entrada
	podem ser estimadas por meio de quatro métodos distintos.	

Fonte: DHI (2022b) e DHI (2022c).

Além do módulo chuva-vazão, o MIKE+ apresenta o módulo hidrodinâmico no qual é possível utilizar a estimativa do escoamento superficial como entrada na rede de drenagem, conforme exhibe a Figura 2. O módulo hidrodinâmico faz uso das formulações de *Saint Venant*, deduzidas diretamente das equações de *Navier-Stokes* e utilizadas para modelar o escoamento em rios e canais (GARBEAU; PERTHAME, 2000; ROCHA; SILVA; KOBAYAMA, 2009).

Figura 2 - Esquema ilustrativo do fluxo de informação na modelagem hidrológica do MIKE+.



Fonte: Adaptado de DHI (2022c).

Para o adequado emprego das equações de *Saint Venant*, as seguintes considerações devem ser assumidas (DHI, 2022b; CHANSON, 2005):

- A declividade média do leito do rio é desprezível, permitindo que o cosseno do ângulo entre o fundo do canal e a linha horizontal seja tomado como sendo um;
- Os comprimentos de onda de cheia são grandes quando comparados com a profundidade da água, permitindo que possa se considerar o fluxo com direção paralela ao fundo do canal. Isso implica em acelerações verticais desprezíveis, de modo que a pressão se mantém hidrostática;
- A água é incompressível e homogênea, apresentando densidade constante;
- O fluxo é unidimensional;
- O canal tem limites fixos, ou seja, alterações por conta do arrasto de ar ou movimento de sedimentos são desprezados.

3.2.2 Método do hidrograma unitário

O Hidrograma Unitário (HU) é um modelo chuva-vazão que foi inicialmente proposto por Sherman (1932), tendo sido tema focal de diversos autores, como Dooge (1959), Snyder (1938), Chow (1964), Jakeman, Littlewood & Whitehead (1990), dentre outros. O princípio básico do HU é de que a bacia responde linearmente à uma unidade de precipitação efetiva, uniforme no tempo e espaço, gerando escoamento superficial (DORNELLES; COLLISHONN, 2015).

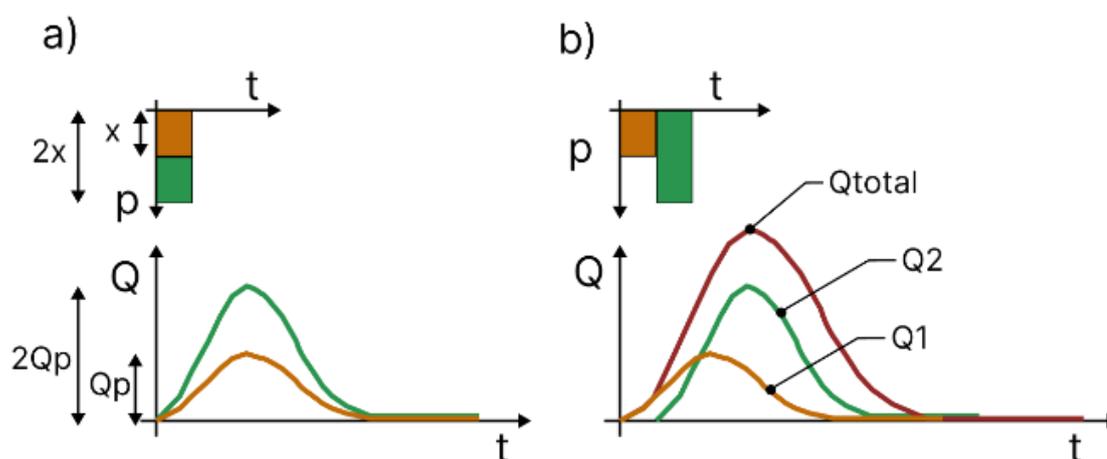
Em comparação com outros modelos hidrológicos, os quais na maioria requerem grande quantidade de dados de entrada (INNOCENTE; CHAFFE, 2017), o HU exige a entrada de reduzido número de parâmetros (TUCCI, 1998), cujos quais podem ser facilmente obtidos por meio de geoprocessamento. Por essa razão o HU é amplamente utilizado mundialmente, especialmente em bacias não monitoradas, situação comum em pequenas bacias hidrográficas do Brasil (CUNHA *et al.*, 2015).

Para que a teoria de HU seja implementada, algumas simplificações devem ser consideradas (DORNELLES; COLLISCHONN, 2015): i) a precipitação efetiva e unitária tem intensidade constante em toda sua duração, distribuindo-se uniformemente na área de drenagem; ii) a bacia hidrográfica possui comportamento linear, permitindo a aplicação dos princípios da proporcionalidade e superposição e iii) tempo de base é constante. Tais simplificações são também consideradas as limitações desse método, uma vez que o

escoamento superficial possui comportamento não-linear, a distribuição espacial e temporal da chuva é não uniforme e há ocorrência de erros nos métodos de separação do escoamento superficial e subterrâneo (TUCCI, 2003b).

Em relação aos princípios de proporcionalidade e superposição, o primeiro permite afirmar que o volume escoado superficialmente é proporcional ao volume de chuva efetiva e o segundo permite somar as vazões dos hidrogramas de escoamento superficial correspondentes às chuvas efetivas individuais. A Figura 3a resume graficamente a premissa de proporcionalidade e a Figura 3b a premissa de superposição.

Figura 3 - Princípios do hidrograma unitário: em a) princípio da proporcionalidade e em b) princípio da superposição.



Fonte: Adaptado de Dornelles e Collischonn (2015).

O MIKE+ oferece ao usuário a possibilidade de aplicação de diferentes tipologias de hidrogramas unitários, a saber: hidrograma SCS triangular, hidrograma SCS adimensional, hidrograma de Snyder padrão e o hidrograma de Snyder Alameda (DHI, 2022b). Para todos os hidrogramas citados, as premissas básicas discutidas anteriormente são válidas.

Os hidrogramas SCS e de Snyder são hidrogramas elencados como tradicionais (INNOCENTE; CHAFFE, 2017; BHUNYA; PANDA; GOEL, 2011), baseados na utilização de equações empíricas que relacionam as características físicas das bacias hidrográficas, como tempo de pico, tempo de base, vazão de pico, dentre outros (BHUNYA; PANDA; GOEL, 2011).

O hidrograma SCS triangular foi desenvolvido por Mockus (1957) a partir de análises de hidrogramas de bacias com diferentes características localizadas nos Estados Unidos

3.2.3 Modelos de infiltração

De acordo com o manual de referência do MIKE+, o modelo de infiltração busca determinar a precipitação efetiva, ou seja, a parcela de precipitação que gera o escoamento superficial (DHI, 2022b). Para isso, considera-se que parte da chuva é infiltrada no solo, sendo, portanto, considerada uma perda na estimativa do escoamento superficial. Desta maneira, a partir da chuva total precipitada na bacia e descontando-se a perda por infiltração, pode-se estimar a parcela de chuva que chega aos condutos de drenagem urbana (DHI, 2022b).

O MIKE+ dispõe de quatro métodos opcionais para determinação da precipitação efetiva, a saber: método racional, perda constante, modelo SCS padrão e SCS generalizado (DHI, 2022b). Trata-se de modelos agregados, que consideram a bacia como uma única unidade, ou seja, os parâmetros adotados representam valores médios da bacia (DHI, 2022b). O Quadro 2 exhibe resumo das premissas de cálculo de cada método.

Quadro 2 - Detalhamentos dos métodos de infiltração presentes no modelo UHM do MIKE+.

Método	Descrição	Parâmetros de entrada
Método racional	Método indicado para uso em pequenas bacias. No MIKE+ a precipitação efetiva é determinada a partir do fator de ajuste da área, o coeficiente de escoamento superficial e a taxa de precipitação.	C – Coeficiente de escoamento superficial
Perda constante	O método considera que nenhuma precipitação efetiva será gerada antes que uma perda inicial especificada pelo usuário seja atendida. Subsequentemente, a precipitação efetiva será gerada sempre que a taxa de precipitação exceder uma taxa de perda constante especificada.	I _a - Perda inicial; I _c – Taxa de perda constante.
Modelo SCS padrão	O modelo utiliza uma expressão que relaciona a precipitação total, a precipitação efetiva, perdas iniciais e retenção potencial máxima, o parâmetro S, o qual relaciona-se com as condições de umidade, o tipo de solo e o uso e ocupação do solo da bacia através do parâmetro CN. Além disso, assume-se que as perdas iniciais correspondem a 20% da capacidade de armazenamento do solo.	AMC - <i>Antecedent moisture condition</i> ; CN - <i>Curve number</i> .
Modelo SCS generalizado	Diferente do modelo SCS padrão, neste modelo é considerado a perda por uma profundidade de armazenamento antecedente geral, não aplicando-se então o parâmetro AMC. Neste método não é assumido que as perdas iniciais correspondem a 20% da capacidade de armazenamento do solo, como no SCS padrão, sendo	I _a – perdas iniciais CN - <i>Curve number</i> .

	necessário entrar com as perdas iniciais diretamente no modelo.	
--	---	--

Fonte: DHI (2022b).

Todos os modelos de infiltração incluem um fator de ajuste de área para compensar a distribuição não uniforme da chuva na bacia (DHI, 2022b).

3.3 CALIBRAÇÃO

O desenvolvimento crescente de modelos hidrológicos sofisticados não inibe a necessidade da execução de calibração (CHAFFE, 2009). Sendo assim, os modelos devem ser calibrados com vistas a minimizar o erro entre o que foi simulado pelo modelo e os dados coletados em campo (VAN LIEW; ARNOLD; BOSCH, 2005). É nesta etapa que se demanda um maior esforço por parte do hidrólogo, tanto na compreensão do comportamento do modelo, quanto na identificação de problemas relativos aos dados hidrológicos avaliados (COLLISHONN; TUCCI, 2003).

Por conta das incertezas inerentes aos dados, das simplificações do modelo e da representatividade dos parâmetros não há um único conjunto de parâmetros que resulte em uma solução única (COLLISHONN; TUCCI, 2003). Existem, portanto, diversos conjuntos capazes de fornecer resultados semelhantes entre si e próximos aos dados medidos, o que dá origem ao termo equifinalidade, definido por Beven e Binley (1992). Sendo assim, podem existir soluções plausíveis para as equações, mas que, no entanto, não representam a realidade do problema. Da mesma maneira podem existir diversas soluções adequadas tecnicamente, dentre as quais não é possível diferenciar a mais aceitável (COLLISHONN; TUCCI, 2003).

De modo geral, existem dois métodos para calibração de um modelo hidrológico: calibração manual ou calibração automática (GUPTA; SOROOSHIAN; YAPO, 1999). O primeiro método baseia-se no procedimento de tentativa e erro, onde os conhecimentos do hidrólogo a respeito da bacia hidrográfica, dos processos envolvidos e do modelo são utilizados no ajuste dos parâmetros (TUCCI, 1998). Os resultados medidos e computados são comparados visualmente por meio de gráficos (GUPTA; SOROOSHIAN; YAPO, 1999) e observância dos valores de funções objetivo (COLLISHONN; TUCCI, 2003).

É, portanto, um processo subjetivo que frequentemente demanda grande esforço (MORADKHANI; SOROOSHIAN, 2009; BRAVO *et al.*, 2007), como vantagens podem-se citar: implementação do conhecimento do hidrólogo no que tange a bacia hidrográfica dentro

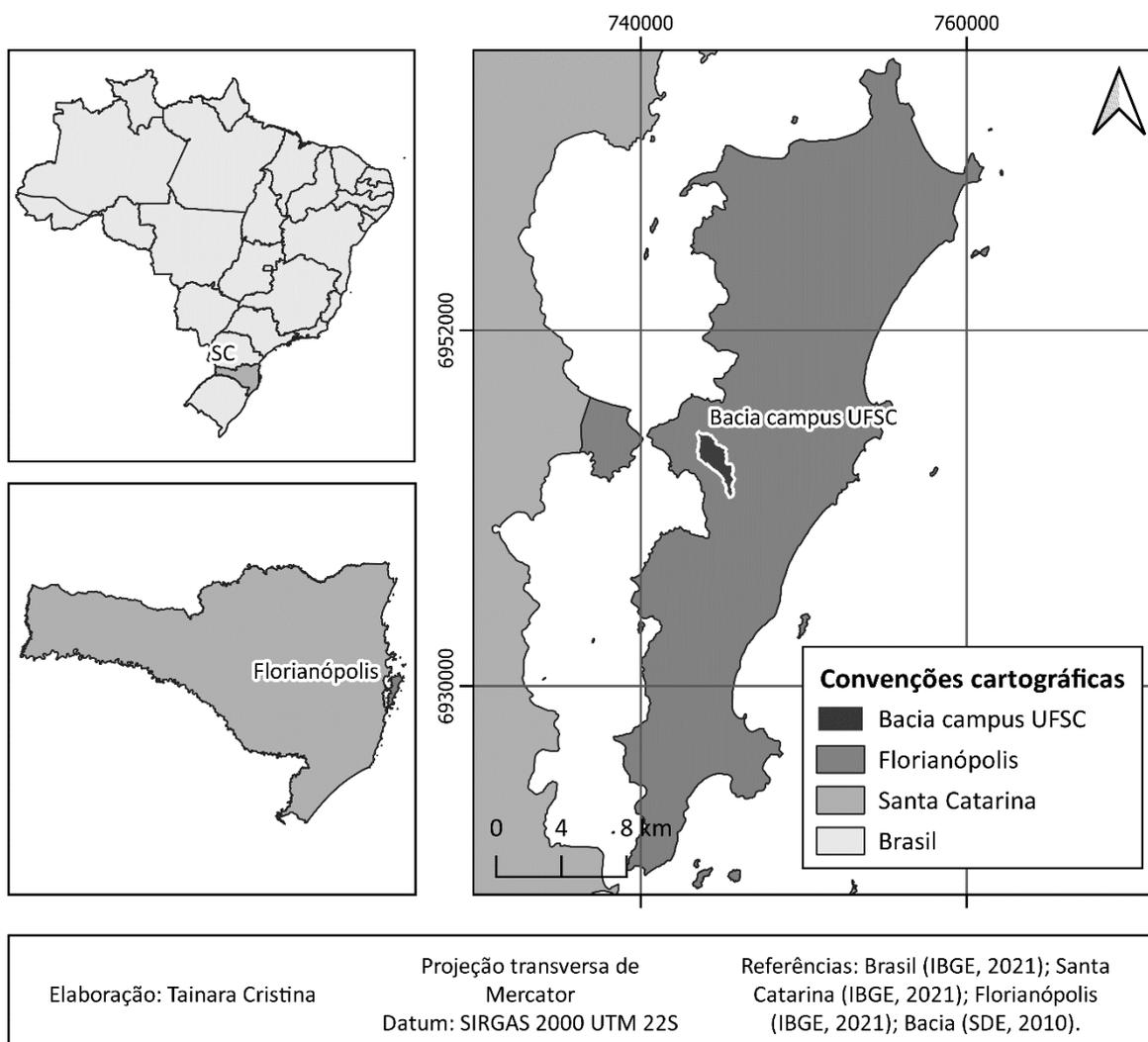
da simulação, identificação de erros grosseiros e incremento na compreensão dos processos envolvidos na modelagem (TUCCI, 1998).

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO

A bacia hidrográfica do campus UFSC, que constitui a área de estudo deste trabalho, localiza-se na região sul do país, especificamente no município de Florianópolis – SC, como pode ser observado na Figura 5. A bacia também é conhecida como bacia do rio do Meio e abrange uma área total de cerca de 4,09 km².

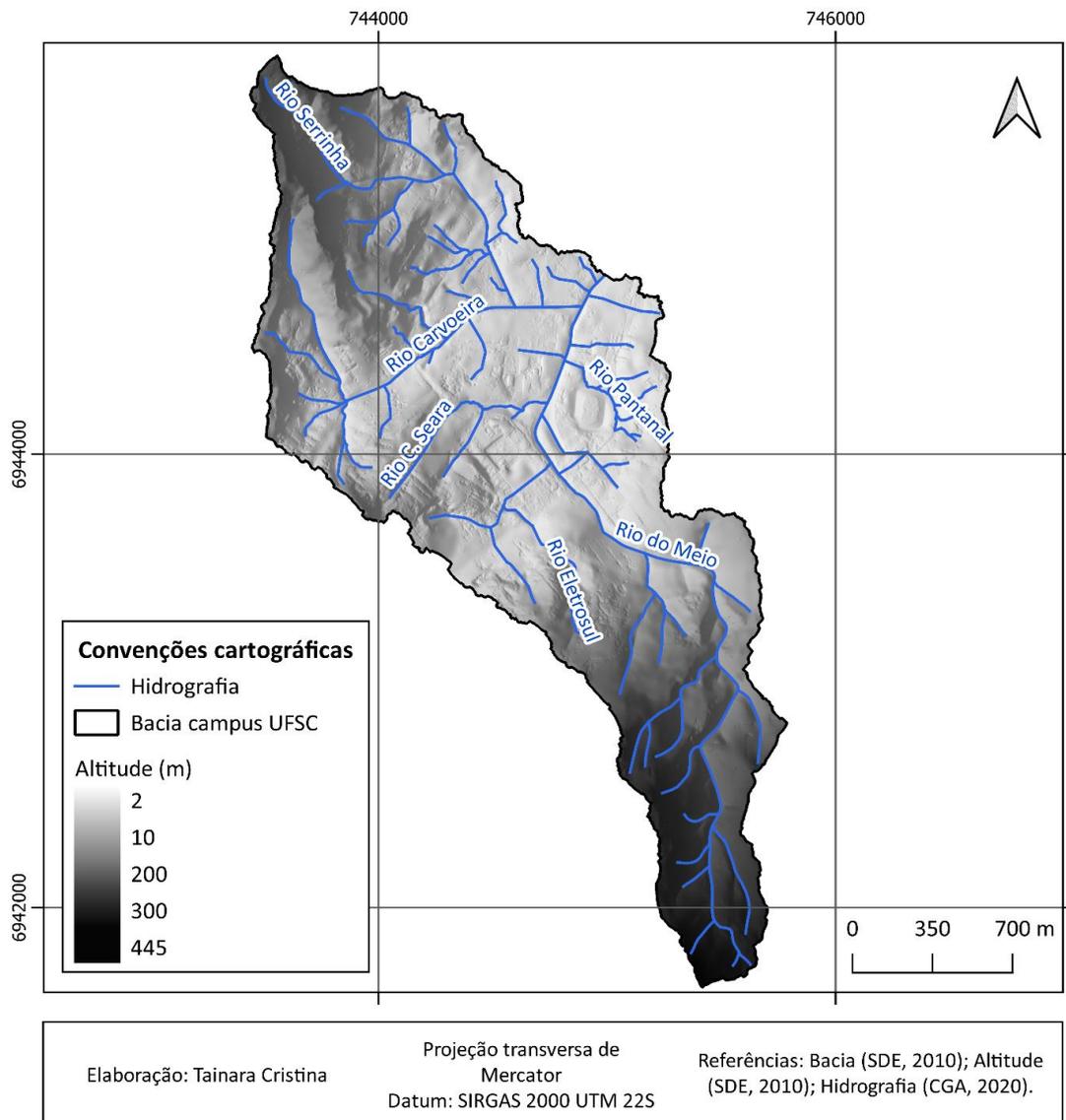
Figura 5 - Localização da bacia do campus UFSC em Florianópolis.



Localizada na região centro oeste da ilha de Santa Catarina, região densamente ocupada (AQUINO, 2017). A bacia do rio do Meio está ainda inserida na bacia do Itacorubi, segunda maior do município (25 km²) e com histórico de inundações (MONTEIRO *et al.*, 2021).

A hidrografia da bacia (Figura 6) é formada pelo rio principal, o rio do Meio, o qual possui aproximadamente 4 km de extensão com escoamento na direção sul para o norte, onde desagua na região do manguezal do Itacorubi (MULUNGO, 2012). Além do rio principal, observam-se afluentes como os rios Serrinha, Pantanal, Cesar Seara, Eletrosul e Carvoeira (MULUNGO, 2012).

Figura 6 - Hidrografia da bacia do campus UFSC.



4.2 RELEVO

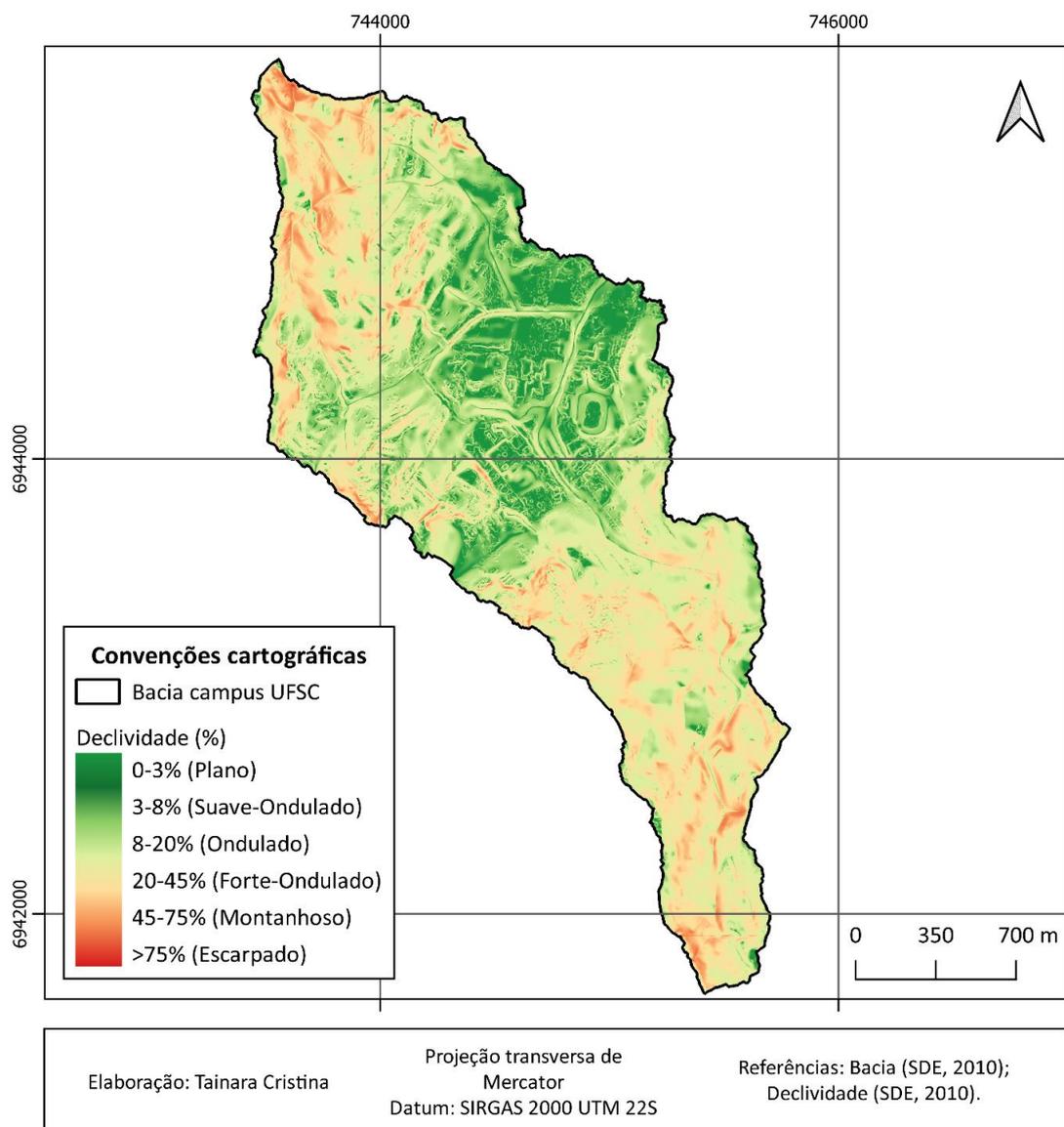
No que tange aos aspectos geomorfológicos, o município de Florianópolis apresenta planícies de origem costeira e marinha e morros altos escarpados (GUEDES JÚNIOR, 1999). Segundo Covello, Horn Filho & Brilha (2017), a face oeste da ilha de Santa Catarina, onde localiza-se a área de estudo compreende as seguintes particularidades:

“A face oeste, mais abrigada e em contato com as águas das baías Norte e Sul, possui elevações suaves com pequenas enseadas e sacos com praias abrigadas, e nas planícies costeiras, drenadas por restritas microbacias que terminam em estuários, se desenvolvem os ambientes de manguezais e marismas.” (COVELLO; HORN FILHO; BRILHA, 2017, p. 4).

A bacia do campus UFSC abrange ambas as unidades geomorfológicas observadas no município de Florianópolis (IBGE, 2021). As planícies litorâneas incluem o manguezal do Itacorubi (FLORIANÓPOLIS, 2019) e são caracterizadas como terraços fluviomarinhos com natureza de acumulação sedimentológica (IBGE, 2021). Quanto aos morros íngremes, a bacia é circundada pelo Maciço da Costeira ao sul, Morro da Cruz a oeste e Maciço da Lagoa a leste (FLORIANÓPOLIS, 2019), modelados por dissecação, ou seja, através de processos erosivos.

Na Figura 7 pode se observar a declividade da bacia do campus UFSC, classificada conforme recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (EMBRAPA, 1979). A área apresenta diferentes tipologias de relevo, sendo que nas encostas há ocorrência de maiores declividades, enquanto na região de desembocadura ocorrem declividades menos acentuadas, praticamente planas.

