

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

Lucas Matias Uchôa

**Estudo de alternativas de controle dos problemas de drenagem na região da
Feirinha do Tabuleiro, Maceió – Alagoas.**

Maceió

2022

Lucas Matias Uchôa

**Estudo de alternativas de controle dos problemas de drenagem na região da
Feirinha do Tabuleiro, Maceió – Alagoas.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Caramori Borges de Souza.

Coorientador: Prof. Doutor Marllus Gustavo Ferreira Passo das Neves

Maceió

2022

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

U17e Uchôa, Lucas Matias.
Estudo de alternativas de controle dos problemas de drenagem na região da Feirinha do Tabuleiro, Maceió-Alagoas / Lucas Matias Uchôa. – Maceió, 2022.
90 f. : il., graf. e tabs. color.

Orientador: Vladimir Caramori Borges de Souza.
Coorientador: Marllus Gustavo Ferreira Passo das Neves.
Monografia (Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 73-77.
Apêndices: f. 78-90.

1. Drenagem urbana. 2. *Storm Water Management Model*. 3. Bacias de detenção. I. Título.

CDU: 626.8



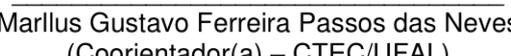
Ata de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso

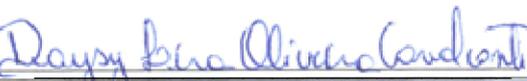
Ao(s) 25 dias(s) do mês de fevereiro de 2022 realizou-se às 09h00min, por meio de vídeoconferência, a defesa do **Trabalho de Conclusão de Curso** do(a) discente **Lucas Matias Uchôa** intitulado “**Estudo de alternativas de controle dos problemas de drenagem na região da Feirinha do Tabuleiro, Maceió – Alagoas**”. A Banca Examinadora foi constituída por Vladimir Caramori Borges de Souza (Orientador(a)), Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves (Coorientador(a)), Daysy Lira Oliveira Cavalcanti, Cleuda Custódio Freire e Nélia Henriques Callado. Após a apresentação do candidato pelo(a) orientador(a), ele(a) expôs o seu trabalho, sendo, logo a seguir, arguido(a) pelos componentes da Banca Examinadora. O Trabalho de Conclusão de Curso obteve as seguintes notas de cada um dos avaliadores: Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (8,20), Cleuda Custódio Freire (10,0) e Nélia Henriques Callado (9,20), resultando numa média (9,13). O registro de solicitação de correções está documentado no Formulário de Correções preenchido pelos avaliadores. E, para constar, foi lavrada a presente ata que vai assinada pelos componentes da Banca Examinadora.

Maceió, 04 de março de 2022.

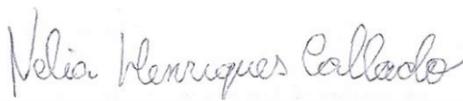

Vladimir Caramori Borges de Souza
(Orientador(a) - CTEC/UFAL)

Documento assinado digitalmente
gov.br MARLLUS GUSTAVO FERREIRA PASSOS DAS NEV
Data: 07/03/2022 10:48:14-0300
Verifique em <https://verificador.iti.br>


Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves
(Coorientador(a) – CTEC/UFAL)


Daysy Lira Oliveira Cavalcanti (CTEC/UFAL)


Cleuda Custódio Freire (CTEC/UFAL)


Nélia Henriques Callado (CTEC/UFAL)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me feito chegar até aqui, pela graça imerecida da salvação e por todos os benefícios que me tem concedido.

Aos meus pais, Adriana e Uchôa, pelo suporte incondicional e incentivo a educação desde minha infância até esse momento. Eu sou incapaz de agradecer o suficiente, por isso, gostaria de expressar meu amor e felicidade por poder completar esse ciclo com vocês perto de mim.

A minha avó Francinete e em memória do meu amado vô Adelcio. Aos meus irmãos Layza, Laura, Roselyanno, Israel, Dávila e Késia e toda a minha família pelo apoio nessa jornada difícil.

À minha noiva Hadassa, pelo apoio, amor, respeito e confiança. Nos momentos mais difíceis, com os nervos à flor da pele, você continuou me incentivando e apoiando, muito obrigado.

Ao meu orientador prof. Vladimir Caramori, pela dedicada orientação durante o decorrer deste trabalho. Pela sensibilidade e prontidão em me ajudar a resolver os problemas que apareceram pelo caminho. Pelo incentivo e estímulo em potencializar esse trabalho.

Ao meu coorientador prof. Marllus Neves por ter sido meu tutor no PET Engenharia Ambiental e por ter desenvolvido junto comigo esse trabalho por meio de inúmeras trocas de mensagens. Pelo direcionamento e prontidão que me ajudaram a atingir meus objetivos mais rápido.

A todos os professores que tive a honra de conhecer e conviver nesses 4 anos e meio de CTEC, em especial ao professor Christopher Freire.

Aos amigos de graduação Marcos Vinicius – detentor da maior gentileza do CTEC -, Adauto, Mateus, Alexsandra, Pietra, Luana, Beatriz, Natacha, Mikie e Augusto por terem me mostrado o melhor caminho; Pedro Vinicius, Pedro Henrique, Sarah, João e José Vitor pela participação na minha formação cidadã.

Aos meus amigos de PET Ambiental que mudaram minha percepção de universidade e me ajudaram a ser quem sou hoje, em especial Heloize Maria e Ana Leticia.

Ao engenheiro Altair pela paciência e auxílio de grande valia para o desenrolar deste trabalho.

Ao engenheiro Passos pelas informações e dados disponibilizados gentilmente.

Em memória do meu amado vô Adelcio

RESUMO

A fim de resolver os problemas de alagamento da região de feira livre do Tabuleiro, Maceió – AL, a rede de drenagem existente na área de estudo foi modelada e serviu de base para os cenários com intervenção. A primeira alteração proposta foi o redimensionamento de algumas estruturas da rede de drenagem, conforme o princípio higienista, que norteou grande parte das obras de drenagem das grandes cidades do país no século XX. O segundo cenário analisado consistiu na implantação de três bacias de retenção para o controle do escoamento superficial e redução da vazão de pico. As simulações foram desenvolvidas a partir da modelagem hidrológico-hidráulica utilizando o programa *Storm Water Management Model*. O cenário que previa o redimensionamento de parte da rede de drenagem da região aumentou a vazão de pico no exutório da rede modelada, enquanto o cenário com implantação das bacias de retenção foi capaz de amortecer a vazão de pico da área contribuinte, além de diminuir a vazão de pico no exutório da rede. Os dois cenários conseguiram reduzir significativamente os alagamentos no trecho mais suscetível a alagamentos da área de estudo, porém as bacias de retenção não transferiram o problema a jusante.

Palavras-chave: Drenagem Urbana; SWMM; Bacia de Detenção.

ABSTRACT

In order to solve the flooding problems in the Tabuleiro open market region, Maceió - AL, the existing drainage network in the study area was modeled and served as a basis for the intervention scenarios. The first proposed change was the resizing of some structures of the drainage network, according to the hygienist principle, which guided most of the drainage works in the country's large cities in the 20th century. The second scenario analyzed consisted of the implementation of three detention basins to control surface runoff and reduce peak flow. The simulations were developed from hydrological-hydraulic modeling using the Storm Water Management Model program. The scenario that foresaw the resizing of part of the drainage network in the region increased the peak flow at the outlet of the modeled network, while the scenario with the implementation of detention basins was able to dampen the peak flow of the contributing area, in addition to reducing the peak flow at the network outlet. Both scenarios were able to significantly reduce flooding in the most susceptible section of the study area to flooding, but the detention basins did not transfer the problem downstream.

Keywords: Urban drainage; SWMM; Street Market.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Notícia relatando um alagamento na Avenida Maceio, principal rua da região da Feirinha do Tabuleiro.	16
Figura 2 - Hidrogramas típicos de bacias de detenção.....	20
Figura 3 - Síntese dos objetivos, metodologias e resultados.....	24
Figura 4 - Localização da área de estudo.	25
Figura 5 - Declividade da área de estudo.....	26
Figura 6 - Topografia da área de estudo.	27
Figura 7 - Localização da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins.....	28
Figura 8 - Carro “ilhado” pela chuva na Av. Maceió no dia 11/04/2021 às 11hrs44min.	30
Figura 9 - Hietograma resultante da discretização dos dados pluviométricos do período entre 10 e 11 de abril de 2021 para a estação pluviométrica “Tabuleiro do Martins2”.....	31
Figura 10 - Mapa do sistema de drenagem atual da área de estudo.....	32
Figura 11 - Diagrama multifilar do fluxo d'água a partir das sub-bacias.....	33
Figura 12 - Resultado da classificação supervisionada para o uso e cobertura do solo da área de estudo.....	35
Figura 13 - Perfil dos trechos conforme a modelagem adotada.	38
Figura 14 - Região onde há trecho com extravasamento da água precipitada.	42
Figura 15 - Perfil da cota do nível d'água dos canais retangulares, que representam a Avenida Maceió, no momento mais crítico da chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.....	43
Figura 16 - Perfil da cota do nível d'água dos canais retangulares, que representam a Rua Santa Catarina no modelo, durante a chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.	44
Figura 17 - Capacidade dos trechos redimensionados no cenário I para a chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.....	46
Figura 18 - Capacidade dos trechos redimensionados no cenário II para a chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.....	46
Figura 19 - Áreas selecionada para a implantação das Bacias de Detenção na bacia contribuinte do Tabuleiro do Martins.	47
Figura 20 - Local de implantação proposto para a implantação do BD 1.....	48

Figura 21 - Local de implantação proposto para a implantação do BD 2.....	49
Figura 22 - Local de implantação proposto para a implantação do BD 3.....	49
Figura 23 - Localização do trecho mais suscetível a alagamentos da área de estudo.	53
Figura 24 - Imagem no nível do terreno do trecho crítico.	54
Figura 25 - Resultado da simulação: profundidade da água do trecho crítico durante a chuva registrada entre os dias 10 e 11 de abril de 2021.	54
Figura 26 - Estimativa da cota do nível d'água observado a partir das dimensões do modelo do automóvel do registro fotográfico.....	55
Figura 27 - Hietograma de projeto para um evento com duração de 2 horas.	56
Figura 28 - Cota do nível d'água no trecho crítico para os hietogramas de projeto antes das intervenções.	57
Figura 29 - Perfil da cota do nível d'água dos trechos redimensionados até o exutório aplicado no sistema de drenagem.....	58
Figura 30 - Cota do nível d'água no trecho crítico para os hietogramas de projeto após o redimensionamento da rede.	58
Figura 31 - Curva envelope para o reservatório de retenção da sub-bacia 1.....	59
Figura 32 - Curva envelope para o reservatório de retenção da sub bacia 2.....	60
Figura 33 - Curva envelope para o reservatório de retenção da sub bacia 3.....	60
Figura 34 - Nível d'água simulado para o canal retangular do que representa a Avenida Maceió após a implantação das Bacias de Detenção para as diferentes chuvas de projeto.....	63
Figura 35 - Nível d'água simulado para o conduto do trecho crítico após a implantação das Bacias de Detenção para as diferentes chuvas de projeto.	64
Figura 36 - Comparação entre os níveis d'água no trecho crítico simulado antes e após a implantação das Bacias de Detenção.....	65
Figura 37 - Nível d'água simulado na bacia de retenção 1 durante a chuva de projeto de 10 anos.....	66
Figura 38 - Nível d'água simulado na Bacia de Detenção 2 durante a chuva de projeto de 10 anos.	66
Figura 39 - Nível d'água simulado na Bacia de Detenção 3 durante a chuva de projeto de 10 anos.	67
Figura 40 - Amortecimento da vazão de pico provocado pela bacia de retenção 1.	68
Figura 41 - Amortecimento da vazão de pico provocado pela bacia de retenção 2.	68

Figura 42 - Amortecimento da vazão de pico provocado pela bacia de detenção 3.	69
Figura 43 - Impacto da implementação do redimensionamento da rede de drenagem e da instalação dos reservatórios no exutório da rede de drenagem simulada.	70
Figura 44 - Nível d'água para o cenário com implantação das bacias de detenção em conjunto com redimensionamento de componentes da rede de drenagem.....	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de referência para o coeficiente de Manning.....	34
Tabela 2 - Valores de CN conforme a classificação hidrológica e uso e cobertura do solo.	36
Tabela 3 - Valores de n-Manning em função do tipo de material.....	38
Tabela 4 - Variáveis alteradas nos trechos/conduitos para a solução dos alagamentos.	45
Tabela 5 - Variáveis alteradas nos bocas-de-lobo para a solução dos alagamentos	45
Tabela 6 - Dimensões das Bacias de Detenção.....	61
Tabela 7 - Relação cota-área disponibilizada ao SWMM para determinação da curva de armazenamento das Bacias de Detenção.	61
Tabela 8: Valores adotados nas propriedades dos vertedouros das bacias de detenção na simulação.	61
Tabela 9 - Parâmetros adotados na simulação para os orifícios das bacias de detenção.	62
Tabela 10 - Comparação do volume dimensionado pela curva envelope e o volume utilizado na simulação para as bacias de detenção.	62
Tabela 11 - Vazão de pico amortecida por cada bacia de detenção.	69
Tabela 12 - Volume específico (m ³ /ha) da bacia de detenção para uma chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.	70
Tabela 13 - Alterações nos conduitos para que os alagamentos acabassem.	71
Tabela 14 - Alterações nos orifícios para que os alagamentos acabassem.	71

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais variáveis de entrada solicitados ao usuário para simulação de propagação de fluxo no SWMM.	28
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Motivação	15
2	OBJETIVO	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1	Manejo de águas pluviais	18
3.1.1	Abordagem clássica da solução de problemas de drenagem	18
3.1.2	Medidas compensatórias e as medidas sustentáveis de Drenagem Urbana	19
3.1.3	Bacias de retenção	20
3.2	Modelagem hidrológico-hidráulica com o SWMM	21
4	MÉTODOS	24
4.1	Caracterização da área de estudo	24
4.1.1	Localização	24
4.1.2	Clima, topografia e solo	25
4.1.3	Hidrografia	27
4.2	Cenário I - Modelagem hidrodinâmica da situação atual	28
4.2.1	Parâmetros hidrológicos	29
4.2.2	Parâmetros hidráulicos	37
4.3	Simulação dos cenários com intervenção	40
4.3.1	Hietograma de projeto	40
4.3.2	Cenário II – Redimensionamento dos condutos da rede de drenagem	40
4.3.3	Cenário III – Implementação dos reservatórios de retenção	47
4.4	Estudo dos cenários com intervenção	51
5	RESULTADOS	53
5.1	Cenário I – Situação atual da rede de drenagem	53
5.2	Cenário II – Redimensionamento da rede de drenagem atual	55
5.3	Cenário III – Implantação das Bacias de Retenção	59
5.3.1	Resultados do método da curva envelope e dimensionamento das bacias de retenção	59
5.3.2	Efeitos da implantação das bacias de retenção na rede de drenagem	63
5.3.3	Resposta do modelo à implantação das bacias de retenção	65
5.4	Cenário IV - Implantação das bacias de retenção em conjunto com redimensionamento da rede de drenagem	70
6	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS	75

APENDICE A – Soluções adotadas nas opções do SWMM para a simulação do cenário I	80
APENDICE B – Valores físicos das sub-bacias adotados no SWMM para a simulação do cenário I	81
APENDICE C – Valores hidrológicos das sub-bacias inseridos no SWMM para a simulação do cenário I	82
APENDICE D – Valores de infiltração das sub-bacias inseridos no SWMM para a simulação do cenário I.....	83
APENDICE E – Dimensões dos nós inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 1	84
APENDICE F – Dimensões dos nós inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 2	85
APENDICE G – Valores dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 1	86
APENDICE H – Valores dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 2	87
APENDICE I – Valores dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 3	88
APENDICE J – Valores dos orifícios inseridos no SWMM para a simulação do cenário I.....	89
APENDICE K –Forma e geometria dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 1	90
APENDICE L –Forma e geometria dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 2.....	91
APENDICE M –Forma e geometria dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 3.....	92

1 INTRODUÇÃO

A drenagem urbana compõe um importante sistema ligado essencialmente à saúde da cidade, o saneamento básico. A ocupação territorial urbana desordenada de uma região pode gerar transtornos provenientes da falta de planejamento e controle do uso do solo, habitações em área de risco e por causa de erros de conceitos e projeto nos sistemas sanitários (ZANANDREA; SILVEIRA, 2019), que podem ser desencadeados por eventos hidrológicos de alta intensidade.

A expansão territorial indisciplinada altera o processo hidrológico natural a partir da diminuição das áreas permeáveis, produzindo aumento no volume superficial escoado (GONÇALVES; BAPTISTA; RIBEIRO, 2016).

De modo análogo ao restante do país, Maceió enfrentou um processo de urbanização acelerado associado a problemas de ocupação urbana e infraestrutura, devido à ineficiência do planejamento do uso do solo (NEVES et al., 2007; ALMEIDA; FERREIRA NETO, 2018).

De acordo com Souza, Moraes e Borja (2013), grande parte dos manuais de sistemas de drenagem no Brasil levam a ideia de que a qualidade dos sistemas de drenagem está ligada a capacidade destes de coletar e levar a água da chuva da maneira mais rápida possível. Entretanto, o modelo clássico se distancia do desenvolvimento sustentável dos sistemas de drenagem (SOUZA, 2013).

De acordo com Starzec, Dziopak e Słyś (2020), a melhor maneira de lidar com as águas de chuva em áreas urbanizadas é utilizando-se de dispositivos que permitam a reconstrução do ciclo hidrológico original. Por isso, foram desenvolvidas técnicas compensatórias que visam resgatar as condições de pré-urbanização dos hidrogramas de cheia, aumentando as taxas de infiltração das águas pluviais no solo e desacelerando o escoamento superficial (TUCCI, 1995).

Nos Estados Unidos, foram construídas bacias de retenção em muitos locais para controlar o aumento do escoamento resultante da urbanização. Ademais, as obras buscavam a redução dos custos por ser mais barato construir uma bacia de retenção do que aumentar as dimensões da rede pré-existente (SILVA, 2009).

Dentro desse contexto, é latente a necessidade de ferramentas que atuem na previsão do comportamento dos sistemas de drenagem durante eventos de chuva (SHINMA, 2011). Por isso, a modelagem hidrológico-hidráulica do *Storm Water Management Model* (SWMM) se mostra uma ferramenta interessante, por ser

economicamente viável e possuir uma vasta aplicabilidade no manejo de águas pluviais e residuárias (RIBEIRO, 2019).

Perante o exposto, este trabalho se propõe a avaliar a implementação de medidas de controle do escoamento superficial por meio da simulação hidrológico-hidráulica a partir do programa SWMM, da região de feira livre da feira do Tabuleiro do Martins, localizada em Maceió – AL.

1.1 Motivação

A região da Feirinha do Tabuleiro, Maceió – AL é uma área de interesse do autor desse trabalho, por causa das duas décadas vividas no local. Esse tempo contato com a Feirinha do tabuleiro – como é mais conhecida - foi marcado por inúmeros alagamentos, que se tornaram cada vez mais frequentes à medida que a região crescia de maneira desordenada.

A área de estudo comportava até a década de 2010 um lixão, que foi desativado e o espaço ocupado por onde hoje fica a Feirinha do Tabuleiro.

Uma breve pesquisa com as palavras-chave “Feirinha do Tabuleiro” e “alagamento” retorna várias notícias e imagens com a região completamente alagada. Esses eventos se repetem principalmente durante a quadra chuvosa da cidade de Maceió.

Além das perdas econômicas, resultado dos alagamentos, existem ainda prejuízos sociais incalculáveis de risco a saúde humana. Importante anotar alguns trechos de matérias jornalísticas de mídia digital relatando os alagamentos na região e notícias veiculadas sobre os efeitos das chuvas na região (Figura 1).

“Dois dias de chuva foram suficientes para causar uma série de alagamentos em diversos bairros de Maceió, a exemplo do Tabuleiro do Martins. Na região, os moradores mal conseguem sair de casa. Quem não possui transporte tem que se arriscar em meio à lama”. (ALAGOAS 24 HORAS, 2021).

“Uma cena inusitada chamou atenção de quem passava pela Avenida Maceió, na Feirinha do Tabuleiro, neste domingo (28). Por conta das fortes chuvas e do problema de drenagem que afeta diversas regiões da cidade, a via virou um rio e **um homem aproveitou para colocar o seu caiaque na água.**

Apesar do alagamento, que desde sábado (27) tem gerado transtornos a feirantes, clientes e motoristas que passam pelo local, a cena foi registrada com bom humor”. (MALAFAIA, 2021).

Figura 1 - Notícia relatando um alagamento na Avenida Maceio, principal rua da região da Feirinha do Tabuleiro.

Cidades

🕒 27/03/2021 às 15h53 - atualizada em 30/06/2021 às 18h16
 👤 Polyana Lima 📍 Maceió / AL

Chuvas intensas deixam bairros de Maceió alagados

Água invadiu casas e militares do Corpo de Bombeiros foram acionados



Diversos bairros na capital alagoana ficaram alagados após as fortes chuvas que atingiram Maceió desde a tarde desta sexta-feira (26).

Um dos registros que a reportagem do Portal Acta recebeu, por meio das redes sociais, foi na Feirinha do Tabuleiro, parte alta de Maceió, que mostra a rua repleta de água e a dificuldade por parte dos motoristas de passarem pelo local.

Já na Travessa Odilon Francisco de Assis, no bairro Cleto Marques Luz, militares do Corpo de Bombeiros tiveram que ser acionados após a água proveniente das chuvas alagar as casas na região.

Fonte: Portal lacta (2021).¹

Nesse contexto, o problema crônico de alagamentos na área da Feirinha do Tabuleiro explicita a necessidade de alternativas que possam sanar a questão.

A iniciativa pública tem ciência da situação, porém, conforme consta no Plano de Saneamento Básico do município de Maceió, a solução indicada no documento - redimensionamento da rede de drenagem - para o problema é fundamentada em uma abordagem já refutada pela experiência de gestão de drenagem urbana por diversas cidades pelo mundo inteiro (NAKAZONE, 2005).

Por isso, a fim de resolver um problema real que afeta centenas de pessoas todos os anos, o estudo se propõe a confrontar o redimensionamento dos componentes da rede de drenagem existente com a implantação de medidas técnicas compensatórias dos efeitos da urbanização.

¹ Disponível em: <<https://www.portalacta.com/noticia/3180/chuvas-intensas-deixam-bairros-de-maceio-alagados>>

2 OBJETIVO

O presente trabalho objetiva avaliar a aplicação de medidas de controle de escoamento superficial na região de feira livre do Tabuleiro do Martins, em Maceió – Alagoas.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Manejo de águas pluviais

Depreende-se da Lei federal nº 11.445/2007 que o manejo das águas pluviais urbanas corresponde às ações de planejamento e gestão da ocupação do território urbano correspondente ao conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais.

De acordo com Tucci (2008), o processo de urbanização desordenada no Brasil trouxe problemas como a grande concentração populacional em pequenas áreas e o aumento da periferia das cidades. Para ele, os dois impactos mais percebidos em áreas urbanas são os processos de inundação de regiões ribeirinhas e o alagamento por causa da urbanização. Silva (2007) destaca os problemas de poluição de mananciais e erosão como diretamente relacionados à urbanização.

Os alagamentos causados pela urbanização ocorrem por causa da impermeabilização do solo, interferindo no ciclo hidrológico natural, alterando a magnitude dos processos hidrológicos (SILVA, 2007). Com isso, ao passo que a urbanização se intensifica, pode-se verificar o aumento de vazões máximas, o aumento de produção de sedimentos (como o descarte irregular de resíduos sólidos), a diminuição do tempo de concentração e as reduções na vazão de base e recarga dos aquíferos (TUCCI, 2008; SILVA, 2007).

O planejamento urbano acontece, em primeiro lugar, em regiões ocupadas por populações das classes alta e média. Ademais, onde há invasão ilegal observa-se construções em áreas de risco, com mortes em períodos chuvosos (TUCCI, 2008).

3.1.1 Abordagem clássica da solução de problemas de drenagem

A solução tradicional se baseia na gestão da oferta; ou seja, as obras de infraestrutura buscam compensar a impermeabilização do solo com um sistema de microdrenagem que transporta a água coletada para um sistema de macrodrenagem (SOUZA, 2013).

O modelo clássico dos sistemas de drenagem, também conhecido como modelo higienista, soluciona os problemas de drenagem em áreas urbanas por meio obras de macrodrenagem constituídas de projetos de canais – retificação da calha

principal, obras de aterros de áreas alagadiças - e obras de microdrenagem - bueiros, galerias, bocas de lobo etc.

Tal abordagem trata o escoamento superficial como um problema de saúde pública; porém, experiências com o processo de urbanização mundial explicitaram a ineficiência e insustentabilidade dessas soluções (SILVA, 2006).

A solução tradicional consiste no transporte da água pluvial, canalizadas pelas sarjetas até as bocas de lobo, que destinam o fluxo a condutos usados para transportar as referidas águas para algum exutório ou sistema de macrodrenagem (BARROS, 2015; RODRÍGUEZ; TEIXEIRA, 2021). De maneira geral, o sistema clássico busca afastar a água do espaço de convivência das cidades, em contrapartida, o manejo sustentável visa quebrar esse paradigma.

Entretanto, com os problemas ambientais ligados ao desenvolvimento de Maceió, houve um avanço na discussão política e técnica acerca do manejo das águas pluviais urbanas. Inicialmente, diferenciou-se as ações estruturais e não estruturais para solução de enchentes. De maneira resumida, as medidas estruturais são relacionadas às obras de captação, armazenamento e transporte das águas pluviais. Enquanto as medidas não estruturais são aquelas que integram a gestão das águas pluviais nas sub-bacias urbanas, com foco no uso racional do espaço urbano (RIGHETTO, 2009).

3.1.2 Medidas compensatórias e as medidas sustentáveis de Drenagem Urbana

Como visto, os sistemas tradicionais apenas transferem os problemas a jusante. Por isso, novas técnicas de manejo de águas pluviais foram desenvolvidas. Em sua maioria, essas técnicas buscam controlar a geração de escoamento superficial na fonte, se baseando no aumento da área permeável e armazenamento do volume precipitado na fonte geradora do escoamento.

O Programa nº 1.138 dos Ministérios da Integração Nacional e das Cidades (2009) introduziu na drenagem brasileira os conceitos da abordagem de medidas de urbanização de baixo impacto, ou como são mais conhecidas *Low Impact Development* (LID), que valorizam o planejamento de bacia de forma integrada e recomenda a não transferência de impactos para jusante (SOUZA, 2013). O conceito LID vem sendo usado como uma importante ferramenta para alcançar o

desenvolvimento sustentável no âmbito da drenagem urbana (ZANANDREA; SILVEIRA, 2019).

De acordo com Batista *et al* (2005, *apud* BARROS, 2015), as técnicas compensatórias podem ser estruturais e não estruturais e ambas visam primariamente a diminuição do pico de vazão e o aumento do tempo de concentração das bacias. As soluções práticas mais difundidas são as bacias de retenção, bacias de percolação, uso de revestimentos permeáveis e dispositivos de infiltração (SILVA, 2006).

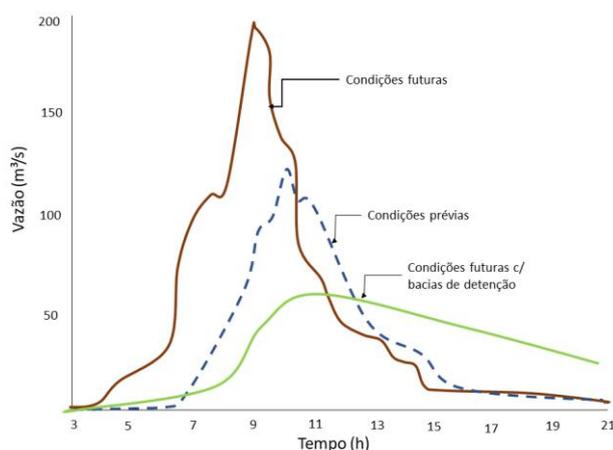
Um estudo conduzido por Starzec, Dziopak e Słyś (2020) que simulou o comportamento de um trecho da drenagem da cidade polonesa de Tarnobrzeg, concluiu que o uso em conjunto de técnicas LID diminuíram os picos de descarga de chuva em 86%, quando comparado com os resultados obtidos em uma simulação com apenas o sistema clássico de drenagem instalado.

As técnicas compensatórias são alternativas para o manejo de águas pluviais pois buscam equilibrar sistematicamente os impactos causados pela urbanização (GONÇALVES; BAPTISTA; RIBEIRO, 2016) e consistem em tecnologias de baixa complexidade construtiva e baixo impacto ambiental.

3.1.3 Bacias de retenção

Os reservatórios de retenção ou bacias de retenção são estruturas de armazenamento temporário de água de chuva que após os eventos se mantêm secas e funcionam redistribuindo as vazões ao longo de um período maior, promovendo o amortecimento dos picos de vazão (Figura 2) no sistema de drenagem (TUCCI, 1997).

Figura 2 - Hidrogramas típicos de bacias de retenção.



Fonte: Adaptado de Tucci (1997).

Quando adotados em escala de macrodrenagem, os reservatórios de retenção de grande porte, conhecidos como piscinões, são usados como medidas corretivas para áreas com alta densidade habitacional onde há empecilhos quanto ao custo de desapropriação (NAKAZONE, 2005).

Em escala de lote, os reservatórios de retenção são conhecidos como *on-site stormwater detention* (OSD) e, quando aplicados, funcionam de maneira semelhante aos semelhantes em maior escala, exceto o volume de água retida. Eles são mais fáceis de serem aplicados, porém os custos de aplicação dessas medidas podem superar os custos globais dos métodos clássicos (NAKAZONE, 2005).

A composição básica dos reservatórios de retenção são a estrutura de entrada, que pode ser por gravidade ou bombeamento, o corpo de armazenamento, que é a parte que retem os volumes precipitados, e estrutura de descarga, que tem as mesmas soluções das estruturas de entrada. Há ainda os dispositivos de extravasamento, que dão aos reservatórios de retenção a segurança necessária para os eventos de magnitude superior ao de projeto.

O mais comum é que os projetos desse tipo de bacias busquem o completo esvaziamento em menos de 24 horas. Ademais, as bacias de retenção podem ser dotadas de uma estrutura de retenção na saída, permitindo a liberação do volume retido em até 48 horas ao final do evento.

Além disso, as bacias de retenção podem ser usadas como área de recreação em período seco e seu uso é limitado devido a necessidade de manutenção contínua para a sua operação, além de ser contraindicado para áreas de drenagem inferiores a 5 hectares (RIGHETTO, 2009).

3.2 Modelagem hidrológico-hidráulica com o SWMM

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um modelo hidrológico-hidráulico que é utilizado em diversos estudos de drenagem urbana. Ele é aplicado na concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem em situações de inundação; na avaliação dos efeitos e impactos de contribuições e infiltrações no transbordamento dos sistemas de águas residuárias e na delimitação de zonas de inundação em leitos naturais (ROSSMAN, 2010). Sua primeira versão data de 1971 e desde então recebe atualizações. Atualmente, o programa se encontra na sua quinta

versão e funciona no sistema *Windows*. Destaca-se que o SWMM é um pacote de domínio público (BASTOS, 2007).

Além da *Environmental Protection Agency* (EPA), empresa desenvolvedora do SWMM, outras empresas já modificaram o programa, a fim de implementar ferramentas que o integram com ambientes de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e Computer Aided Design (CAD) (BASTOS, 2007).

O sistema de drenagem é representado no SWMM por uma série de fluxos de água e materiais, organizados em vários módulos computacionais (RIBEIRO, 2019). Destaca-se, aqui, o módulo computacional *runoff*, que trata cada sub-bacia como um reservatório não linear – considerando evaporação, armazenamento de depressão, escoamento superficial e infiltração. A transformação chuva-vazão é feita pelo modelo a partir da junção da equação da continuidade com a equação de Manning (Equação 1).

$$\frac{dh}{dt} = i_{ef} - \frac{W}{A*n} * (h - d_p)^{\frac{5}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que “*A*” é área da superfície da bacia, “*i_{ef}*” é a precipitação efetiva, “*W*” é a largura representativa, “*n*” é o coeficiente de Manning, “*h*” é a profundidade da água no reservatório e “*d_p*” é altura de armazenamento por depressão.

O módulo *transport* funciona com base nas equações de conservação de massa e da quantidade de movimento e é responsável por propagar o escoamento através da rede de drenagem. Ele conta com elementos de transporte hidráulico como tubulações, canais, bombas, orifícios, vertedouros etc., e objetos para armazenamento e tratamento.

O programa permite ao usuário a escolha do grau de sofisticação na resolução das equações do módulo *transport*. No caso do estudo, utilizou-se o modelo hidrodinâmico da onda dinâmica por resolver de forma completa a equação de Saint Venant.

Existem ainda outros módulos que tratam da visualização dos resultados simulados, como é o caso do serviço *statistics* e *graph*, que permitem a análise estatística e a plotagem de gráficos a partir de dados, respectivamente.

No estudo, utilizou-se o módulo *Runoff* na simulação do escoamento superficial da área de estudo. O módulo *Runoff* gera hidrogramas a partir de dados

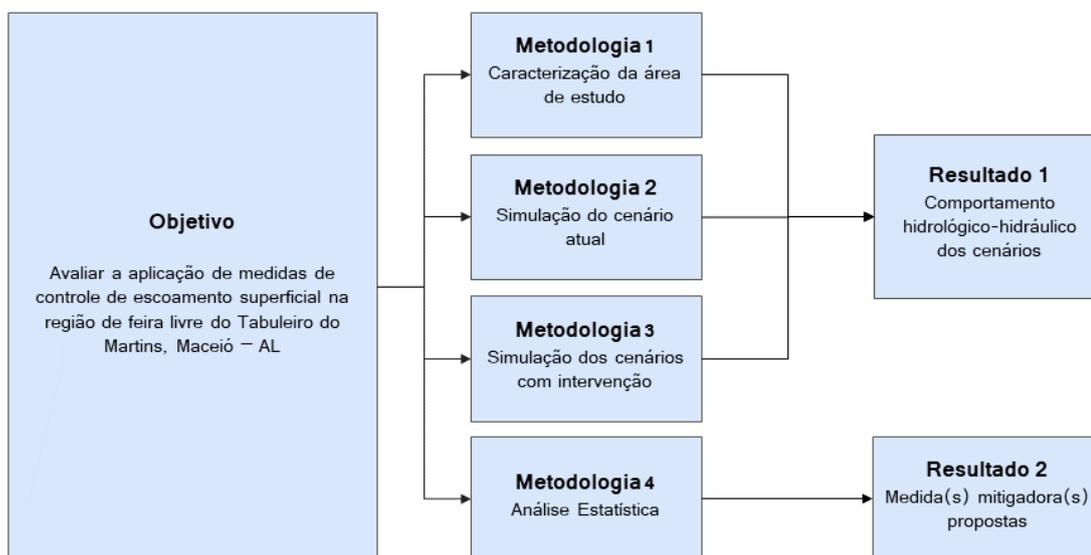
meteorológicos como chuva e evaporação, parâmetros que descrevem as características físicas das áreas de contribuição componentes da bacia de drenagem como a área, largura, inclinação e dados hidrológicos como porcentagem de área impermeável, coeficiente de rugosidade de Manning, parâmetros de infiltração. (SOUZA et al. 2012).

Vários processos físicos resultam na transformação chuva-vazão: infiltração, escoamento superficial, derretimento de gelo, propagação da vazão, propagação da qualidade da água, contribuição das águas subterrâneas, acúmulo superficial (COLLODEL, 2009).

4 MÉTODOS

A Figura 3 apresenta o fluxograma que sintetiza o objetivo do trabalho e relaciona os resultados do trabalho com os métodos empregados.

Figura 3 - Síntese dos objetivos, metodologias e resultados.

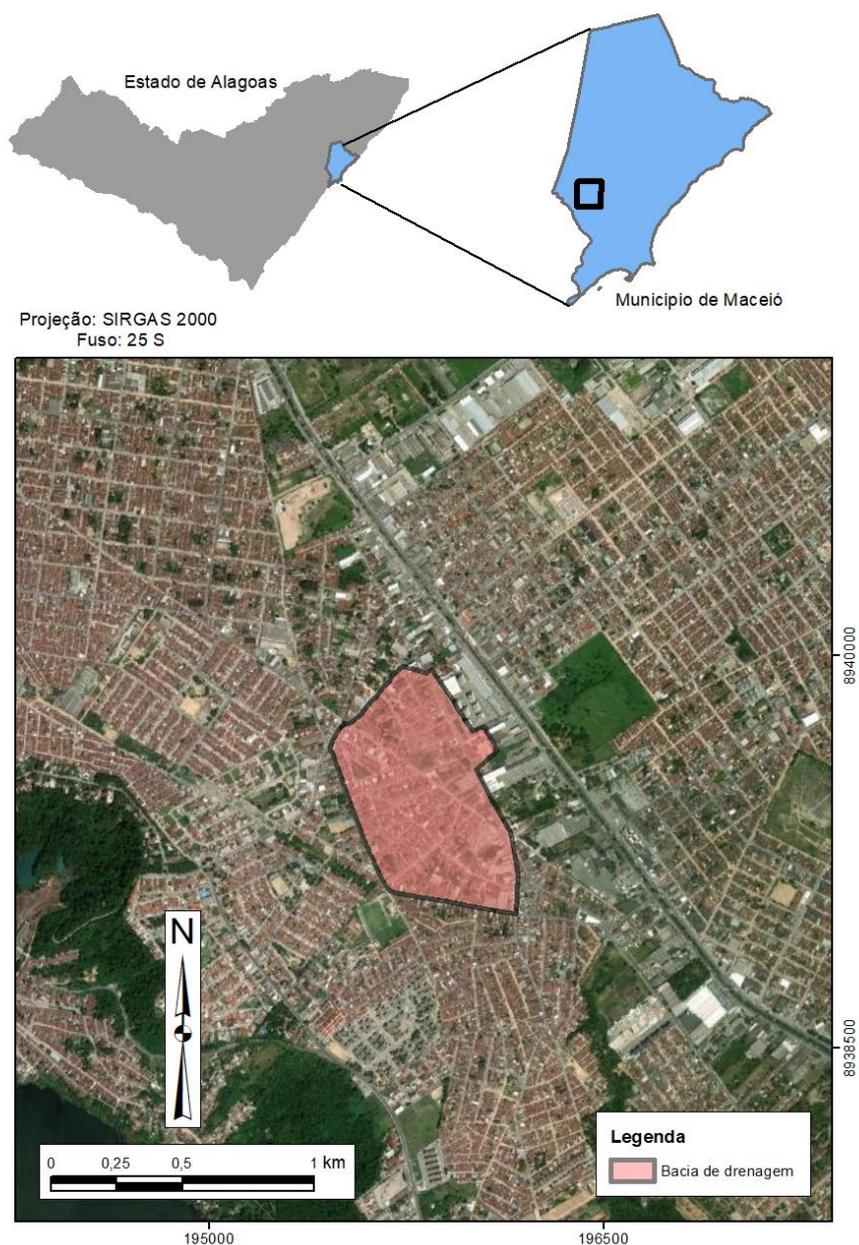


Fonte: Autor (2022).

4.1 Caracterização da área de estudo

4.1.1 Localização

A área de interesse do estudo (40,84 ha) é localizada nas imediações da Feirinha do Tabuleiro, no bairro do Tabuleiro do Martins, na porção conhecida como “Tabuleiro Velho”, na capital alagoana, Maceió. Ela integra a zona urbana do município (Figura 4) e está completamente inserida no perímetro urbano da cidade.

Figura 4 - Localização da área de estudo.

Fonte: Autor (2022).

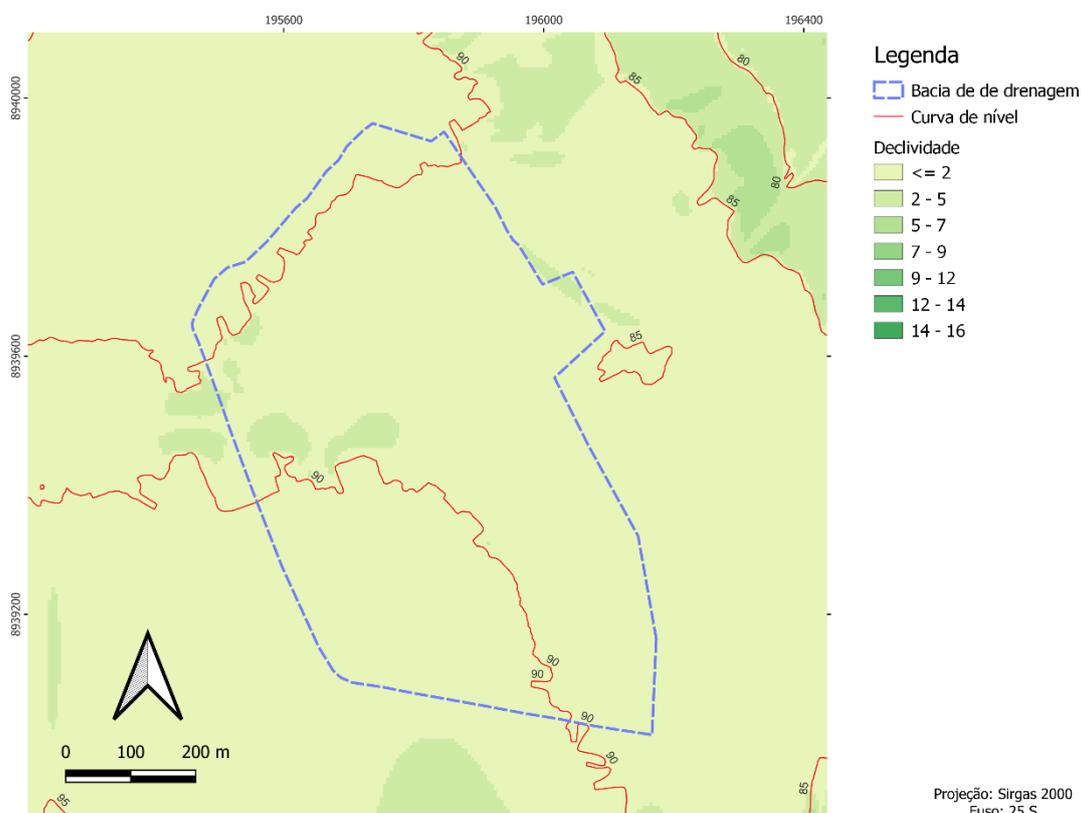
4.1.2 Clima, topografia e solo

O clima de Maceió é quente e úmido e apresenta temperatura média anual de 25,4 °C, com variação anual de 3,4 °C. A precipitação anual é de 2.1647,37 mm e apresenta a quadra chuvosa entre os meses de abril e julho (ALMEIDA, 2006).

A temática da drenagem urbana está intimamente ligada à configuração do relevo. Na região em estudo, a declividade varia entre 0 e 7% e pode ser classificada em relevo Plano e Suave Ondulado de acordo com a classificação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) (Figura 5).

Depreende-se da Figura 6 que há um ponto de vale entre a bacia de drenagem contribuinte da Feirinha do Tabuleiro e o outro lado da BR-104. Essa característica impede que o fluxo d'água siga superficialmente para o outro lado da via. Por isso, construiu-se uma galeria subterrâneas que vence a diferença de cota e transporta o volume precipitado para o resto da rede de macrodrenagem do Tabuleiro.

Figura 5 - Declividade da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

Por se tratar de uma área totalmente urbanizada, o solo tem características típicas de uma área urbanizada, com a presença de concreto, asfalto e outras materiais sintéticos. Contudo, de acordo com dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), predomina na região o Latossolo Vermelho-Amarelo, que se caracteriza devido sua alta condutividade hidráulica e boa drenagem (SOUZA et. al, 2018).

Figura 6 - Topografia da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

4.1.3 Hidrografia

A área de estudo está inserida na bacia endorreica² do Tabuleiro do Martins (Figura 7), única bacia com essas características dentre as 18 sub-bacias urbanas de Maceió.

Por isso, o projeto de Macrodrenagem da bacia do Tabuleiro conecta o sistema de drenagem da região do Tabuleiro Velho com o resto da rede, que leva as águas pluviais até a Lagoa da Coca Cola.

² As bacias endorreica são aquelas que não têm saída superficial, por rios, até o mar. Uma curiosidade interessante é que grande parte da Ásia Central é considerada uma grande bacia endorreica. Lá ficam localizados lagos famosos como o Mar Cáspio.

Figura 7 - Localização da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins



Fonte: Carvalho (2012) apud Santos (2015).

4.2 Cenário I - Modelagem hidrodinâmica da situação atual

A fim de obter um modelo que representasse bem a região de estudo após as intervenções, a rede de drenagem atual foi modelada para que as variáveis de entrada do modelo fossem reutilizadas nos cenários II e III.

O SWMM requer ao usuário algumas variáveis explicativas e parâmetros hidrológico hidráulicos para que a simulação seja executada (Quadro 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Deste modo, as decisões e passos metodológicos adotados para a definição e obtenção dessas variáveis foram descritos nos tópicos seguintes.