Figura 7 - Declividade da bacia campus UFSC.



A Tabela 1 exibe as áreas para cada classe de declividade que compõem o relevo da bacia do campus UFSC, obtidas através da manipulação do Modelo Digital de Elevação (MDE) fornecido pela Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Sustentável (SDE).

Tabela 1 - Áreas calculadas para cada classe de declividade na bacia do campus UFSC.

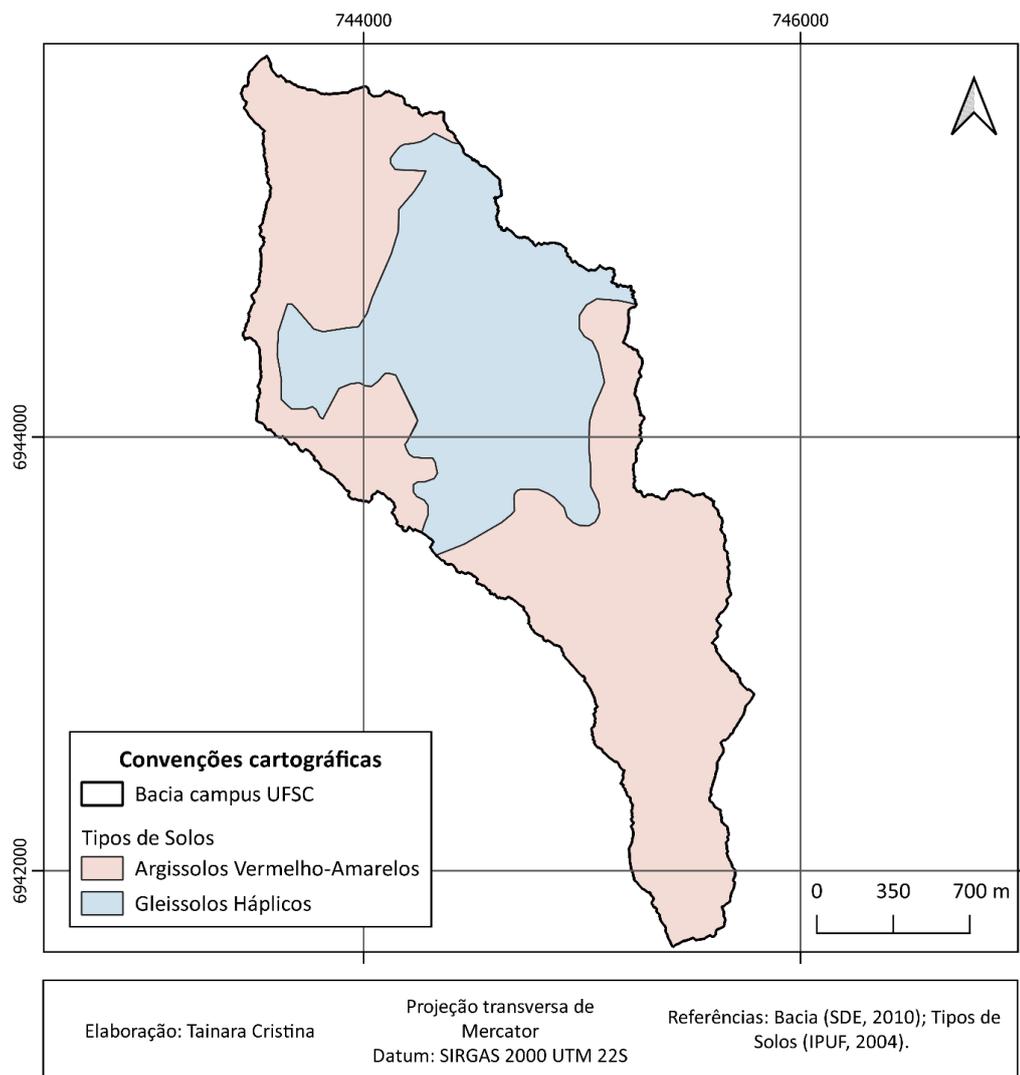
Declividade	Área (km ²)	Área (%)
Forte Ondulado	1,79	43,85
Ondulado	1,11	27,23
Montanhoso	0,51	12,54
Suave Ondulado	0,50	12,19
Plano	0,14	3,48
Escarpado	0,03	0,72
Total	4,09	100%

A área possui predominância de relevo forte ondulado (43,85%), seguido de ondulado (27,23%). As classes de menor aparição são escarpado e plano com 0,72% e 3,48%, respectivamente.

4.3 PEDOLOGIA

Os tipos de solos abrangidos na área de estudo são o gleissolo háplico eutrófico e os argissolos vermelhos amarelos distróficos (FLORIANÓPOLIS, 2004), classificados conforme estabelecido pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). A Figura 8 exibe a distribuição espacial dos solos registrados na bacia do campus UFSC.

Figura 8 - Tipos de solos encontrados na bacia campus UFSC.



Os argissolos são caracterizados por possuírem acréscimo no teor de argila do horizonte superficial para o B, sendo que as texturas variam de arenosa a argilosa no horizonte superficial e de média a muito argilosa no horizonte Bt. Demais características destes solos são: profundidade variável, forte a imperfeitamente drenados, de cores vermelho-amareladas e/ou amarelo-avermelhadas e forte a moderadamente ácidos (EMBRAPA, 2018).

Quanto aos gleissolos, esses apresentam saturação por água de modo permanente ou periodicamente, sendo definidos como hidromórficos. Nestes tipos de solos predominam ambientes redutores que proporcionam a ocorrência da gleização, na qual tem-se a manifestação de cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas. Além disso, são solos mal ou muito mal drenados em condições naturais, sendo encontrados em áreas de relevo plano de terraços fluviais, lacustres ou marinhos (EMBRAPA, 2018), como é o caso da área de estudo.

A incidência dos gleissolos ocorre nas áreas mais planas da bacia, onde o processo de infiltração é limitado, tanto pelas características do solo, quanto pelo elevado nível do lençol freático (FLORIANÓPOLIS, 2019). Já nas áreas de encostas predominam os argissolos, regiões em que a capacidade de infiltração é impulsionada pela presença de vegetação, contudo, por serem solos rasos e argilosos tal capacidade não é tão significativa (FLORIANÓPOLIS, 2019).

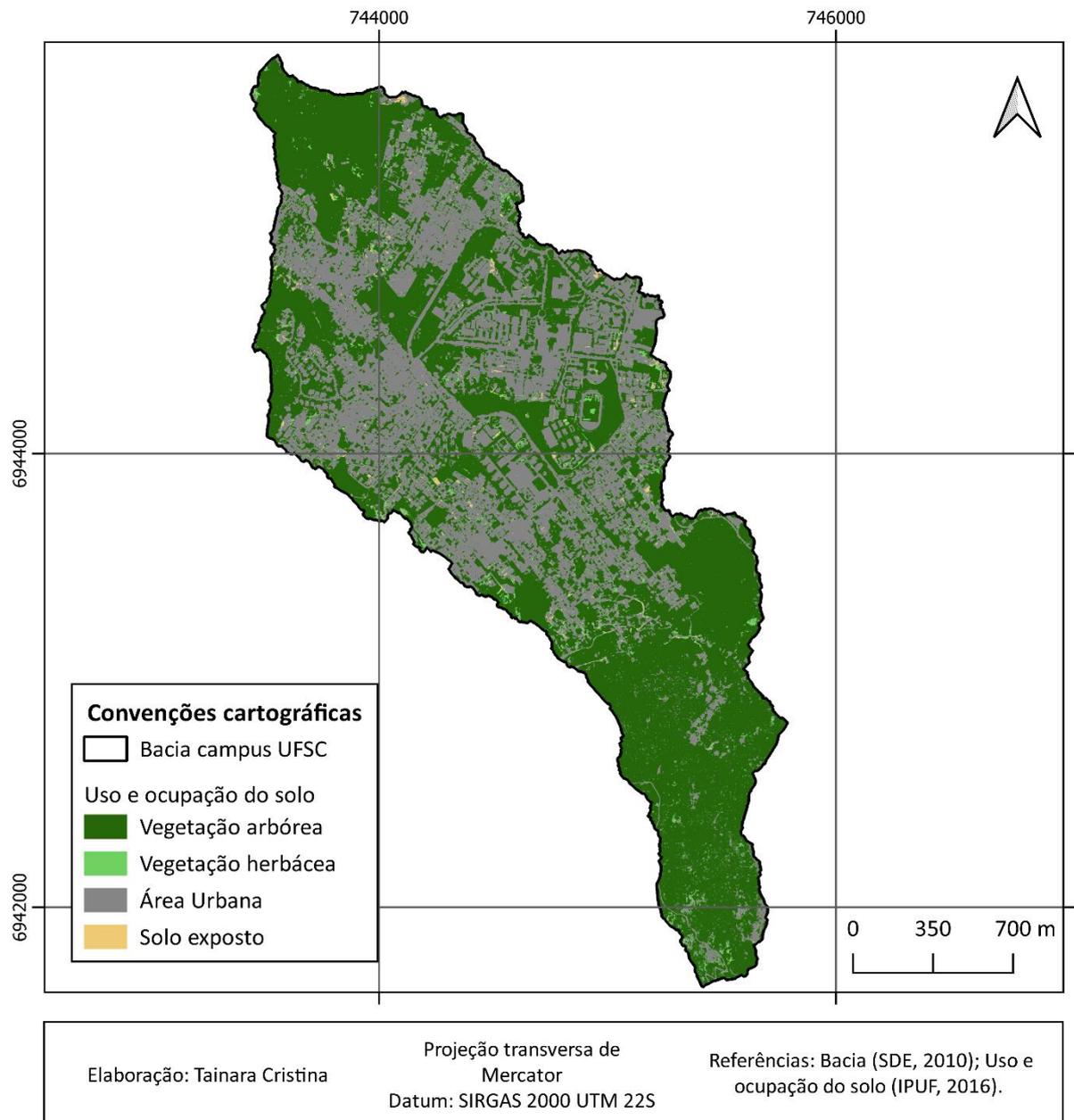
4.4 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO

A bacia do Itacorubi, na qual localiza-se a bacia do campus UFSC, teve seu processo de urbanização marcado pela implantação da universidade federal e de sedes de órgãos públicos na década de 60, que impulsionou a expansão urbana na região por meio do setor imobiliário e comercial (SANTOS, 2003).

Por conseguinte, o crescimento urbano se deu inicialmente ao redor dessas instituições, se expandindo posteriormente para áreas de encostas e topos de morros de modo não planejado (SANTOS, 2003). Por meio do processo de exploração da área, modificou-se intensivamente o uso do solo e assim, se expos a bacia à diversas problemáticas de cunho ambiental, especialmente as relacionadas a drenagem urbana (MULUNGO, 2012).

A Figura 9 exhibe o uso e ocupação do solo para a bacia da UFSC. O mapeamento foi feito por meio de classificação supervisionada no *software* QGIS com ortofoto datada de 2016 do Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF) com resolução espacial de 0,12m.

Figura 9 - Uso e ocupação do solo da bacia campus UFSC no ano de 2016.



Percebe-se que a área central da bacia é densamente urbanizada com a presença de edificações e vias pavimentadas, enquanto nas regiões próximas aos maciços de morros predomina vegetação arbórea, de fitofisionomia enquadrada em vegetação ombrófila densa. A Tabela 2 exhibe as áreas calculadas para as diferentes classes de solo avistadas na área de estudo.

Tabela 2 - Áreas calculadas para cada classe de uso e ocupação do solo na bacia campus UFSC.

Declividade	Área (km²)	Área (%)
Vegetação arbórea	2,48	61%
Área urbana	1,47	36%
Vegetação herbácea	0,11	3%
Solo exposto	0,03	1%
Total	4,09	100%

4.5 CLIMA E REGIME DE CHUVAS

O clima da região é influenciado pelo domínio de massas de ar quente e úmida, Tropical Atlântica, Intertropical e Polar Atlântica (FREYESLEBEN, 1979). De acordo com a classificação de Köppen, o estado de Santa Catarina apresenta tipo climatológico classificado como clima mesotérmico úmido (Cf), ou seja, sem estação seca definida. Tal classificação envolve ainda dois subtipos, o clima subtropical (Cfa) e clima temperado (Cfb) (PANDOLFO *et al.* 2002).

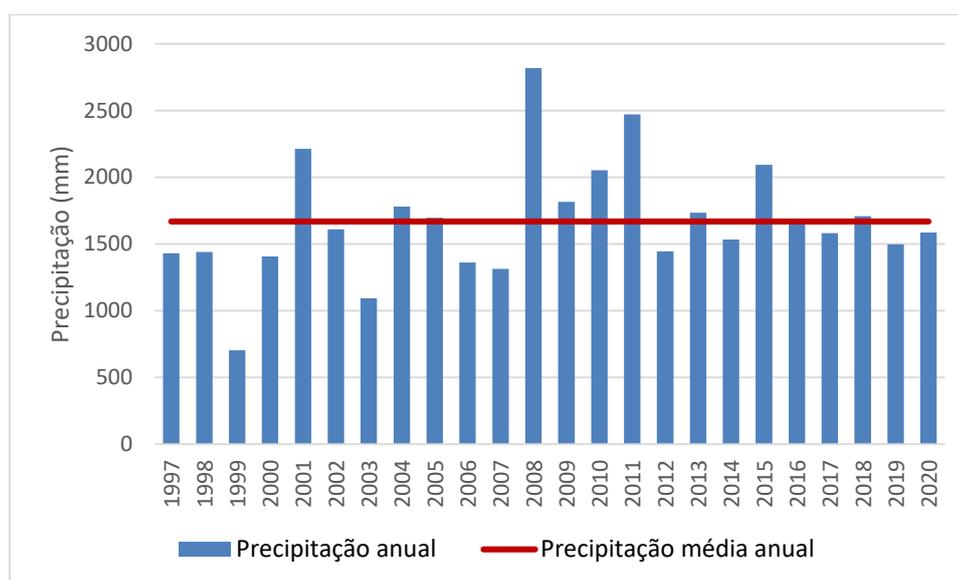
O município de Florianópolis é abrangido especificamente pelo clima subtropical, o qual interfere em toda a região litorânea do Estado (WREGGE *et al.*, 2012). Tal tipologia climática compreende características como temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C e temperatura média do mês mais quente maior que 22 °C (WREGGE *et al.*, 2012). Além disso as estações de verão são quentes e possuem tendência na concentração de chuvas (PANDOLFO *et al.*, 2002).

No que tange aos aspectos relacionados ao regime de chuvas na área do estudo, há interferências condicionadas ao relevo e localização geográfica (MONTEIRO, 2001), tendo influência ainda do encontro de massas de ar Polar Atlântica e Tropical Atlântica que resultam na Frente Polar Atlântica (FREYESLEBEN, 1979). Segundo informações de Thomé *et al.* (1999), a precipitação total anual é de cerca de 1500 mm, com 140 a 158 dias chuvosos por ano.

Para avaliar o regime pluviométrico na área de estudo consultou-se os dados gerados na estação 125, convencional, sob responsabilidade da Fundação de Apoio ao Desenvolvimento Rural do Estado de Santa Catarina (FUNDAGRO) e a estação 1006, automática, sob responsabilidade da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI). Ambas as estações se localizam nas coordenadas X UTM 746084 e Y UTM 6946676, sendo o período de dados avaliado entre 1997 e 2020 (Figura 10).

Os dados obtidos para a estação da FUNDAGRO englobam o período entre janeiro de 1996 e maio de 2015 enquanto a estação 1006 apresenta as medições entre maio de 2001 e dezembro de 2020 (EPAGRI, 2020). Neste sentido, até o ano de 2014 foram utilizados na análise os dados da estação da FUNDAGRO e a partir de 2014, os dados da estação automática 1006 visando obter uma série de dados mais representativa da área de estudo.

Figura 10 - Precipitação anual e média anual entre os anos de 1997 e 2020 medida nas estações da FUNDAGRO e estação automática 1006.



Fonte: EPAGRI (2020).

A partir da análise dos dados, foi verificada que a precipitação média anual na bacia do Itacorubi é de 1668,34 mm (EPAGRI, 2020). A distribuição da precipitação média anual varia entre estações, sendo observada maior concentração de chuva entre os meses de janeiro a março (verão), os quais concentram 34,2% desse montante, seguido pelos meses de outubro a dezembro (primavera) com 26,6%, meses de julho a setembro (inverno) com 19,7% e, por fim, os meses de abril a junho (outono) com 19,4% (EPAGRI, 2020).

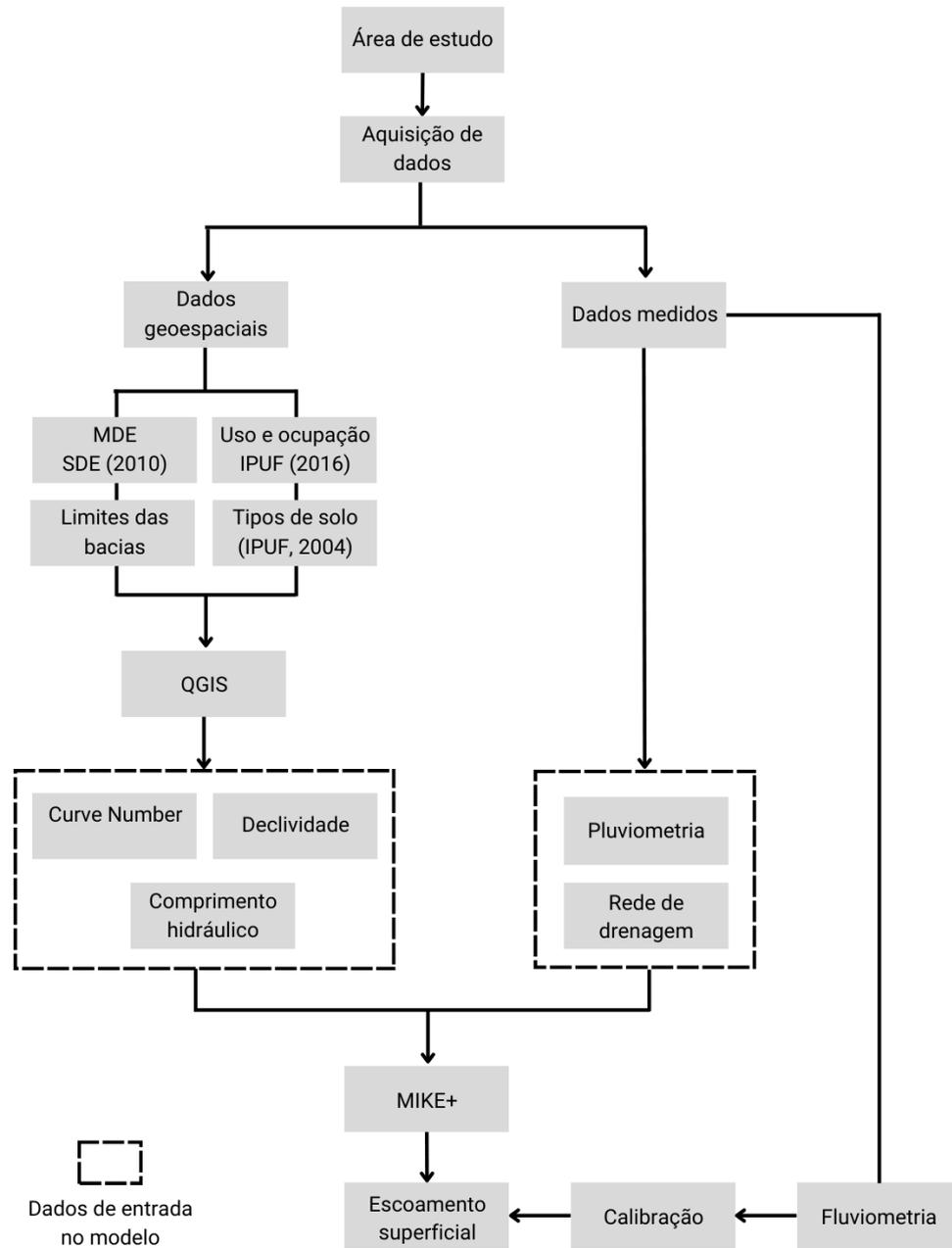
5 METODOLOGIA

A metodologia aplicada no presente estudo consiste na obtenção de dados de entrada para alimentar o modelo MIKE+, permitindo assim, executar e calibrar o modelo para estimar o escoamento superficial na bacia. Desta maneira, após definição do método de cálculo do escoamento superficial e compreensão de seu funcionamento no *software*, foram elencados os parâmetros de entrada do modelo, a saber: *Curve number*, declividade média das sub-bacias, comprimento hidráulico das sub-bacias, dados pluviométricos e rede de drenagem da área de estudo.

Na aquisição dos dados de entrada, dois fluxos principais foram estabelecidos, o primeiro diz respeito aos dados espaciais e o segundo aos dados medidos *in loco*. Os dados espaciais foram processados por meio do *software* QGIS versão 3.12.3 e 3.22.5 enquanto os dados medidos em campo foram analisados e processados por Scotti (2022).

Outros bancos de dados utilizados foram o SIG SC, de responsabilidade da Secretaria de Desenvolvimento Econômico e Sustentável (SDE), do qual foi obtido o Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução espacial de 1m, Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis (IPUF), para obtenção de ortofoto com resolução espacial de 0,12m e tipo do solo da bacia em escala 1:100.000. Ainda, para posterior calibração e validação do modelo foi utilizada série de dados de vazão com período entre 2017 e 2018 fornecida pelo Laboratório de Hidrologia (LabHidro) da UFSC. A Figura 11 resume por meio de fluxograma a metodologia adotada.

Figura 11 - Fluxograma metodológico.



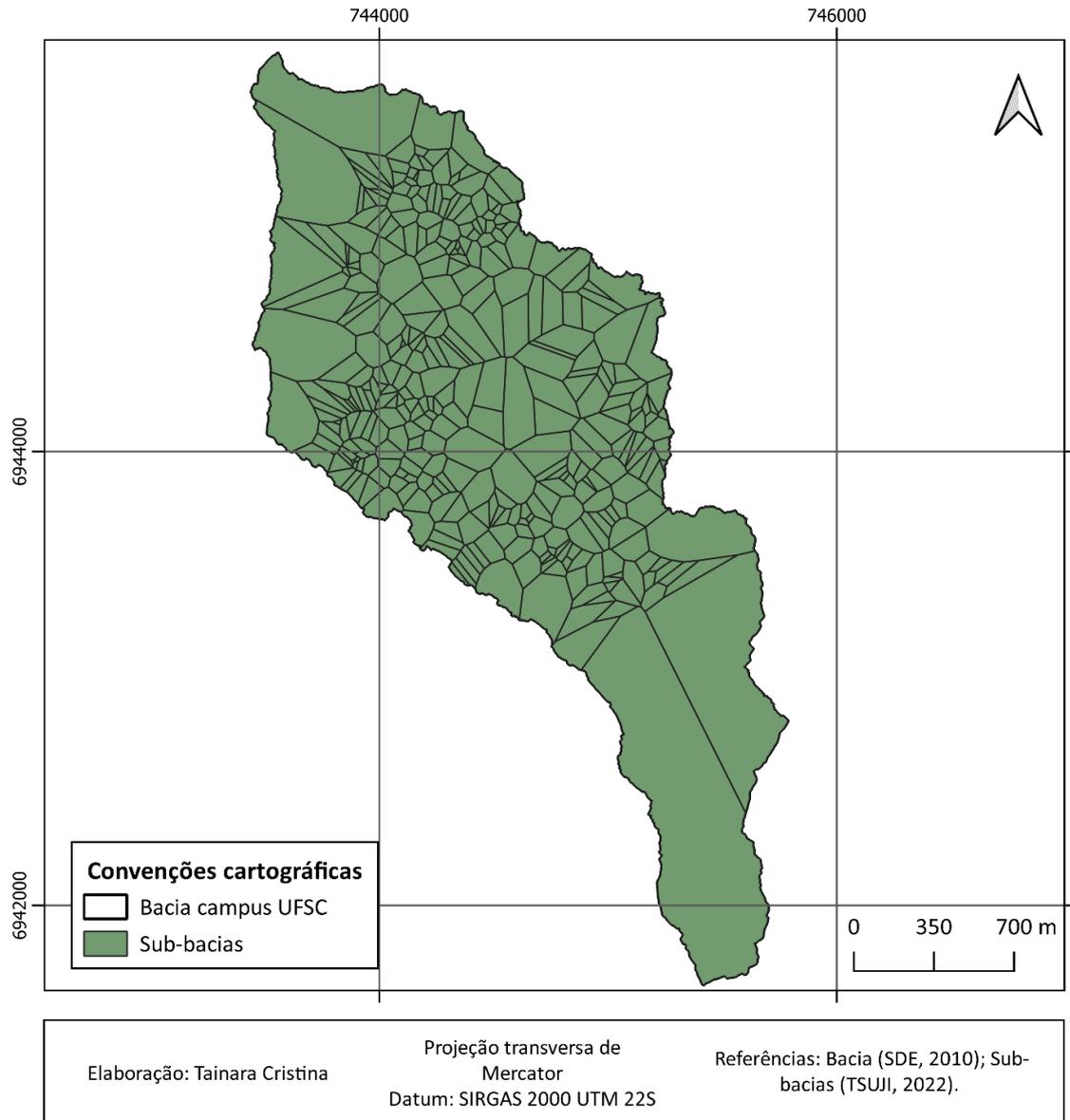
5.1 MODELAGEM

5.1.1 Discretização da bacia

A área de estudo foi dividida em sub-bacias considerando a área contribuinte de cada boca de lobo correspondente a rede de drenagem existente na bacia campus UFSC. As sub-

bacias foram determinadas por Tsuji (2022) através do método do polígono de Thiessen, obtendo-se ao todo, 354 áreas de contribuição (Figura 12).