Quadro 1 - Principais variáveis de entrada solicitados ao usuário para simulação de propagação de fluxo no SWMM.

Hidrologia	
Objeto	Variável
Pluviômetro	<ul style="list-style-type: none"> • Formato de precipitação; • Intervalo de precipitação; e • Conjunto de dados temporais.

Sub-bacias	<ul style="list-style-type: none"> • Pluviômetro; • Exutório; • Área; • Largura; • Declividade (%); • Fração impermeável (%); • <i>N-Manning</i> (permeável e impermeável); • Profundidade de armazenamento (permeável e impermeável); • Área impermeável sem armazenamento de depressão (%); e • Modelo de infiltração.
Hidráulica	
Objeto	Variável
Nós de conexão	<ul style="list-style-type: none"> • Cota do radier; e • Profundidade máxima.
Nós exutório	<ul style="list-style-type: none"> • Cota do radier; e • Comporta antirretorno.
Conduitos	<ul style="list-style-type: none"> • Nós de entrada e saída; • Forma; • Profundidade máxima; • Comprimento; e • <i>N-Manning</i>.
Orifício	<ul style="list-style-type: none"> • Nós de entrada e saída; • Tipo de fluxo; • Altura; • Largura; e • Cota do radier. • Coeficiente de descarga

Fonte: Autor (2022).

4.2.1 Parâmetros hidrológicos

- **Pluviômetro**

Por causa da falta de dados de nível ou vazão dos trechos pertencentes à área de estudo, optou-se pela utilização de um período temporal correspondente a um evento chuvoso que tivesse produzido alagamentos na região e que tivesse sido registrado por imagens ou vídeos.

Os dados utilizados para a simulação do cenário I foram obtidos no endereço eletrônico do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Na seleção da estação pluviométrica, optou-se pela “Tabuleiro do Martins2”, da cidade de Maceió–AL, devido à proximidade com a área.

No dia 11 de abril de 2021, um evento chuvoso provocou alagamentos na Avenida Maceió (Figura 8) - principal rua da região - que foram registrados por imagens. Por isso, o conjunto de dados utilizados na simulação corresponde ao intervalo entre às 19hrs do dia 10 de abril de 2021 e 18hrs50min do dia 11 de abril de 2021. A lâmina precipitada total para o intervalo observado na simulação foi de 214 mm. A escolha possibilitou uma análise geométrica da fotografia e auxiliou na correção de algumas variáveis de entrada mais sensíveis no SWMM.

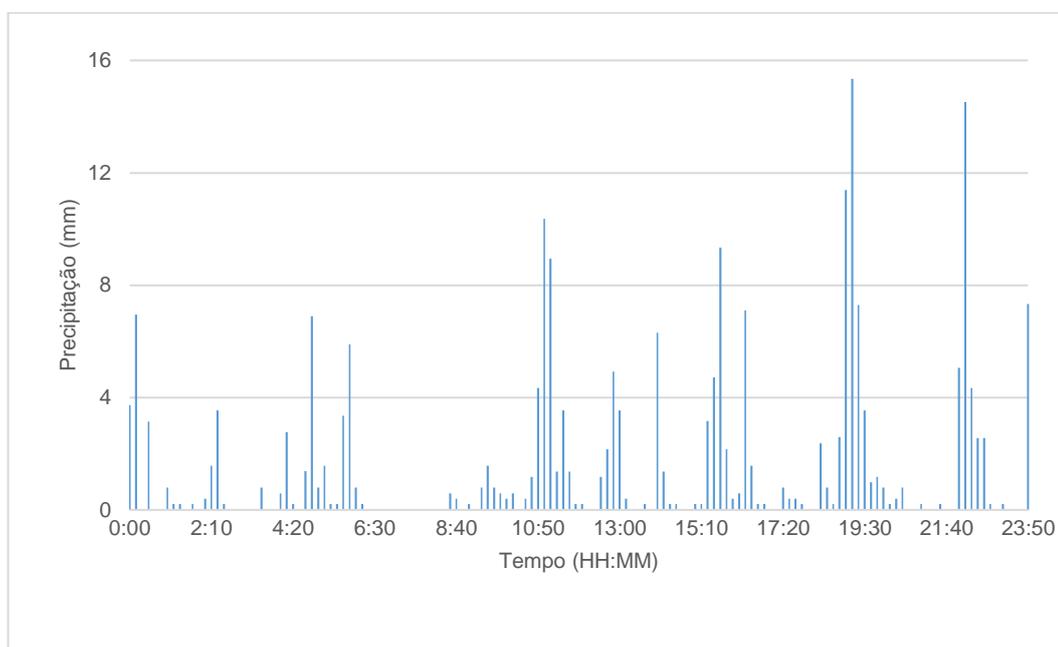
O SWMM solicita ao usuário o intervalo de precipitação dos dados de chuva inseridos no modelo. Por isso, os dados pluviométricos foram discretizados para o intervalo de registro do pluviômetro de 10 minutos. A seguir, a Figura 9 mostra o hietograma inserido no modelo para a simulação do cenário I.

Figura 8 - Carro “ilhado” pela chuva na Av. Maceió no dia 11/04/2021 às 11hrs44min.



Fonte: Autor (2022).

Figura 9 - Hietograma resultante da discretização dos dados pluviométricos do período entre 10 e 11 de abril de 2021 para a estação pluviométrica “Tabuleiro do Martins2”.



Fonte: Autor (2022).

- **Áreas de contribuição**

O SWMM requer ao usuário a subdivisão da área de estudo em porções menores - chamadas de áreas de contribuição ou sub-bacias no programa. As sub-bacias no programa se comportam como reservatórios onde a água precipitada é armazenada até ser levada ao exutório.

A bacia de drenagem contribuinte da Feirinha do tabuleiro foi delimitada a partir dos dados da topografia local (curvas de nível, pontos cotados, modelo digital de elevação) e por observações empíricas de eventos chuvosos na região.

A discretização das sub-bacias pode ser feita de formas diferentes, dependendo do objetivo do usuário na simulação. Contudo, o percurso do escoamento superficial da água deve nortear a subdivisão da área de contribuição.

No trabalho, a discretização das sub-bacias foi realizada a partir da localização dos poços de visita do sistema de drenagem com dados disponibilizados pela empresa Passos Engenharia. Analisou-se também, as características topográficas da bacia de drenagem contribuinte, por isso, as sub-bacia componentes da bacia de drenagem da Feirinha do Tabuleiro foram delimitadas de acordo com a porção de solo contribuinte para o escoamento superficial dos poços de visita.

Vale destacar que a rede de drenagem existente na região não contempla toda a bacia de drenagem contribuinte, limitando-se a poucos condutos na porção norte (Figura 10). Por isso, o resultado da discretização das sub-bacias apresentou maior detalhamento nas regiões com existência de poços de visita e condutos, e menos detalhadas nas regiões sem essas estruturas.

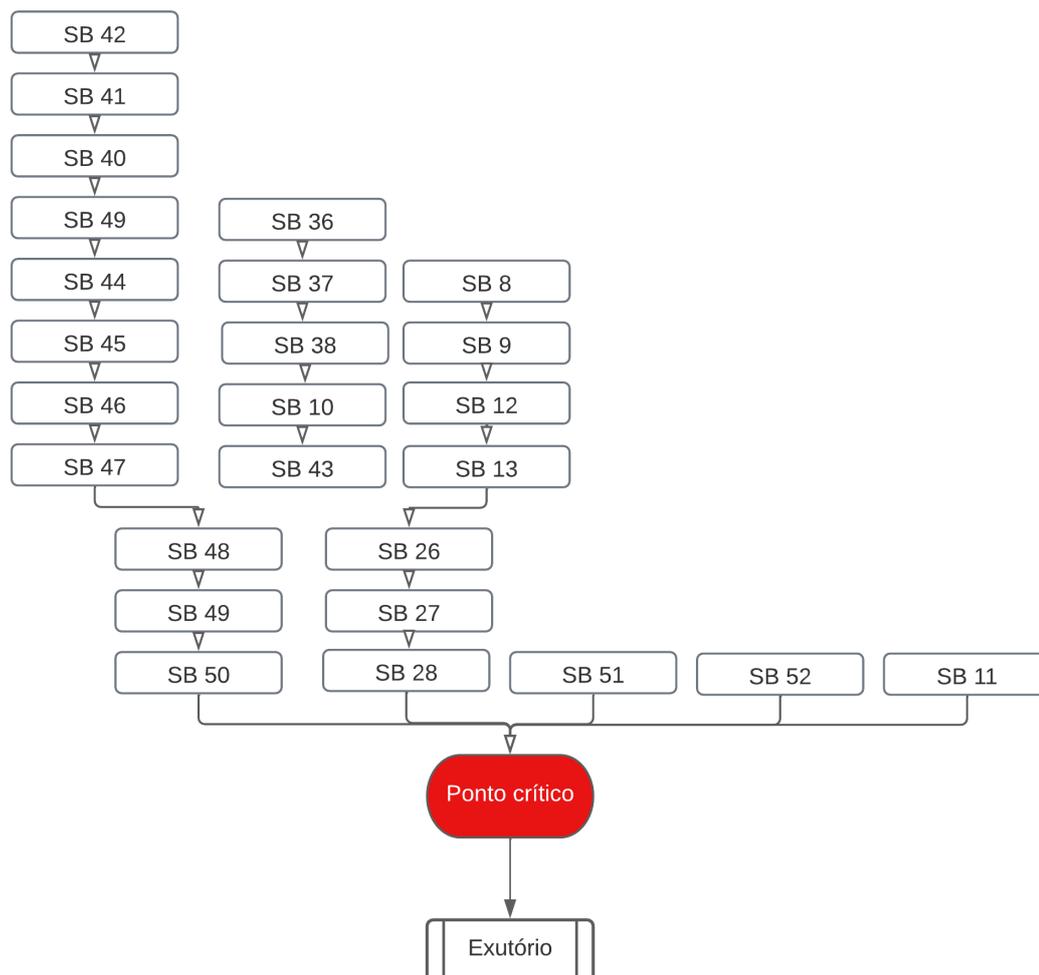
A Figura 11 apresenta o diagrama multifilar desenvolvido a partir da discretização das sub-bacias da área de estudo e a topografia local. Com isso, nota-se que existe um gargalo no transporte da água precipitada da bacia de drenagem contribuinte, no ponto crítico da drenagem da região.

Figura 10 - Mapa do sistema de drenagem atual da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

Figura 11 - Diagrama multifilar do fluxo d'água a partir das sub-bacias.



Fonte: Autor (2022)

Cada sub-bacia deveria estar associada a um pluviômetro, por isso, admitindo que a chuva se distribui de maneira uniforme em toda a área estudada e, observando que a área da bacia de drenagem contribuinte não ultrapassa 50 hectares, um único pluviômetro serviu de base de entrada dos dados pluviométricos para todas as sub-bacias.

A área de cada sub-bacia foi determinada após a discretização da área de contribuição. Já a largura característica do escoamento superficial foi obtida pela relação entre a área e a distância do comprimento máximo de escoamento superficial.

A declividade³ de cada sub-bacia foi definida a partir do valor médio da declividade da área correspondente. Para isso, curvas de nível com precisão de 1

³ A declividade de uma área ou terreno é a inclinação da superfície deste espaço em relação ao plano horizontal.

metro foram interpoladas de modo à obter um modelo digital de elevação com 5 metros por pixel (Figura 5).

A fração de área impermeável e o valor do coeficiente de rugosidade para superfícies permeáveis e impermeáveis foram resultados da classificação supervisionada da área quanto ao uso e cobertura do solo, que foi realizada utilizando as imagens do satélite estadunidense *Quickbird*, com resolução de pixel de 0,6 metros, disponibilizadas pela Secretaria Municipal de Desenvolvimento Territorial e Meio Ambiente (SEDET), com as bandas azul, vermelha e verde já difundidas.

As classes de uso e cobertura do solo utilizadas na classificação foram adaptadas a partir da metodologia adotada por Barros (2015). As amostras utilizadas na classificação observaram a existência de nuvens e as sombras projetadas por elas na superfície do solo.

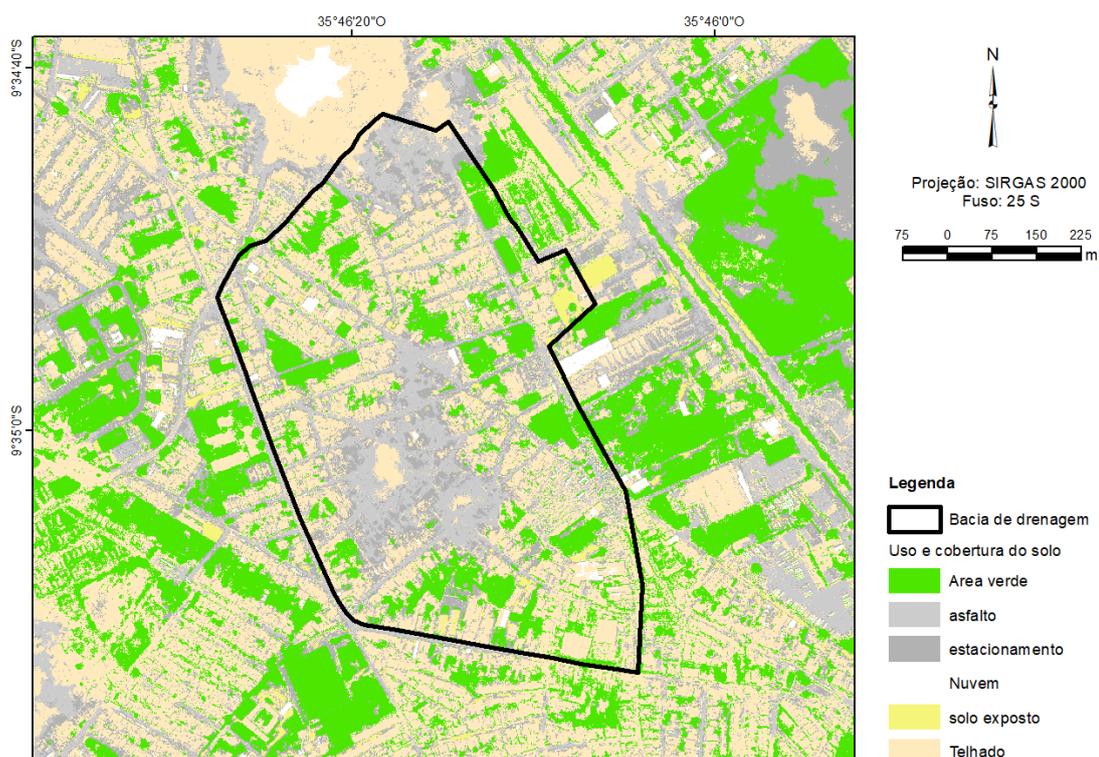
O SWMM usa a equação de Manning para simular a propagação da chuva efetivamente escoada superficialmente. Por isso é requerido como dado de entrada o coeficiente de rugosidade superficial médio que será obtido observando a Tabela 1.

Tabela 1 - Valores de referência para o coeficiente de Manning.

Categoria da Superfície	Coeficiente de Manning (n)
Pavimento em concreto	0,014
Solo bem compactado	0,020
Solo mal compactado	0,030
Relvado, pobre e disperso	0,030
Pastagens	0,040
Relva densa	0,060
Arbusto médios e pequenos	0,080
Arvoredo	0,200
Tipo de ocupação	Coeficiente de Manning (n)
Comercial e pequeno industrial	0,015 – 0,035
Residencial (suburbano)	0,030 – 0,055
Parques	0,040 – 0,080

Fonte: Adaptado de Mattos (1987) apud Barros (2015).

Figura 12 - Resultado da classificação supervisionada para o uso e cobertura do solo da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

De acordo com resultados obtidos por Garotti e Barbassa (2010), pode-se admitir que o coeficiente de escoamento superficial é igual ao percentual de áreas conectadas, desconsiderando as pequenas áreas permeáveis. Então, a equação 2 foi usada para o cálculo do percentual da área impermeável (I), em que: “A_i” é a área e “C_i” é o coeficiente de escoamento.

$$I = \left(\sum \frac{C_i * A_i}{A_i} \right) * 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Seguindo a metodologia adotada por Barros (2015) para a obtenção dos dados de entrada referente à profundidade do armazenamento das áreas impermeáveis, utilizou-se a equação 3, em que: “d_{pi}” (pol) é profundidade de armazenamento em superfícies impermeáveis e “S” (%) é a declividade média da bacia.

$$d_{pi} = 0,0303 * S^{-0,49} \quad (\text{Equação 3})$$

A profundidade de armazenamento das áreas permeáveis foi determinada a partir do levantamento pedológico indicado na sessão “Caracterização da área de estudo 4.1”.

Na região de estudo predomina a presença do Latossolo Vermelho-Amarelo e, de acordo com estudo realizado por Souza et al. (2016), o valor médio do armazenamento de água nesse tipo de solo é 270,2 mm por mês (9 mm por dia).

Um valor padrão de 25% de área impermeável sem armazenamento de depressão foi adotado para as sub-bacias no modelo, devido à falta de dados e informações e, conforme metodologia aplicada por Barros (2015). Com respeito à infiltração, o método do *Soil Conservation Service* (SCS) foi utilizado por usar apenas uma variável, o *Curve Number* (CN). A estimativa do Curve Number depende do uso e cobertura do solo e o grupo hidrológico do solo.

O primeiro fator, uso e cobertura do solo, foi caracterizado a partir da classificação supervisionada. O grupo hidrológico do solo de cada sub-bacia foi determinado conforme a caracterização do solo da área de estudo. A Tabela 2 relaciona os diferentes usos e coberturas do solo com os respectivos valores de CN, conforme recomenda a SCS.

Tabela 2 - Valores de CN conforme a classificação hidrológica e uso e cobertura do solo.

Uso e cobertura do solo	Classe Hidrológica do solo (C)
Espaços abertos, gramados, parques etc.	
• Condição boa: cobertura de grama em 75% ou mais da área	74
• Condição justa: Cobertura de grama em 50 – 75% da área	79
Estacionamento pavimentado, telhados, calçadas etc.	98
Ruas e estradas pavimentadas	98

Fonte: Adaptado de Soil Conservation Service Urban Hydrology for Small Watersheds (1986).

A média ponderada entre o CN e a área componente de cada sub-bacia (A_i) foi usada como entrada no modelo para a simulação (Equação 4).

$$CN = \frac{\sum CN_i * A_i}{\sum A_i} \quad (\text{Equação 4})$$

4.2.2 Parâmetros hidráulicos

- Nó de conexão

Os nós de conexão são elementos que conectam os trechos entre si e podem representar poços de visitas, confluências de canais ou outros elementos de conexão de condutos.

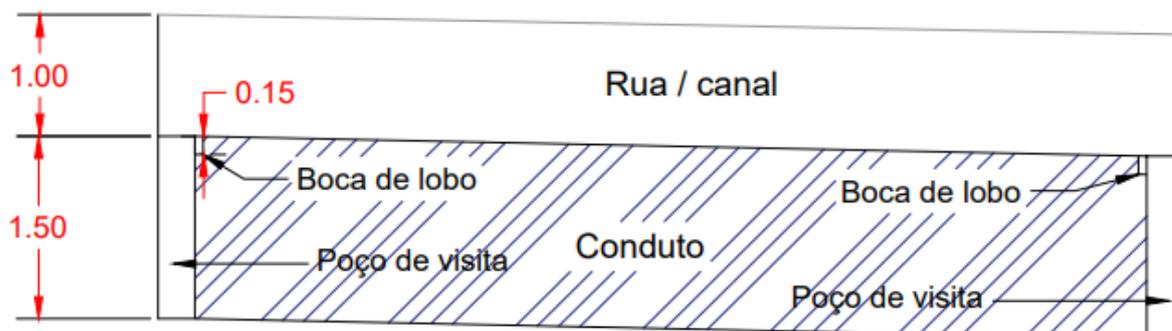
A cota do radier e a profundidade em relação ao solo dos poços de visita foram inseridos a partir dos dados cartográficos disponibilizados.

Em situações em que há um extravasamento da água devido a superação dos limites dos nós, há a possibilidade de adoção de uma área superficial da água empoçada em cima do nó. Entretanto, devido às limitações desse método, optou-se por uma metodologia auxiliar.

Em uma situação real, quando um evento chuvoso supera os limites das dimensões do sistema de drenagem, a água extravasa para as ruas que funcionam como estruturas que armazenam água até que os condutos voltem a comportar o volume. Porém, em locais onde a inclinação do terreno é considerável, as ruas se comportam como canais por transportarem a água extravasada para um ponto de coleta de água a jusante. Por isso, como a área de estudo apresentava trechos com as referidas características optou-se pela segunda abordagem.

A Figura 13 apresenta o corte de um trecho da rede de drenagem existe conforme a solução empregada para a modelagem e simulação do cenário I. Pode-se observar que a cota do radier das ruas/canais foi inserida no modelo para que houvesse a superposição da rua/canal sobre o conduto.

Figura 13 - Perfil dos trechos conforme a modelagem adotada.



Fonte: Autor (2022).

- **Nó exutório**

Os nós exutórios são as pontas dos sistemas de drenagem, e, para o modelo de onda dinâmica, o SWMM possibilita a adoção de condições de contorno. Contudo, na simulação, o nó exutório foi utilizado para evitar a necessidade de modelagem de todo o sistema de macrodrenagem.

A cota de radier do nó exutório foi inserida a partir dos dados cartográficos, o comportamento antirretorno foi assinalado negativo e, o tipo de condição de contorno, adotada foi a “NORMAL”.

- **Condutos**

No SWMM, assim como na realidade, os condutos são os objetos que levam a água de um nó para o outro. Os principais parâmetros solicitados ao usuário para a simulação são: a forma da seção transversal do conduto, o diâmetro (profundidade máxima), comprimento da tubulação e coeficiente de rugosidade Manning.

O manual do SWMM sugere a utilização dos valores da tabela disponibilizada pela *America Society of Civil Enginners* (ASCE), que relaciona os tipos de materiais e categorias de canais com os intervalos de valores de n-Manning (Tabela 3).

Tabela 3 - Valores de n-Manning em função do tipo de material.

Material	n-Manning
Tubulação cimento-amianto	0,011 – 0,015
Tijolo	0,013 – 0,017
Tubulação de ferro	0,011 – 0,015
Cimento forrado e revestido	

Concretos	
• Formas lisas	0,012 – 0,014
• Formas rugosas	0,015 – 0,017
Tubulação de concreto	0,011 – 0,015
Tubulação plástica (lisa)	0,011 – 0,015
Tubulação de metal corrugado (1/2 pol x 2-2/3 pol ranhuras)	
• Liso	0,022 – 0,026
• Ranhuras inversas	0,018 – 0,022
• Revestimento asfáltico	0,011 – 0,015

Fonte: Adaptado de ASCE (1982).