Figura 12 - Sub-bacias definidas para a área de estudo.



Destaca-se que usualmente consideram-se áreas contribuintes dos poços de visita, uma vez que são dispositivos que concentram entroncamentos de galerias. Contudo, a bacia do campus UFSC não apresenta esse tipo de estrutura, inviabilizando sua aplicação.

5.1.2 Modelo de infiltração

Para determinação da chuva efetiva, ou seja, a parcela de chuva que de fato se transforma em escoamento superficial, optou-se dentre os quatro métodos disponíveis, pela adoção do método SCS, desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, do inglês, *Soil Conservation Service*. A escolha de tal método deu-se uma vez que para sua implementação é necessário a determinação apenas do parâmetro *Curve number* (CN), conhecido como número de deflúvio.

Outro fator relevante para a escolha do SCS-CN foi a ocorrência de diversos estudos com o mesmo método, como o de Mulungo (2012), Wu (2019), Santana (2019), Scotti (2022), que permitem a comparação e verificação de resultados e ainda aperfeiçoar inconsistências observadas em modelagens já previamente realizadas na mesma área de estudo.

O SCS-CN baseia-se na equação do balanço hídrico e em duas hipóteses que se relacionam com a capacidade de armazenamento de água no solo. A equação básica para o balanço hídrico adotada no método SCS e implementada no MIKE+ é exibida na Equação 1.

$$P = P_e + I_a + F_a \quad (1)$$

Onde P_e é a chuva efetiva e em m, P é a precipitação ocorrida ao longo de um evento de chuva em m, F_a é a infiltração acumulada ao longo do evento de chuva em m e I_a são as perdas iniciais em m.

Quanto as hipóteses, a primeira considera que as razões das duas quantidades reais para as duas quantidades potenciais são iguais (Equação 2) e a segunda hipótese admite que as perdas iniciais equivalem a 20% da máxima infiltração acumulada (Equação 3).

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad (2)$$

$$I_a = 0,2S \quad (3)$$

Onde F_a é a infiltração acumulada ao longo do evento de chuva em m, S é a máxima infiltração acumulada potencial em m, P_e é a chuva efetiva em m, P é a precipitação ocorrida ao longo de um evento de chuva em m e I_a são as perdas iniciais em m. Combinando as equações 1, 2 e 3 obtém-se a Equação 4 a seguir.

$$P_e = \frac{(P-0,2S)^2}{P+0,8S} \quad (4)$$

Onde P_e é a chuva efetiva em m, P é a precipitação ocorrida ao longo de um evento de chuva em m e S é a máxima infiltração acumulada potencial em m. O parâmetro S por sua vez, pode ser relacionado ao parâmetro CN, conhecido como número de deflúvio (Equação 5).

$$S = \left(\left(\frac{1000}{CN} \right) - 10 \right) \times 25,4 \times 10^{-3} \quad (5)$$

Sendo S a máxima infiltração acumulada potencial em m e CN o número de deflúvio adimensional, tal parâmetro é classificado de acordo com o tipo do solo e uso e ocupação do solo, que varia em uma escala de 0 a 100, onde 0 seriam condições perfeitamente permeáveis e com solos com grande capacidade de infiltração e 100, condições de extrema impermeabilidade da cobertura com solos de baixíssima infiltração (TUCCI, 1998).

Para vincular as características dos solos juntamente com as condições de cobertura e uso do solo e com o número de deflúvio, o SCS definiu grupos hidrológicos de solo que consideram a capacidade de infiltração e o potencial de geração de escoamento superficial dos solos. Foram definidos ao todo, quatro grupos hidrológicos: grupo A, B, C e D.

Especificamente para a área de estudo, foi observada predominância de solos do tipo Argissolos Vermelho-Amarelos e Gleissolos Háplicos, os quais, segundo classificação proposta por Sartori, Lombardi Neto e Genovez (2005), podem ser enquadrados como grupo C e D, respectivamente. As seguintes características são vinculadas ao grupo C e D:

“Grupo C – solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo.

Grupo D – solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muita baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.” (TUCCI, 1998, p. 280).

A Tabela 3 exhibe os números de deflúvio adotados para os grupos hidrológicos conforme o uso e cobertura do solo avistado na bacia do campus UFSC. As áreas urbanas englobaram os telhados, vias asfaltadas, estacionamentos etc., para a vegetação arbórea adotou-

se CN de referência madeira, o qual apresenta madeira protegida de podas, e solo coberto por matéria vegetal em decomposição (TUCCI, 1998).

A vegetação herbácea englobou o grupo das pastagens, gramados ou campos que apresentam cobertura do solo superior a 75% e podas leves e ocasionais. Por fim, para o solo exposto foi considerado a referência de arruamentos de terra (TUCCI, 1998).

Tabela 3 - Número de deflúvio para os diferentes grupos hidrológicos de solos.

Uso do solo	Referência	Número de deflúvio	
		Grupo C - Argissolo	Grupo D - Gleissolo
Área urbana	Parques e estacionamentos, telhados, viadutos, vias asfaltadas	98	98
Vegetação arbórea	Madeira – boa condição	70	77
Vegetação herbácea	Pastagens, gramados ou campos – boa condição	74	80
Solo exposto	Arruamentos e estradas - terra	87	89

Fonte: Tucci (1998).

É válido ressaltar que os números de deflúvio variam de acordo com as condições de umidade antecedente do solo (TUCCI, 1998), a saber:

- AMC I – solos secos nos quais as chuvas não ultrapassaram 15 mm nos últimos 5 dias.
- AMC II – cenário médio em época de cheias, com as chuvas totalizando entre 15 mm e 40 mm nos últimos 5 dias.
- AMC III – solo próximo da saturação, com as chuvas ultrapassando 40 mm nos últimos 5 dias.

A Tabela 3 exhibe valores de CN tabelados considerando as condições de umidade antecedente AMC II, para as demais condições deve-se aplicar correções conforme Equação 6 e 7.

$$AMC(I) = \frac{4,2AMC(II)}{10-0,058AMC(II)} \quad (6)$$

$$AMC(III) = \frac{23AMC(II)}{10+0,13AMC(II)} \quad (7)$$

Onde AMC(I) é a condição de umidade antecedente de solos secos (adimensional), AMC(II) é a condição de umidade antecedente média (adimensional) e AMC(III) é a umidade antecedente de solos próximos a saturação (adimensional).

5.1.3 Transformação chuva-vazão

Para determinação do processo de transformação chuva-vazão optou-se pelo emprego do hidrograma unitário SCS triangular e adimensional. Os hidrogramas SCS relacionam a duração do evento (d) com o tempo de pico do hidrograma (t_p), também chamado de *lagtime*, definido como a diferença de tempo entre o centro de massa da chuva efetiva e o pico do hidrograma unitário (DHI, 2022b). A Equação 8 estima o tempo de subida do hidrograma (T_p) através da duração do evento de precipitação e o *lagtime*.

$$T_p = \frac{d}{2} + t_p \quad (8)$$

Sendo que T_p é o tempo de subida do hidrograma em horas, d é a duração do evento de precipitação em horas e t_p é o tempo de pico (*lagtime*) em horas. O parâmetro t_p é usualmente calculado como sendo 60% do tempo de concentração da bacia (DORNELLES; COLLISCHONN, 2015). Contudo, no MIKE+ há possibilidade de tanto imputar, como calcular o *lagtime* a partir do uso da Equação 9.

$$t_p = (L \times 3,28 \times 10^3)^{0,8} \times \frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7}}{(1900 \times Y^{0,5})} \quad (9)$$

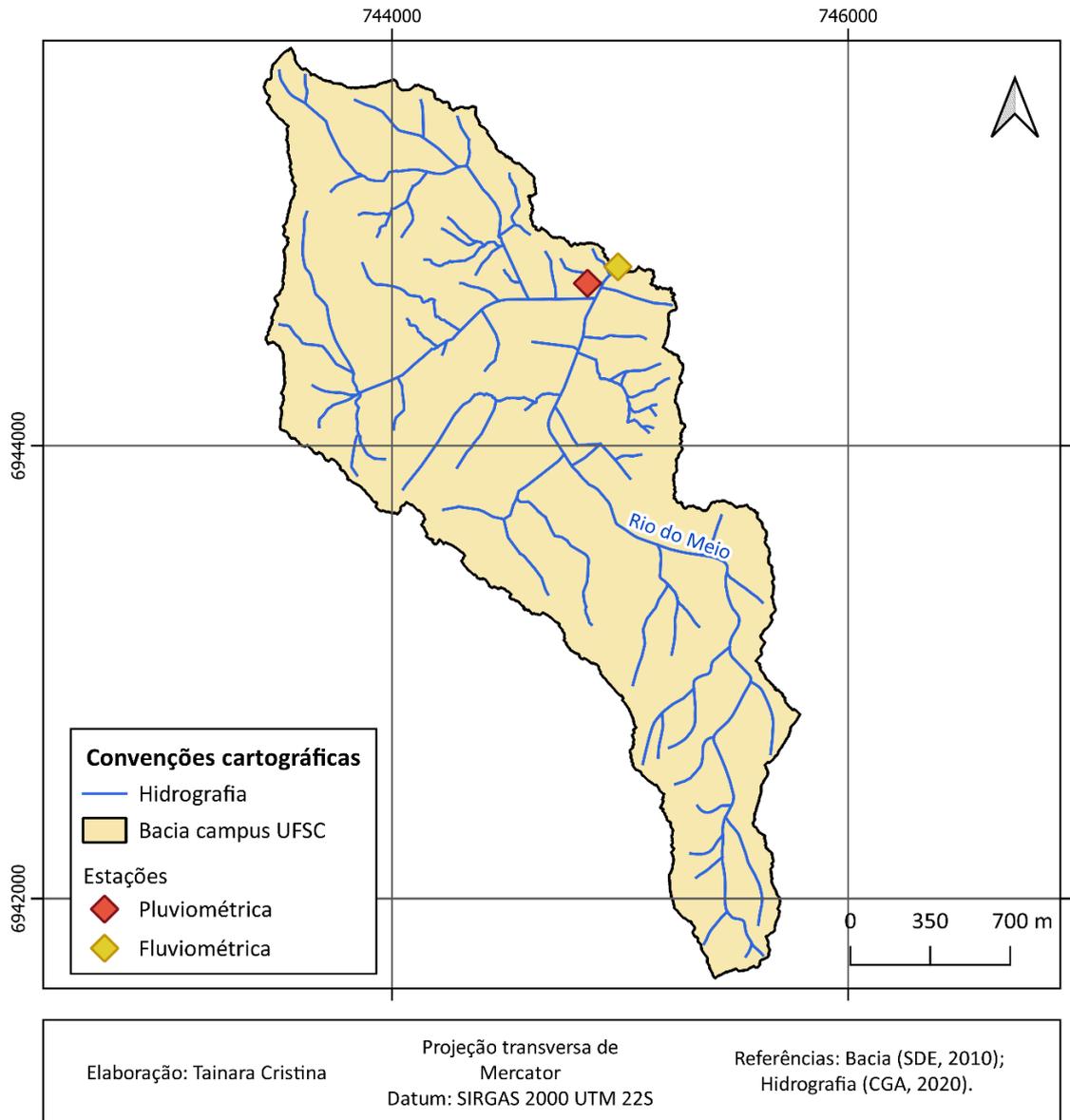
Onde t_p é o *lagtime* em horas, L é o comprimento hidráulico da bacia em km, CN é número de deflúvio (adimensional) e Y é a declividade média da bacia em %. Para o presente trabalho adotou-se a metodologia de cálculo do modelo MIKE+ com a Equação 9.

5.2 DADOS DE ENTRADA

5.2.1 Dados pluviométricos e fluviométricos

Os dados pluviométricos e fluviométricos foram obtidos por meio do LabHidro e Núcleo de Estudos Ambientais (NEA), respectivamente. As medições simultâneas de precipitação e vazão ocorreram pelo período de aproximadamente 16 meses, entre 24/02/2017 e 15/06/2018, com medições de 5 em 5 minutos, aproximadamente. A localização da estação pluviométrica pode ser observada na Figura 13.

Figura 13 - Localização da estação pluviométrica e fluviométrica.



Quanto aos eventos selecionados, estes constam na Tabela 4. Os eventos de precipitação foram selecionados por Scotti (2022) em rotina de *python*, o qual baseou-se principalmente em critérios de duração e intensidade, buscando avaliar eventos de pequeno, médio e grande porte com intensidades variáveis.

Tabela 4 - Eventos de precipitação selecionados para a modelagem.

Evento	Data	Hora	Precipitação acumulada (mm)	Duração (h)	AMC (mm/5d)	Classe AMC
350	02/08/2017	02:55:00	41,45	12:50:00	0,00	AMC I
420	10/11/2017	13:30:14	23,29	2:50:00	3,20	AMC I
477	09/01/2018	08:20:00	59,00	06:00:01	3,20	AMC I
482	10/01/2018	04:20:01	89,53	15:15:01	78,18	AMC III
483	10/01/2018	21:05:02	152,15	10:05:00	167,72	AMC III
596	13/04/2018	17:25:00	28,75	04:35:00	1,85	AMC I

Fonte: Scotti (2022).

Quanto aos eventos de médio porte, estes englobaram os eventos 420, 477 e 596 apresentando chuvas de média intensidade com precipitação entre 29 e 59 mm. Por fim, os eventos de longa duração e elevada intensidade foram o 482 e 483, enquanto o evento 350 também apresentou longa duração, porém, com baixa intensidade (SCOTTI, 2022).

Avaliando-se as umidades antecedentes do solo, verifica-se a incidência de AMC I para a maioria dos eventos selecionados (71,4%), ou seja, solos secos onde as chuvas não ultrapassaram 15mm nos últimos 5 dias (SCOTTI, 2022). Também foram observados eventos com AMC III (28,6%) por terem ultrapassado 40mm de chuva nos últimos 5 dias. Não foram identificados eventos selecionados com AMC II (SCOTTI, 2022).

Quanto ao parâmetro fator de área, aquele utilizado para compensar a distribuição não uniforme da chuva na bacia, adotou-se 1, valor *default* do modelo.

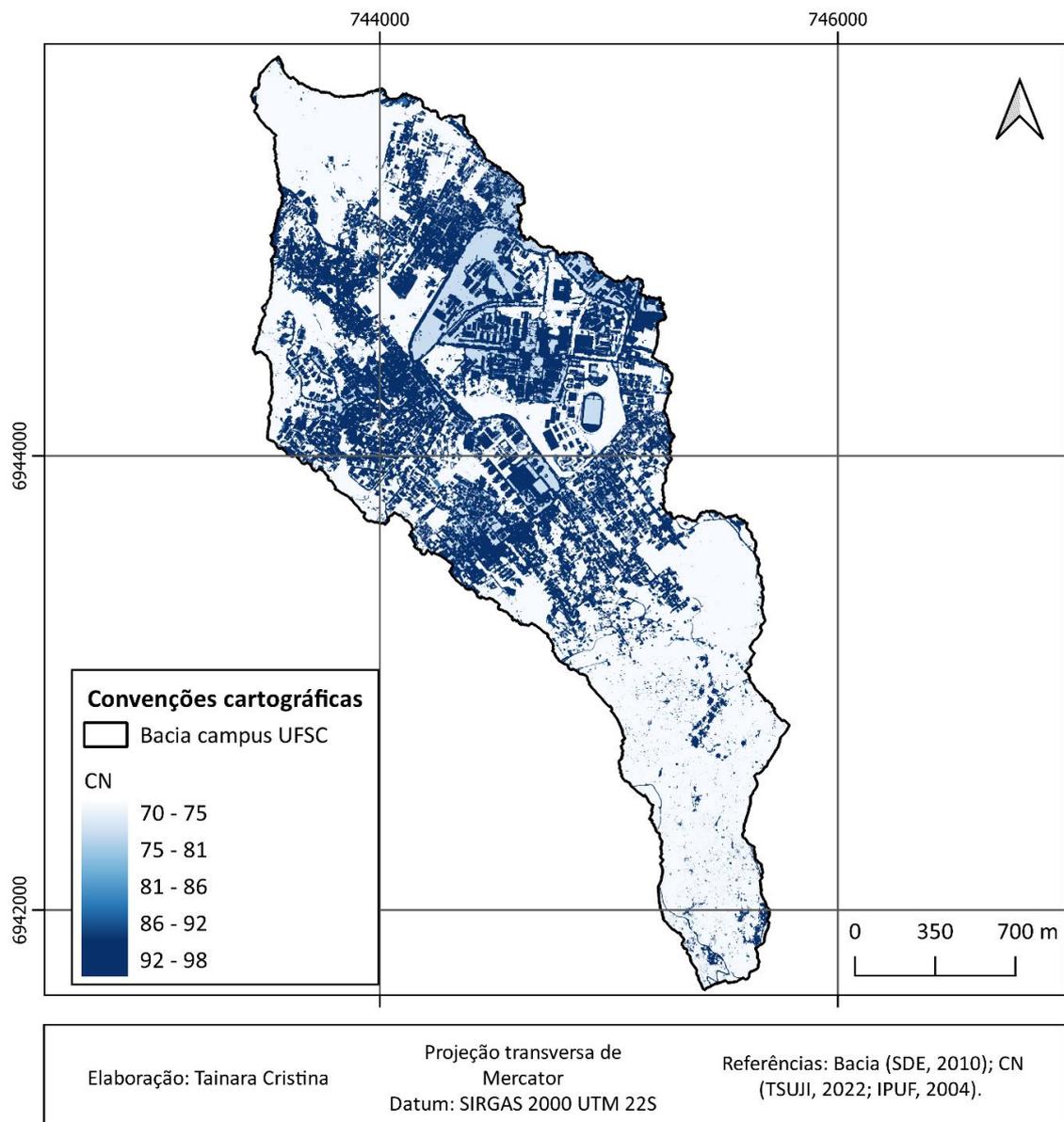
5.2.2 Vazão de base

A vazão de base foi obtida do trabalho de Santana (2022), a qual avaliou os impactos da urbanização sobre o regime fluviométrico da bacia do rio do Meio. Em seus resultados, a autora analisou as vazões mínimas e máximas de um período entre 1997 e 2020 para três diferentes cenários. Neste sentido, adotou-se como vazão de base a média das vazões mínimas resultantes de cada ano para o cenário referente a classificação do uso do solo do ano de 2019, culminando num valor de vazão de 0,418 m³/s (SANTANA, 2022).

5.2.3 Curve number

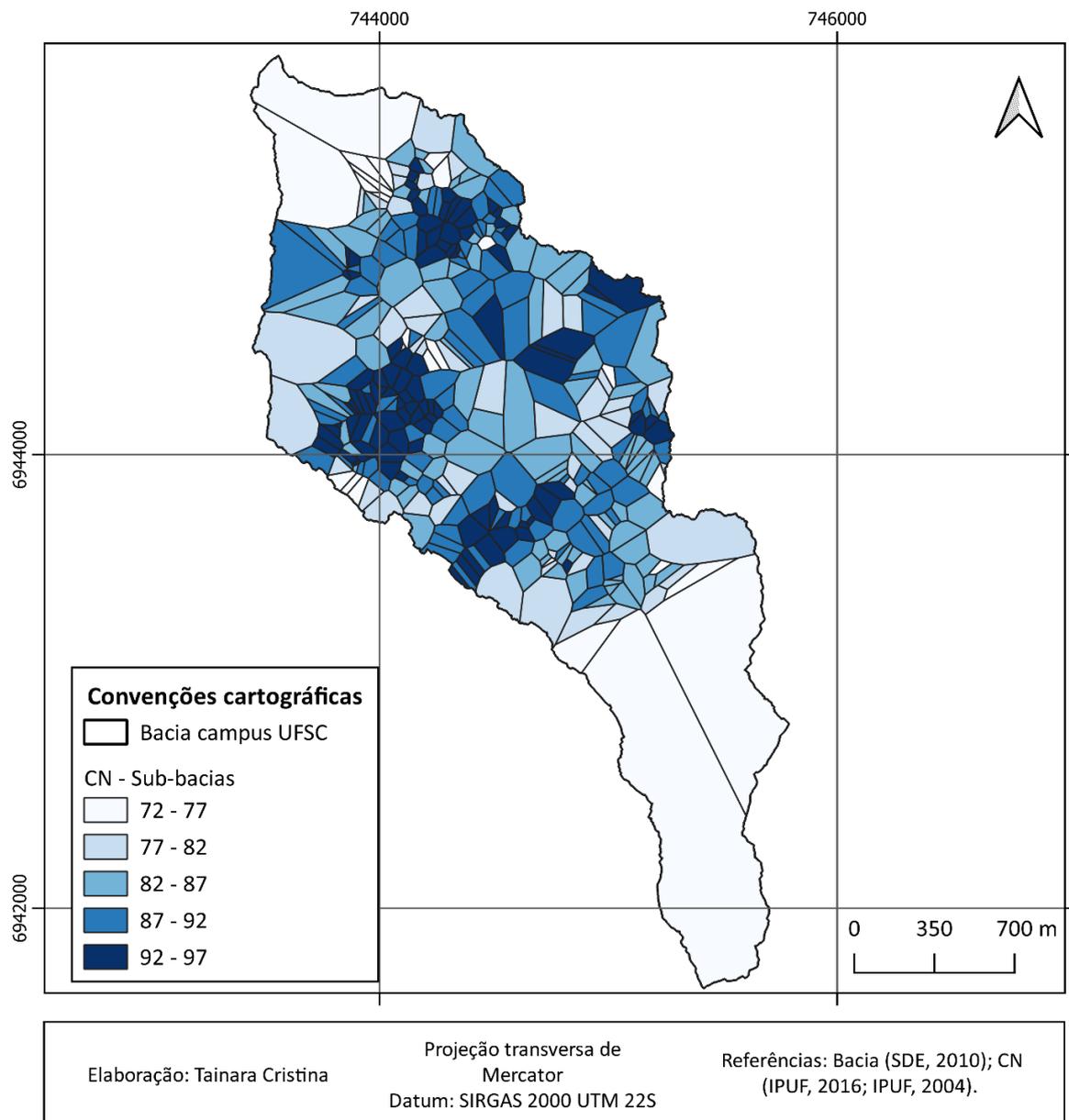
O *curve number* pode ser obtido através do cruzamento de dados espaciais referentes ao uso e ocupação do solo e os tipos de solos presentes na bacia. O uso e ocupação do solo resultou da classificação supervisionada de ortofoto do IPUF referente ao ano de 2016, enquanto os tipos de solo foram obtidos através do atlas de Florianópolis referente ao ano de 2004, sob responsabilidade também do IPUF. A Figura 14 exibe o *curve number* para a bacia do campus UFSC.

Figura 14 - CN obtido para a bacia do campus UFSC.



A partir do CN da bacia, calculou-se o CN médio ponderado por área para cada sub-bacia, obtendo-se o resultado final exibido na Figura 15. Verifica-se que as partes centrais da bacia, como esperado, possuem os números de deflúvios mais elevados, uma vez que se trata das áreas com maior incidência de urbanização, alcançando valores em torno de 97 enquanto nas cabeceiras sul e norte da bacia predominam CN próximo a 72, característicos de ambientes vegetados.

Figura 15 - CN médio ponderado por sub-bacia.



5.2.4 Lagtime

Para determinação do parâmetro *lagtime* (tempo de pico) foi necessária a determinação da declividade média, comprimento hidráulico e CN para cada área contribuinte. A declividade média foi obtida por meio do MDE fornecido pela SDE. Já os comprimentos foram obtidos diretamente dos polígonos de Thiessen, tendo sido considerado como sendo o maior comprimento da sub-bacia. A Tabela 5 exibe os dados imputados para cada sub-bacia (SB) em relação a declividade média (Y) e o comprimento hidráulico (L).

Tabela 5 - Parâmetros imputados no MIKE+ para determinação do *lagtime*.

SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)
1	12,62	0,38	90	9,92	0,12	179	23,26	0,09	268	22,18	0,10
2	5,18	0,32	91	24,68	0,09	180	10,53	0,15	269	26,52	0,15
3	6,18	0,15	92	24,00	0,10	181	14,87	0,16	270	6,32	0,09
4	38,24	0,31	93	14,08	0,06	182	26,23	0,06	271	17,67	0,13
5	34,43	0,21	94	31,89	0,09	183	24,88	0,07	272	22,13	0,08
6	35,13	0,32	95	34,16	0,13	184	7,91	0,22	273	8,25	0,14
7	37,18	0,15	96	23,59	0,06	185	19,57	0,08	274	7,22	0,10
8	32,91	0,38	97	14,93	0,10	186	18,87	0,08	275	8,20	0,04
9	34,95	0,15	98	20,98	0,11	187	11,17	0,26	276	3,80	0,05
10	37,96	0,15	99	13,11	0,05	188	14,57	0,18	277	8,37	0,11
11	40,73	0,18	100	17,34	0,15	189	15,19	0,13	278	4,67	0,20
12	37,93	0,07	101	9,34	0,07	190	13,06	0,13	279	15,95	0,07
13	32,59	0,99	102	29,85	0,04	191	12,91	0,24	280	5,27	0,09
14	37,92	0,24	103	21,11	0,12	192	17,38	0,11	281	7,32	0,05
15	35,86	1,7	104	7,03	0,11	193	22,92	0,07	282	20,84	0,13
16	22,91	0,18	105	8,59	0,13	194	19,66	0,10	283	9,75	0,14
17	35,67	0,16	106	28,91	0,14	195	19,17	0,13	284	39,90	0,23
18	34,48	0,17	107	23,58	0,10	196	16,47	0,12	285	24,34	0,15
19	29,78	0,28	108	42,54	0,13	197	15,80	0,12	286	8,02	0,07
20	35,67	0,09	109	23,15	0,10	198	7,99	0,21	287	7,36	0,19
21	31,80	0,21	110	39,93	0,11	199	11,49	0,18	288	20,59	0,06
22	32,11	0,10	111	15,86	0,10	200	12,26	0,20	289	38,25	0,16
23	26,03	0,16	112	28,31	0,06	201	12,75	0,05	290	39,11	0,13
24	36,89	0,07	113	41,82	0,11	202	16,40	0,08	291	6,75	0,08
25	24,84	0,11	114	10,54	0,12	203	9,96	0,34	292	16,33	0,11
26	8,61	0,13	115	34,10	0,04	204	12,55	0,18	293	15,28	0,12
27	29,28	0,09	116	35,62	0,11	205	14,44	0,05	294	5,35	0,06
28	11,93	0,15	117	35,43	0,10	206	12,57	0,10	295	19,92	0,11
29	23,43	0,08	118	22,26	0,02	207	14,52	0,10	296	12,08	0,08
30	34,97	0,11	119	17,05	0,16	208	14,24	0,11	297	13,34	0,08
31	11,66	0,14	120	20,14	0,02	209	17,62	0,13	298	8,87	0,07
32	13,61	0,12	121	10,11	0,17	210	6,49	0,11	299	7,95	0,08
33	33,74	0,17	122	40,38	0,08	211	8,07	0,12	300	7,26	0,06

SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)
34	45,21	0,10	123	11,10	0,11	212	23,21	0,18	301	21,13	0,11
35	32,20	0,07	124	9,25	0,19	213	9,31	0,16	302	5,62	0,05
36	9,70	0,13	125	24,62	0,07	214	12,01	0,14	303	29,56	0,12
37	48,04	0,07	126	22,82	0,16	215	9,91	0,24	304	6,47	0,08
38	30,92	0,10	127	23,57	0,07	216	17,24	0,13	305	17,75	0,13
39	12,53	0,06	128	33,52	0,07	217	13,56	0,10	306	31,75	0,13
40	50,41	0,06	129	23,40	0,16	218	10,32	0,18	307	6,93	0,06
41	29,63	0,10	130	23,91	0,16	219	13,71	0,11	308	14,42	0,11
42	8,29	0,13	131	19,35	0,11	220	21,83	0,21	309	10,11	0,13
43	452,63	0,04	132	17,17	0,10	221	29,87	0,19	310	7,19	0,05
44	28,64	0,10	133	28,83	0,13	222	10,70	0,32	311	14,12	0,09
45	16,85	0,15	134	20,99	0,15	223	13,95	0,09	312	10,27	0,08
46	27,14	0,18	135	20,53	0,10	224	6,26	0,22	313	18,18	0,13
47	27,33	0,49	136	14,73	0,23	225	9,43	0,08	314	10,08	0,13
48	30,26	0,11	137	11,40	0,19	226	13,03	0,08	315	15,13	0,09
49	12,30	0,15	138	15,46	0,14	227	11,10	0,18	316	30,38	0,19
50	8,89	0,12	139	10,60	0,27	228	17,98	0,04	317	27,89	0,15
51	22,78	0,18	140	17,36	0,13	229	30,86	0,09	318	15,56	0,09
52	17,61	0,16	141	14,24	0,12	230	9,87	0,08	319	18,16	0,13
53	8,62	0,11	142	22,13	0,07	231	30,19	0,45	320	19,63	0,13
54	8,11	0,11	143	18,89	0,11	232	22,50	0,12	321	23,97	0,12
55	10,03	0,10	144	16,52	0,10	233	9,45	0,18	322	8,37	0,16
56	26,05	0,18	145	25,44	0,12	234	13,62	0,13	323	41,66	0,64
57	24,11	0,19	146	18,71	0,12	235	10,97	0,18	324	16,44	0,08
58	18,51	0,10	147	23,44	0,13	236	9,48	0,23	325	33,12	0,10
59	7,16	0,05	148	13,51	0,10	237	29,88	0,18	326	25,64	0,13
60	12,54	0,04	149	19,08	0,13	238	21,06	0,17	327	16,03	0,06
61	17,84	0,15	150	27,11	0,10	239	9,24	0,29	328	18,61	0,08
62	13,59	0,11	151	28,57	0,36	240	32,25	0,22	329	18,85	0,10
63	12,46	0,09	152	15,95	0,10	241	8,28	0,21	330	26,62	0,16
64	16,28	0,08	153	14,41	0,04	242	5,74	0,29	331	22,19	0,07
65	18,11	0,14	154	21,19	0,12	243	6,62	0,22	332	11,93	0,16
66	19,53	0,17	155	22,63	0,09	244	9,03	0,29	333	25,93	0,23
67	11,55	0,08	156	17,25	0,10	245	5,79	0,18	334	13,41	0,06
68	8,32	0,12	157	13,69	0,09	246	6,43	0,26	335	28,16	0,09
69	18,76	0,12	158	14,56	0,14	247	10,05	0,15	336	18,30	0,05
70	9,81	0,10	159	13,58	0,17	248	25,68	0,23	337	16,85	0,08
71	17,43	0,16	160	26,55	0,10	249	39,31	0,28	338	32,53	0,30
72	22,57	0,16	161	36,34	0,08	250	29,63	0,16	339	27,57	0,20
73	20,50	0,11	162	23,73	0,05	251	11,72	0,16	340	19,10	0,07
74	9,95	0,16	163	12,27	0,14	252	9,46	0,19	341	22,39	0,15
75	27,51	0,17	164	9,93	0,20	253	25,34	0,19	342	18,33	0,05
76	32,30	0,18	165	19,90	0,12	254	5,32	0,22	343	14,66	0,13
77	15,96	0,12	166	26,30	0,09	255	4,32	0,17	344	9,40	0,11
78	11,57	0,16	167	22,96	0,10	256	5,83	0,19	345	6,59	0,18
79	17,45	0,16	168	27,20	0,11	257	36,74	0,15	346	14,71	0,11
80	22,68	0,22	169	13,79	0,05	258	34,73	0,22	347	13,11	0,08
81	28,96	0,13	170	18,96	0,09	259	7,40	0,16	348	12,70	0,10
82	8,48	0,22	171	30,30	0,08	260	36,50	0,40	349	22,09	0,11
83	32,40	0,15	172	10,13	0,40	261	43,50	0,05	350	21,57	0,31

SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)	SB	Y (%)	L (km)
84	24,06	0,15	173	22,99	0,06	262	41,00	0,38	351	19,90	0,07
85	8,43	0,13	174	19,74	0,07	263	40,42	0,36	352	13,86	0,15
86	32,82	0,07	175	17,75	0,09	264	34,92	0,07	353	30,92	0,19
87	11,27	0,09	176	11,84	0,14	265	10,06	0,14	354	42,04	0,71
88	8,55	0,09	177	9,41	0,18	266	31,09	0,06	-	-	-
89	21,39	0,11	178	15,64	0,27	267	42,81	0,26	-	-	-

No que tange o parâmetro CN, foram utilizados os valores já previamente calculados para cada sub-bacia apresentado no item 5.2.3.

5.2.5 Rede de drenagem

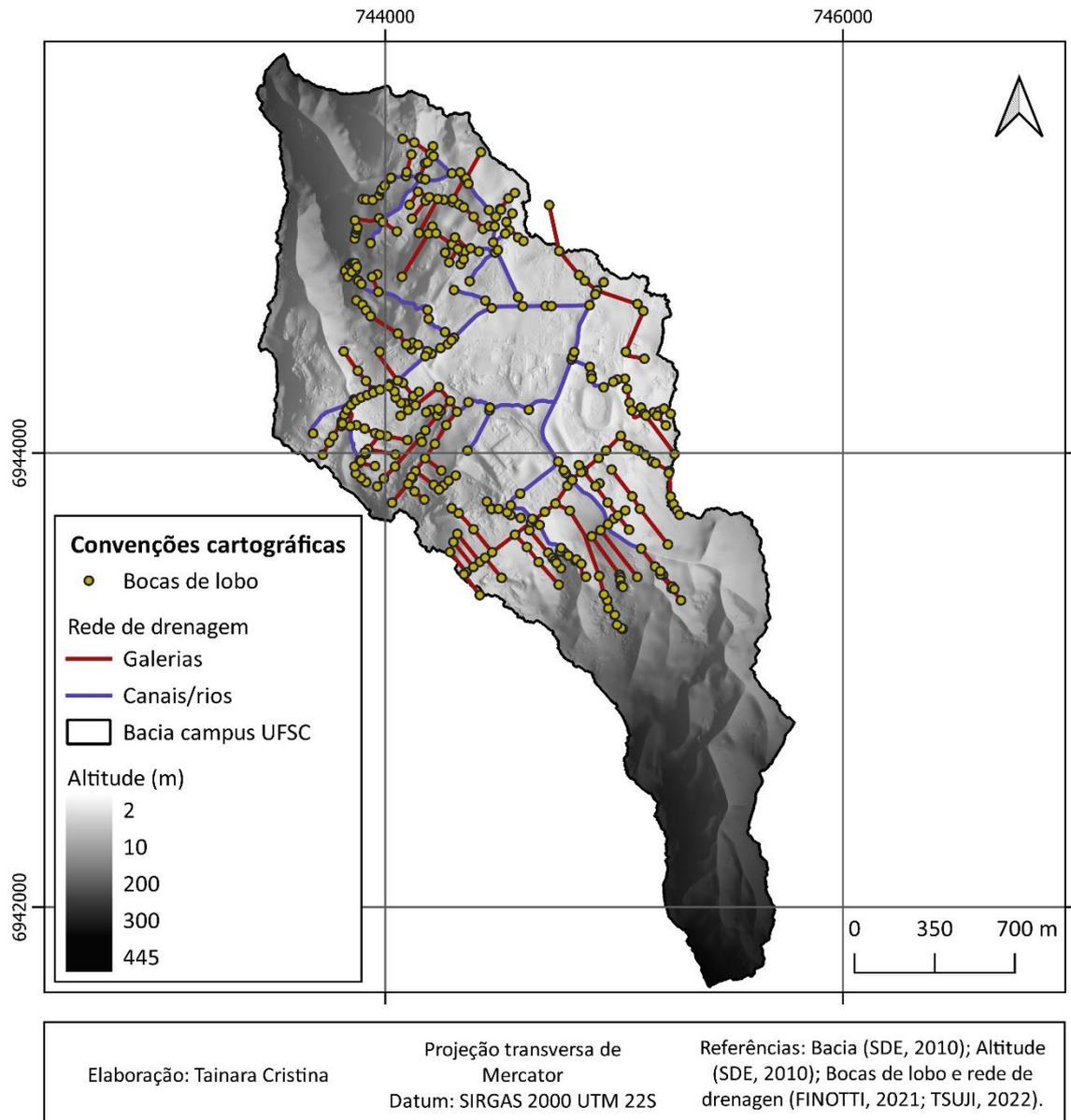
A rede de drenagem da bacia do campus da UFSC pode ser observada na Figura 16. A fonte de dados utilizada foi o Cadastro Técnico de Drenagem de águas pluviais do município de Florianópolis: Mapa da abrangência e caracterização da rede de drenagem, realizado por Caprario *et al.*, (2021) e a atualização e verificação do cadastro da rede de drenagem (composta majoritariamente por tubulações e bocas de lobo) foi realizada por Freitas *et al.* (2022) a partir de visitas *in loco* para atualização.

A rede de drenagem possui 364 bocas de lobo e aproximadamente 22,8 km de rede de drenagem, sendo 16,2 km de redes de conduto fechado e 6,6 km correspondendo aos canais retangulares ou naturais dos rios (SCOTTI, 2022).

Scotti (2022) realizou correções e complementações diretamente nos dados vetoriais da rede de drenagem com o uso de *software* QGIS para adequação de dados faltantes das medições em campo, especialmente de cotas e diâmetros de tubulações. Desta forma, para as bocas de lobo sem dados foram extraídas as cotas a partir do MDE fornecido pela SDE, e na ausência das medições de campo, considerou-se uma cota de fundo de 1 m conforme recomendações técnicas (SCOTTI, 2022).

Quanto aos diâmetros, estes foram corrigidos considerando os diâmetros nominais disponíveis no mercado, além de ter sido preenchido os dados faltantes baseando-se em informações contidas no banco de dados do Laboratório de Urbanismo (LABURB) da UFSC (SCOTTI, 2022).

Figura 16 - Rede de drenagem da bacia campus UFSC.



Para os canais abertos retangulares se considerou os dados levantados pelo Projeto de Recuperação da Qualidade da Água dos Córregos do campus Reitor João David Ferreira Lima (PRAD) em seu relatório Parcial do Sistema de Monitoramento Hidrológico, sob responsabilidade do NEA (NEA, 2017). Neste documento foram determinadas as seções transversais dos canais que atravessam a UFSC em sete pontos diferentes, os quais coincidem com a rede de drenagem avaliada no presente trabalho.

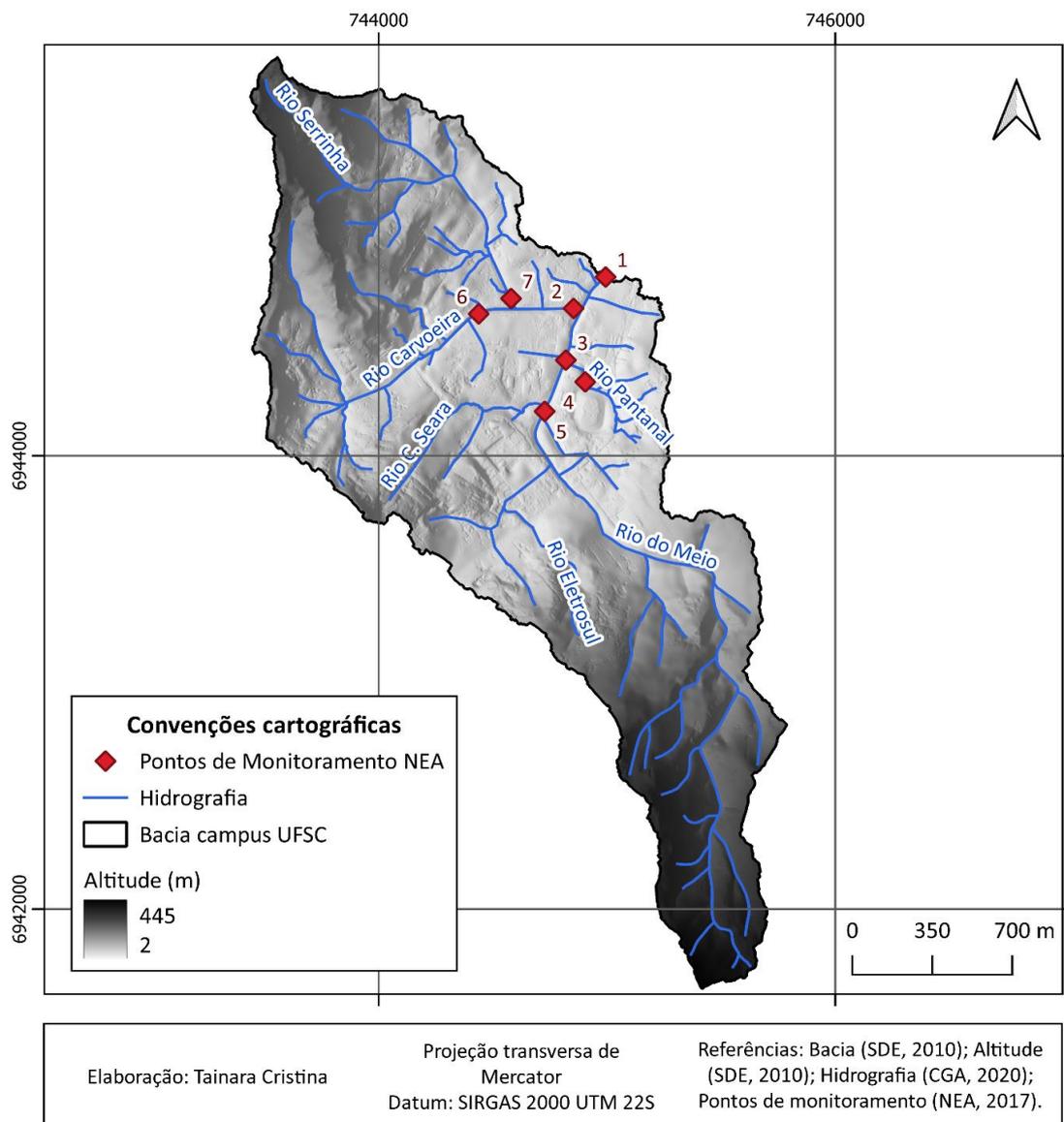
A Figura 17 exibe a localização dos pontos mapeados pelo NEA enquanto na Tabela 6 constam as seções transversais adotadas para cada ponto.

Tabela 6 - Seções transversais adotadas para os canais retangulares.

Ponto	Largura (m)	Profundidade (m)
1	4,00	2,00
2	1,20	2,06
3	4,00	2,00
4	1,60	1,96
5	4,00	2,00
6	1,70	1,00
7	1,70	0,15

Fonte: NEA (2017).

Figura 17 - Pontos de monitoramento do NEA.



5.3 CALIBRAÇÃO

Dentre as diversas funções objetivo existentes, as mais utilizadas são o coeficiente de Nash definido por *Nash & Sutcliffe* (1970), a raiz do erro médio quadrático (*Root Mean Square Error*), o coeficiente de Nash para o logaritmo da variável prevista e observada, dentre outras (CHAFFE, 2009). Para o presente trabalho, foi utilizado o coeficiente de *Nash* (Equação 10), RMSE (Equação 11) e o coeficiente de determinação (R^2) (Equação 12).

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs}(t) - Q_{sim}(t))^2}{\sum_{t=1}^n (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (10)$$

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_{obs}(t) - Q_{sim}(t))^2}}{n} \quad (11)$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{t=1}^n (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}}) \times (Q_{sim}(t) - \overline{Q_{sim}})}{\sqrt{\sum_{t=1}^n (Q_{obs}(t) - \overline{Q_{obs}})^2 \times \sum_{t=1}^n (Q_{sim}(t) - \overline{Q_{sim}})^2}} \right)^2 \quad (12)$$

Em que, $Q_{obs}(t)$ e $Q_{sim}(t)$ são as vazões observadas e simuladas pelo modelo num tempo t , respectivamente; $\overline{Q_{obs}}$ e $\overline{Q_{sim}}$ são as médias das vazões observadas e simuladas pelo modelo, respectivamente e n é o número total de elementos na série. A Tabela 7 indica a classificação de qualidade para avaliar a calibração por meio das estatísticas de Nash, RMSE e R^2 .

Tabela 7 - Classificação da qualidade para diferentes métricas.

Avaliação	Nash	RMSE	R^2
Muito bom	0,75 – 1,00	0,00 – 0,50	0,70 – 1,00
Bom	0,65 – 0,75	0,50 – 0,60	0,50 – 0,70
Razoável	0,50 – 0,65	0,60 – 0,70	0,30 – 0,50
Ruim	<0,50	>0,70	<0,30

Fonte: Moriasi *et al.* (2007).

Os índices métricos de Nash e R^2 consideram que valores obtidos próximos de um indicam melhores resultados, enquanto o índice métrico RMSE é o inverso, presumindo-se que valores próximos a zero indicam melhores resultados de simulação (MORIASI *et al.*, 2007).

Previamente a execução propriamente dita da calibração efetuou-se teste de sensibilidade do tipo *one-at-a-time* que mostra a sensibilidade de um parâmetro quando todos os outros são mantidos constantes (BRIGHENTI *et al.*, 2017). O teste de sensibilidade objetiva identificar o parâmetro com maior influência na modelagem, uma vez que em modelos super parametrizados, apenas parâmetros específicos são responsáveis por modificações nas saídas enquanto há parâmetros que podem se manter iguais, não implicando em significativas alterações nos resultados encontrados (WANG *et al.*, 2013).

Os parâmetros selecionados para o teste de sensibilidade foram o CN, *lagtime*, AMC e fator de área, sendo que a simulação de controle, ou seja, aquela para comparação, foi a simulação realizada com os dados de entrada especificados anteriormente.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 TESTE DE SENSIBILIDADE

As Tabelas 8, 9, 10 e 11 trazem os resultados dos testes de sensibilidade aplicados para os parâmetros CN, fator de área, AMC e *lagtime*, respectivamente. Dentre os parâmetros avaliados, o mais sensível foi o CN, o qual apresentou grandes disparidades na vazão de pico e volume escoado quando considerado a aplicação de variações percentuais na ordem de 1%, 5% e 10% sobre o número de deflúvio.

Um aumento de 1% no CN foi capaz de implicar num aumento de 21% na vazão de pico e 10% no volume escoado em toda a bacia. A maior variabilidade foi identificada com o aumento do CN em 10%, o qual representou uma variação de +83% na vazão de pico e +67% no volume escoado. Cabe destacar que, enquanto a vazão de pico reagiu de forma semelhante com o aumento e redução do CN, o mesmo não foi percebido para o volume escoado, no qual a redução do CN representou num percentual absoluto menor quando comparado com o incremento do CN.

Tabela 8 - Teste de sensibilidade para o parâmetro CN.

Variação (%)	-10%	-5%	-1%	+1%	+5%	+10%
Qpico (%)	-81%	-68%	-20%	+21%	+67%	+83%
Qpico (m ³ /s)	0,41	0,69	1,71	2,68	6,45	12,39
Volume (%)	-35%	-26%	-8%	+10%	+45%	+67%
Volume (m ³)	0,0014	0,0016	0,0020	0,0024	0,0039	0,0064
Tempo de pico	Aumenta	Mantém	Mantém	Mantém	Diminui	Diminui

Tabela 9 - Teste de sensibilidade para o parâmetro fator de área.

Variação (%)	-20%	-40%	-60%	-80%
Qpico (%)	-44%	-69%	-79%	-81%
Qpico (m ³ /s)	1,20	0,65	0,44	0,40
Volume (%)	-36%	-30%	-19%	-36%
Volume (m ³)	0,0014	0,0015	0,0017	0,0014
Tempo de pico	Mantém	Mantém	Mantém	Mantém

Tabela 10 - Teste de sensibilidade para o parâmetro AMC.

Variação (%)	AMC 1	AMC 3
Qpico (%)	-77%	+60%

Variação (%)	AMC 1	AMC 3
Qpico (m ³ /s)	2,13	23,83
Volume (%)	-57%	+50%
Volume (m ³)	0,0021	0,0098
Tempo de pico	Aumenta	Mantém

Tabela 11 - Teste de sensibilidade para o parâmetro *lagtime*.

Variação (%)	-50%	100%	1000%	100000%
Qpico	0%	0%	0%	-3%
Volume	0%	-1%	0%	0%
Tempo de pico	Mantém	Mantém	Mantém	Mantém

Além disso, juntamente com o CN variações no tempo de pico foram percebidas, uma vez que com o acréscimo do CN houve diminuição no tempo de pico, enquanto sua redução implicou num tempo de pico mais tardio. Os resultados encontrados corroboram com o discutido em literatura, já que o parâmetro CN é tomado como o mais sensível no que tange a estimativa da vazão de pico e o volume de escoamento superficial no método SCS (BONDELID; MCCUEN; JACKSON, 1982).

Outro parâmetro com elevada variação nas vazões de pico e volumes escoados foi o fator de área. A redução deste parâmetro ocasionou a progressiva redução do volume de pico, o qual atingiu -81% quando aplicado um fator de área de 0,2. Quanto ao volume escoado, este variou, sendo que as maiores reduções no volume escoado foram encontradas para os fatores de área de 0,2 e 0,8, com -36% de volume cada.

A variação nas categorias de umidade antecedente também representou grandes variações nos valores de vazão de pico e volume, uma vez que este parâmetro altera os valores de CN. Neste sentido, a aplicação de AMC I implicou em reduções nas vazões de pico e volume escoado na ordem de -77% e -57%, respectivamente. Já o AMC III representou um aumento de +60% na vazão de pico e +50% nos volumes escoados na área de estudo.

Dentre as diversas simulações realizadas, o parâmetro que apresentou a menor sensibilidade em termos de vazão de pico e volume escoado foi o *lagtime*. Tal parâmetro apresentou variações irrisórias quando aplicados elevados percentuais de aumento no *lagtime*, a vazão de pico, especificamente, só respondeu quando adotado aumento de 100000% no *lagtime* e ainda assim, correspondeu a uma redução de -3%.

Em outros estudos avaliando a sensibilidade do parâmetro *lagtime*, Rathod, Borse & Manekar (2015) e Majidi & Shahedi (2012) encontraram que um dos parâmetros mais sensíveis foi o *lagtime*. Ambos os estudos utilizaram o método SCS hidrograma unitário, contudo, o modelo utilizado nestes estudos foi o HEC-HMS, portanto, não se pode fazer uma relação direta entre os resultados obtidos no presente estudo.

Resultados parecidos foram encontrados para o modelo SWAT, como demonstrado por Sinha, Eldho & Subimal (2020), Holvoet *et al.* (2005) e XU *et al.*, (2009), que em seus estudos relatam que os parâmetros mais sensíveis para estimativa do escoamento superficial são o CN, *lagtime*, recarga do aquífero profundo, dentre outros. Em contrapartida, em estudo realizado com o software *Modeling of Urban Sewer* (MOUSE), também desenvolvido pela DHI para modelagem hidrológica-hidráulica, Ennajem & Loudyi (2021) verificaram que o parâmetro *lagtime* não apresentou sensibilidade quando utilizado no método do reservatório linear, corroborando com os resultados obtidos no presente trabalho.

6.2 CALIBRAÇÃO

Após a execução e avaliação do teste de sensibilidade, procedeu-se com a calibração do modelo. Os parâmetros calibrados foram o CN e o AMC, já que foram os parâmetros mais sensíveis, conforme teste de sensibilidade. O fator de área, apesar de ter se portado como um dos parâmetros mais sensíveis, não foi considerado na calibração dada a pequena área da bacia de estudo e a localização do pluviógrafo, não justificando, portanto, a aplicação de um fator para compensar a distribuição não uniforme de chuva na bacia.

A Tabela 12 exibe os dados adotados para o parâmetro AMC antes e após calibração para cada evento de precipitação. Apenas os eventos 350 e 477 mantiveram a unidade antecedente original, sendo que os eventos 420 e 596 passaram da categoria I para a II. Em contrapartida, os eventos 482 e 483 tiveram AMC adotado em I.

Tabela 12 - Parâmetro AMC adotado para os eventos de chuva antes e após calibração.

Evento	AMC inicial	AMC final
350	I	I
420	I	II
477	I	I
482	III	I
483	III	I
596	I	II

A Tabela 13 exibe os dados adotados para o parâmetro CN antes e após calibração para as 354 sub-bacias de contribuição. No geral, aplicou-se um percentual de redução de cerca de 10% para os CNs de todas as sub-bacias. O CN inicial teve valores variando entre 74 e 98 enquanto o CN final teve faixa de variação entre 67 e 88.

Tabela 13 - Parâmetro CN adotado para as sub-bacias antes e após calibração.

SB	CN _i	CN _f	SB	CN _i	CN _f	SB	CN _i	CN _f	SB	CN _i	CN _f
1	86	77	90	93	84	179	88	79	268	95	86
2	93	84	91	91	82	180	90	81	269	90	81
3	84	76	92	88	79	181	92	83	270	87	78
4	77	69	93	80	72	182	93	84	271	84	76
5	78	70	94	86	77	183	97	87	272	94	85
6	82	74	95	80	72	184	78	70	273	89	80
7	83	75	96	92	83	185	96	86	274	89	80
8	77	69	97	89	80	186	96	86	275	98	88
9	79	71	98	81	73	187	84	76	276	92	83
10	83	75	99	91	82	188	84	76	277	85	77
11	89	80	100	82	74	189	94	85	278	87	78
12	87	78	101	90	81	190	90	81	279	97	87
13	75	68	102	93	84	191	81	73	280	89	80
14	81	73	103	85	77	192	96	86	281	97	87
15	75	68	104	92	83	193	94	85	282	95	86
16	81	73	105	80	72	194	95	86	283	93	84
17	86	77	106	74	67	195	91	82	284	83	75
18	87	78	107	85	77	196	96	86	285	88	79
19	79	71	108	76	68	197	95	86	286	77	69
20	83	75	109	92	83	198	81	73	287	86	77
21	84	76	110	77	69	199	79	71	288	96	86
22	86	77	111	93	84	200	91	82	289	89	80
23	90	81	112	90	81	201	88	79	290	95	86
24	87	78	113	75	68	202	97	87	291	89	80
25	90	81	114	83	75	203	89	80	292	96	86
26	93	84	115	86	77	204	87	78	293	97	87
27	75	68	116	81	73	205	96	86	294	84	76
28	90	81	117	89	80	206	97	87	295	89	80
29	83	75	118	94	85	207	96	86	296	94	85
30	87	78	119	87	78	208	97	87	297	96	86
31	95	86	120	93	84	209	97	87	298	92	83
32	82	74	121	83	75	210	81	73	299	90	81
33	85	77	122	94	85	211	75	68	300	84	76
34	81	73	123	92	83	212	81	73	301	91	82
35	96	86	124	84	76	213	84	76	302	91	82
36	85	86	125	95	86	214	90	81	303	93	84
37	76	68	126	86	77	215	94	85	304	93	84
38	87	78	127	79	71	216	89	80	305	89	80
39	84	76	128	85	77	217	94	85	306	85	77
40	85	77	129	86	77	218	86	77	307	91	82
41	88	79	130	87	78	219	77	69	308	96	86
42	92	83	131	89	80	220	89	80	309	88	79
43	79	71	132	94	85	221	84	76	310	94	85

SB	CN _i	CN _f	SB	CN _i	CN _f	SB	CN _i	CN _f	SB	CN _i	CN _f
44	87	78	133	93	84	222	91	82	311	87	78
45	92	83	134	87	78	223	96	86	312	96	86
46	85	77	135	90	81	224	95	86	313	94	85
47	78	70	136	83	75	225	80	72	314	94	85
48	84	76	137	81	73	226	80	72	315	95	86
49	90	81	138	92	83	227	76	68	316	86	77
50	96	86	139	83	75	228	81	73	317	82	74
51	88	79	140	84	76	229	75	68	318	96	86
52	91	82	141	93	84	230	89	80	319	91	82
53	95	86	142	93	84	231	80	72	320	91	82
54	95	86	143	95	86	232	93	84	321	81	73
55	98	88	144	90	81	233	80	72	322	91	82
56	91	82	145	94	85	234	86	77	323	77	69
57	85	77	146	93	84	235	83	75	324	94	85
58	90	81	147	90	81	236	88	79	325	83	75
59	98	88	148	92	83	237	81	73	326	80	72
60	96	86	149	96	86	238	81	73	327	93	84
61	80	72	150	87	78	239	92	83	328	86	77
62	91	82	151	82	74	240	87	78	329	76	68
63	86	77	152	94	85	241	93	84	330	75	68
64	89	80	153	97	87	242	84	76	331	86	77
65	92	83	154	93	84	243	90	81	332	83	75
66	85	77	155	93	84	244	93	84	333	74	67
67	91	82	156	89	80	245	92	83	334	95	86
68	93	84	157	93	84	246	82	74	335	81	73
69	94	85	158	91	82	247	82	74	336	92	83
70	88	79	159	81	73	248	90	81	337	86	77
71	89	80	160	93	84	249	85	77	338	74	67
72	90	81	161	96	86	250	78	70	339	76	68
73	87	78	162	97	87	251	87	78	340	81	73
74	93	84	163	81	73	252	91	82	341	77	69
75	87	78	164	91	82	253	82	74	342	95	86
76	81	73	165	97	87	254	88	79	343	79	71
77	81	73	166	96	86	255	87	78	344	83	75
78	92	83	167	91	82	256	89	80	345	91	82
79	94	85	168	89	80	257	88	79	346	80	72
80	92	83	169	90	81	258	85	77	347	96	86
81	82	74	170	93	84	259	93	84	348	87	78
82	91	82	171	95	86	260	84	76	349	77	69
83	80	72	172	86	77	261	96	86	350	83	75
84	88	79	173	94	85	262	89	80	351	87	78
85	94	85	174	93	84	263	89	80	352	83	75
86	89	80	175	94	85	264	95	86	353	78	70
87	87	78	176	92	83	265	89	80	354	75	68
88	84	76	177	85	77	266	88	79	-	-	-
89	86	77	178	86	77	267	86	77	-	-	-

Em termos percentuais, as sub-bacias majoritariamente apresentaram CN maior que 85 (69%) previamente a calibração, sendo que 20% apresentaram CN entre 80 e 85 e apenas 11% tiveram valores de CN menores que 80. Por outro lado, as sub-bacias após calibração

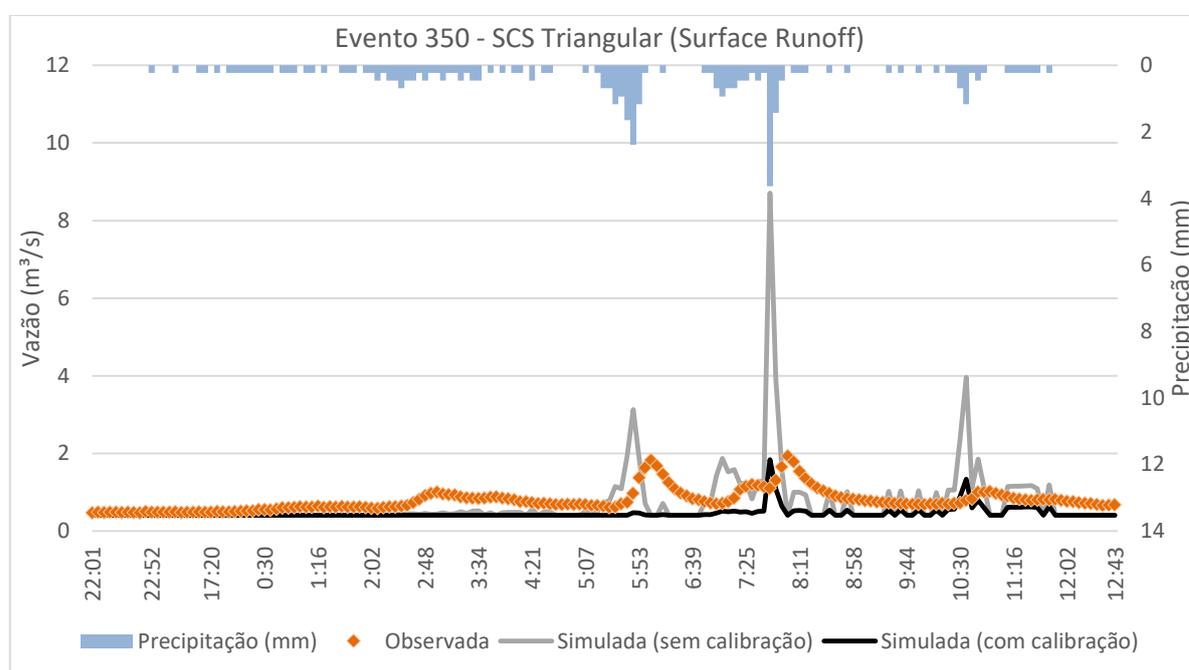
tiveram predominância de CNs menores que 80 com 49%, seguido de 31% das sub-bacias com número de deflúvio entre 80 e 85 e, por fim, 20% das sub-bacias obtiveram CN superior a 85.

6.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA

A seguir são discutidos os resultados referentes as estimativas de escoamento superficial na bacia hidrográfica do rio do Meio para cada evento, obtidas por meio do módulo chuva-vazão do MIKE+.

As Figura 18 e Figura 19 exibem os resultados da modelagem hidrológica para o evento 350 relativos ao SCS Triangular e Adimensional, respectivamente. Verifica-se que o modelo não teve boa aderência, tanto para a simulação sem calibração como após realização da calibração para ambos os métodos aplicados. Os resultados de ambas as metodologias SCS foram extremamente similares, com variação identificada apenas na quinta casa decimal.

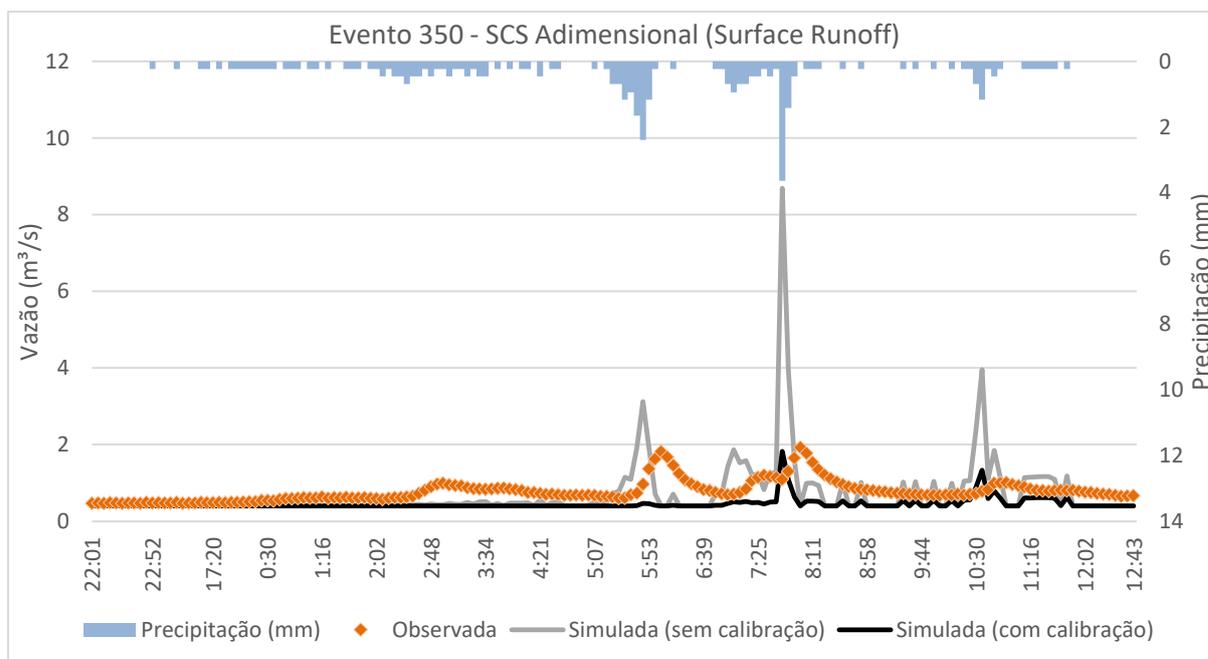
Figura 18 - Escoamento superficial na bacia: evento 350 com método SCS Triangular.



Tanto o SCS Triangular como o SCS Adimensional não apresentaram resposta à primeira subida da vazão, conforme mostram as medições *in loco*. Quanto a segunda subida, o hidrograma simulado e calibrado apresentou resposta, alcançando vazão de pico de $1,83 \text{ m}^3/\text{s}$ enquanto a vazão de pico medida foi de $1,93 \text{ m}^3/\text{s}$, resultando numa diferença de 5,18%. Apesar

da vazão de pico ter sido similar entre os valores medidos e os simulados, percebe-se que o tempo de pico está antecipado, uma vez que no hidrograma medido o pico ocorre às 08:01h enquanto no hidrograma simulado ocorre às 07:46h.

Figura 19 - Escoamento superficial na bacia: evento 350 com método SCS Adimensional.



A Tabela 14 exibe os resultados das métricas consideradas na avaliação da modelagem do evento 350. Verifica-se que apenas o índice RMSE apresentou resultados satisfatórios após calibração do modelo. Destaca-se que, apesar do índice de Nash ter obtido classificação ruim antes e após calibração, este apresentou melhora após execução da calibração. Já o R^2 diferiu dos índices anteriores, uma vez que apresentou piora após calibração, saindo de 0,06 para 0,05.

Tabela 14 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 350.

Triangular				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-7,33	Ruim	-1,48	Ruim
RMSE	0,80	Ruim	0,44	Muito bom
R^2	0,06	Ruim	0,05	Ruim
Adimensional				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-7,30	Ruim	-1,48	Ruim
RMSE	0,80	Ruim	0,44	Muito bom

R^2 0,06 Ruim 0,05 Ruim

Os resultados para a modelagem com o evento 420 pelo SCS Triangular e SCS Adimensional constam na Figura 20 e Figura 21, respectivamente. Assim como para o evento 350, o modelo não apresentou resultados satisfatórios antes e após calibração.

Figura 20 - Escoamento superficial na bacia: evento 420 com método SCS Triangular.

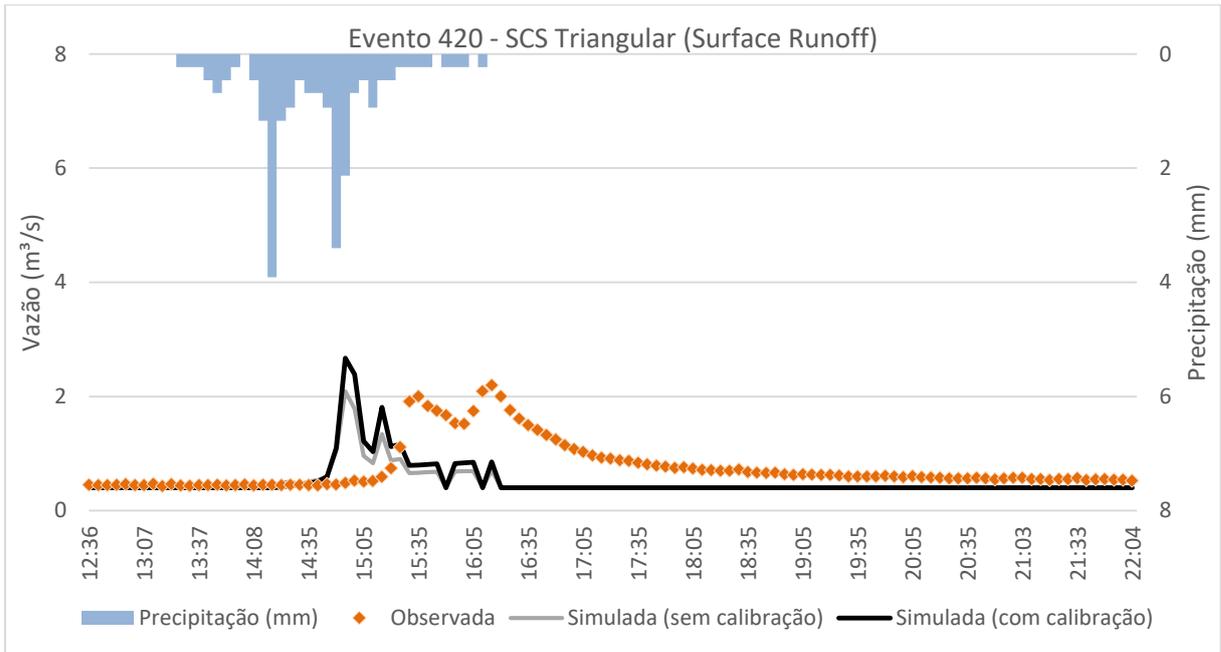
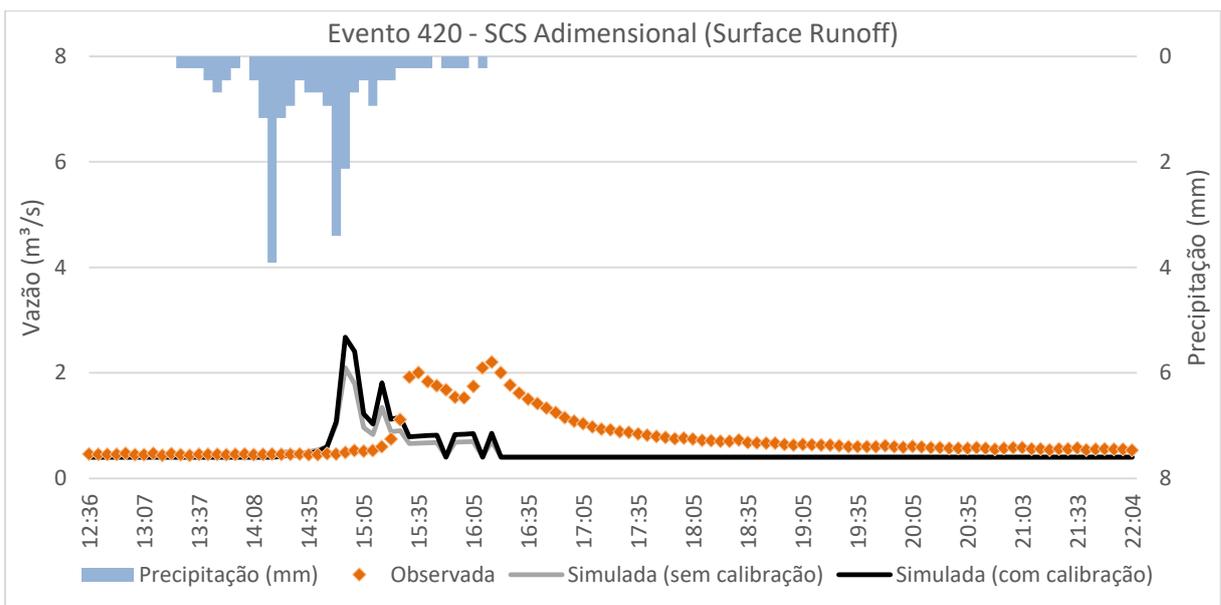


Figura 21 - Escoamento superficial na bacia: evento 420 com método SCS Adimensional.



Os resultados dos hidrogramas SCS Triangular e SCS Adimensional foram similares, sendo que novamente verifica-se uma antecipação no tempo de pico. No hidrograma simulado e calibrado a vazão de pico encontrada foi de 2,67 m³/s às 14:55h enquanto no hidrograma medido obteve-se vazão de pico de 2,20 m³/s às 16:15h. É relevante mencionar que apesar da chuva ter cessado por volta das 16:10h, a vazão no rio do Meio mesmo após 6h do evento de chuva não havia ainda estabilizado, obtendo-se vazões entre 0,60 e 0,50 m³/s.

A Tabela 15 exhibe os resultados das métricas consideradas na avaliação da modelagem do evento 420. Verifica-se que apenas o índice RMSE apresentou resultados satisfatórios. Contudo, vale destacar que todos os índices apresentaram piora nos valores após etapa de calibração.

Tabela 15 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 420.

Triangular				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-0,66	Ruim	-0,82	Ruim
RMSE	0,56	Bom	0,58	Bom
R ²	0,00	Ruim	0,00	Ruim
Adimensional				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-0,66	Ruim	-0,82	Ruim
RMSE	0,56	Bom	0,58	Bom
R ²	0,00	Ruim	0,00	Ruim

Para o evento 477, os resultados são exibidos na Figura 22 para o método SCS Triangular e na Figura 23 para o método SCS Adimensional. Se verifica que a modelagem hidrológica não apresentou resultados satisfatórios. De modo geral, para ambos os hidrogramas simulados as vazões foram superestimadas, com vazão de pico de 15,40 m³/s para a modelagem sem calibração e 6,34 m³/s para a modelagem com calibração, sendo que ambas as vazões de pico ocorreram no tempo de 13:02h. Já a vazão de pico medida foi de 3,12 m³/s, metade da vazão simulada com calibração e ocorrida às 14:13h.

Figura 22 - Escoamento superficial na bacia: evento 477 com método SCS Triangular.

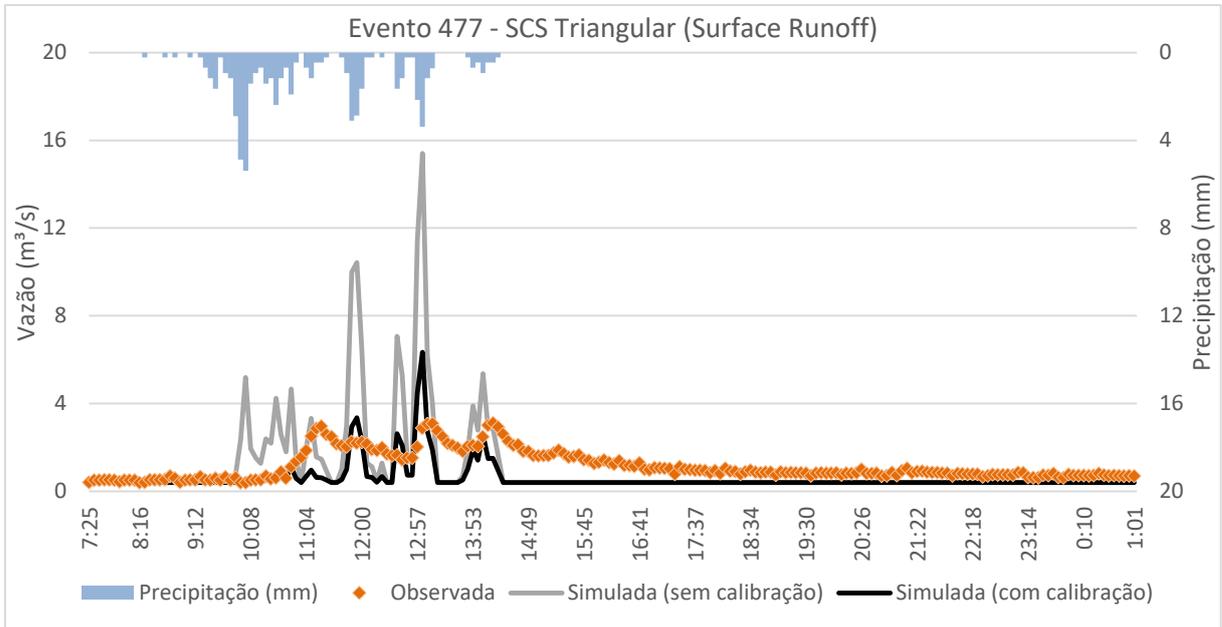
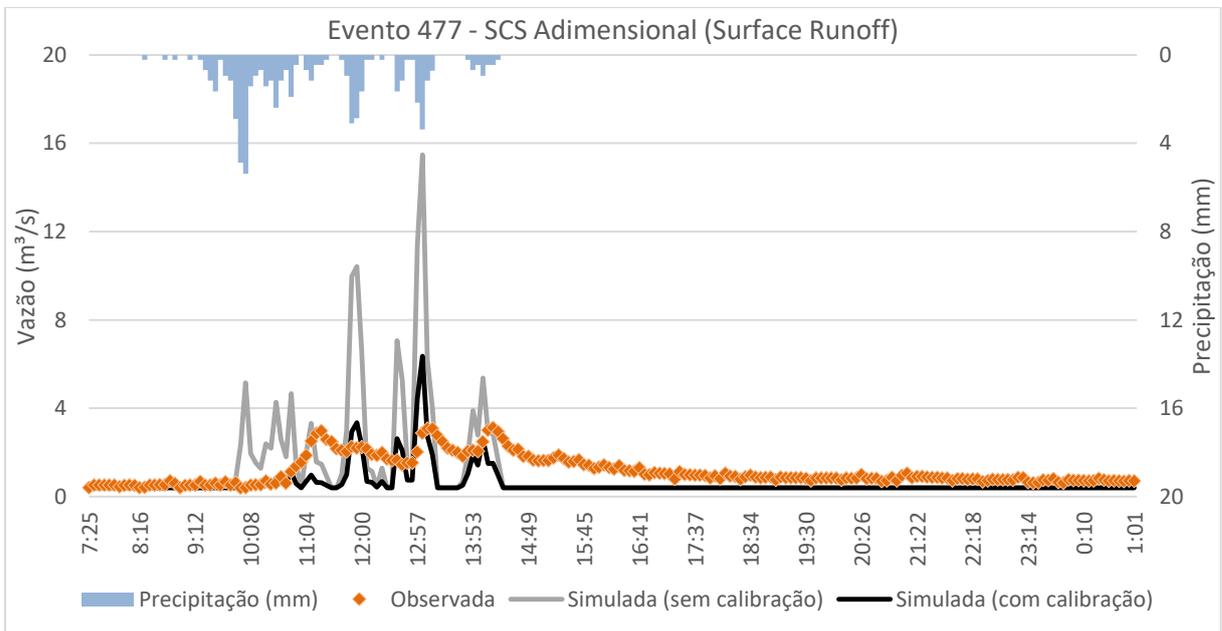


Figura 23 - Escoamento superficial na bacia: evento 477 com método SCS Adimensional.