Com a base cartográfica da região foi possível determinar a forma, o diâmetro e o comprimento dos condutos. O valor padrão para o coeficiente de rugosidade foi adotado seguindo as condições e características do local (*n-Manning* = 0,015).

Levando em conta as situações em que houvesse o extravasamento dos condutos subterrâneos, adotou-se uma abordagem alternativa para a modelagem do sistema de drenagem da área. Com isso, as ruas foram inseridas no modelo por meio de canais de seção retangular reta, com dimensões de 1 metro de altura, 7 metros de largura da base e comprimento que coincidissem com os dos condutos enterrados sob eles. O valor do coeficiente de rugosidade *n-Manning* adotado como padrão para esses objetos foi de 0,03.

- Orifícios

No modelo, os orifícios são estruturas que funcionam de forma semelhante aos condutos, transportando a água e materiais de um nó para o outro.

Na simulação do sistema de drenagem da Feirinha do Tabuleiro, os orifícios foram usados para ligar as ruas e o sistema de drenagem subterrâneo, imitando o funcionamento das bocas de lobo. Para a simulação do cenário I, convencionou-se que o nó de entrada de cada orifício seria o do canal/rua e o nó de saída, o conduto.

O modelo permite ao usuário escolher o tipo de fluxo no orifício. Adotou-se como padrão o fluxo lateral para os orifícios simulados. As dimensões dessas estruturas (altura x largura) foi determinada de acordo com a resposta do modelo.

Adotou-se como padrão o valor de 0 metros da distância do orifício para a cota de fundo do radier para que os vertedores ficassem localizados no nível mais baixo das ruas. Por fim, o coeficiente de descarga adotado nos orifícios foi de 1,8 conforme metodologia aplicada por Barros (2015).

4.3 Simulação dos cenários com intervenção

4.3.1 Hietograma de projeto

Para a simulação dos cenários com intervenção, as informações de entrada no pluviômetro da simulação foram definidas para fornecer ao modelo um hietograma de projeto.

Deste modo, a curva IDF adotada foi a desenvolvida por Dernadin e Freitas (1982) conforme a Equação 5, em que “i” é intensidade (mm/h); “T” é o tempo de retorno (ano) e “t” é a duração (min).

$$i = \frac{274,9 * T^{0,28}}{(t+6)^{0,56}} \quad \text{(Equação 5)}$$

Os tempos de retorno utilizados para a geração das chuvas de projeto foram 2, 5 e 10 anos. Conforme orientação fornecida pela DAEE/CETESB (1980) para estruturas de microdrenagem, o tempo de duração adotado para as chuvas de projeto foi de 2 horas para o diagnóstico do cenário I e as simulações dos demais cenários.

A distribuição temporal das chuvas de projeto foi determinada a partir do método dos blocos alternados devido a sua facilidade de uso (BUREAU OF RECLAMATION, 1997). Para a utilização do método, foi necessário estimar um tempo de concentração da bacia de drenagem. Por isso, a partir dos dados altimétricos da região determinou-se o comprimento do talvegue da bacia (L) e o desnível total (Δh). A Equação 6 foi usada para determinação do tempo de concentração.

$$tc = 57 * \left(\frac{L^3}{\Delta h}\right)^{0,385} \quad \text{(Equação 6)}$$

4.3.2 Cenário II – Redimensionamento dos condutos da rede de drenagem

Com o intuito de solucionar os alagamentos da área de estudo, adotou-se a solução clássica dos sistemas de drenagem das cidades brasileiras, e, portanto, os

componentes de drenagem da região foram redimensionados até o ponto em que não houvesse mais alagamentos - ou pelo menos, até o caso em que esses alagamentos se tornassem insignificantes. A priori, as decisões tomadas foram circunspectas, sem superdimensionamentos ou dimensões distantes da realidade.

É válido destacar que as condições simuladas no cenário II desconsideraram o descarte irregular de resíduos da região. Por isso, os resultados obtidos na simulação tendem a subestimar as dimensões dos alagamentos em condições com a presença de obstruções nos condutos e bocas de lobo.

Ademais, por se tratar de uma obra de microdrenagem, adotou-se uma chuva de projeto 10 anos de tempo de retorno para balizar o pior cenário em que o sistema devesse funcionar. Contudo, os hietogramas de projetos para tempo de retorno de 2 e 5 anos também foram usados nas análises.

- **Identificação dos trechos com alagamento**

Inicialmente, a capacidade dos trechos foi utilizada como indicativo de alagamento nas ruas/canais de acordo com a resposta simulada. No SWMM, a capacidade de um trecho ou conduto representa a capacidade máxima de armazenamento de cada trecho. Ela pode variar entre 0 e 1, em que 0 representa a ocasião com nenhum funcionamento da rua como canal e 1 representa a ocasião em que a altura máxima de armazenamento do trecho foi igualada ou superada.

A Figura 14 apresenta um panorama da capacidade dos condutos da rede de drenagem e as ruas/canais nas imediações do trecho crítico antes das intervenções para uma chuva de projeto de 10 anos no momento mais crítico do evento.

Figura 14 - Região onde há trecho com extravasamento da água precipitada.

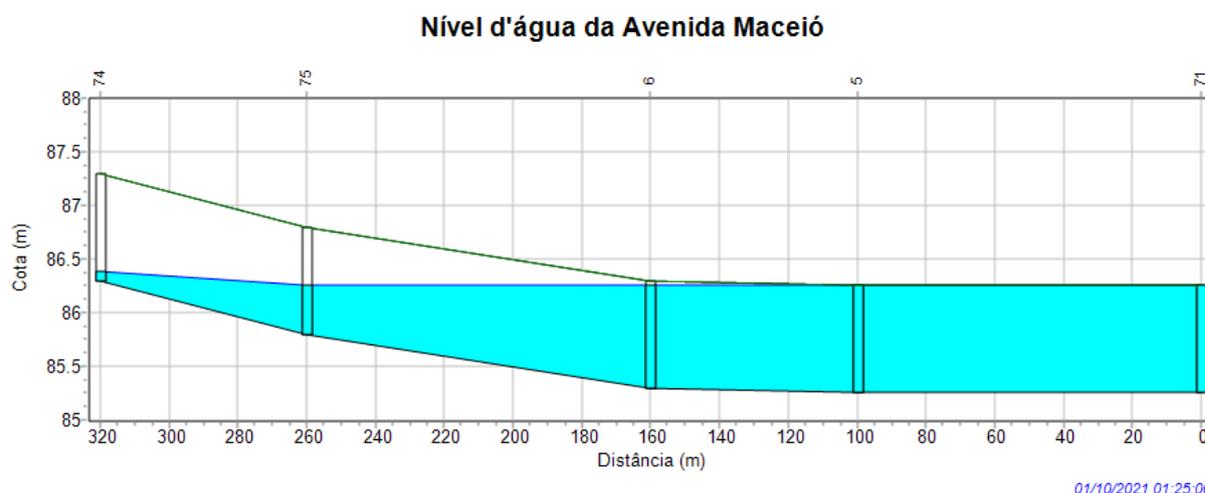


Fonte: Autor (2022).

Outrossim, observou-se que os condutos componentes da rede de drenagem da região funcionaram em capacidade máxima durante todo o evento, mesmo em trechos com nenhum alagamento. O fato pode ser explicado pelo modo como o SWMM trata essa variável. O valor 1 (um) indica que há fluxo na cota superior do conduto, por isso, como a solução adotada na modelagem do sistema direciona o volume precipitado a partir das ruas para os condutos, qualquer volume escoado da sub-bacia para o nó faz com que o programa indique que a capacidade máxima dos condutos foi atingida, mesmo que ainda exista capacidade de fluxo nos condutos.

A Figura 15 mostra a cota máxima d'água que foi atingida nos canais que representam a Avenida Maceió no momento mais crítico da simulação.

Figura 15 - Perfil da cota do nível d'água dos canais retangulares, que representam a Avenida Maceió, no momento mais crítico da chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.



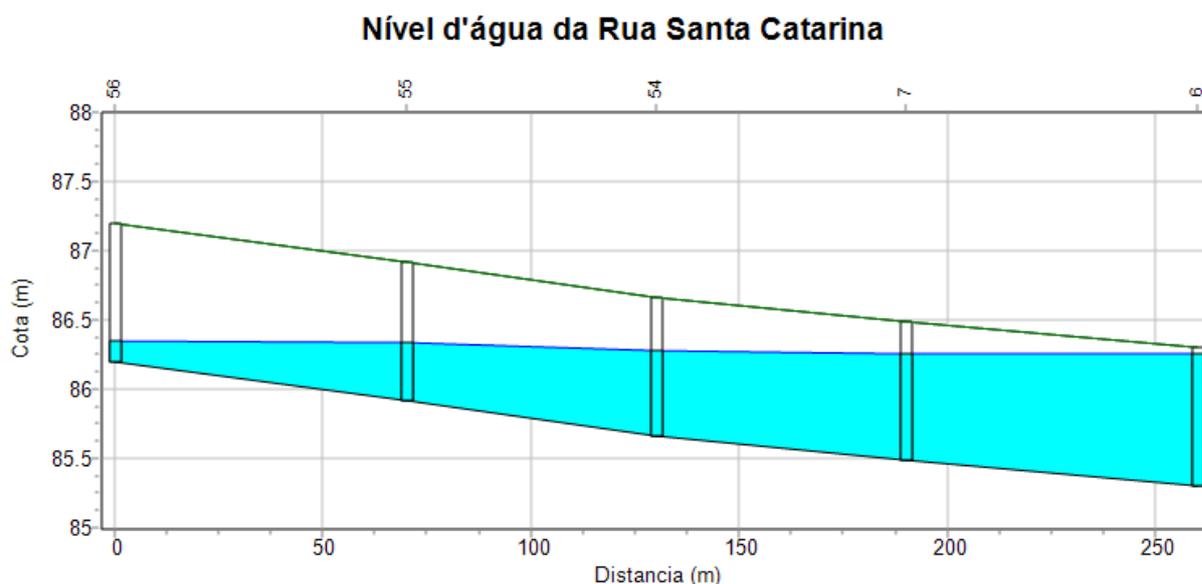
Fonte: Autor (2022).

É válido destacar que, a decisão pela adoção de canais de seção retangular como forma de representar as ruas em cima dos condutos da rede de drenagem existente, foi tomada por causa da limitação do modelo em simular o transporte da água dos nós em situações de alagamento. Por isso, os resultados das simulações a partir do cenário I servem de base para entender a dimensão dos alagamentos, mas não pode ser tratada como uma representação fidedigna do nível da água atingido.

Por isso, partindo da premissa explicitada acima, caso a Avenida Maceio fosse composta por canais retangulares retos de 7 metros de base e 1 metro de altura, estas teriam sua capacidade completamente alcançada no momento mais crítico da chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.

De maneira análoga, a Figura 16 apresenta a cota do nível d'água para os canais que representam a Rua Santa Catarina na mesma chuva descrita anteriormente. É possível observar o nível d'água simulado também atingiu patamares altíssimos, porém, menores que os simulados para a Avenida Maceió. Isso pode ser explicado pelo fato de que a Avenida Maceió tem uma declividade bastante acentuada, o que favorece o escoamento superficial, além de estar localizada sobre o conduto que transporta toda a água precipitada na bacia de drenagem contribuinte da Feirinha do Tabuleiro para o resto da rede de macrodrenagem do Tabuleiro.

Figura 16 - Perfil da cota do nível d'água dos canais retangulares, que representam a Rua Santa Catarina no modelo, durante a chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.



Fonte: Autor (2022).

- **Resposta do modelo ao redimensionamento**

Durante o redimensionamento dos componentes de drenagem apresentados na Figura 15, observou-se um aumento bastante significativo da vazão dos trechos localizados a jusante das alterações. Por isso, também foram necessárias modificações nos condutos de ligação entre a bacia de drenagem da Feirinha do Tabuleiro e o resto do sistema de macrodrenagem do Tabuleiro.

A Tabela 4 em conjunto com a Tabela 5 apresentam os valores das variáveis de entrada alteradas no modelo para que os alagamentos da região cessassem. Essa etapa foi realizada por tentativa e erro observando as respostas do SWMM a respeito da profundidade da água nos trechos críticos.

As bocas de lobo também precisaram de redimensionamento pois, durante as simulações, notou-se que apesar dos condutos terem a capacidade de transportar o volume precipitado, um gargalo no fluxo da água entre as ruas/canais e o resto da rede de drenagem impedia o transporte do volume precipitado.

Tabela 4 - Variáveis alteradas nos trechos/conduitos para a solução dos alagamentos.

Rua		Avenida Maceió				Rua Santa Catarina					
Conduto		1	63	72	76	2	3	4	22	23	24
Diâmetro (m)	Cenário I	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	1	1.2	1.2
	Cenário II	1,15	1,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,75	1,75	1,75

Fonte: Autor (2022).

Destaca-se que, o aumento do diâmetro dos conduitos - necessário para que os alagamentos cessassem - apesar de ser o mais contido possível, fez com que as dimensões desses componentes fossem semelhantes a adutoras de macrodrenagem.

Tabela 5 - Variáveis alteradas nos bocas-de-lobo para a solução dos alagamentos

Rua		Avenida Maceió				Rua Santa Catarina		
Orifício		16	15	70	68	35	34	33
Trecho entre os nós		5-32	6-31	75 - 78	71 - 72	7-30	54-29	25-55
Dimensões (m)	Cenário I	0,15x1	0,15x1	0,15x1	0,15x1	0,15x1	0,15x1	0,15x1
	Cenário II	1x3	1x3	0,5x2	1x3	1x2	1x2	1x2

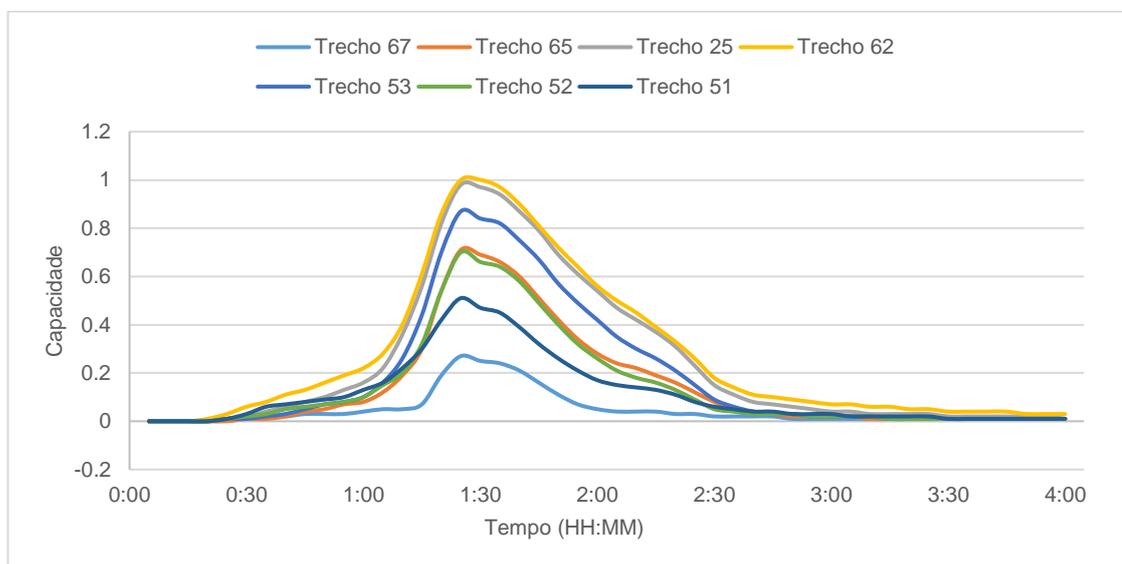
Fonte: Autor (2022).

Analogamente, as dimensões dos orifícios após o redimensionamento podem não ter viabilidade técnica. Para contornar a situação, faz-se necessário que as estruturas projetadas para uma eventual obra de revitalização da rede de drenagem existente, tivessem uma capacidade de transporte de volume d'água precipitada igual ou semelhante aos orifícios simulados.

Contudo, salienta-se que, no modelo há apenas um orifício ligando as ruas/canais aos conduitos subterrâneos, por isso, a capacidade dessas estruturas poderia ser alcançada de maneira factível, por meio de um conjunto de bocas de lobo.

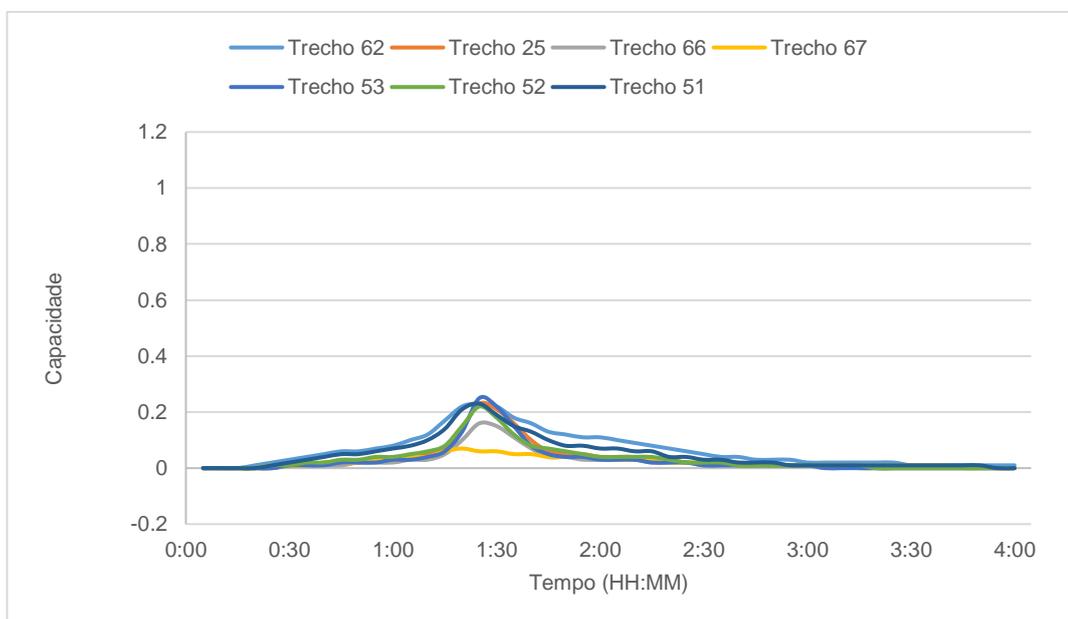
A Figura 17 apresenta a capacidade dos trechos com alagamentos identificados no cenário I no momento mais crítico da chuva de retorno de 10. A Figura 18 mostra a capacidade dos mesmos trechos após o redimensionamento (cenário II).

Figura 17 - Capacidade dos trechos redimensionados no cenário I para a chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.



Fonte: Autor (2022).

Figura 18 - Capacidade dos trechos redimensionados no cenário II para a chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno



Fonte: Autor (2022).

4.3.3 Cenário III – Implementação dos reservatórios de detenção

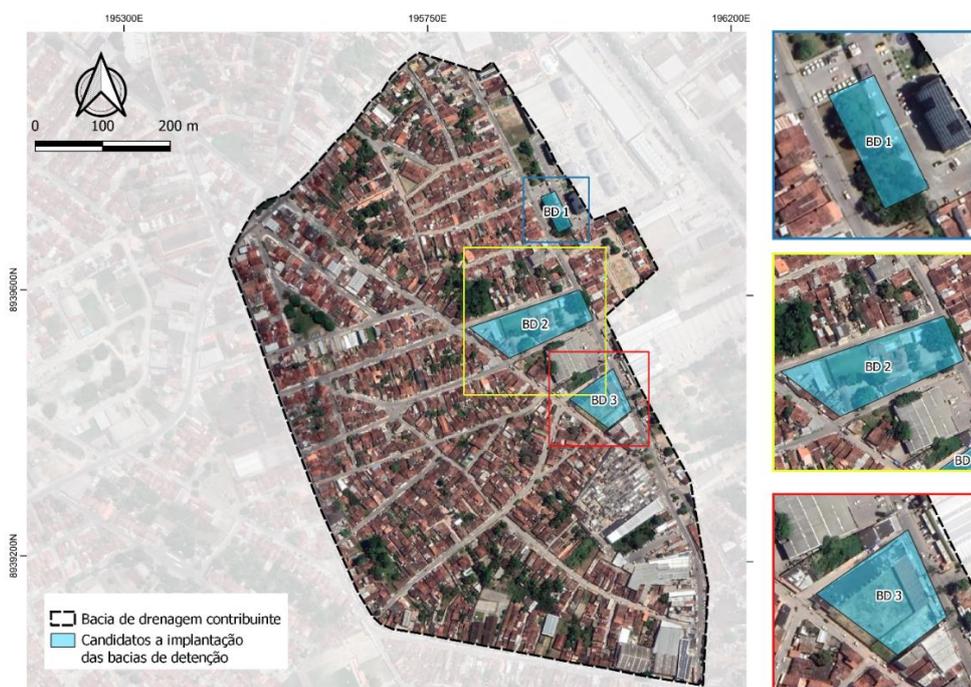
Os resultados deste cenário foram obtidos seguindo a seguinte ordem metodológica: I) Identificação das áreas potenciais para instalação dos reservatórios de detenção na escala de sub-bacia; II) Dimensionamento dos reservatórios a partir do método da curva envelope; e III) Modelagem da rede de drenagem com o reservatório implementado.

I. Identificação das áreas potenciais para instalação dos reservatórios de detenção na escala de sub-bacia

A identificação e eleição das áreas candidatas com potencial de instalação dos reservatórios de detenção foi realizada a partir de visitas na região e imagens de satélite. A decisão almejou por locais próximos à rede de drenagem existente, com a maior oferta de área possível e com pouca, ou nenhuma, ocupação.

O elevado grau de antropização foi o principal desafio na identificação das áreas com potencial para a implantação. Porém, como a implantação das três bacias de detenção é de interesse público, a existência de construções foi deixada em segundo plano. A Figura 19 apresenta as áreas selecionadas a partir do estudo locacional.

Figura 19 - Áreas selecionada para a implantação das Bacias de Detenção na bacia contribuinte do Tabuleiro do Martins.



Fonte: Autor (2022).

O candidato para a bacia de retenção 1 (Figura 20) é um terreno composto por área verde com 1.356 m² de área, localizado em frente ao Residencial Cidade Jardim. A partir das imagens de satélite é possível observar que não há impedimentos ocupacionais para a implantação da BD 1. Entretanto, o projeto do reservatório é condicionado à expansão do sistema de drenagem atual.