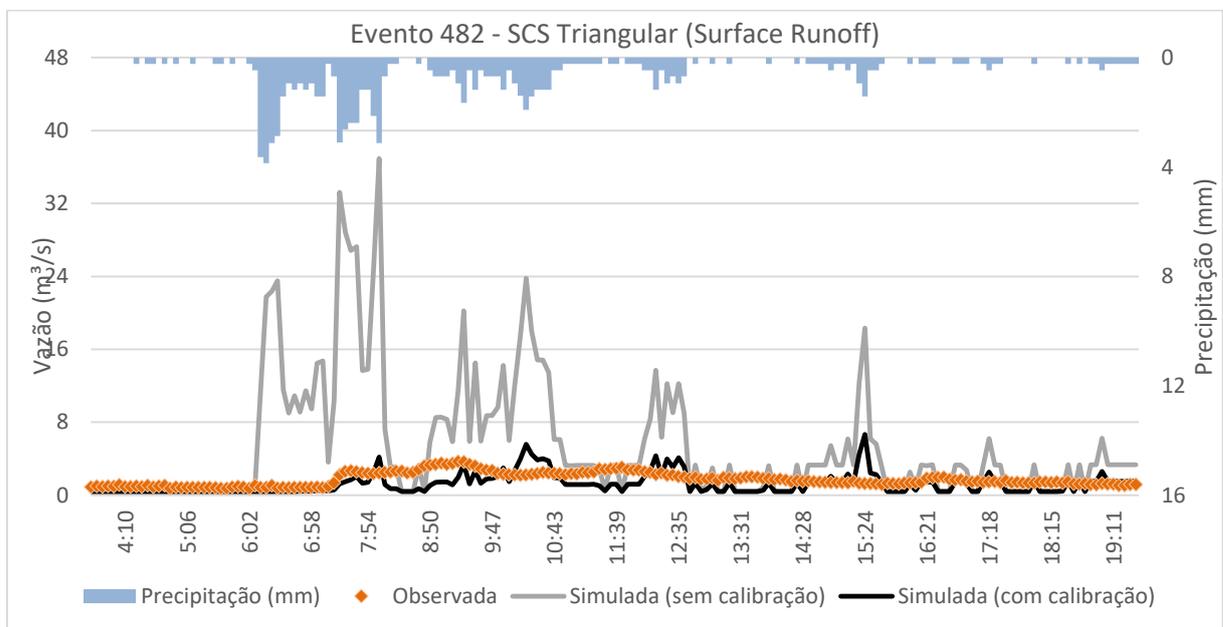
Os resultados das métricas avaliadas constam na Tabela 16 para o evento 477. Todos os índices apresentaram resultados insatisfatórios, apesar de terem apresentado melhora após calibração do modelo.

Tabela 16 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 477.

Triangular				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-5,89	Ruim	-0,74	Ruim
RMSE	1,75	Ruim	0,88	Ruim
R ²	0,18	Ruim	0,24	Ruim
Adimensional				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-5,88	Ruim	-0,74	Ruim
RMSE	1,75	Ruim	0,88	Ruim
R ²	0,18	Ruim	0,24	Ruim

As Figura 24 e Figura 25 exibem os resultados das modelagens hidrológicas para o evento 482 referentes ao método SCS Triangular e SCS Adimensional, respectivamente. Assim como para os demais eventos de chuva, o modelo não conseguiu representar fielmente as vazões medidas em campo para ambas as metodologias aplicadas.

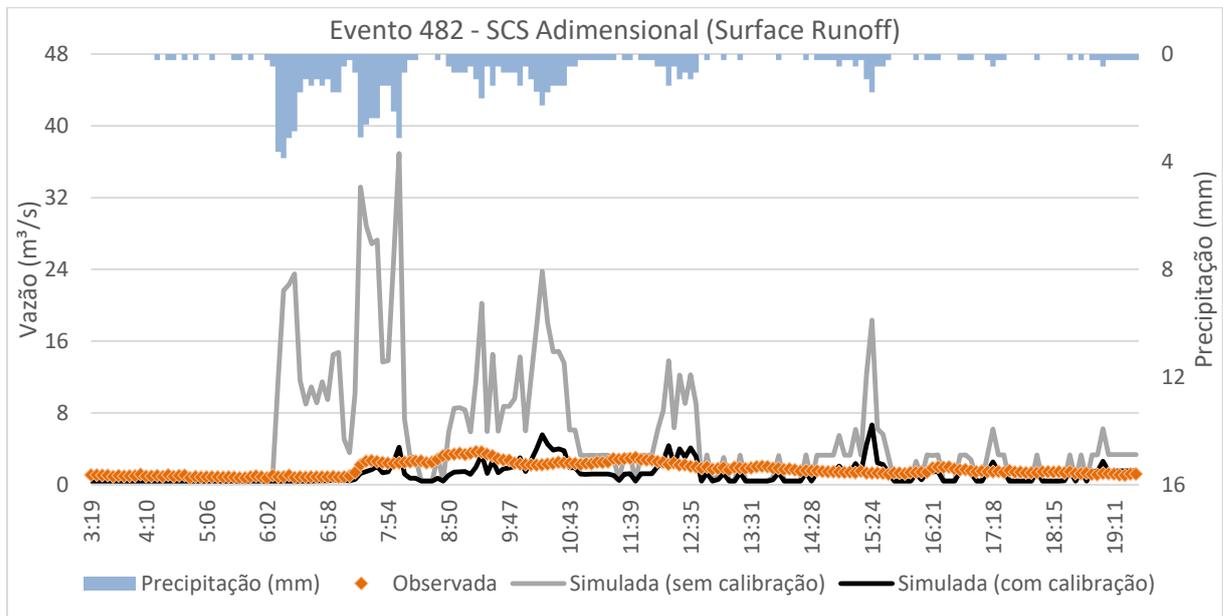
Figura 24 - Escoamento superficial na bacia: evento 482 com método SCS Triangular.



Verifica-se que a simulação sem calibração apresentou resultados muito discrepantes no que tange os volumes e vazões de pico, uma vez que apresentou pico de vazão às 08:04h

com 36,91 m³/s, enquanto o pico para a simulação com calibração ocorre às 15:24 com 6,65 m³/s, 5 vezes menor em termos quantitativos. Comparando com os dados medidos, a vazão de pico foi de 3,70m³/s ocorrida às 09:16h, desta forma, apesar das vazões simuladas com calibração terem sido mais próximas das medidas *in loco*, percebe-se que o tempo de pico da modelagem sem calibração é mais adequado e próximo quando comparado com o medido, acontecendo de modo antecipado, como para os outros eventos.

Figura 25 - Escoamento superficial na bacia: evento 482 com método SCS Adimensional.



Na Tabela 17 constam os resultados das métricas de calibração para o evento 482. Da mesma forma como para o evento 477, todos os índices tiveram resultados insatisfatórios apesar de terem reagido positivamente após calibração.

Tabela 17 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 482.

Triangular				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-104,33	Ruim	-1,67	Ruim
RMSE	7,57	Ruim	1,20	Ruim
R ²	0,10	Ruim	0,14	Ruim
Adimensional				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-102,94	Ruim	-1,63	Ruim

RMSE	7,57	Ruim	1,20	Ruim
R ²	0,10	Ruim	0,14	Ruim

Na Figura 26 e Figura 27 constam os resultados da modelagem com o método SCS Triangular e SCS Adimensional, respectivamente, para o evento de chuva 483. Os resultados encontrados demonstram novamente que o modelo não obteve boa aderência, apresentando picos altíssimos de vazão para ambas as metodologias, em discordância com o medido em campo e semelhante com o obtido para o evento 482.

Figura 26 - Escoamento superficial na bacia: evento 483 com método SCS Triangular.

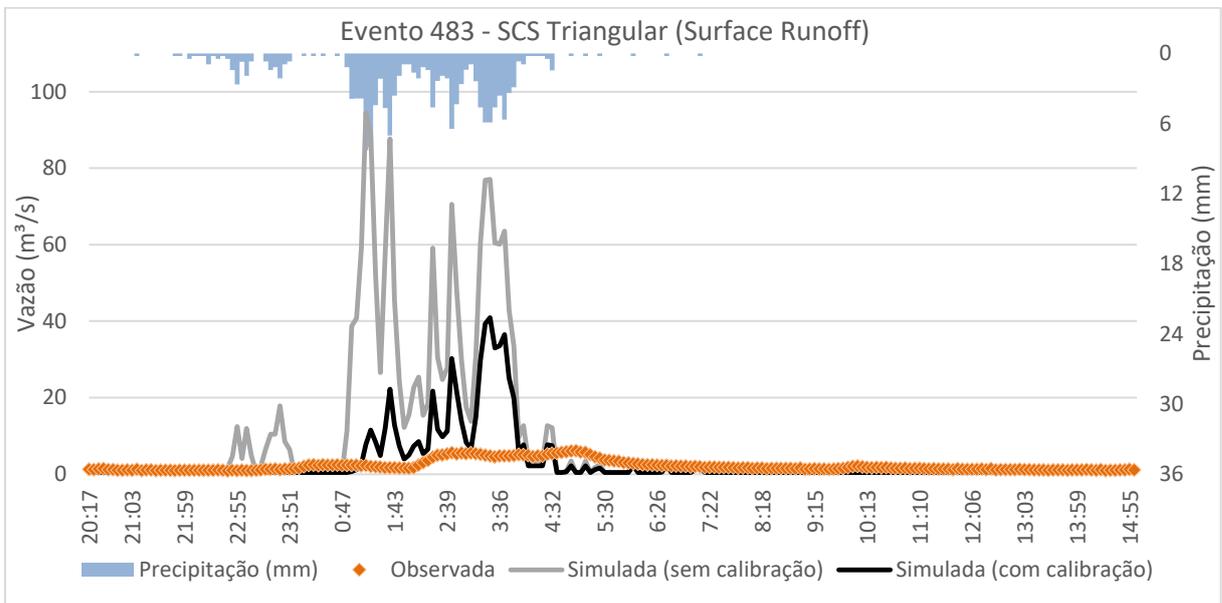
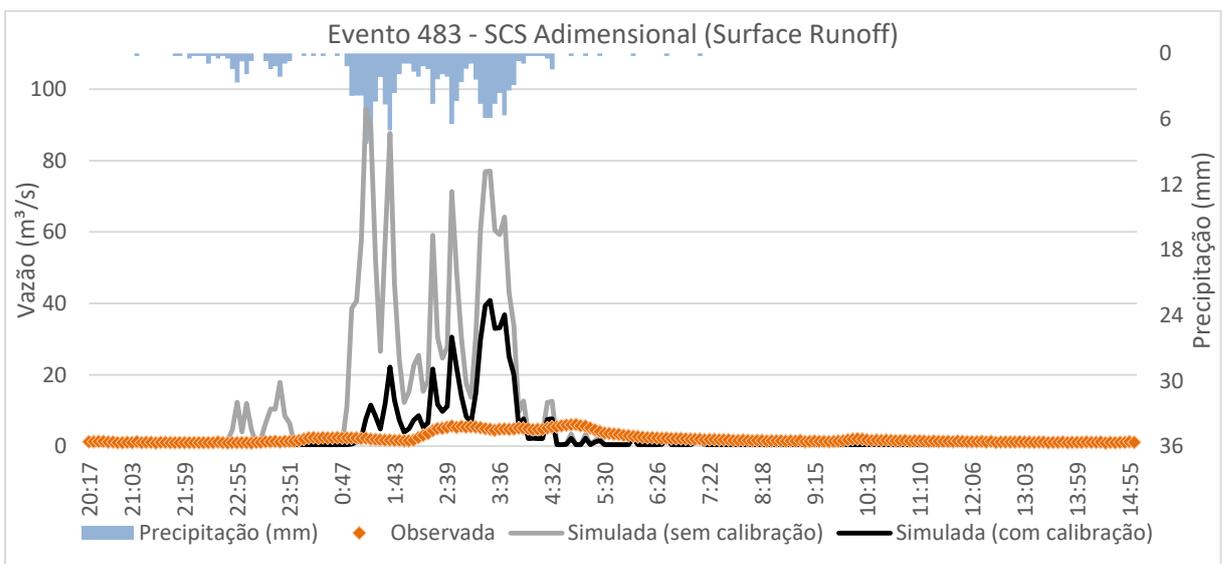


Figura 27 - Escoamento superficial na bacia: evento 483 com método SCS Adimensional.



A vazão de pico para as medições observadas em campo ocorre no tempo de 04:57h com 6,10 m³/s, enquanto a vazão de pico no hidrograma simulado e calibrado ocorre às 03:25h com 40,86 m³/s, praticamente 7 vezes superior a vazão medida. Percebe-se que as simulações, tanto a calibrada como a não calibrada apresentam diversos picos de vazão ao passo que as vazões medidas se portam com maior suavidade, tendo um tempo de resposta maior.

Da mesma forma que com o evento 420, o evento 482 não chega a estabilizar completamente, mesmo após 8h da ocorrência do evento de chuva, mantendo a vazão no rio do Meio acima de 1 m³/s. Cabe ressaltar que, às 10:02h o hidrograma observado sobe para 2,13 m³/s mesmo sem ter ocorrido precipitação. A Tabela 18 exhibe os resultados encontrados para as métricas de calibração para o evento 483.

Tabela 18 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 483.

Triangular				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-172,82	Ruim	-19,48	Ruim
RMSE	18,92	Ruim	6,49	Ruim
R ²	0,16	Ruim	0,30	Razoável
Adimensional				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-173,08	Ruim	-19,53	Ruim
RMSE	18,93	Ruim	6,50	Ruim
R ²	0,16	Ruim	0,30	Razoável

A exceção do R², os outros índices apresentaram valores insatisfatórios com e sem calibração. O R², especificamente, alcançou classificação razoável, passando de 0,16 sem calibração para 0,30 com calibração. Demais métricas tiveram melhora em seus resultados após calibração, mantendo-se, no entanto, em classificações de ajuste ruins.

Para o evento 596, a Figura 28 exhibe o resultado para o método do SCS Triangular e a Figura 29 o resultado para o método SCS Adimensional. Percebe-se que ambas as simulações apresentaram resultados extremamente similares, assim como para os demais eventos avaliados. No geral, o modelo não teve boa aderência ao evento de chuva com picos de vazão em discordância com as vazões observadas em campo.

Figura 28 - Escoamento superficial na bacia: evento 596 com método SCS Triangular.

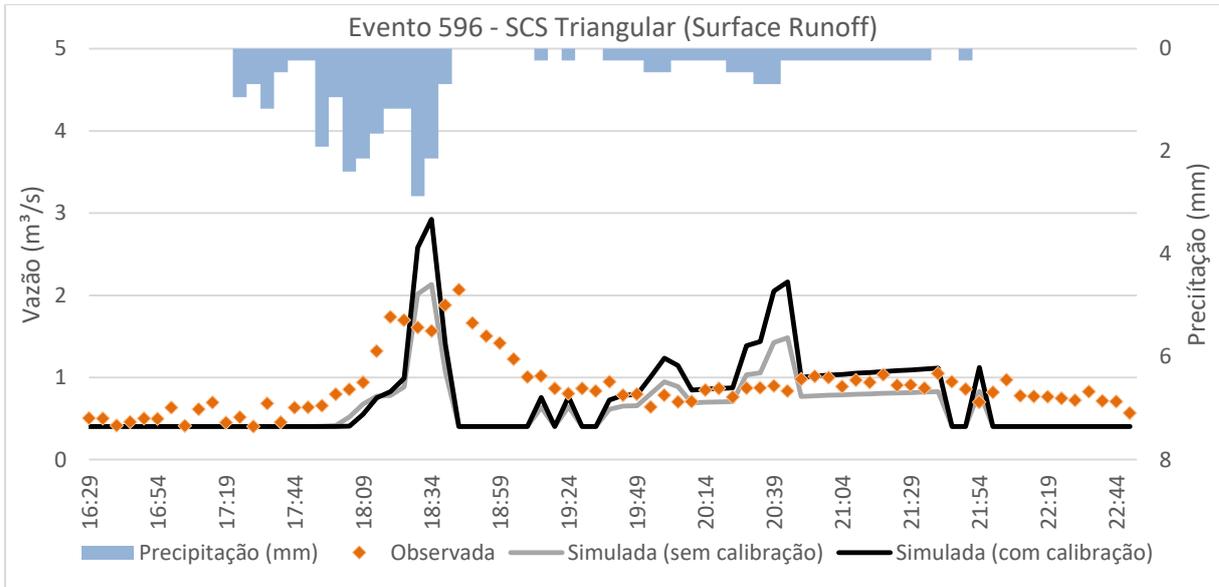
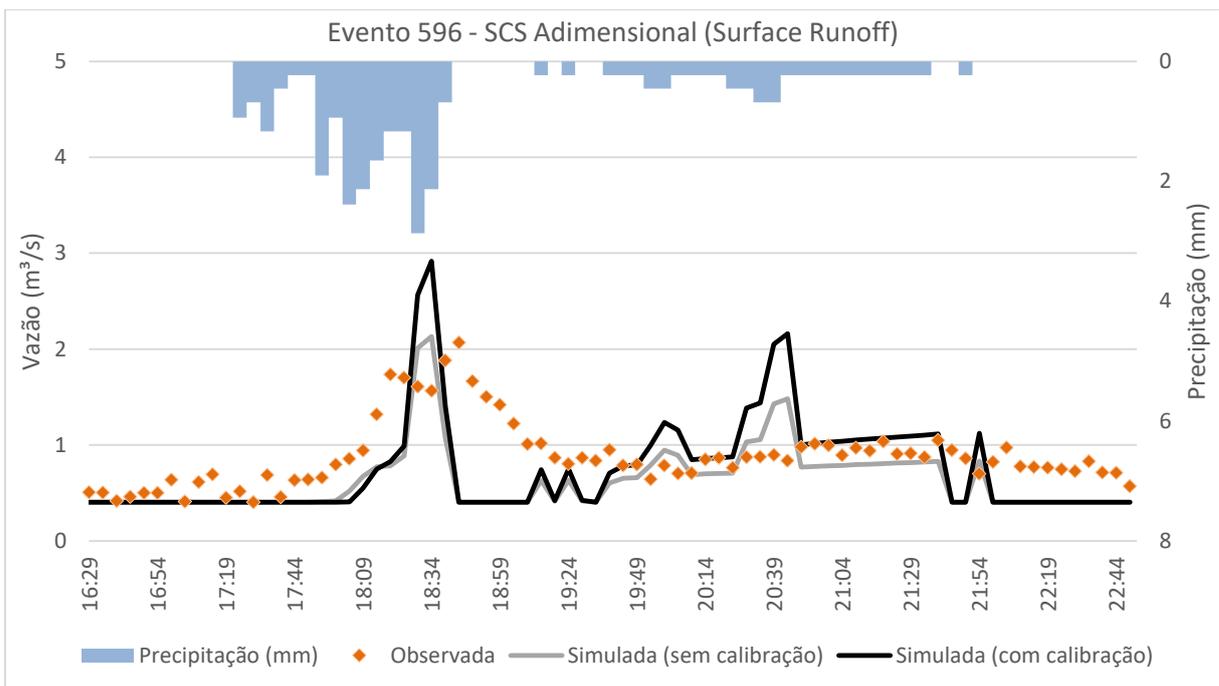


Figura 29 - Escoamento superficial na bacia: evento 596 com método SCS Adimensional.



No que tange as vazões e tempos de pico, verifica-se que para o hidrograma simulado e sem calibração a vazão de pico ocorre às 18:34h com $2,12 m^3/s$ enquanto o hidrograma simulado e calibrado apresenta vazão de pico no mesmo horário, porém com vazão de $2,91 m^3/s$. Percebe-se que as vazões previamente a calibração são mais coerentes, uma vez que a

vazão de pico das medições é de 2,07 m³/s ocorrida as 18:44h. Sendo assim, o tempo de pico aconteceu de modo antecedente ao observado em campo.

A Tabela 19 traz os resultados das métricas aplicadas para o evento 596. Todos os índices apresentaram resultados insatisfatórios, com exceção do índice RMSE que atingiu classificação “Bom” após calibração. Contudo, assim como para o evento 420, os índices apresentaram resultados piores quando comparados com as simulações sem calibração.

Tabela 19 - Valores dos índices de desempenho para as simulações referentes ao evento 596.

Triangular				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-0,69	Ruim	-1,22	Ruim
RMSE	0,45	Muito bom	0,52	Bom
R ²	0,17	Ruim	0,14	Ruim
Adimensional				
Índice	Sem calibração	Classificação do ajuste	Com calibração	Classificação do ajuste
Nash	-0,69	Ruim	-0,90	Ruim
RMSE	0,45	Muito bom	0,52	Bom
R ²	0,17	Ruim	0,14	Ruim

É válido destacar ainda, a respeito de possíveis inconsistências nos dados de precipitação e vazão utilizados neste estudo. Durante a execução da modelagem foram percebidos erros, implicando na exclusão de eventos de chuvas que foram considerados inválidos para modelagem do escoamento, uma vez que imprimiam a impossibilidade de calibração do modelo.

Isto se dá pela qualidade dos dados de vazão, já que não foram encontrados estudos que tenham feito análise de consistência dos dados de nível, bem como a verificação e validação da curva-chave do rio do Meio. Os dados de vazão, apesar de facilmente obtidos, estão sujeitos aos erros de medição, como mudança da seção transversal do rio por conta do transporte de sedimentos e crescimento de vegetação (BEVEN, 2012).

Estes erros tendem a ser ignorados por modeladores, uma vez que os dados de vazão são a única indicação da descarga real, sendo utilizados no processo de calibração de modelos chuva-vazão (BEVEN, 2012). Contudo, caso um modelo seja calibrado com dados

inconsistentes, os valores dos parâmetros serão afetados e, por consequência, as previsões de escoamento superficial para outros períodos também serão (BEVEN, 2012).

Essa situação é um reflexo do cenário de monitoramento meteorológico brasileiro, o qual carece de dados de importantes componentes ambientais, como a precipitação e vazão, tanto na escala temporal como espacial (OLIVEIRA JÚNIOR *et al.*, 2014; SILVEIRA; TUCCI, 1998). Tais dados são de extrema importância para estudos hidrológicos, sendo demandados em diferentes áreas de pesquisa (OLIVERIA *et al.*, 2010).

No uso em modelagem é fundamental que as séries de dados (hidrológicos e hidráulicos) sejam confiáveis (GOLDENFUM; PAIVA; PAIVA, 2001). Dentre os obstáculos a serem superados, tem-se a falta de dados em escala de tempo reduzida e a possibilidade da presença de falhas em bancos de dados (TEEGAVARAPU; CHANDRAMPULI, 2005), mesmo em uma bacia amplamente estudada como a bacia do campus UFSC.

Desta maneira, é imprescindível que seja fortalecida a rede de monitoramento no Brasil, pautando-se na implantação de pontos de medição e na manutenção contínua dos equipamentos (SILVEIRA; TUCCI, 1998), permitindo assim, o adequado gerenciamento dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica (OLIVERIA *et al.*, 2010).