Figura 20 - Local de implantação proposto para a implantação do BD 1.



Fonte: Autor (2022).

A bacia de retenção 2 (Figura 21) é a maior das três (8.913 m²) por causa do grande volume de pré-dimensionamento obtido pelo método da curva envelope que veremos no passo a seguir. A implantação desse reservatório está condicionada à desocupação de uma quadra inteira composta por algumas residências.

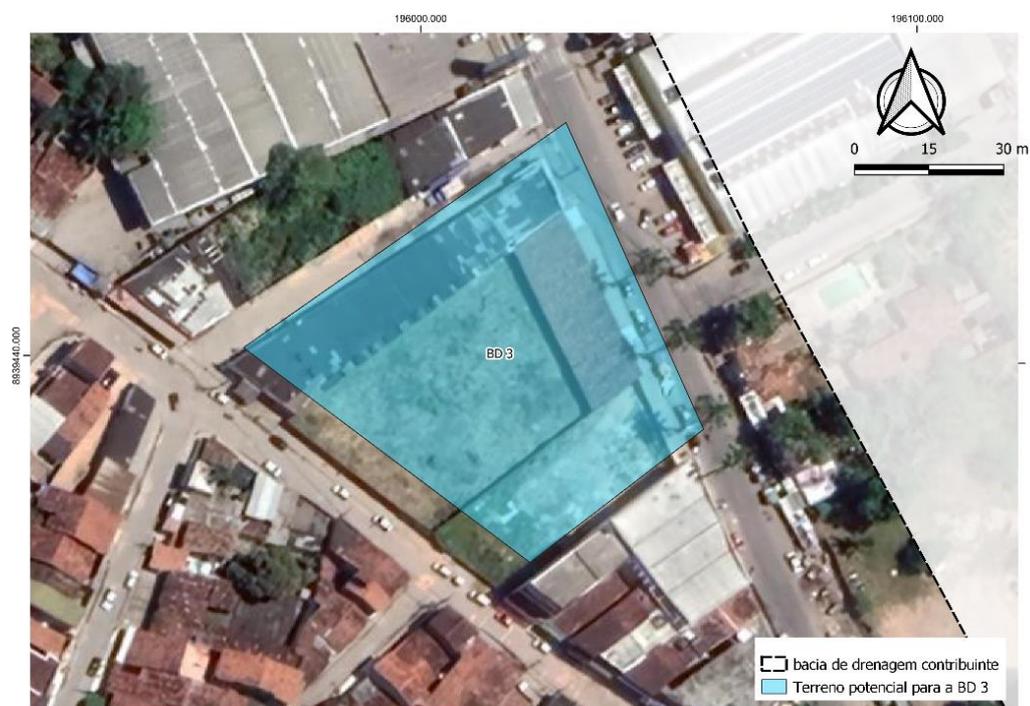
Por fim, o terreno selecionado para a terceira bacia de retenção (Figura 22) tem 4.235 m² de área e se condiciona à desocupação de uma área que é ocupada por algumas lojas e galpões.

Figura 21 - Local de implantação proposto para a implantação do BD 2.



Fonte: Autor (2022).

Figura 22 - Local de implantação proposto para a implantação do BD 3.



Fonte: Autor (2022).

II. Pré-dimensionamento das Bacias de Detenção pelo método da curva envelope Silveira e Goldenfum (2007) explicam que o método da curva envelope consiste na comparação, ao longo do tempo, da máxima diferença entre os volumes afluentes e os volumes efluentes incidentes sobre a bacia de detenção.

A curva do Volume afluente (V_a) dos reservatórios foi determinada utilizando-se a Equação 7, em que “P” é a lâmina precipitada total, “A” é a área da bacia de drenagem contribuinte e “C” é o coeficiente de escoamento.

$$V_a = P * A * C \quad \text{(Equação 7)}$$

A lâmina precipitada total (P) foi determinada a partir da Equação 5, conforme apresentado anteriormente.

A área da bacia de contribuição (A) foi calculada pelo somatório das áreas das sub-bacias que contribuía para a bacia de detenção.

De maneira análoga à metodologia já aplicada na modelagem do cenário I “item 4.2.1”, o coeficiente de escoamento (C) foi calculado a partir da média ponderada das frações contribuintes da caracterização do uso e cobertura do solo para cada subárea contribuinte.

A determinação da curva do Volume efluente (V_e) foi realizada a partir da Equação 8, em que “ Q_r ” é a vazão do escoamento superficial em um estado de pré-urbanização e “t” é o tempo do evento chuvoso.

$$V_e = Q_r * t \quad \text{(Equação 8)}$$

Devido à falta de estudos anteriores na área de estudo, foi necessária a determinação do volume do escoamento superficial em um estado de pré-urbanização a partir da simulação de uma situação da rede de drenagem auxiliar. Para essa simulação, as variáveis de entrada relativas à infiltração e composição e cobertura do solo foram alteradas acompanhando os valores mais otimistas contidos na Tabela 1 e Tabela 2.

A geração dos hidrogramas no SWMM está condicionada à presença de condutos, por isso, a rede de drenagem existente na área de estudo foi mantida, aumentando apenas a rugosidade dos trechos.

III. Modelagem do cenário com o reservatório implementado

A curva envelope balizou o dimensionamento dos reservatórios, entretanto, ela não consegue simular o comportamento conjunto dos reservatórios implementados no sistema de drenagem conectado (BARROS, 2015).

A modelagem do cenário com intervenção das bacias de retenção foi condicionada a utilização de outros elementos no SWMM, como as unidades de armazenamento e orifícios, além da implementação de novos trechos com condutos e bocas de lobo.

As unidades de armazenamento no modelo são objetos que podem ser usados para simular o comportamento de pequenos e grandes reservatórios. Além das propriedades comuns aos nós, como cota do radier e profundidade máxima, foi necessária a indexação de uma curva que estabelecesse a relação entre a área superficial e profundidade da unidade de armazenamento.

4.4 Estudo dos cenários com intervenção

O estudo e comparação dos resultados dos cenários com intervenção foi realizado a partir da comparação dos resultados dos cenários com alterações, com a situação atual da rede da bacia de drenagem contribuinte. Além disso, o modelo do cenário atual também serviu para identificação do trecho crítico da bacia para as diferentes chuvas de projetos. Posteriormente, analisou-se os resultados obtidos no trecho crítico após as intervenções propostas nos cenários II e III. Por fim, o efeito das intervenções a jusante e montante das intervenções foi analisado.

O estudo consistiu na comparação entre os cotogramas no trecho crítico para o cenário atual e cenários com intervenção. Além disso, analisou-se a capacidade das intervenções em fazer com que o trecho crítico não superasse a capacidade máxima modelada, bem como o amortecimento dos hidrogramas no trecho crítico.

O amortecimento das vazões de pico foi analisado por meio da Equação 9. Em que “ Q_v ” é a Variação da vazão de pico, “ Q_a ” é a vazão de pico antes da intervenção e “ Q_d ” é a variação de pico depois da intervenção.

$$Q_v = \frac{Q_a - Q_d}{Q_a} \quad (\text{Equação 9})$$

Analogamente, avaliou-se o amortecimento dos níveis d'água nos trechos representando as ruas no modelo por meio da Equação 10. Em que " h_v " é a variação do nível d'água, " h_a " é o nível d'água antes da intervenção e " h_d " é o nível d'água depois da intervenção.

$$h_v = \frac{h_a - h_d}{h_a} \quad (\text{Equação 10})$$

Analisou-se ainda a relação entre o volume de detenção das bacias e a área da bacia de contribuição, conforme a Equação 11. Em que "C" é o coeficiente do volume de detenção por unidade de área, "V" é volume de detenção dos reservatórios e A é a área da bacia de contribuição.

$$C = \frac{V}{A} \quad (\text{Equação 11})$$

5 RESULTADOS

5.1 Cenário I – Situação atual da rede de drenagem

Com posse de todas as variáveis necessárias para a simulação do cenário atual, a simulação foi executada para o evento pluviométrico descrito no item “4.2.1 - Parâmetros hidrológicos”.

O evento pluviométrico utilizado para a simulação do cenário I gerou 86.410 m³ de volume precipitado total, para uma lâmina precipitada de 214,09 mm em uma área de 40,36 ha. Cerca de 71.706 m³ de água precipitada foi transportada pelo exutório durante a simulação. A diferença entre o volume precipitado e o escoado pelo exutório da bacia se deve ao volume infiltrado e armazenado nas sub-bacias, além de um pequeno erro de continuidade gerado pela simulação (0,417%).

A Figura 23 apresenta o traçado dos trechos que apresentaram os alagamentos mais significativos durante a simulação. A porção final do trecho crítico, indicada com a caixa de texto vermelha na vermelha Figura 25, será, daqui para frente, chamada de “**Trecho crítico**”.

O trecho crítico (Figura 24 – visão no nível do terreno) está localizado na Avenida Maceió e foi representado no modelo como um canal retangular de 7 metros de comprimento e 1 metro de altura.

Figura 23 - Localização do trecho mais suscetível a alagamentos da área de estudo.



Fonte: Autor (2022).

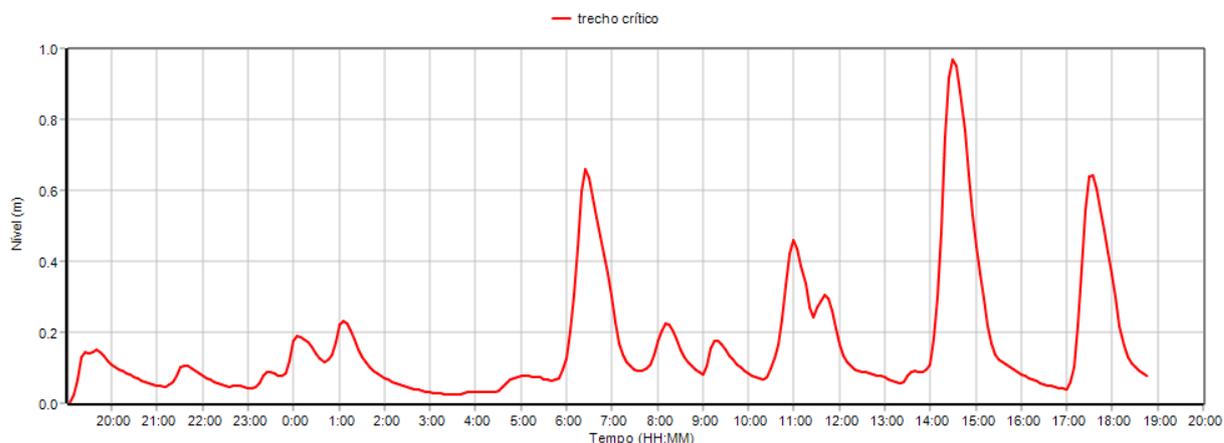
Figura 24 - Imagem no nível do terreno do trecho crítico.



Fonte: Google Earth (2022).

A Figura 25 mostra a variação do nível d'água no trecho crítico durante toda a simulação, que corresponde aos dias 10 e 11 de abril de 2022.

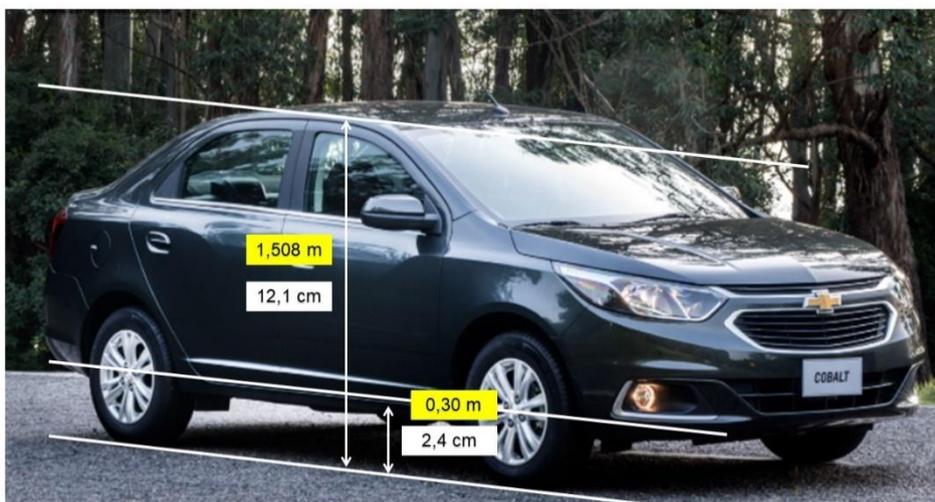
Figura 25 - Resultado da simulação: profundidade da água do trecho crítico durante a chuva registrada entre os dias 10 e 11 de abril de 2021.



Fonte: Autor (2022).

A partir das dimensões do modelo do carro mostrado na Figura 8, realizou-se uma estimativa da cota do nível de água no momento do registro. A Figura 26 mostra o resultado da análise geométrica do caso.

Figura 26 - Estimativa da cota do nível d'água observado a partir das dimensões do modelo do automóvel do registro fotográfico.



Fonte: Adaptado de carros na Web (2021).⁴

Por conseguinte, comparou-se a estimativa do nível de água da imagem e os resultados obtidos pelo modelo no **trecho crítico**.

O nível d'água simulado no modelo às 11hrs45 min do dia 11/04/2011 é de 0,29 metros, enquanto o nível inferido da análise geométrica para o registro fotográfico registrado às 11hrs44min é de 0,30 metros, isso apresenta um erro relativo de 3,3%.

É sabido que um único resultado de comparação geométrica não é capaz de calibrar o modelo tanto quanto necessário, porém a escassez de registros fotográficos com data e hora exatas impossibilitou outras comparações.

Entretanto, é possível concluir que a modelagem do cenário atual se comportou de maneira semelhante ao evento observado nos registros fotográficos. Por isso, utilizaram-se os parâmetros adotados na modelagem do sistema atual nos demais cenários com intervenção.

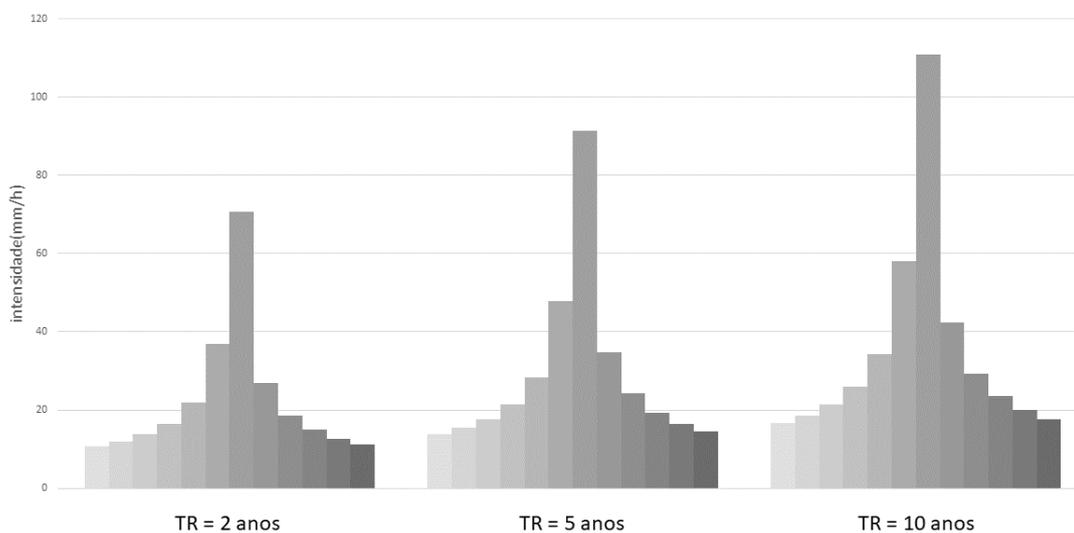
5.2 Cenário II – Redimensionamento da rede de drenagem atual

Os cálculos do tempo de concentração da bacia de drenagem contribuinte retornaram um valor de 9,9 minutos para um comprimento de talvegue de 0,32 km e desnível total de 3,1 metros. Diante disto, adotou-se o valor imediatamente superior (10 minutos) como intervalo de tempo de duração da chuva.

⁴ Disponível em: <<https://www.carrosnaweb.com.br/fichadetalhe.asp?codigo=9233#Fotos>>

Com isso, o resultado do método dos blocos alternados para a equação IDF utilizada para os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 - Hietograma de projeto para um evento com duração de 2 horas.

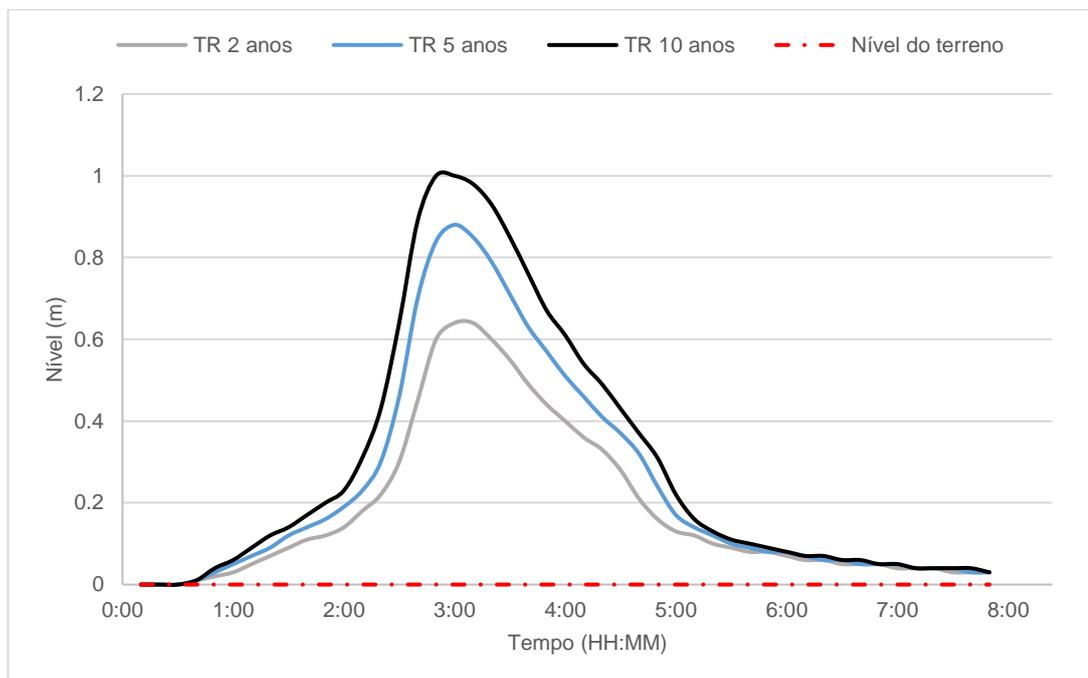


Fonte: Autor (2022).

A Figura 28 mostra a resposta do modelo para a profundidade atingida no trecho crítico para os eventos com tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos **antes do redimensionamento**.

Conforme explicado anteriormente, a cota inferior do trecho crítico, que foi simulado como sendo um canal retangular, está localizada imediatamente acima da geratriz superior do poço de visita. Portanto, pode-se observar que chuva de projeto com menor tempo de retorno já produz alagamentos no sistema.

Figura 28 - Cota do nível d'água no trecho crítico para os hietogramas de projeto antes das intervenções.

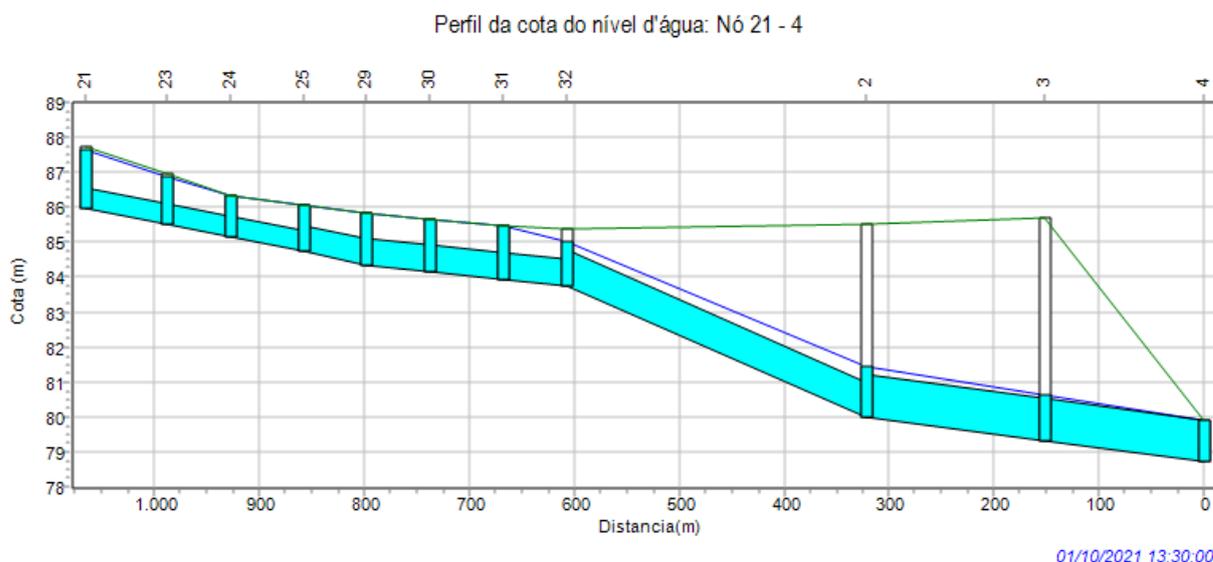


Fonte: Autor (2022).

A Figura 29 mostra o perfil da cota do nível d'água no **momento mais crítico** após o redimensionamento, partindo do trecho crítico até o exutório adotado na modelagem. É possível observar que as alterações nos condutos partiram do nó 25 até o ponto mais a jusante da rede de drenagem.

A linha de energia sofreu uma diminuição repentina entre o nó 3 e o exutório 4. Esse fato é explicado pelo modo como o SWMM equaciona o exutório. Apesar dessa anomalia, observa-se que a linha de energia se encontrava a mais de 1 metro da cota superior do poço de visita no nó 2 antes da diminuição brusca. Por isso, entende-se que a diferença não comprometeu os resultados à montante.

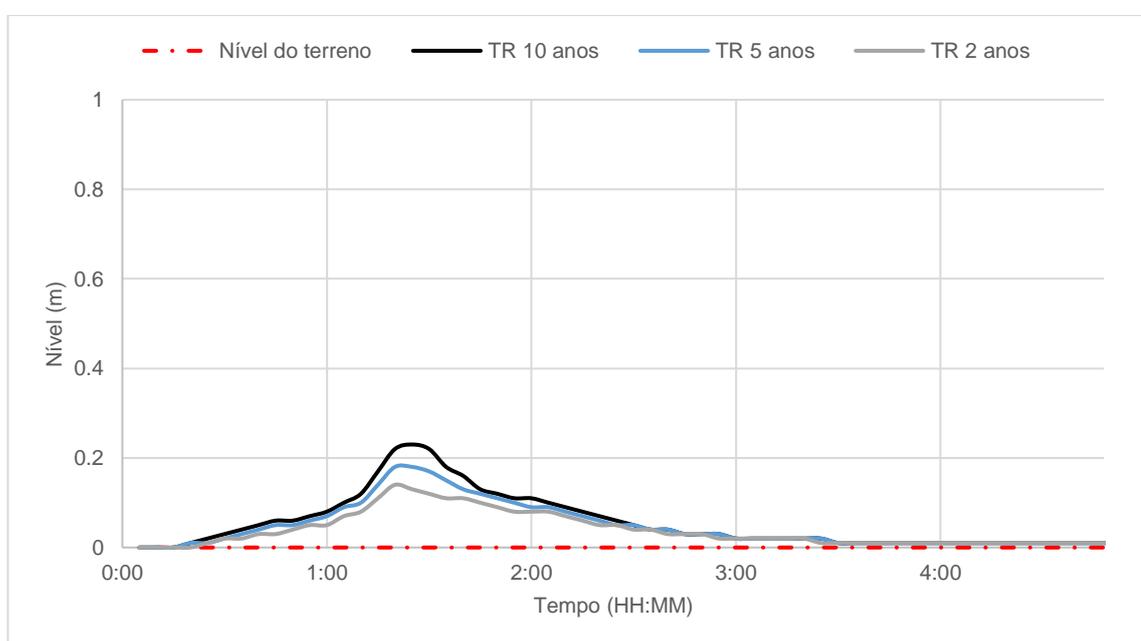
Figura 29 - Perfil da cota do nível d'água dos trechos redimensionados até o exutório aplicado no sistema de drenagem.



Fonte: Autor (2022).

Em relação ao trecho mais crítico da região localizado na Av. Maceió, o redimensionamento conseguiu conter o fluxo superficial nas ruas como mostra a Figura 30.

Figura 30 - Cota do nível d'água no trecho crítico para os hietogramas de projeto após o redimensionamento da rede.



Fonte: Autor (2022).

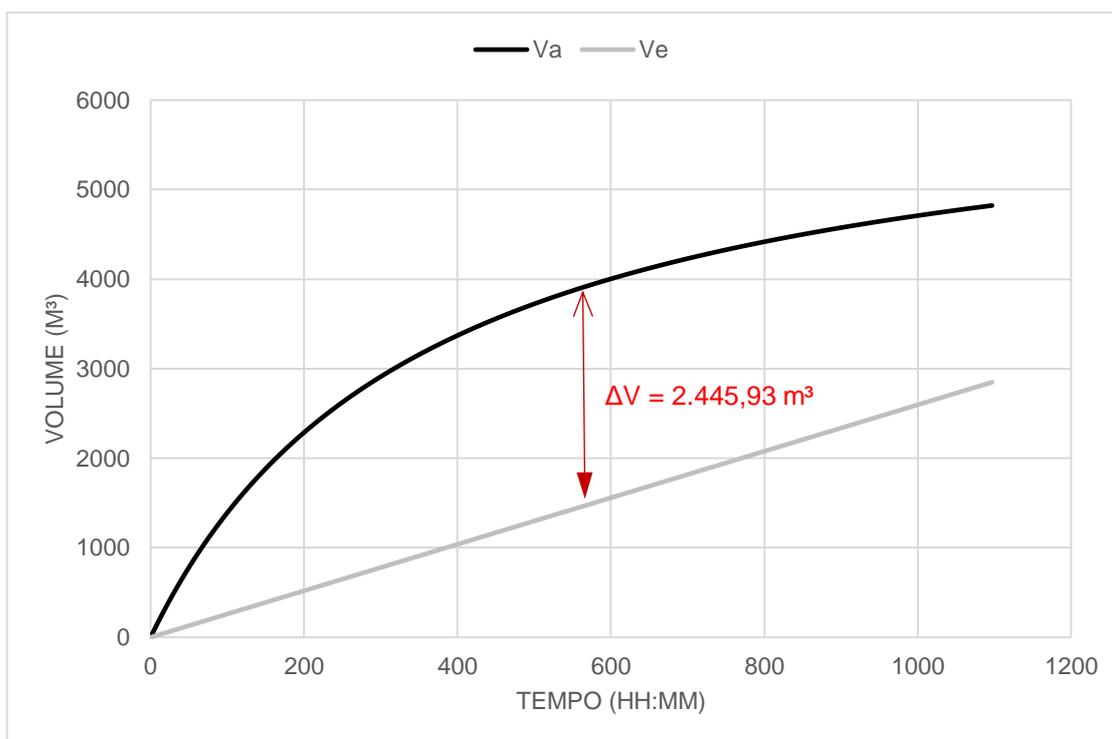
5.3 Cenário III – Implantação das Bacias de Detenção

5.3.1 Resultados do método da curva envelope e dimensionamento das bacias de detenção

A curva envelope de cada bacia de detenção foi traçada a partir dos volumes afluente e efluente calculados individualmente (Figura 31, Figura 32, Figura 33). Com isso, a partir da máxima diferença entre o volume afluente e o volume efluente das bacias de detenção, o volume de armazenamento foi determinado.

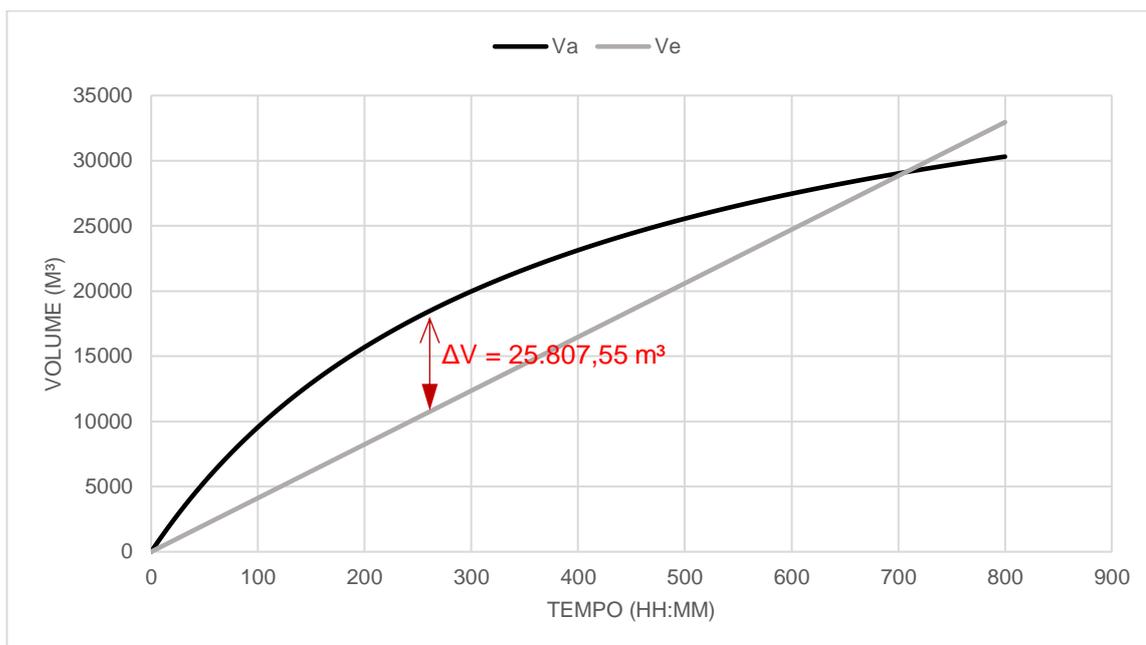
O pré-dimensionamento das bacias de detenção estimadas pelo método da curva envelope está apresentado na Tabela 6. As alturas das bacias de detenção foram escolhidas de modo a igualar ou superar o volume requerido pelo método. Nesta etapa não foram observadas as cotas de entrada e saída dos reservatórios, por isso, as alturas das bacias de detenção tiveram alterações posteriores.

Figura 31 - Curva envelope para o reservatório de detenção da sub-bacia 1.



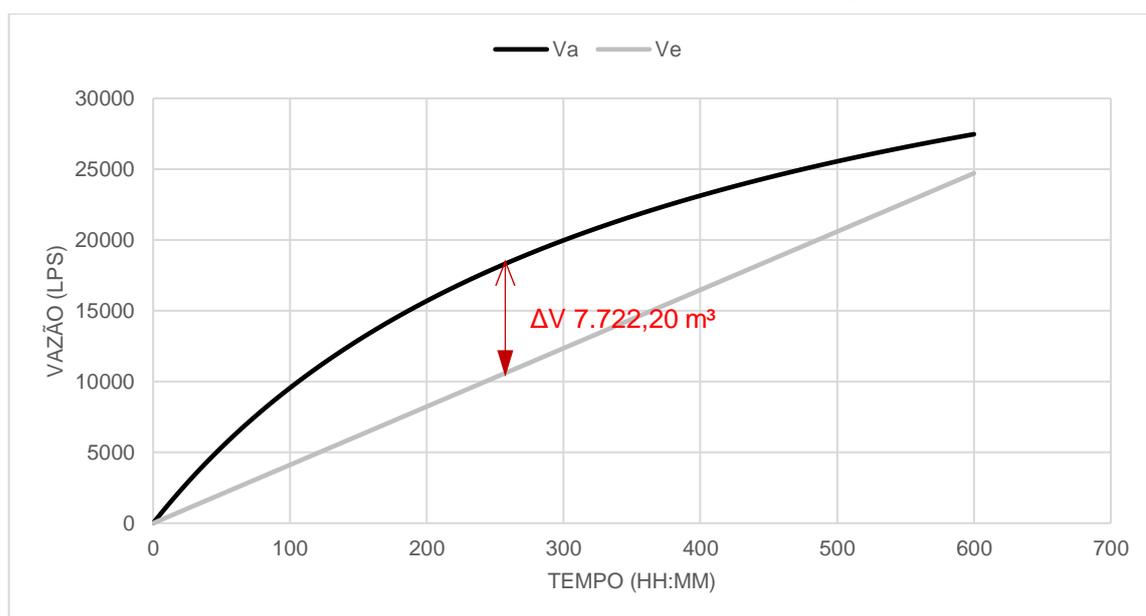
Fonte: Autor (2022).

Figura 32 - Curva envelope para o reservatório de detenção da sub bacia 2



Fonte: Autor (2022).

Figura 33 - Curva envelope para o reservatório de detenção da sub bacia 3



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 6 apresenta os as dimensões das bacias de detenção conforme análise da disponibilidade de área para a implantação das bacias de detenção e o volume calculado pelo método da curva envelope.

Contudo, a altura das bacias de detenção precisaram ser alterações na simulação, por causa da diferença de cota entre o nó de entrada e a cota de fundo de cada bacia de detenção. Por isso, a Tabela 6 serve apenas como base de comparação dos valores calculados no pré-dimensionamento e o volume real, armazenado durante a simulação.

Tabela 6 - Dimensões das Bacias de Detenção.

	BD 1	BD 2	BD 3
Área (m ²)	1.356	8.913	4.235
Altura (m)	1,5	2,9	1,85
Volume (m ³)	2.034	25.847,7	7.834,75

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 7 apresenta os valores adotados na relação cota-área de cada unidade de armazenamento fornecidos ao SWMM com base na forma e dimensões dos reservatórios.

Tabela 7 - Relação cota-área disponibilizada ao SWMM para determinação da curva de armazenamento das Bacias de Detenção.

	BD 1		BD 2		BD 3	
Cota (m)	0	1,5	0	3,85	0	2,7
Área (m)	2.034,0		25.847,7		2.850,0	

Fonte: Autor (2022).

A Tabela 8 apresenta os valores adotados para os vertedores foram inseridos no modelo, para garantir a segurança da estrutura, nas situações em que houvesse a superação do limite superior das unidades de armazenamento.

Tabela 8: Valores adotados nas propriedades dos vertedores das bacias de detenção na simulação.

Vertedor	BD 1	BD 2	BD 3
Tipo	Transverso		
Altura (m)	0,2	0,1	0,2
Largura (m)	1,3	2	2
Cota do radier (m)	1,3	1,8	2
Coeficiente de Descarga	1,84		

Fonte: Autor (2022).

Os orifícios ligados às bacias de detenção serviram como válvulas de controle dos volumes afluentes e efluentes nos reservatórios e o dimensionamento dessas unidades aconteceu por tentativa e erro. Os vertedores de saída das bacias de detenção 1 e 2 foram simulados supondo a existência de uma comporta que prevenisse o retorno da vazão. Por fim, os valores adotados no modelo estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Parâmetros adotados na simulação para os orifícios das bacias de detenção.

Orifício	*BD 1		*BD 2		*BD 3	
	entrada	saída	entrada	saída	entrada	saída
Tipo	Lateral					
Forma	Retangular					
Altura (m)	0,6	0,15	0,45	0,4	0,5	0,25
Largura (m)	1	0,15	1,25	1	1	1
Distância da profundidade da base (m)	0,2	0	0,3	0	0,3	0
Coeficiente de descarga	0,65	0,65	1,88	0,65	0,65	0,65

*BD: Bacia de Detenção

Fonte: Autor (2022).

As alturas das bacias de detenção 2 e 3 precisaram de alteração em relação ao dimensionamento feito pela curva envelope por causa da baixa diferença de cota entre o nó de entrada da bacia e a cota de fundo desses reservatórios. A Tabela 10 apresenta uma comparação entre os volumes dimensionados a partir do método da curva envelope e o volume de armazenamento usado na simulação.

Tabela 10 - Comparação do volume dimensionado pela curva envelope e o volume utilizado na simulação para as bacias de detenção.

	*BD 1	*BD 2	*BD 3
Profundidade máxima de armazenamento (m)	1,5	1,974	1,85

Volume da curva envelope (m ³)	2.445,93	25.807,55	7.722,20
Volume simulado (m ³)	2.034,00	17.594,00	7.834,8

*BD: Bacia de Detenção

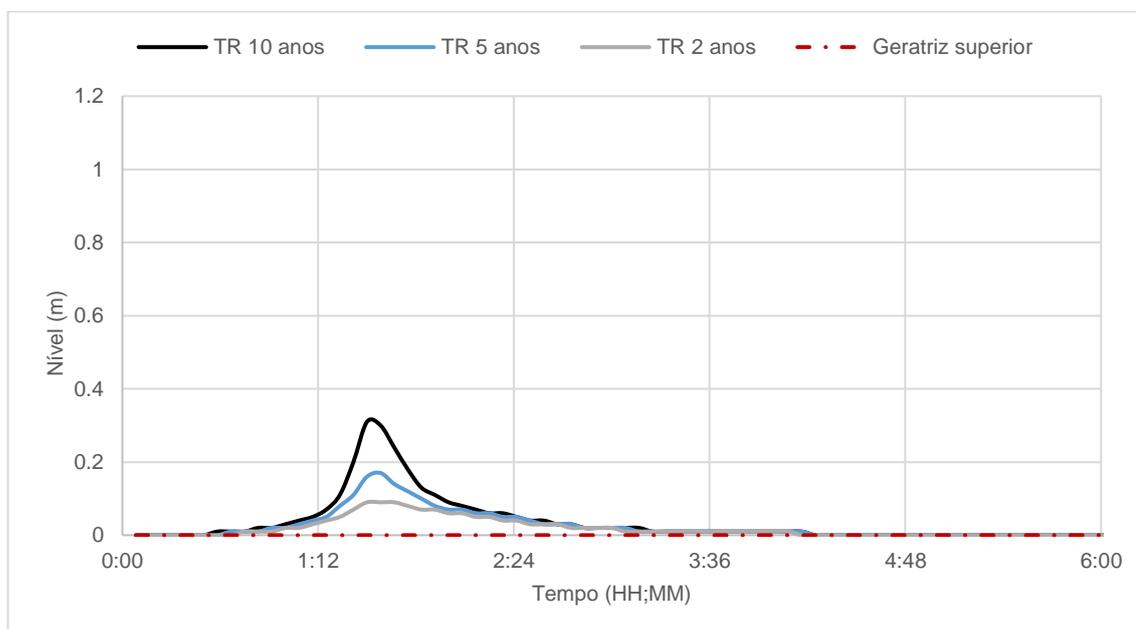
Fonte: Autor (2022).

É válido destacar que, o cenário III foi simulado a partir da suposição de que todo o volume escoado pela sub-bacia 52 - que é a bacia de contribuição da bacia de detenção 3 - fosse direcionado diretamente ao reservatório.

5.3.2 Efeitos da implantação das bacias de detenção na rede de drenagem

A Figura 34 mostra os resultados dos níveis d'água no trecho crítico para as chuvas com tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos após a instalação das 3 bacias de detenção. Pode-se observar que a implementação dos reservatórios não foi suficiente para conter totalmente os alagamentos do trecho. No momento mais crítico da chuva de projeto de 10 anos, é possível identificar um alagamento de 29 cm de profundidade.

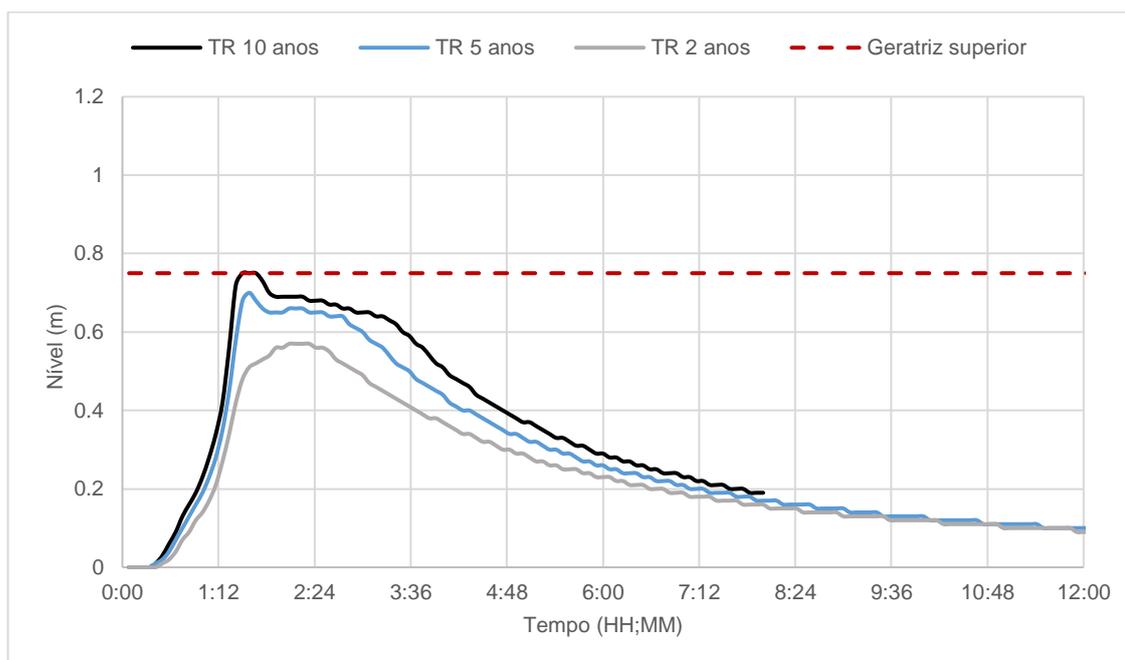
Figura 34 - Nível d'água simulado para o canal retangular do que representa a Avenida Maceió após a implantação das Bacias de Detenção para as diferentes chuvas de projeto.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 35 apresenta o nível d'água simulado nos condutos do trecho crítico para as 3 chuvas de projeto. É possível observar que os condutos são completamente preenchidos por água cerca de 2 horas após o início da chuva de projeto mais intensa. Esse é o momento que o trecho sobre os condutos (Figura 34) recebe o aporte do volume precipitado.

Figura 35 - Nível d'água simulado para o conduto do trecho crítico após a implantação das Bacias de Detenção para as diferentes chuvas de projeto.

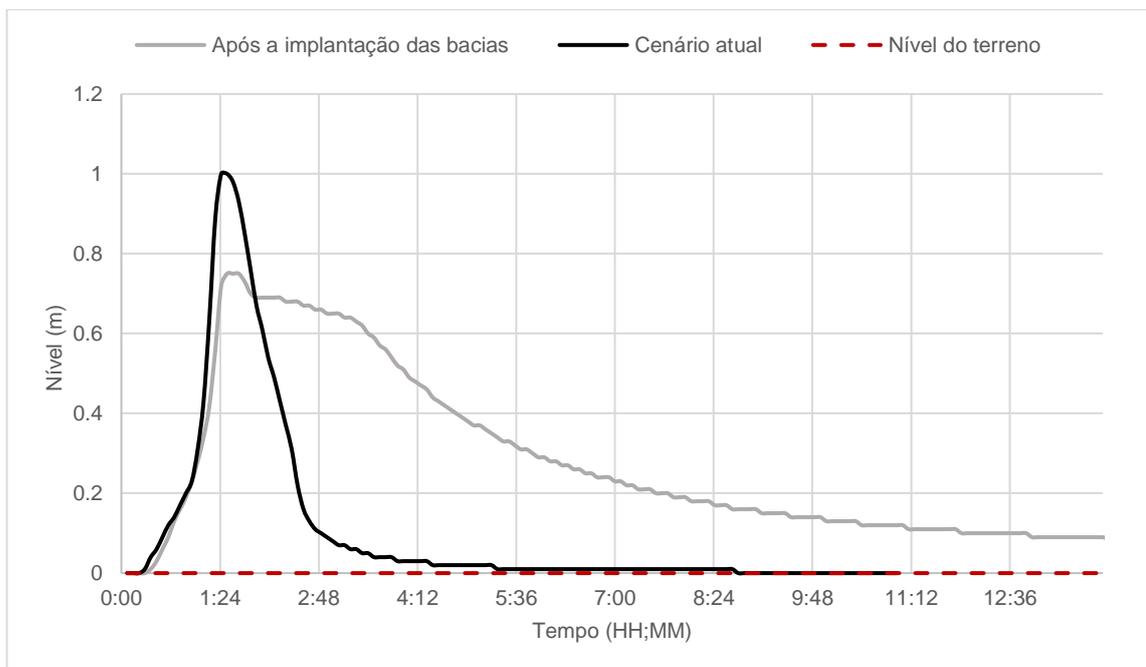


Fonte: Autor (2022).