De modo a avaliar com maior clareza todos os resultados dos eventos simulados, a Tabela 20 traz um resumo das informações obtidas. Pode-se perceber que avaliando as vazões de pico e tempos de pico, o evento simulado com melhor comportamento foi o 350 enquanto o evento 483 obteve a maior disparidade quanto a vazão de pico medida e a simulada. Além disso, de modo geral, todos os eventos simulados possuem tempo de pico antecipado, quando comparado com os tempos de pico medidos *in loco*, com exceção do evento 482 que teve atraso na ocorrência do pico.

Avaliando as métricas utilizadas para medir as calibrações realizadas, observa-se que o melhor valor de Nash obtido foi para o evento 477, já o melhor índice RMSE foi obtido para o evento 350 e, por fim, o melhor R^2 foi para o evento 483, para o hidrograma SCS triangular e o SCS Adimensional. Em contrapartida, os piores valores para os índices de Nash e RMSE foram obtidos com o evento 483 enquanto o menor R^2 foi alcançado com o evento 420.

Outra observação verificada é de que o modelo, dentre os eventos simulados, teve a pior aderência para eventos de elevada intensidade, com tendência de superestimar as vazões, como no caso do evento 483. Além disso, avaliando os tempos de descida e subida dos hidrogramas simulados, percebe-se que o modelo teve tendência de responder rapidamente aos

eventos de precipitação ao passo que as vazões medidas apresentaram um tempo maior de resposta, com longos períodos para completa estabilização da vazão após eventos de chuva.

Tabela 20 - Resumo dos resultados obtidos para os eventos medidos e simulados após calibração.

Evento		350	420	477	482	483	596
Data		02/08/17	10/11/17	09/01/18	10/01/18	10/01/18	13/04/18
Precipitação	Acumulada (mm)	41,45	23,29	59,00	89,53	152,15	28,75
	Máxima (mm)	3,63	3,91	5,38	3,86	8,28	2,87
	Intensidade (mm/h)	3,23	8,22	9,83	5,87	15,11	6,27
	Duração (h)	12:50	02:50	06:00	15:15	10:05	04:35
Dado medido	Qp (m ³ /s)	1,93	2,20	3,12	3,70	6,10	2,07
	Horário	08:01h	16:15h	16:13h	09:16h	04:57h	18:44h
Dado simulado – SCS triangular	Qp (m ³ /s)	1,83	2,67	6,34	6,66	40,88	2,92
	Horário	07:46h	14:55h	13:02h	15:24h	03:25h	18:34h
	<i>Nash</i>	-1,48	-0,82	-0,74	-1,67	-19,48	-1,22
	RMSE	0,44	0,58	0,88	1,20	6,49	0,52
	R ²	0,05	0,00	0,24	0,14	0,30	0,14
Dado simulado – SCS adimensional	Qp (m ³ /s)	1,83	2,67	6,36	6,65	40,86	2,92
	Horário	07:46h	14:55h	13:02h	15:24h	03:25h	18:34h
	<i>Nash</i>	-1,48	-0,82	-0,74	-1,63	-19,53	-0,90
	RMSE	0,44	0,58	0,88	1,20	6,50	0,52
	R ²	0,05	0,00	0,24	0,14	0,30	0,14

Em outros estudos realizados na bacia do rio do Meio, resultados mais adequados puderam ser obtidos através da utilização de diferentes modelos. Santana (2019) simulou a vazão no rio do Meio por meio do HEC-HMS e obteve resultados satisfatórios após calibração do modelo. Todos os eventos simulados pela autora obtiveram resultados ou muito bons ou bons considerando as métricas RMSE, Nash, R² e BIAS. Contudo, destaca-se que inicialmente foram simulados os eventos utilizando-se o método SCS-CN, o qual não respondeu

adequadamente, pois a calibração implicou em valores baixos de CN, próximos a 35, muito diferente das características de uso do solo e tipos de solo encontrados na bacia hidrográfica. Neste sentido, foi alterado o método de cálculo da chuva efetiva, que possibilitou o alcance dos resultados mencionados anteriormente.

Mulungo (2012) também fez uso do *software* HEC-HMS em seu estudo para modelar o escoamento superficial na bacia do rio do Meio. Na etapa de calibração, o autor obteve valores de *Nash* e R^2 de 0,94 e 0,97, respectivamente. Já na etapa de validação, os resultados também foram satisfatórios, atingindo valores de correlação para *Nash* igual a 0,90 e R^2 de 0,97. As vazões e tempos de picos simulados tiveram bom ajuste aos hidrogramas medidos, demonstrando que o HEC-HMS possui boa aderência em relação a estimativa de escoamento superficial da bacia do campus UFSC.

Wu (2019) modelou o escoamento superficial do rio do Meio para oito eventos de chuva utilizando o modelo SWMM. Os resultados variaram conforme evento e também considerando a métrica avaliada, sendo que 87,5% dos eventos obtiveram resultados satisfatórios segundo índice ISE, 50% alcançaram resultados positivos para R^2 e 25% atingiram bons resultados com o índice de *Nash*. Cabe destacar que, assim como no presente estudo, as modelagens com SWMM apresentaram tempos de picos antecipados em comparação com os valores medidos em campo.

Em seu estudo, Scotti (2022) estimou o escoamento superficial na bacia do campus UFSC utilizando o modelo MIKE URBAN+. Os resultados, assim como no presente estudo, não foram satisfatórios pois apenas 42,86% dos eventos atingiram valores de correlação superiores a 0,30. O ajuste dos tempos de pico também não foi adequado e diferiu do encontrado neste estudo, haja vista que os tempos de pico ocorreram atrasados em comparação com o medido em campo. Por fim, a maior parte as vazões de pico foram superestimadas nos hidrogramas simulados.

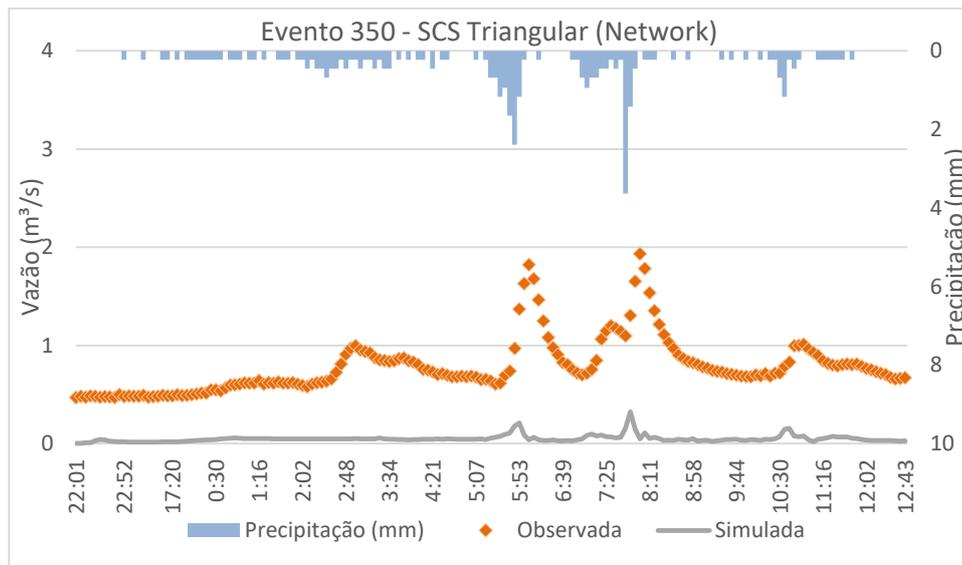
6.4 ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA REDE DE DRENAGEM

A seguir são discutidos os resultados referentes as estimativas de escoamento superficial na rede de drenagem do rio do Meio para cada evento, obtidas por meio do módulo hidrodinâmico do MIKE+.

A Figura 30 exhibe os resultados do escoamento superficial na rede de drenagem da bacia campus UFSC para o método SCS Triangular. O método SCS Adimensional não foi

discutido pois os resultados entre os dois métodos, assim como discutido para o escoamento superficial na bacia foram muito similares.

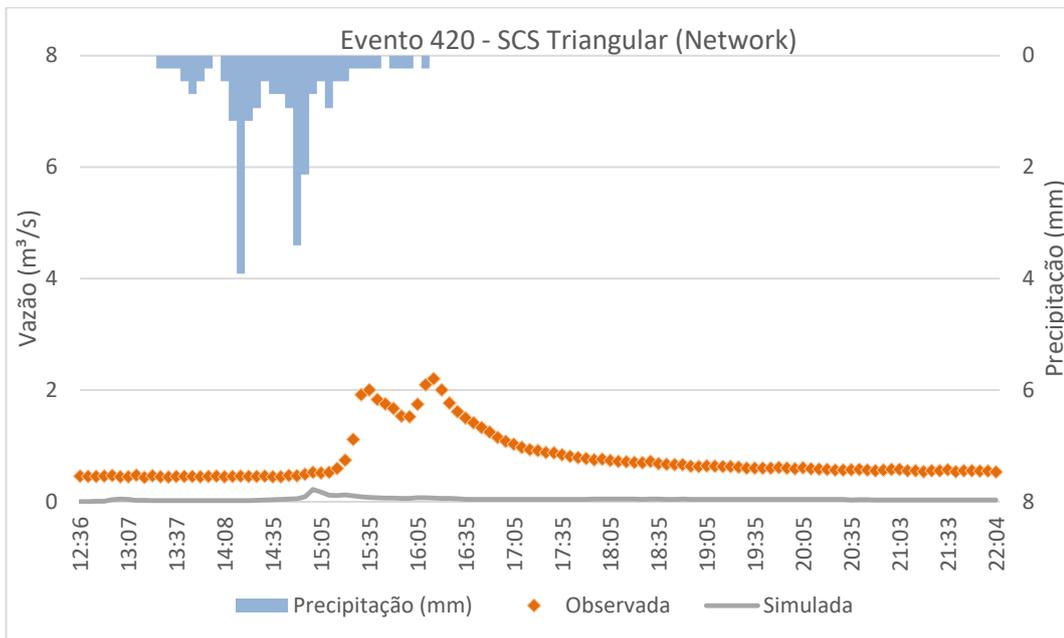
Figura 30 - Escoamento superficial na rede de drenagem: evento 350 com método SCS Triangular.



Verifica-se que o modelo não apresentou bons resultados quando comparado com as vazões medidas em campo. No que tange as vazões, percebe-se que o escoamento simulado está muito abaixo do observado em campo. Contudo, comparando-se o tempo de pico simulado para a rede com o tempo de pico simulado para a bacia hidrográfica, percebe-se que houve melhora. O tempo de pico para a simulação na bacia ocorreu às 07:46h enquanto o tempo de pico simulado para a rede ocorre às 07:51h, mais próximo do tempo de pico real, às 08:02h.

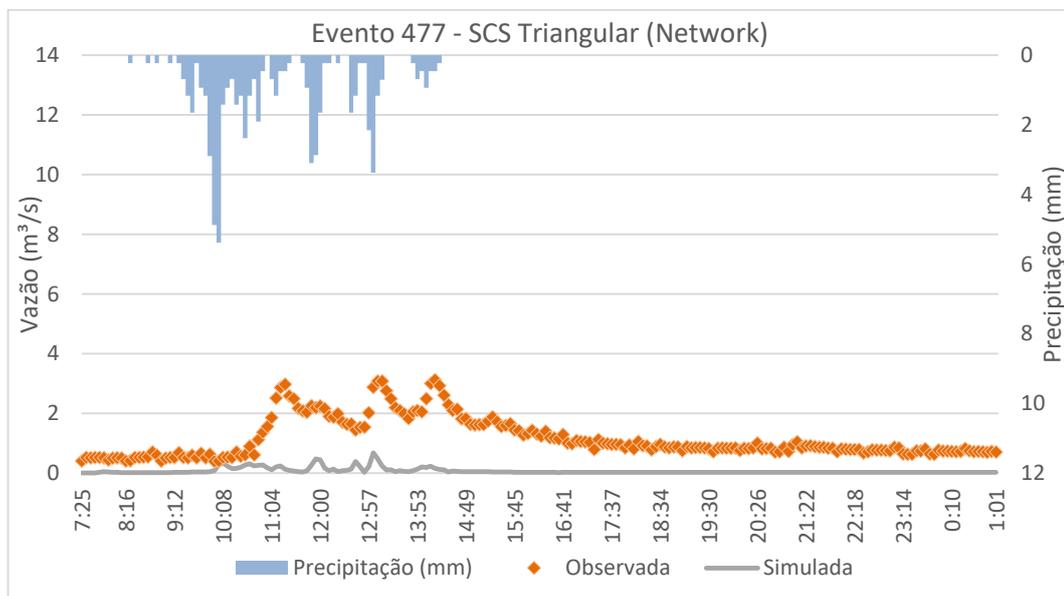
O resultado do escoamento superficial na rede de drenagem para o evento 420 consta na Figura 31. Percebe-se que novamente, o modelo não apresentou bons resultados, especialmente quando avaliado o volume escoado. Percebe-se que o tempo de pico ocorre às 15:00h, cinco minutos avançado em comparação com a simulação calibrada para bacia hidrográfica. No entanto, percebe-se que o tempo de pico ainda se encontra muito antecipado em relação ao tempo de pico real do hidrograma, ocorrido às 16:15h.

Figura 31 - Escoamento superficial na rede de drenagem: evento 420 com método SCS Triangular.



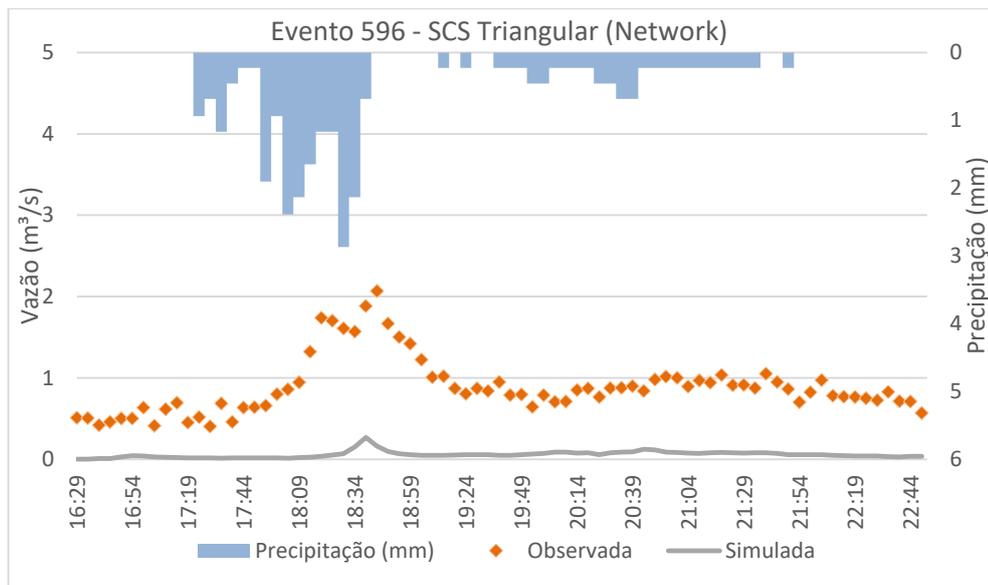
Na Figura 32 consta o hidrograma resultante para as vazões na rede de drenagem referentes ao evento 477. Verifica-se que, mais uma vez, as vazões foram subestimadas. O pico de vazão ocorreu às 11:55h enquanto o pico de vazão real ocorre às 14:13h. Percebe-se uma piora neste parâmetro quando comparado com o hidrograma simulado para o escoamento na bacia, que teve tempo de pico às 13:02h.

Figura 32 - Escoamento superficial na rede de drenagem: evento 477 com método SCS Triangular.



Por fim, na Figura 33 pode-se observar o hidrograma resultante do escoamento superficial na rede de drenagem para o evento 596. Apesar do resultado insatisfatório no que tange os volumes escoados, este hidrograma foi o que apresentou o tempo de pico mais próximo do real, pois ocorreu às 18:38h enquanto o tempo de pico real ocorre às 18:44h.

Figura 33 - Escoamento superficial na rede de drenagem: evento 596 com método SCS Triangular.



Para os eventos de chuva 482 e 483, eventos com maior intensidade de chuva, não foi possível obter os resultados na rede de drenagem, pois o modelo deferiu mensagens de erro durante a simulação referente ao nível de água em determinadas bocas de lobo, as quais atingiram cotas acima do nível do solo. Além disso, para todos os eventos mensagens de avisos foram informadas pelo MIKE+, a saber: comprimentos da rede menor que o mínimo estipulado pelo modelo (10 m) e junção de galerias e canais/rios com pontos a jusantes com cotas/larguras de canais maiores que os pontos a montante.

Á vista dos resultados insatisfatórios obtidos no presente estudo no que tange a modelagem com a rede de drenagem, cabe evidenciar dois fatores principais que podem ter influenciado as simulações: inconsistências nos dados de entrada da rede de drenagem e a informalidade das estruturas de drenagem urbana da bacia do campus UFSC.

O primeiro fator diz respeito aos dados de entrada da rede de drenagem, haja vista que durante as simulações, avisos referentes as cotas e diâmetros das bocas de lobos foram deferidos

pelo modelo, indicando que talvez possam existir inconsistências nestes dados de entrada. Sabe-se que, no geral, as informações relacionadas aos sistemas de drenagem urbana no Brasil são deficitárias uma vez que os prestadores de serviço não apresentam sistema de informações, bancos de dados, cadastro técnico ou levantamento de dados sistemático (SNIS, 2021).

O desconhecimento das infraestruturas de drenagem também é verificado no município de Florianópolis, conforme informações do Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico (PMISB) (FLORIANÓPOLIS, 2009). Neste sentido, a obtenção de informações da rede de drenagem da bacia do rio do Meio foi viabilizada por meio de uma ação pontual com fins acadêmicos, a qual, apesar dos resultados, acredita-se que esteja coerente com a realidade da bacia já que foi recentemente verificada *in loco*.

Desta maneira, o segundo fator parece ser a influência proeminente nos resultados obtidos. A conformação dos sistemas de drenagem urbana existentes no Brasil é altamente informal, tendo relação com aspectos institucionais e técnicos da área (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

Dentre os aspectos que culminam para a situação encontrada na área de estudo e no Brasil de modo geral, tem-se a ausência de normas técnicas nacionais padronizadas para dimensionamento e execução de projetos de drenagem e prestação dos serviços de drenagem pela Administração Pública Direta, ou seja, a prefeitura municipal, diferindo dos outros eixos do saneamento básico (água e esgoto) que dispõem de entidades responsáveis específicas para gestão dos serviços além de órgãos reguladores (SNIS, 2021).

O direcionamento dos serviços de drenagem urbana para as prefeituras tende a se dar em secretarias de obras e, portanto, não é estabelecido um setor técnico dotado de autonomia administrativa e financeira (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002). Além disso, os órgãos municipais na maioria do país são de porte pequeno e, conseqüentemente, não apresentam equipes técnicas condizentes quantitativamente e qualitativamente (BAPTISTA; NASCIMENTO, 2002).

Todos esses fatores expõem alguns dos desafios para a modelagem da drenagem urbana em que a realidade destes sistemas no país, culmina em redes de drenagem subdimensionadas, informais e mal-conservadas (FLORIANÓPOLIS, 2009).

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho se propôs a simular o escoamento superficial na bacia do campus da UFSC, através da aplicação do modelo hidrológico MIKE+ por meio da integração da rede de drenagem atualmente existente e, ainda, efetuar a calibração do modelo. Para isso, utilizou-se o módulo chuva-vazão para determinação do volume escoado na bacia por meio do método do hidrograma unitário. Tal resultado serviu posteriormente como dado de entrada no módulo hidrodinâmico do *software* para estimar as vazões na rede de drenagem propriamente dita.

O teste de sensibilidade mostrou que os parâmetros mais sensíveis são o CN, AMC e fator de área, como esperado, já que o parâmetro CN é tomado como o mais sensível no que tange a estimativa da vazão de pico e o volume de escoamento superficial no método SCS. O *lagtime*, no entanto, se portou como o parâmetro menos sensível em termos de vazão de pico e volume escoado.

Os resultados da modelagem hidrológica-hidráulica não foram satisfatórios antes e após calibração, seja pelo hidrograma SCS Triangular ou SCS Adimensional. Dentre os eventos avaliados para estimativa do escoamento superficial na bacia do rio do Meio, 50% apresentaram índice RMSE satisfatório e 17% atingiram valores de correlação superiores a 0,30. Nenhum dos eventos atingiu valores satisfatórios para a métrica de Nash. Além disso, os ajustes no tempo de pico foram insatisfatórios, uma vez que os hidrogramas simulados tenderam, no geral a antecipar o tempo de pico em comparação com os tempos reais.

Quanto as estimativas de escoamento superficial diretamente na rede de drenagem, os resultados se mantiveram insatisfatórios, com o modelo apresentando baixa aderência. O escoamento superficial foi subestimado, no entanto, a ocorrência dos tempos de pico nos hidrogramas simulados se assemelhou aos tempos de pico reais, representando uma melhora em comparação com a simulação sem rede de drenagem.

As limitações percebidas durante o processo de modelagem com o MIKE+ se conectam com a falta de dados de precipitação e vazão em escala espacial e temporal adequada e as imprecisões atreladas aos dados existentes, fatores vinculados ao monitoramento ambiental no país. Na modelagem com a rede de drenagem, o aspecto proeminente foi a informalidade da rede, muito atrelada com vertentes institucionais e técnicas dos serviços de drenagem em âmbito nacional.

No entanto, é evidente que a modelagem é uma ferramenta capaz de auxiliar na gestão de bacias hidrográficas, pois viabiliza a mitigação de impactos na drenagem a partir da simulação de diferentes cenários. Todavia, para sua alimentação há necessidade de dados confiáveis devendo, portanto, se instaurar como prioridade na bacia do campus UFSC a superação dos obstáculos mencionados anteriormente.

Como recomendações para futuros trabalhos menciona-se para o módulo chuva-vazão, aplicar outra metodologia de cálculo de escoamento superficial como a onda cinemática ou método NAM, o qual oferece ferramenta de calibração dentro do próprio MIKE+. Caso se opte por permanecer utilizando o método HU, recomenda-se inserir informações referentes ao dado de entrada “*UHM Inicial Abstract Depth*” e alterar o tempo de simulação e passo de tempo, de modo a verificar a influência no escoamento superficial.

Ademais, é de suma importância que sejam simulados diferentes eventos de chuva, buscando-se outras fontes de dados, especialmente para a etapa de calibração e verificação do modelo. Por fim, para o módulo hidrodinâmico recomenda-se uma maior exploração das ferramentas disponíveis, além de rever os dados de entrada da rede de drenagem, especialmente as cotas de fundo, diâmetros e comprimentos da rede.

REFERÊNCIAS

- AQUINO, Maria Eduarda Fagundes de. **Análise da relação chuva-vazão na bacia hidrográfica do Rio do Meio utilizando o HEC-HMS**. 2017. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.
- BAPTISTA, Márcio Benedito; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 29-49, 2002. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/99/b965255555a82d2c445d1170ac0b2cf8_d23a43569d48424265de6e08d464e416.pdf. Acesso em: 15 nov. 2022.
- BENINI, Rubens de Miranda; MENDIONDO, Eduardo Mario. Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, [S.L.], v. 22, n. 2, p. 211-222, jun. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.103114>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/Z6Tf4Krs6qgnSrTp4ZXY3Vx/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 21 maio 2022.
- BEVEN, Keith. **Rainfall-Runoff Modelling: The primer**. 2. ed. Reino Unido: John Wiley & Sons, Ltd, 2012. 457 p.
- BEVEN, Keith; BINLEY, Andrew. The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. **Hydrological processes**, v. 6, n. 3, p. 279-298, 1992
- BEZ, Anselmo; LISBOA, Henrique de Melo; POMPÊO, Cesar Augusto; CARDOSO NETO, Antônio; MELO, Eloi. Controle de enchentes na bacia do rio Itacorubi (Florianópolis, SC). In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS**, XIII., 1999, Belo Horizonte. [S.L]: ABRH, 1999. p. 1-10. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/149/ABRH301.pdf>. Acesso em: 26 maio 2022.
- BHUNYA, P. K. *et al.* Suitability of Gamma, Chi-square, Weibull, and Beta distributions as synthetic unit hydrographs. **Journal of Hydrology**, v. 334, n. 1-2, p. 28-38, 2007.
- BHUNYA, P. K; PANDA, S.N.; GOEL M.K.. Synthetic Unit Hydrograph Methods: A Critical Review. **The Open Hydrology Journal**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2011. Disponível em: <https://benthamopen.com/ABSTRACT/TOHYDJ-5-1>. Acesso em: 18 set. 2022.
- BONDELID, Timothy R.; MCCUEN, Richard H.; JACKSON, Thomas J. Sensitivity of SCS models to *curve number* variation 1. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 18, n. 1, p. 111-116, 1982.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **ANA e CPRM lançam inédito manual para padronizar operação de estações hidrométricas da Rede Hidrometeorológica Nacional**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-e-cprm-lancam-inedito-manual-para-padronizar-operacao-de-estacoes-hidrometricas-da-rede-hidrometeorologica-nacional>. Acesso em: 02 jun. 2022.

BRAVO, Juan Martín; ALLASIA, Daniel Gustavo; COLLISCHONN, Walter; TASSI, Rutinéia; MELLER, Adalberto; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Avaliação visual e numérica da calibração do modelo hidrológico IPH II com fins educacionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17º, 2007, São Paulo. **Anais online**. [S. L.]: ABRH, 2007. p. 1-20. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/b76d1b0edbcd02b0d2844e15a56bf6d_fce888378e36b12b7f25866fa258d806.pdf. Acesso em: 17 maio 2022.

BRIGHENTI, Tássia Mattos. **Modelagem hidrológica e avaliação de diferentes métodos de calibração para o modelo SWAT**. 2015. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/136347>. Acesso em: 24 maio 2022.

BRIGHENTI, Tássia Mattos; BONUMÁ, Nadia Bernardi; CHAFFE, Pedro Luiz Borges; GRISON, Fernando; KOBIYAMA, Masato. Análise de sensibilidade como primeiro passo para modelagem hidrológica: Estudo de caso do o modelo SWAT. **Anais Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/173573/001058274.pdf?sequence=1>. Acesso em: 14 nov. 2022.

CAPRARIO, Jakcemara; SANTANA, Paula Lidia; WU, Fernando Kit; MONTEIRO, Pamela Cristina dos Santos. Cadastro Técnico de Drenagem de águas pluviais do município de Florianópolis: Mapa da abrangência e caracterização da rede de drenagem. Florianópolis: **Lautec/Ufsc Publicações**, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/234034>. Acesso em: 13 out. 2022.

CHAFFE, Pedro Luiz Borges. **Monitoramento e modelagem do processo chuva-vazão de uma pequena bacia florestal com ênfase em interceptação**. 2009. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/92379>. Acesso em: 21 maio 2022.

CHANSON, Hubert. **Applications of the Saint-Venant equations and method of characteristics to the dam break wave problem**. Brisbane: Department Of Civil Engineering At The University Of Queensland, 2005. 136 p. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/14982728.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2022.

CHOW, V.T. (Editor), 1964. Handbook of Applied Hydrology. **McGraw-Hill**, New York.

CHRISTOFIDIS, Demetrios; ASSUMPÇÃO, Rafaela dos Santos Facchetti Vinhaes; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A evolução histórica da drenagem urbana: da drenagem tradicional à sintonia com a natureza. **Saúde em Debate**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 94-108, dez. 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042019s307>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/jpNVWVZSdNRRyQS3qtWmz9g/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 15 maio 2022.

COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Ajuste Multiobjetivo dos Parâmetros de um Modelo Hidrológico. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**,

[S. I], v. 8, n. 3, p. 27-39, set. 2003. Disponível em:
<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/231237>. Acesso em: 17 jun. 2022.

COVELLO, Cristina; CORN FILHO, Norberto; BRILHA, José. O patrimônio geológico do município de Florianópolis, Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil: inventário dos geossítios. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 45, n. 1, p. 1-24, dez. 2017. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/85646>. Acesso em: 06 set. 2022.

CUNHA, Stéphanie Fernandes *et al.* Avaliação da acurácia dos métodos do SCS para cálculo da precipitação efetiva e hidrogramas de cheia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 4, p. 837-848, 2015. Disponível em:
<https://biblat.unam.mx/hevila/RBRHRevistabrasileiraderecursoshidricos/2015/vol20/no4/2.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.

DANISH HYDRAULIC INSTITUTE (DHI). MIKE 1D. DHI Simulation Engine for 1D river and urban modelling. **Reference Manual**. 2022b. Disponível em:
https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Water_Resources/MIKE_1D_reference.pdf. Acesso em: 17 jun. 2022.

DANISH HYDRAULIC INSTITUTE (DHI). **MIKE+**. 2022a. Disponível em:
<https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mikeplus>. Acesso em: 02 jun. 2022.

DANISH HYDRAULIC INSTITUTE (DHI). **MIKE+**. Collection System. **User Guide**. 2022c. Disponível em:
https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Cities/MIKE_Plus_Collection_System.pdf. Acesso em: 17 jun. 2022.

DANISH HYDRUALIC INSTITUTE (DHI). **Download MIKE+ today**. 2020. Disponível em: <https://www.dhigroup.com/global/news/2020/11/mike-plus>. Acesso em: 05 jul. 2022.

DAVID, Paula Cunha. **Análise do desempenho de modelos hidrológicos conceituais em 508 bacias hidrográficas brasileiras**. 2020. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020. Disponível em:
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/216412>. Acesso em: 21 maio 2022.

DOOGE, J.C.I., 1959. A general theory of the unit hydrograph. **J. Geophys. Res.**, 64(2): 241-256.

DORNELLES, Fernando; COLLISCHONN, Walter. **Hidrologia para Engenharia e Ciências Ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015. 335 p. Disponível em:
<https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5>. Acesso em: 18 set. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS)** - 5. ed., rev. e amp. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/solos/sibcs>. Acesso em: 08 set. 2022.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Súmula da X Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, RJ: 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelância, 1).

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA E EXTENSÃO RURAL DE SANTA CATARINA (EPAGRI). **Banco de dados de variáveis ambientais de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2020. 20p. (Epagri,

ENNAJEM, Leila; LOUDYI, Dalila. Modeling of Rainwater Urban Drainage Network at a Local Scale: Case Study of Sidi Bernoussi District-Casablanca, Morocco. **International Journal of Climate Change: Impacts & Responses**, v. 13, n. 2, 2021.

FARIA, Nilma; BARBASSA, Ademir; SILVEIRA, Alexandre. Monitoramento, Modelagem e Simulação de Cenários para a Bacia do Córrego Barbado - Cuiabá/MT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 165-176, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p165-176>. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ademir-Barbassa/publication/305306586_Monitoramento_Modelagem_e_Simulacao_de_Cenarios_para_a_Bacia_do_Corrego_Barbado_-_CuiabaMT/links/57ced6b808ae057987abfff0/Monitoramento-Modelagem-e-Simulacao-de-Cenarios-para-a-Bacia-do-Corrego-Barbado-Cuiaba-MT.pdf. Acesso em: 21 maio 2022.

FLORIANÓPOLIS. **Atlas do município de Florianópolis**. Florianópolis: IPUF, 2004. 166 p. Coordenação de Maria das Dores de Almeida Bastos.

FLORIANÓPOLIS. **Diagnóstico Participativo da Drenagem Urbana de Florianópolis**. LAUTEC: Florianópolis, nov. 2019. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/PDF/Diagnostico%20Revisado.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2022.

FLORIANÓPOLIS. **Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico**. Diagnóstico Participativo da Drenagem Urbana de Florianópolis. Florianópolis, UFSC - LAUTEC: 2019. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/PDF/Diagnostico%20Revisado.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2022.

FREITAS, Thiago Felipe Carrara de; HEINRICH, Gabriel Filipe; WU, Fernando Kit; TSUJI, Thays Mitsuko; UDA, Patrícia Kazue; FINOTTI, Alexandra Rodrigues. Levantamento da rede de drenagem urbana na bacia do Rio do Meio, Florianópolis - SC. In: Encontro nacional de águas urbanas e Simpósio de revitalização de rios urbanos, 14., 2022, Brasília. **Anais** [...] [S.L]: ABRHidro, 2022. p. 1-10. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13945>. Acesso em: 13 out. 2022.

FREYESLEBEN, Lucia Maria Correa. **Aspectos essenciais do ritmo climático de Florianópolis**. Florianópolis, UFSC, 1979. 49 p.

GALVANE, João Victor. **Avaliação de alternativas para a drenagem de água pluvial na bacia hidrográfica do campus da UFSC**. 2018. 128 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa

Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/195646>. Acesso em: 02 jun. 2022.

GERBEAU, Jean-Frédéric; PERTHAME, Benoît. **Derivation of viscous Saint-Venant system for laminar shallow water; numerical validation**. 2000. INRIA. p.16. Disponível em: <https://hal.inria.fr/inria-00072549/document>. Acesso em: 05 jul. 2022.

GOBBI, Leonardo Delfim. Urbanização Brasileira. [202-?]. Disponível em:

<http://educacao.globo.com/geografia/assunto/urbanizacao/urbanizacao-brasileira.html>. Acesso em: 15 maio 2022.

GOLDENFUM, Joel A.; PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Hidrologia Aplicada À Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas. 2001. Porto Alegre/ABRH.

GUEDES JÚNIOR, Alexandre. **Mapeamento hidrogeológico da Ilha de Santa Catarina utilizando geoprocessamento**. 1999. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/80820>. Acesso em: 06 set. 2022.

GUO, Yiping; ADAMS, Barry J. Hydrologic analysis of urban catchments with event-based probabilistic models: 2. Peak discharge rate. **Water Resources Research**, v. 34, n. 12, p. 3433-3443, 1998. Disponível em:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/98WR02448>. Acesso em: 18 set. 2022.

GUPTA, Hoshin Vijai; SOROOSHIAN, Soroosh; YAPO, Patrice Ogou. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. **Journal Of Hydrologic Engineering**. [S.L], p. 135-143. abr. 1999.

HOLVOET, K; GRIENSVEN A. Van; SEUNTJENS P.; VANROLLEGHEM P.A. Sensitivity analysis for hydrology and pesticide supply towards the river in SWAT. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 30, n. 8-10, p. 518-526, 2005.

<https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.07.006>

INNOCENTE, Camyla; CHAFFE, Pedro Luiz Borges. Uma revisão preliminar sobre a aplicação do hidrograma unitário na pesquisa, no ensino e na engenharia. **XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis**, 2017. Disponível em:

<http://abrh.s3.amazonaws.com/Eventos/Trabalhos/60/PAP022284.pdf>. Acesso em: 18 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Geomorfologia 1:250.000**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 06 set. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. 2015. Disponível em:

<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 15 maio 2022.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Switzerland, 2022, p. 35. Disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/report/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicy_makers.pdf. Acesso em: 15 maio 2022.

JAKEMAN, A. J.; LITTLEWOOD, I. G.; WHITEHEAD, P. G. Computation of the instantaneous unit hydrograph and identifiable component flows with application to two small upland catchments. **Journal of hydrology**, v. 117, n. 1-4, p. 275-300, 1990.

JAKEMAN, Anthony; HORNBERGER, George M.. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model? **Water Resources Research**, [s. l.], v. 29, n. 8, p. 2637-2649, ago. 1993.

JUSTINO, Eliane Aparecida; PAULA, Heber Martins de; PAIVA, Ed Carlo Rosa. Análise do efeito da impermeabilização dos solos urbanos na drenagem de água pluvial do município de Uberlândia-MG. **Espaço em Revista**, Goiânia, v. 13, n. 2, p. 16-38, dez. 2011. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/espaco/article/view/16884>. Acesso em: 21 maio 2022.

KOBIYAMA, M.; GRISON, F.; LINO, J. F.; SILVA, R. V. Time of concentration in the UFSC Campus catchment, Florianópolis-SC (Brazil), calculated with morph. **Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia e Regional**, Goiânia, p. 1-11, 2006. Disponível em: [https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/tempo%20concentracao%20\(2006%20Goias\).pdf](https://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/tempo%20concentracao%20(2006%20Goias).pdf). Acesso em: 26 maio 2022.

LARA, Pedro Guilherme de; KOBIYAMA, Masato. Proposta de Modelo Conceitual: PM Tank Model. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S. L.], v. 17, n. 3, p. 149-161, set. 2012. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=94&SUMARIO=1139>. Acesso em: 02 jun. 2022.

LAURENTI, Ariane; FECHINE, Victor Ybarzo; VASCONCELOS, Aline Gonçalves C. de; SANTOS, Franciele dos; CAVALLERI, Marjana; REIS, Mateus; AYALA FILHO, German Gregório Monterrosa. UFSC Micro Basin—A Preliminary Study: a stream to call it ours. **World Sustainability Series**, [S.L.], p. 635-652, 2018. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-76885-4_43.

MACHADO, Fernando Weigert. **Modelagem chuva-vazão mensal utilizando redes neurais artificiais**. 2005. 156 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: https://docs.ufpr.br/~bleninger/dissertacoes/093-Fernando_Weigert_Machado.pdf. Acesso em: 21 maio 2022.

MAJIDI, A.; SHAHEDI, K. Simulation of rainfall-runoff process using Green-Ampt method and HEC-HMS model (Case study: Abnama Watershed, Iran). **International Journal of Hydraulic Engineering**, v. 1, n. 1, p. 5-9, 2012. DOI: 10.5923/j.ijhe.20120101.02

MESQUITA, Janine Brandão de Farias; LIMA NETO, Iran Eduardo. Impacto da impermeabilização na hidrologia de uma bacia urbana. In: Encontro Nacional De Águas Urbanas, 13º, 2020, Porto Alegre. **Anais online**. Porto Alegre: 2020. p. 1-9. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55064>. Acesso em: 15 maio 2022.

MOCKUS, V. Use of storm and watershed characteristics in synthetic hydrograph analysis and application. **US Department of Agriculture, Soil Conservation Service**, Latham, 1957.

MONTEIRO, Leonardo Romero; SANTOS, Camyla Innocente dos; KOBIYAMA, Masato; CORSEUIL, Cláudia Weber; CHAFFE, Pedro Luiz Borges. Effects of return periods on flood hazard mapping: an analysis of the ufsc campus basin, florianópolis city, brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 26, p. 1-13, dez. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.262120200161>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/mv98xs5n8fr4vd6RdmCtXXC/?lang=en>. Acesso em: 26 maio 2022.

MONTEIRO, Maurici Amantino. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, Florianópolis, v. 31, n. 16, p. 69-78, jan. 2001. Disponível em: http://www.bandeirante.iag.usp.br/material/ritaynoue/fisica%20da%20tera%20e%20do%20universo/2013/referencias/monteiro_climaSC.pdf. Acesso em: 26 ago. 2022.

MORADKHANI, Hamid; SOROOSHIAN, Soroosh. General review of rainfall-runoff modeling: model calibration, data assimilation, and uncertainty analysis. **Hydrological Modelling And The Water Cycle**, [S.L.], v. 63, p. 1-24, 2009.

MORIASI, D. N. *et al.* Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. **Transactions Of The Asabe**, [S.L.], v. 50, n. 3, p. 885-900, 2007. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/2013.23153>.

MULUNGO, Hermínio Elias. **Estudo de inundação na bacia do campus da UFSC, Florianópolis-SC**. 2012. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/100556>. Acesso em: 26 maio 2022.

NASH, J.Eamonn.; SUTCLIFFE, John.V. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles. **Journal of Hydrology**., Amsterdam, v.10,n.3, p.282-290, 1970.

NÚCLEO DE ESTUDOS AMBIENTAIS (NEA) da Universidade Federal de Santa Catarina. Projeto de Recuperação da Qualidade da Água dos Córregos do Campus Reitor João David Ferreira Lima (PRAD). **Sistema de Monitoramento Hidrológico**. Florianópolis, SC: 2017. Disponível em: [http://neagua.ufsc.br/Projeto%20de%20Recupera%C3%A7%C3%A3o%20da%20Qualidade%20da%20C3%81gua%20dos%20C3%B3rregos%20do%20Campus%20Reitor%20Jo%C3%A3o%20David%20Ferreira%20Lima%20\(PRAD\)](http://neagua.ufsc.br/Projeto%20de%20Recupera%C3%A7%C3%A3o%20da%20Qualidade%20da%20C3%81gua%20dos%20C3%B3rregos%20do%20Campus%20Reitor%20Jo%C3%A3o%20David%20Ferreira%20Lima%20(PRAD)). Acesso em: 30 out. 2022.

NUNES, Fabrizia Gioppo; FIORI, Alberto Pio. Análise da impermeabilização dos solos e aumento dos picos de vazão de cheias em bacias hidrográficas urbanas. **Boletim Paranaense de Geociências**, [S.L.], v. 62, p. 47-60, 31 dez. 2008. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/geo.v62i0.7704>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/geociencias/article/view/7704>. Acesso em: 21 maio 2022

OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco *et al.* Análise da precipitação e sua relação com sistemas meteorológicos em Seropédica, Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 140-149, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/5YhpbvRg3CY4JMfXPTT8FKG/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 17 nov. 2022.

OLIVEIRA, Luiz FC *et al.* Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1186-1192, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/4hqdp3kcXkCZKqrGqNgnb9d/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 17 nov. 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **ONU prevê que cidades abriguem 70% da população mundial até 2050**. 2019. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2019/02/1660701>. Acesso em: 15 maio 2022.

PANDOLFO, Cristina *et al.* Atlas climatológico do estado de Santa Catarina. **Florianópolis: Epagri**, v. 1, p. 13, 2002. Disponível em: https://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/atlasClimatologico/atlasClimatologico.pdf. Acesso em: 29 ago. 2022.

POMPÊO, Cesar Augusto. Drenagem urbana sustentável. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 15-24, jan. 2000. Disponível em: http://www.reasul.org.br/files/Drenagem_Urbana_Sustent%C3%A1vel_.pdf. Acesso em: 26 maio 2022.

RATHOD, Praveen; BORSE, Kalpesh; MANEKAR, V. L. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS (case study: Tapi river, India). In: **20th International Conference on Hydraulics, Water Resources and River Engineering**. 2015. p. 1-9. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Praveen-Rathod/publication/291274149_Simulation_of_Rainfall_-_Runoff_Process_Using_HEC-HMS/links/569f336e08ae21a564250551/Simulation-of-Rainfall-Runoff-Process-Using-HEC-HMS.pdf. Acesso em: 14 nov. 2022.

ROCHA, Henrique Lucini; SILVA, Roberto Valmir da; KOBAYAMA, Masato. Propagação de onda de cheia em canais simplificados: estudo comparativo de modelo hidrodinâmico e Muskgum-Cunge. **Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, [Campo Grande], p. 1-15, nov. 2009. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/110/1a1e0809fd9b3e6a608bfd951ac2c9d1_f6669fafa3d7ac330889db134946d8ac.pdf. Acesso em: 08 jul. 2022.

RODRIGUES, Luciana Lavareda; BLANCO, Claudio José Cavalcante. Vazão de pico em uma bacia hidrográfica com diferentes níveis de urbanização em Santarém/PA. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 9, n. 7, p. 62-75, 24 set. 2018.

Companhia Brasileira de Producao Cientifica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2018.007.0007>.

SANTANA, Paula Lidia. **Avaliação do impacto da urbanização sobre o regime fluviométrico de vazões na bacia hidrográfica do Rio do Meio - Florianópolis/SC**. 2022. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/241061>. Acesso em: 28 out. 2022.

SANTANA, Paula Lidia. **Modelagem Hidráulico-Hidrológica para análise da vazão ecológica do rio do Meio no campus da UFSC**. 2019. 85 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

SANTOS, Cristina Camilo dos. **O processo de urbanização da bacia do Itacorubi: a influência da UFSC**. 2003. 114 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/86115/197060.pdf?sequence=1>. Acesso em: 24 set. 2022.

SANTOS, Franciane Mendonça dos; LOLLO, José Augusto de. Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 663-675, 27 out. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522016130053>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/CGrNxSKVKymfjbdKZsDtGRD/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 maio 2022.

SARTORI, Aderson; LOMBARDI NETO, Francisco; GENOVEZ, Abel Maia. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 05-18, dez. 2005. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/26/6c2ebe52f7043b800f2879be8e09bd55_624e887e937b744607e1fe0d08b69e6d.pdf. Acesso em: 17 set. 2022.

SCOTTI, Eduardo. **Modelagem de escoamento superficial da bacia urbanizada do Rio do Meio em Florianópolis/SC utilizando o modelo MIKE URBAN+**. 2022. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/239473>. Acesso em: 30 set. 2022.

SHERMAN, L.K., 1932. Streamflow from rainfall by the unit graph method. **Eng. News Rec.**, 108: 501 505.

SILBERSTEIN, R.P. Hydrological models are so good, do we still need data? **Environmental Modelling & Software**, Amsterdam, v.21, p.1340-1352, 2006.

SILVA, Francisco Eustáquio; NAGHETTINI, Mauro; FERNANDES, Wilson. Avaliação bayesiana das incertezas nas estimativas dos parâmetros de um modelo chuva-vazão

conceitual. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s. l.], v. 19, n. 4, p. 148-159, dez. 2014. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/173/1ce97b4a15eac7179783c1b6100cb95_2c92806c60c7f2a00ea0a7f00628880a.pdf. Acesso em: 21 maio 2022.

SILVEIRA, Alexandre; CAVALCANTI, Allana Abreu; MENEZES FILHO, Frederico Carlos Martins de; SEVERINO, Matheus Franco. Calibração do modelo hidrológico SWMM para a bacia do ribeirão vai e volta — Poços de Caldas, Minas Gerais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 55-65, fev. 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220200300>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/3LHfSQtMBsPS7CRrJV99PsC/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

SILVEIRA, Geraldo Lopes da; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Monitoramento em pequenas bacias para a estimativa de disponibilidade hídrica. **Rbrh: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. Vol. 3, n. 3 (jul./set. 1998), p. 97-110**, 1998. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/234286>. Acesso em: 17 nov. 2022.

SINHA, Rakesh Kumar; ELDHO, T. I.; SUBIMAL, Ghosh. Assessing the impacts of land cover and climate on runoff and sediment yield of a river basin. **Hydrological Sciences Journal**, v. 65, n. 12, p. 2097-2115, 2020. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1791336>

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Ministério do Desenvolvimento Regional. **Diagnóstico Temático Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – Visão Geral – Ano de referência 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos>. Acesso em: 15 nov. 2022.

SNYDER, F. F. Synthetic unit-graphs. **Transactions, American Geophysical Union**, v. 19, n. 1, p. 447, 1938.

SOUZA, Rávila Marques de; CRISPIM, Diogo Coelho; FORMIGA, Klebber T. M.. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial– caso de estudo bacia do córrego samambaia. **Reec-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [s. l.], v. 5, n. 2, p. 1-11, out. 2012. Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/20176>. Acesso em: 24 maio 2022.

TEEGAVARAPU, Ramesh SV; CHANDRAMOULI, Viswanathan. Improved weighting methods, deterministic and stochastic data-driven models for estimation of missing precipitation records. **Journal of hydrology**, v. 312, n. 1-4, p. 191-206, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.02.015>

THOMÉ, Vera Magali Radtke, ZAMPIERI, Sérgio, BRAGA, Hugo José, PANDOLFO, C., SILVA JÚNIOR, Vamilson Prudêncio da, BACIC, Ivan, LAUS NETO, José, SOLDATELI, Daltro, GEBLER, e, ORE, J Dalle, ECHEVERRIA, L, MATTOS, M., SUSKI, Pedro Paulo. **Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 1999, v.1000. p.1010. Disponível em: https://circam.epagri.sc.gov.br/circam_arquivos/site/documentos/ZonAgroecoMapas.pdf. Acesso em: 10 set. 2022.

TONIOLO, Gustavo Rodrigues. **Análise do escoamento superficial na bacia hidrográfica do Vacacaí-Vacacaí Mirim**. Santa Maria: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 2011. 47 p. Disponível em: <http://mtc-m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2020/07.23.17.54/doc/Gustavo%20Rodrigues%20Toniolo.pdf>. Acesso em: 24 maio 2022.

TOSCANO, Bruna. **Aplicação e análise dos dados de entrada no modelo matemático HEC-RAS para o mapeamento de áreas de inundação no campus reitor João David Ferreira Lima (UFSC)**. 2018. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/195592>. Acesso em: 02 jun. 2022.

TSUJI, Thays Mitsuko. **Ferramenta de auxílio à concepção de instrumentos municipais de planejamento e gestão de drenagem urbana**. 2022. 62 p. Qualificação de doutorado. Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

TUCCI, C. Parâmetros do Hidrograma Unitário para Bacias Urbanas Brasileiras. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 195–199, 2003b. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/231249/000381158.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 set. 2022.

TUCCI, Carlos E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. 669 p.

TUCCI, Carlos E. M.. Água no Meio Urbano. In: . **Livro Água Doce**. [S. L.]: ., 1997. Cap. 14. p. 1-40.

TUCCI, Carlos E. M.. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, [S.L.], v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142008000200007>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/SfqYWrhrvkxybFsjYQtx7v/?lang=pt>. Acesso em: 21 maio 2022

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. Drenagem urbana. **Gestão das Águas**, [S. L.], p. 36-37, 2003a. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?pid=S0009-67252003000400020&script=sci_arttext&tlng=pt. Acesso em: 20 maio 2022.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. **Gestão das Águas Pluviais Urbanas**. [S. L.]: Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades, 2005. 270 p.

VAN LIEW, M. W.; ARNOLD, J. G.; BOSCH, D. D.. Problems and potential of autocalibrating a hydrologic model. **Transactions Of The Asae**, [S.L.], v. 48, n. 3, p. 1025-1040, 2005. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). <http://dx.doi.org/10.13031/2013.18514>. Disponível em: <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=18514>. Acesso em: 17 jun. 2022.

WANG, Jing; LI, Xin; LU, Ling; FANG, Feng. Parameter sensitivity analysis of crop growth models based on the extended Fourier Amplitude Sensitivity Test method. **Environmental Modelling & Software**, [s. l.], v. 48, n. 1, p. 171-182, 2013. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.007>

WREGGE, Marcos Silveira; STEINMETZ, Silvio; REISSER JÚNIOR, Carlos; ALMEIDA, Ivan Rodrigues de. Atlas Climatológico da Região Sul do Brasil - Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Brasília: **Embrapa**, 2012. 334 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1045852/atlas-climatico-da-regiao-sul-do-brasil-estados-do-parana-santa-catarina-e-rio-grande-do-sul>. Acesso em: 29 ago. 2022.

WU, Fernando Kit. **Avaliação de métodos de dimensionamento de pavimentos permeáveis e seu impacto nas vazões da bacia do campus da UFSC**. 2019. 125 f. TCC (Graduação) - Curso de 2019, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

XU, Z. X; PANG J.P.; LIU C.M.; LI J. Y. Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 23, n. 25, p. 3619-3630, 2009. <https://doi.org/10.1002/hyp.7475>