A Figura 36 apresenta a comparação entre os níveis d'água simulados no trecho crítico a partir de uma chuva de projeto de 10 anos para o cenário atual e após a instalação das bacias de retenção. Contudo, ressalta-se que, os resultados do nível d'água do cenário atual para valores muito altos (acima de 50 cm) não representam bem a realidade, haja vista que as dimensões dos canais usados para representar as ruas são generalizadas (7 metros de largura X 1 metro de altura X comprimento do trecho).

Entretanto, os resultados apresentados na Figura 36 indicam uma diminuição bastante significativa na dimensão dos alagamentos na região. Por isso, é possível afirmar que a implantação das três bacias de retenção foi capaz de mitigar os problemas de alagamento no trecho crítico.

Figura 36 - Comparação entre os níveis d'água no trecho crítico simulado antes e após a implantação das Bacias de Detenção.



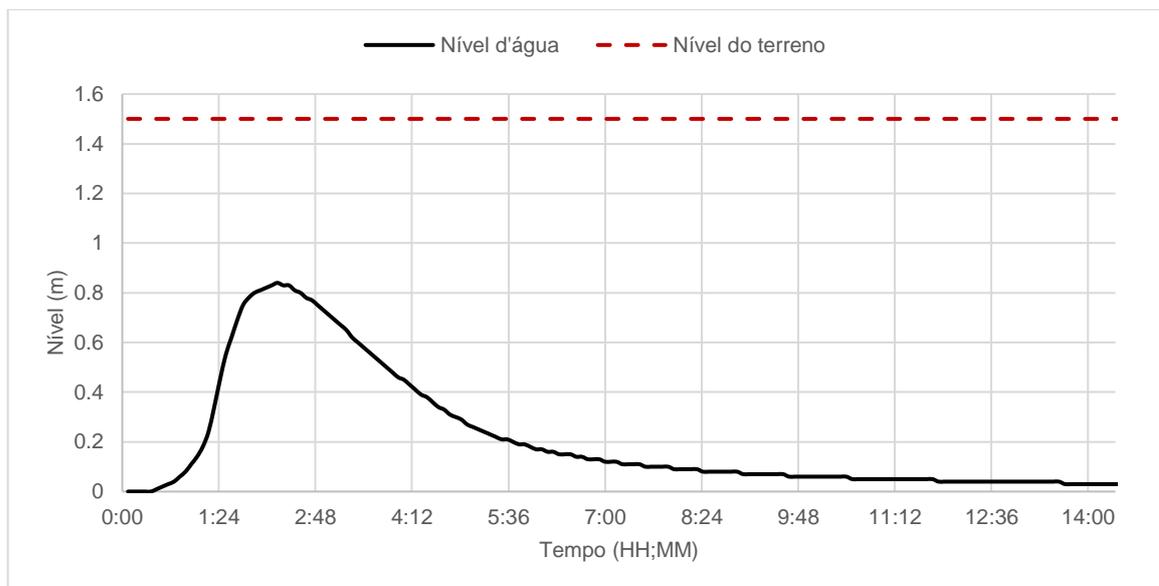
Fonte: Autor (2022).

5.3.3 Resposta do modelo à implantação das bacias de retenção

Apesar da diminuição de volume de armazenamento - provocada pela diminuição da altura dos reservatórios 1 e 2 - em comparação ao volume calculado pelo método da curva envelope, os reservatórios funcionaram bem e conseguiram amortecer o nível d'água no trecho crítico para as chuvas de projeto analisadas. Em síntese, o funcionamento dos reservatórios superou as 14 horas simuladas.

A Figura 37 apresenta o nível d'água simulado na chuva de projeto de 10 anos para a bacia de retenção 1. O máximo volume armazenado durante a simulação foi de 1.134 m³; o valor corresponde a 56% da capacidade máxima de armazenamento.

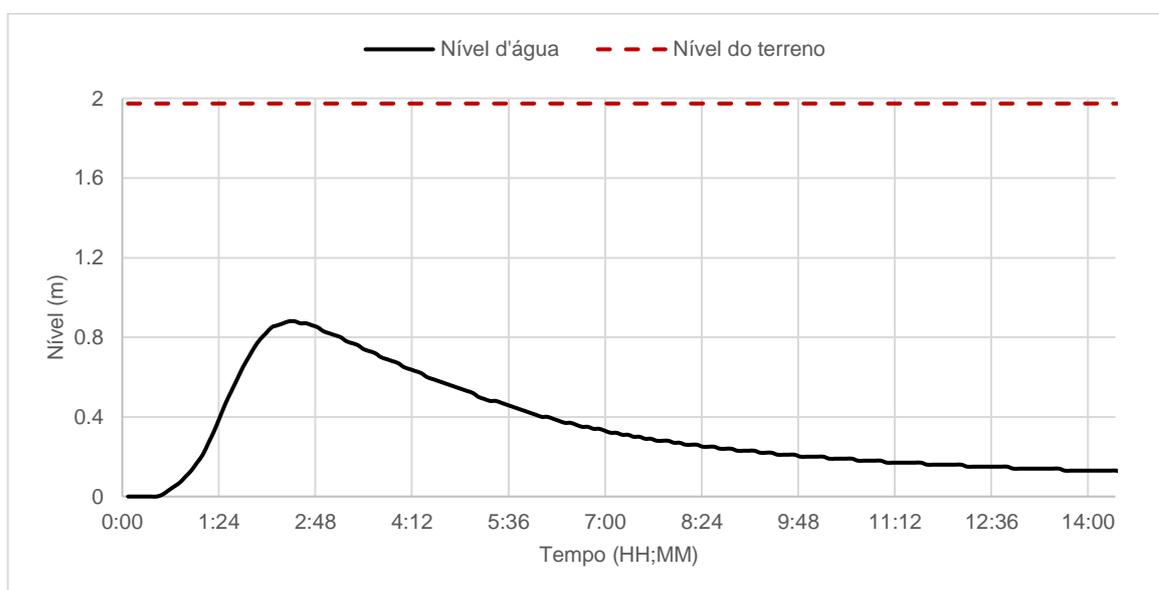
Figura 37 - Nível d'água simulado na bacia de retenção 1 durante a chuva de projeto de 10 anos.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 38 mostra o nível d'água simulado na chuva de projeto de 10 anos para a bacia de retenção 2. O máximo volume armazenado durante a simulação foi de 7.840 m³; o valor corresponde a 45% da capacidade máxima de armazenamento.

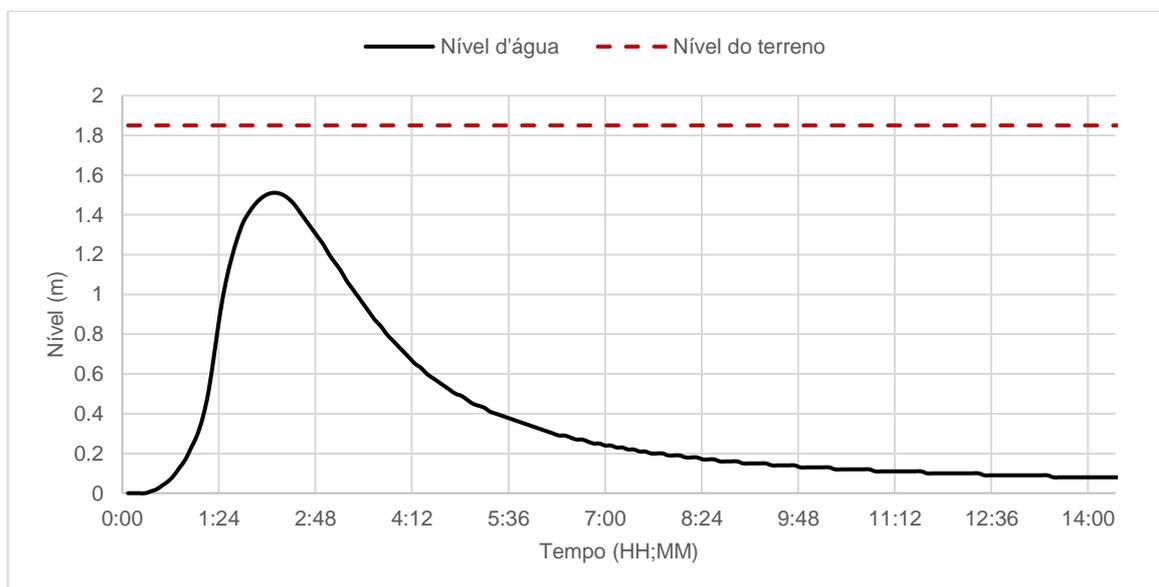
Figura 38 - Nível d'água simulado na Bacia de Retenção 2 durante a chuva de projeto de 10 anos.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 39 apresenta o nível d'água simulado na chuva de projeto de 10 anos para a bacia de detenção 3. O máximo volume armazenado durante a simulação foi de 6.408 m³; o valor corresponde a 82% da capacidade máxima de armazenamento do dispositivo.

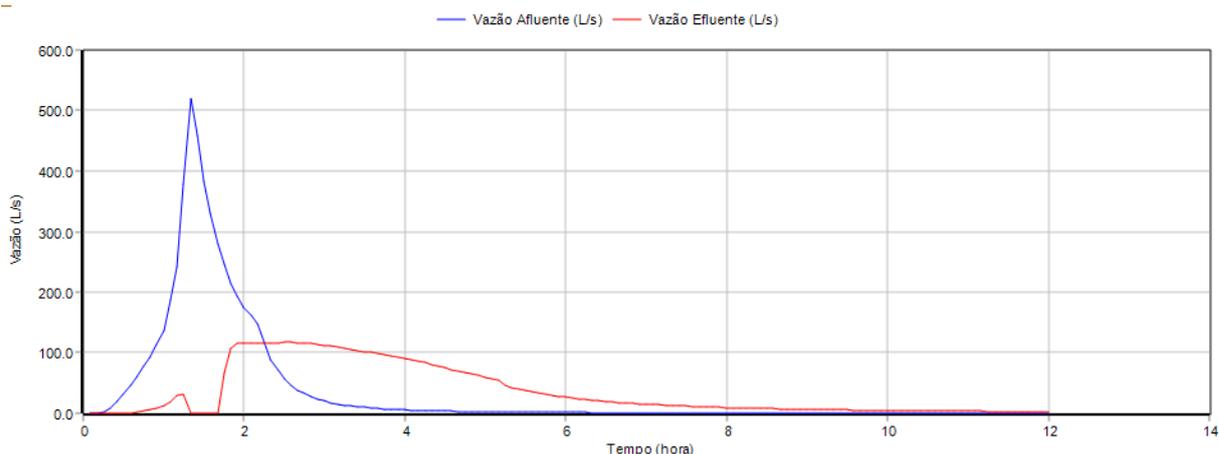
Figura 39 - Nível d'água simulado na Bacia de Detenção 3 durante a chuva de projeto de 10 anos.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 40 mostra os hidrogramas de entrada e saída da bacia de detenção 1. Pode-se observar que a comporta de antirretorno da água escoada na saída da bacia foi acionada aproximadamente 1hr30 após o início da simulação. É notável que houve um amortecimento da vazão passante pela bacia.

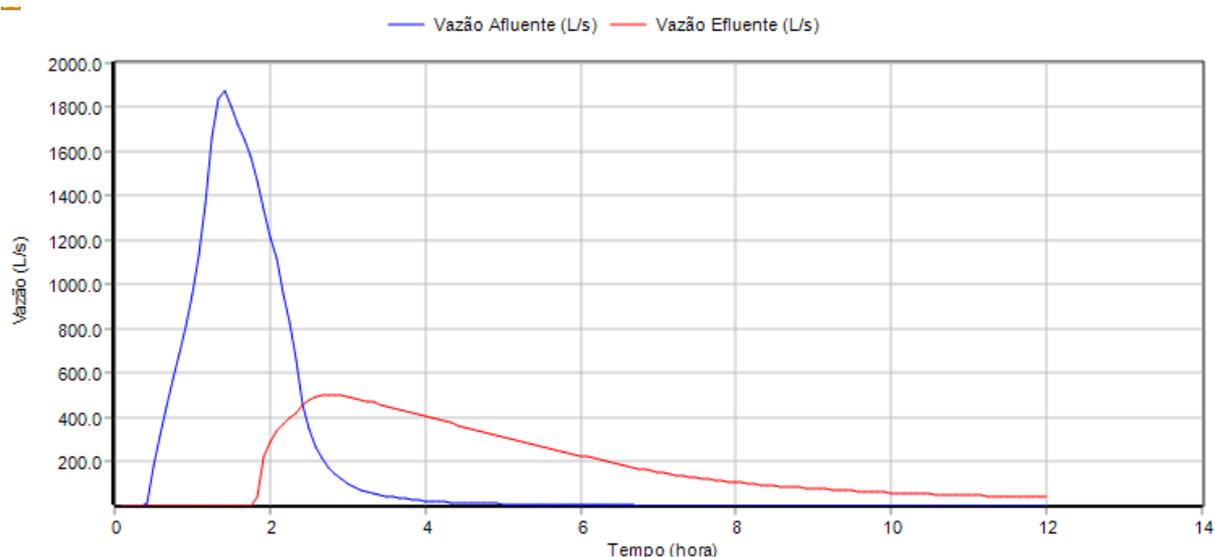
Figura 40 - Amortecimento da vazão de pico provocado pela bacia de detenção 1.



Fonte: Autor (2022).

A Figura 41 mostra os hidrogramas de entrada e saída da bacia de detenção 2. Observa-se que a bacia só começou a devolver o volume afluente, para a rede de drenagem, após cerca de 2 horas após o início da simulação. O fato pode ser explicado pela maneira como a bacia foi simulada. No início da simulação, a comporta de antirretorno impede que a água existente no conduto a jusante da bacia de detenção 2 – que está na mesma cota do fundo do reservatório – seja transportada para dentro da bacia. Contudo, apenas após 1hr55min do início da simulação, a água armazenada dentro da bacia de detenção 2 tem energia o suficiente para vencer a armazenada a jusante.

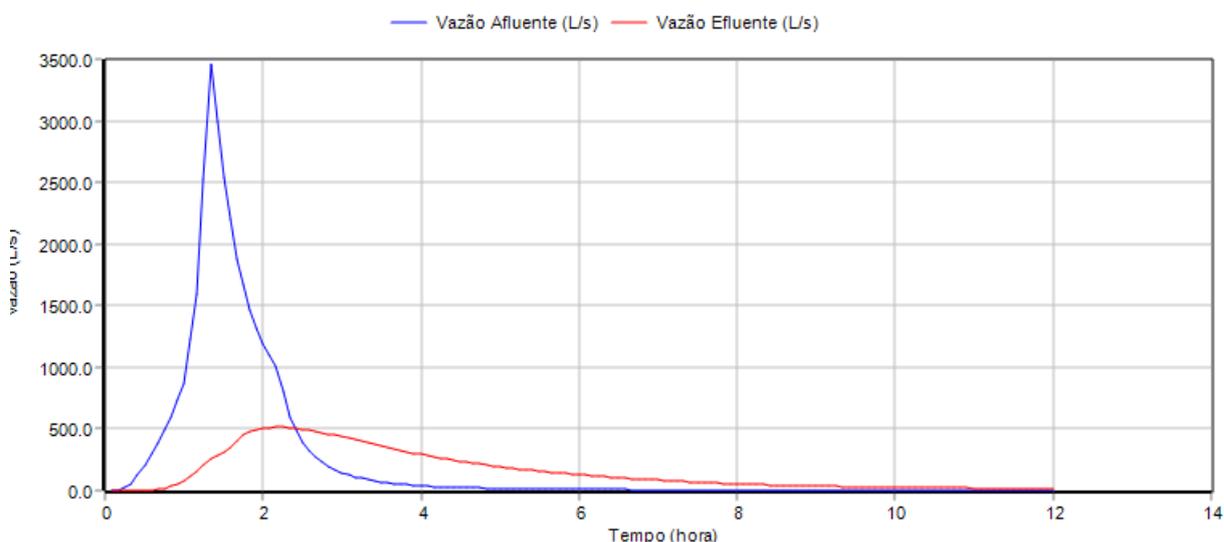
Figura 41 - Amortecimento da vazão de pico provocado pela bacia de detenção 2.



Fonte: Autor (2022).

Por fim, a Figura 42 mostra os hidrogramas de entrada e saída da bacia de retenção 3. Essa foi a bacia com a maior redução de pico de vazão, conforme mostra a Tabela 11. Observa-se que ela começou a liberar o volume armazenado antes das demais.

Figura 42 - Amortecimento da vazão de pico provocado pela bacia de retenção 3.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 11 apresenta o resultado do cálculo do amortecimento da vazão de pico para cada bacia de retenção.

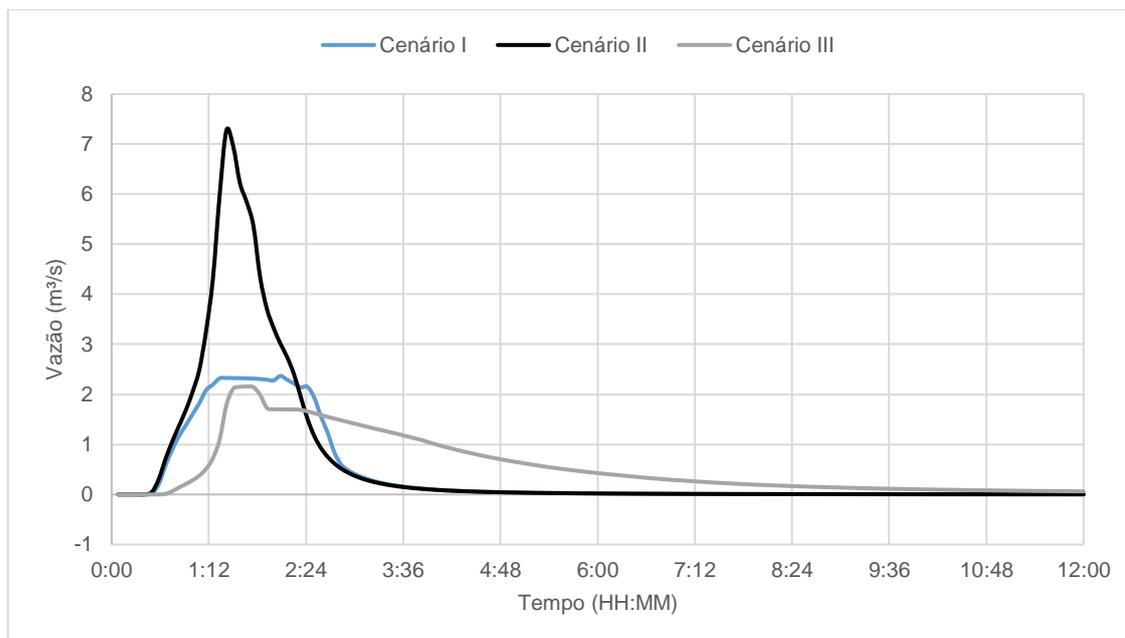
Tabela 11 - Vazão de pico amortecida por cada bacia de retenção.

Bacia		BD 1	BD 2	BD 3
vazão de pico (m ³ /s)	entrada	0,53	1,88	3,46
	saída	0,12	0,48	0,51
Q_v		0,78	0,75	0,85

Fonte: Autor (2022).

A Figura 43 mostra uma comparação gráfica da vazão no exutório da rede de drenagem simulada. Observa-se que o cenário II produziu um aumento na vazão de pico no exutório da rede em 207%, quando comparado ao cenário sem intervenções, enquanto o cenário III diminuiu a vazão de pico do exutório em 9%.

Figura 43 - Impacto da implementação do redimensionamento da rede de drenagem e da instalação dos reservatórios no exutório da rede de drenagem simulada.



Fonte: Autor (2022).

A Tabela 12 apresenta o volume específico das bacias de retenção em função do volume máximo armazenado durante a simulação

Tabela 12 - Volume específico (m^3/ha) da bacia de retenção para uma chuva de projeto de 10 anos de tempo de retorno.

	BD 1	BD 2	BD 3
Volume (m^3)	1.134,0	7.840,0	6.408,0
Área (ha)	2,4	16,3	20,5
C ($m^3/há$)	469,8	480,6	312,4

Fonte: Autor (2022).

Depreende-se da Tabela 12 que a bacia de retenção 3 teve o menor e mais destoante volume específico entre as três.

5.4 Cenário IV - Implantação das bacias de retenção em conjunto com redimensionamento da rede de drenagem

Por fim, a rede de drenagem simulada no cenário III, com as bacias de retenção instaladas, foi utilizado como base para identificar as ações necessárias para solucionar completamente, ou pelo menos até um estado semelhante ao resultado do cenário II, os problemas de alagamento da região da Feirinha do Tabuleiro.

A Tabela 13 apresenta as alterações realizadas nos condutos a fim de acabar com os alagamentos da região. Analogamente, a Tabela 14 mostra as dimensões dos orifícios para resolver o problema.

Tabela 13 - Alterações nos condutos para que os alagamentos acabassem.

Rua		Avenida Maceió			
Conduto		1	63	72	76
Diâmetro (m)	Cenário I	0,75	0,75	0,75	0,75
	Cenário IV	1,15	1,5	1	1,5

Fonte: Autor (2022).

Tabela 14 - Alterações nos orifícios para que os alagamentos acabassem.

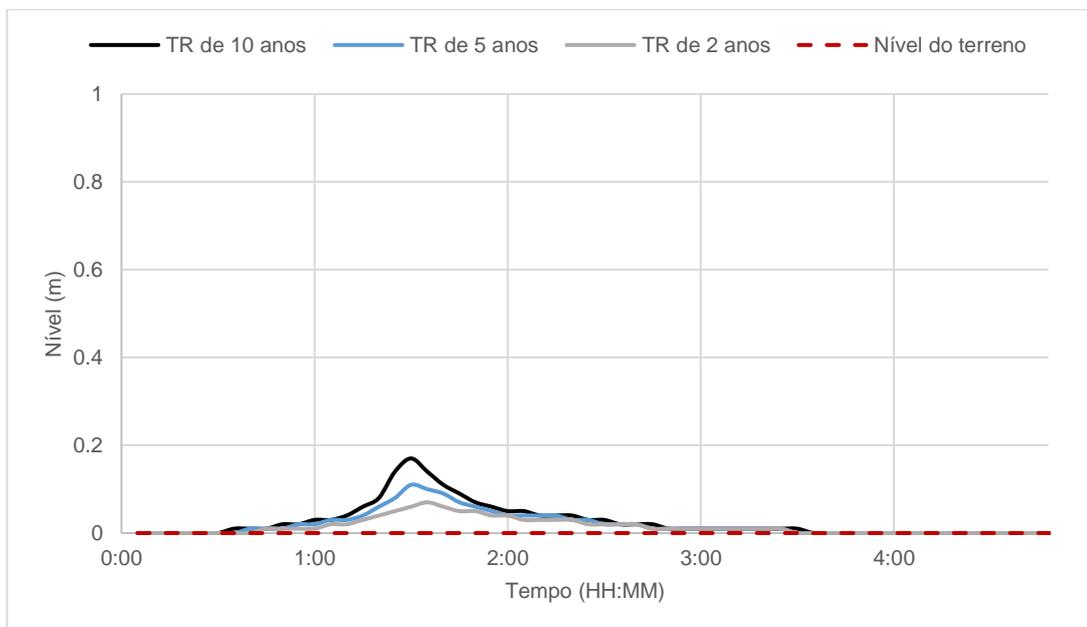
Orifício		16	15	64
Trecho entre os nós		5-32	6-31	71 - 72
Dimensões (m)	Cenário I	0,4x0,8	0,4x1	0,4x1
	Cenário IV	1x3	1x3	1x3

Fonte: Autor (2022).

Nesse cenário, houve necessidade de menos mudanças nas dimensões trechos e orifícios quando comparado ao cenário II. Além disso, as dimensões finais das estruturas foram consideravelmente menores quando comparados com o cenário II.

A Figura 44 apresenta o nível d'água simulado para o trecho crítico na situação em que houve a implantação das três bacias de retenção além do redimensionamento da rede de drenagem. Observa-se a mitigação do alagamento do trecho crítico foi a maior observada em todos os cenários simulados.

Figura 44 - Nível d'água para o cenário com implantação das bacias de retenção em conjunto com redimensionamento de componentes da rede de drenagem.



Fonte: Autor (2022).

6 CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi avaliar a aplicação de medidas de controle de escoamento superficial na região da feira livre do Tabuleiro do Martins. O foco do estudo foi comparar os efeitos do redimensionamento da rede de drenagem e a implantação de bacias de retenção para mitigar os alagamentos no trecho crítico da região.

A falta de dados de cota e vazão nos condutos para a calibração do modelo foi um fator limitante durante o curso deste trabalho, porém os resultados foram satisfatórios, haja vista a comparação com os registros fotográficos com data e hora bem definida do trecho crítico.

O maior desafio para a gestão das águas pluviais na região de estudo é o gargalo formado pela disposição dos condutos componentes da rede de drenagem atual.

Os resultados obtidos do cenário II se basearam em condições ideais de operação da rede de drenagem da região, por isso, a obstrução das bocas de lobo e galerias subterrâneas por causa do lixo não foram levadas em consideração. Entretanto o trecho crítico do estudo está localizado próximo ao local onde ocorre o comércio dos alimentos e, comumente, descarte irregular dos resíduos orgânicos. Por isso, mesmo que as dimensões dos componentes de drenagem, simuladas para o cenário II, fossem postas em prática, não é seguro afirmar que os alagamentos cessassem por causa dos hábitos de alguns indivíduos da população local. Portanto, é imprescindível que uma campanha de educação ambiental e conscientização do descarte correto dos restos de frutas e verduras preceda as obras de engenharia no local.

A classificação do uso e cobertura do solo de forma semiautomática se mostrou uma ferramenta bastante útil. Os resultados dela obtidos explicitaram um grande percentual de impermeabilização da bacia de estudo. Além disso, o grande volume de resíduos produzido pela Feirinha do Tabuleiro faz com que haja a redução da capacidade de transporte dos condutos, que aumenta a severidade dos alagamentos.

O método da curva envelope se mostrou uma ferramenta satisfatória para o pré-dimensionamento das bacias de retenção. Entretanto, observou-se que os resultados gerados pelo método superdimensionam os reservatórios, pois, apesar de não ter sido possível a implementação do volume de armazenamento sugerido pelo

método, ainda assim, houve uma folga na capacidade de armazenamento em 44% e 55%, para as bacias de retenção 1 e 2, respectivamente. A bacia de retenção 3 teve sua capacidade máxima alcançada em 82%, indicando um bom pré-dimensionamento.

De acordo com os volumes específicos calculados para as três bacias de retenção, é possível afirmar que a bacia de retenção 2 é a mais importante para a mitigação dos alagamentos na região. A bacia de retenção 3, apesar de ter um volume específico menor que a bacia de retenção 1, deveria ser tratada como prioridade dois para a implantação, devido ao grande volume armazenado por ela durante a chuva de projeto de 10 anos, além de possuir o maior amortecimento da vazão de pico dentre as bacias de retenção simuladas.

Em síntese, o redimensionamento da rede de drenagem atual da forma tradicional levou o problema da bacia de drenagem da Feirinha do Tabuleiro a jusante pois a solução acarretou o aumento, em mais de 3 vezes, da vazão de pico no exultório da bacia de drenagem contribuinte. Em contrapartida, a implementação das bacias de retenção conseguiu mitigar os alagamentos sem levar os problemas a jusante. O cenário que obteve os melhores resultados foi aquele que implementou as ações de redimensionamento de componentes da rede de drenagem da região com a implantação das três bacias de retenção.

REFERÊNCIAS

Alagoas 24 Horas (2021). **Chuva e alagamentos: morador do Tabuleiro usa caiaque para se deslocar nas ruas**. In: Portal de Notícias Online 'Alagoas 24 horas'. Maceió, Alagoas, 28 de mar de 2021. Disponível em: <<https://www.alagoas24horas.com.br/1349777/chuva-e-alagamentos-morador-do-tabuleiro-usa-caiaque-para-se-deslocar-nas-ruas/>> Acesso em: 01 de fev de 2022.

ASCE (American Society of Civil Engineers). **Gravity Sanitary Sewer Design and Construction**. ASCE Manual of Practice, nº 60, New York-NY, 1982.

ALMEIDA, Antônio José Pereira; FERREIRA NETO, José Vicente. **Mapeamento de áreas impermeáveis para caracterização da urbanização da bacia endorreica do Tabuleiro do Martins, Maceió/al**. Revista Contexto Geográfico, [S.L.], v. 2, n. 3, p. 100, 25 set. 2018. Universidade Federal de Alagoas.
<http://dx.doi.org/10.28998/contegeo.v2i3.6138>.

ALMEIDA, Eveline Maria de Athayde. **A configuração urbana e sua relação com os microclimas**: estudo de frações urbanas na cidade de maceó. 2006. 115 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas do Espaço Habitado, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2006.

BARROS, Altair Maciel de. **Estudo de medidas descentralizadas para o controle do escoamento urbano: aplicação à bacia hidrográfica do riacho do sapo - Maceió/AL**. 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

BASTOS, G. A. P. **Análise dos parâmetros do modelo SWMM para avaliação do escoamento em duas bacias periurbanas em Santa Maria-RS**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2007.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na Avaliação de Diferentes Níveis de Detalhamento da Bacia Hidrográfica Submetida ao**

Processo de Transformação Chuva-Vazão. 146 p. 2009. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos. 2009.

DENARDIN, J.; FREITAS, P. L. **Características fundamentais da chuva no Brasil.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 17, n. 10, p. 1409 -1416, 1982.

GAROTTI, Leonardo Monteiro; BARBASSA, Ademir Paceli. **Estimativa de área impermeabilizada diretamente conectada e sua utilização como coeficiente de escoamento superficial.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 19-28, mar. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522010000100003>.

GONÇALVES, Luciana Márcia; BAPTISTA, Luana F.Da Silva; RIBEIRO, Rochele Amorim. **O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos da urbanização.** In: FÓRUM AMBIENTAL DA ALTA PAULISTA, 1., 2016, Tupã. Anais [...] . Tupã: Faap, 2016. v. 12, p. 1241-1256.

GOOGLE EARTH. Google Earth website. <http://earth.google.com/>, 2022

NAKAZONE, Lucia Midori. **Implantação de reservatórios de retenção em conjuntos habitacionais: a experiência da CDHU.** 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. doi:10.11606/D.3.2006.tde-13042006-210759. Acesso em: 2021-12-12.

MACEIÓ. **Plano de Saneamento Básico do Município de Maceió.** Fase II, etapa 2, produto 2.7: Situação do Sistema de Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas. Revisão 2: Junho, 2016c. Disponível em: <http://www.sedet.maceio.al.gov.br/servicos/pmsb/pdf/pmsb/fase2/etapa6/relatorio_fin_al.pdf> Acesso em: 01 de fev de 2022.

MALAFAIA, Lucas. **VÍDEO: homem anda de caiaque pela Feirinha do Tabuleiro.** In: Portal de Notícias Online 'Portal lacta'. Maceió, Alagoas, 28 de mar de 2021. Disponível em: <<https://www.portalacta.com/noticia/3184/homem-anda-de-caiaque-pela-feirinha-do-tabuleiro>-<https://www.alagoas24horas.com.br/1349777/chuva-e>

[alagamentos-morador-do-tabuleiro-usa-caiaque-para-se-deslocar-nas-ruas/](#)> Acesso em: 01 de fev de 2022.

PFAFSTETTER, O. **Chuvas intensas no Brasil: relação entre a precipitação, duração e frequência de chuvas registradas com pluviógrafos em 98 postos meteorológicos**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Obras de Saneamento, 1982.

RIBEIRO, Cristiano Cavalcanti Barros. Aplicabilidade Do Modelo Swmm No Planejamento Da Drenagem De Bacias Urbanas Brasileiras. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, [S.L.], v. 07, n. 12, p. 100-112, 4 jan. 2019. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo Do Conhecimento. <http://dx.doi.org/10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-civil/bacias-urbanas-brasileiras>.

RIGHETTO, Antônio Marozzi. **Manejo de águas pluviais urbanas**. 5. ed. Rio de Janeiro: J. Sholna, 2009. 396 p.

RODRÍGUEZ, Carlos Andrés Martínez e Teixeira, Bernardo Arantes do Nascimento. **Avaliação de bacias de retenção de águas pluviais implantadas no município de São Carlos (SP), Brasil**. Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2021, v. 26, n. 1 <https://doi.org/10.1590/s1413-415220190034>.

ROSSMAN, L. A. **Storm Water Management Model, version 5.0: User's manual**. U. S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2010.

SANTOS, Clécio do Nascimento. **Padrões de ocupações intralote na bacia endorreica do Tabuleiro Norte de Maceió/AL**: estudo de caso do conjunto salvador Iyra. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo: Dinâmicas de Espaços Habitados, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

STARZEC, Mariusz; DZIOPAK, Józef; SŁYŚ, Daniel. **An Analysis of Stormwater Management Variants in Urban Catchments**. Resources, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 19, 20 fev. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/resources9020019>.

SHINMA, Taís Arriero. **Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão**. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

SILVA, Gustavo Barros de Lima. **Avaliação experimental sobre a eficiência de superfícies permeáveis com vistas ao controle do escoamento superficial em áreas urbanas**. 2006. 180 f. Tese (Doutorado) - Curso de Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

SILVA, Marcelo Kipper da. **Modelo para pré-dimensionamento de bacias de retenção para controle da poluição difusa das águas pluviais no município de Porto Alegre**. 2009. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da; GOLDENFUM, Joel Avruch. **Metodologia Generalizada para Pré-Dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 157-168, 02 abr. 2007. Disponível em :<
<https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/09/Silveira-e-Goldengum-2007-RBRH-v.12-n.2-2007.pdf>>

SOUZA, C. S.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas**. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos, p. 9-18, Abr/Jun, 2012.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de; MORAES, Luiz Roberto Santos; BORJA, Patrícia Campos. **Déficit na drenagem urbana: buscando o entendimento e contribuindo para a definição**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [S.L.], v. 1, n. 2, p. 162, 13 nov. 2013. Revista GESTA.
<http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v1i2.7213>.

SOUZA, Vladimir Caramori Borges de. **GESTÃO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL: desafios para a sustentabilidade**. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 58, 27 mar. 2013. Revista GESTA.
<http://dx.doi.org/10.17565/gesta.v1i1.7105>.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**. In: Carlos E. M. Tucci; Rubem La Laina Porto; Mário T. de Barros. (Org.). Drenagem Urbana. 1ed. Porto Alegre: Editora da Universidade (UFRGS) - ABRH Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1, 1995. p. 15-36.

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

TUCCI, C. E. M. (Org) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2. Ed. Porto Alegre: Coleção ABRH de recursos hídricos, v.4, Editora da Universidade, 1997.

SOUZA, Jorge Luiz Moretti de; FEZER, Kharyn Freitas; GURSKI, Bruno César; JERSZURKI, Daniela; PACHECHENIK, Paulo Eugenio; EVANGELISTA, Dão Wagner Pego. **Atributos físicos e balanço hídrico do solo com floresta ombrófila mista, em latossolo vermelho-amarelo, em telêmaco borba - pr**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 1, n. 28, p. 90-101, 5 out. 2016.

ZANANDREA, Franciele e SILVEIRA, André Luiz Lopes da. **Uso de técnicas de *low impact development* no controle de impactos hidrológicos**. Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. 2019, v. 24, n. 6 [Acessado 8 Dezembro 2021], pp. 1195-1208. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522019188729>>. Epub 20 Dez 2019. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019188729>.

APENDICE A – Soluções adotadas nas opções do SWMM para a simulação do cenário I

Data Category	Option	Value
[TITLE]	FLOW_UNITS	LPS
[OPTIONS]	INFILTRATION	CURVE_NUMBER
[EVAPORATION]	FLOW_ROUTING	DYNWAVE
[RAINGAGES]	LINK_OFFSETS	DEPTH
[SUBCATCHMENTS]	MIN_SLOPE	0
[SUBAREAS]	ALLOW_PONDING	YES
[INFILTRATION]	SKIP_STEADY_STATE	NO
[JUNCTIONS]	START_DATE	01/10/2021
[OUTFALLS]	START_TIME	00:00:00
[CONDUITS]	REPORT_START_DATE	01/10/2021
[ORIFICES]	REPORT_START_TIME	00:00:00
[XSECTIONS]	END_DATE	01/10/2021
[CURVES]	END_TIME	12:00:00
[TIMESERIES]	SWEEP_START	01/01
[REPORT]	SWEEP_END	12/31
	DRY_DAYS	0
	REPORT_STEP	00:05:00
	WET_STEP	00:05:00
	DRY_STEP	04:00:00
	ROUTING_STEP	0:00:10
	RULE_STEP	00:00:00
	INERTIAL_DAMPING	PARTIAL
	NORMAL_FLOW_LIMITED	BOTH
	FORCE_MAIN_EQUATION	H-W
	VARIABLE_STEP	0.75
	LENGTHENING_STEP	0
	MIN_SURFAREA	1.167

Fonte: Autor (2022).

APENDICE B – Valores físicos das sub-bacias adotados no SWMM para a simulação do cenário I

Project Data		Name	Rain Gage	Outlet	Area	\$Imperv	Width	\$Slope	CurbLen	SnowPack
[TITLE]	8	1	61	2.804487218	92.84336362	131.6660666	1.592	0		
[OPTIONS]	9	1	60	1.472139103	93.35948603	82.70444399	1.107	0		
[EVAPORATION]	10	1	58	2.789225793	85.12859518	113.3425115	1.528	0		
[RAINGAGES]	11	1	74	2.413938318	84.55240368	65.77488604	1.267	0		
[SUBCATCHMENTS]	12	1	59	0.743296324	91.17608847	41.29424023	1.678	0		
[SUBAREAS]	13	1	57	0.177126531	79.91459866	28.11532239	0.570	0		
[INFILTRATION]	26	1	54	0.396984745	47.65861998	44.10941612	0.570	0		
[JUNCTIONS]	27	1	7	0.288411403	85.26377604	36.97582088	1.267	0		
[OUTFALLS]	28	1	6	0.305970832	81.41967671	31.95575584	1.052	0		
[CONDUITS]	36	1	68	1.193927153	86.88793169	60.29935118	1.589	0		
[ORIFICES]	37	1	69	0.446409112	79.55790122	31.88636515	1.554	0		
[XSECTIONS]	38	1	70	1.196024295	84.31611933	49.01738914	1.118	0		
[CURVES]	39	1	66	0.304106703	90.02389364	34.16929247	2.108	0		
[TIMESERIES]	40	1	64	0.950103962	88.73980415	57.23517841	2.195	0		
[REPORT]	41	1	63	0.989686048	93.53106981	56.49634559	1.988	0		
	42	1	62	3.672853279	92.52127327	151.1462255	1.714	0		
	43	1	57	0.490205576	87.79563582	24.38833713	1.152	0		
	44	1	67	0.374041341	85.85602188	47.95401805	1.314	0		
	45	1	56	0.321542602	88.6199478	49.46809262	0.804	0		
	46	1	55	0.481735276	96.1764392	60.97914881	0.868	0		
	47	1	55	0.911374544	94.93651539	62.85341684	1.461	0		
	48	1	54	0.194942021	87.22631413	30.45969085	0.121	0		
	49	1	7	0.13309225	47.80862096	22.55800844	0.556	0		
	50	1	6	0.181447895	86.78540195	24.51998579	1.919	0		
	51	1	32	0.350576729	79.64017982	23.68761685	1.478	0		
	52	1	71	16.313951	81.46278535	350	1.639	0		
	53	1	5	0.460883191	65.13344185	36.97065528	1.000	0		

Fonte: Autor (2022).

APENDICE C – Valores hidrológicos das sub-bacias inseridos no SWMM para a simulação do cenário I

Project Data		Subcatchment	N-Imperv	N-Perv	S-Imperv	S-Perv	PctZero	RouteTo	PctRouted
[TITLE]	8	0.03	0.1	0.612842074	9	25	OUTLET		
[OPTIONS]	9	0.03	0.1	0.732136917	9	25	OUTLET		
[EVAPORATION]	10	0.03	0.1	0.625247154	9	25	OUTLET		
[RAINGAGES]	11	0.03	0.1	0.527311889	9	25	OUTLET		
[SUBCATCHMENTS]	12	0.03	0.1	0.597227367	9	25	OUTLET		
[SUBAREAS]	13	0.03	0.1	1.013819802	9	25	OUTLET		
[INFILTRATION]	26	0.03	0.1	1.013819802	9	25	OUTLET		
[JUNCTIONS]	27	0.03	0.1	0.685417906	9	25	OUTLET		
[OUTFALLS]	28	0.03	0.1	0.750726865	9	25	OUTLET		
[CONDUITS]	36	0.03	0.1	0.613320864	9	25	OUTLET		
[ORIFICES]	37	0.03	0.1	0.620200409	9	25	OUTLET		
[XSECTIONS]	38	0.03	0.1	0.72876427	9	25	OUTLET		
[CURVES]	39	0.03	0.1	0.534029207	9	25	OUTLET		
[TIMESERIES]	40	0.03	0.1	0.523613172	9	25	OUTLET		
[REPORT]	41	0.03	0.1	0.549551277	9	25	OUTLET		
	42	0.03	0.1	0.591104397	9	25	OUTLET		
	43	0.03	0.1	0.718024507	9	25	OUTLET		
	44	0.03	0.1	0.673164269	9	25	OUTLET		
	45	0.03	0.1	0.85637731	9	25	OUTLET		
	46	0.03	0.1	0.824933779	9	25	OUTLET		
	47	0.03	0.1	0.63918844	9	25	OUTLET		
	48	0.03	0.1	2.167116093	9	25	OUTLET		
	49	0.03	0.1	1.026273692	9	25	OUTLET		
	50	0.03	0.1	0.559222711	9	25	OUTLET		
	51	0.03	0.1	0.635426094	9	25	OUTLET		
	52	0.03	0.1	0.604140181	9	25	OUTLET		
	53	0.03	0.1	0.769802966	9	25	OUTLET		

Fonte: Autor (2022).

APENDICE D – Valores de infiltração das sub-bacias inseridos no SWMM para a simulação do cenário I

Project Data						
Data Category	Subcatchment	Param1	Param2	Param3	Param4	Param5
[TITLE]	8	97.0243554	0.5	7		
[OPTIONS]	9	96.38956284	0.5	7		
[EVAPORATION]	10	90.64235108	0.5	7		
[RAINGAGES]	11	90.72274807	0.5	7		
[SUBCATCHMENTS]	12	94.63307943	0.5	7		
[SUBAREAS]	13	89.20473614	0.5	7		
[INFILTRATION]	26	90.68458478	0.5	7		
[JUNCTIONS]	27	92.93962303	0.5	7		
[OUTFALLS]	28	89.73033132	0.5	7		
[CONDUITS]	36	94.01288024	0.5	7		
[ORIFICES]	37	86.91334993	0.5	7		
[XSECTIONS]	38	94.75199918	0.5	7		
[CURVES]	39	94.86854364	0.5	7		
[TIMESERIES]	40	94.23562878	0.5	7		
[REPORT]	41	97.31746701	0.5	7		
	42	95.81566845	0.5	7		
	43	83.19362166	0.5	7		
	44	93.72159726	0.5	7		
	45	95.09672372	0.5	7		
	46	97.05647147	0.5	7		
	47	97.21073992	0.5	7		
	48	96.20002331	0.5	7		
	49	95.39595233	0.5	7		
	50	80.75116059	0.5	7		
	51	86.67066634	0.5	7		
	52	92.11568369	0.5	7		
	53	90.32663336	0.5	7		

Fonte: Autor (2022).

APENDICE E – Dimensões dos nós inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 1

Project Data						
Data Category	Name	Elevation	MaxDepth	InitDepth	SurDepth	Aponded
[TITLE]	1	85.924	2.32	0	0	0
[OPTIONS]	14	85.644	1.99	0	0	0
[EVAPORATION]	15	85.344	1.64	0	0	0
[RAINGAGES]	16	85.124	1.38	0	0	0
[SUBCATCHMENTS]	17	85.054	1.35	0	0	0
[SUBAREAS]	18	85.384	1.30	0	0	0
[INFILTRATION]	19	85.714	1.27	0	0	0
[JUNCTIONS]	20	86.084	1.43	0	0	0
[OUTFALLS]	21	85.974	1.55	0	0	0
[CONDUITS]	22	86.094	1.73	0	0	0
[ORIFICES]	23	85.504	1.30	0	0	0
[XSECTIONS]	24	85.144	1.06	0	0	0
[CURVES]	25	84.724	1.20	0	0	0
[TIMESERIES]	29	84.340	1.32	0	0	0
[REPORT]	30	84.160	1.28	0	0	0
	31	83.950	1.35	0	0	0
	32	83.770	1.48	0	0	0
	33	87.198	1.90	0	0	0
	34	86.802	1.22	0	0	0
	35	86.682	1.31	0	0	0
	2	80	5.5	0	0	0
	3	79.32	6.38	0	0	0
	62	89.101	0.3	0	0	0
	63	88.021	0.3	0	0	0
	64	87.990	0.3	0	0	0
	65	87.819	0.3	0	0	0
	66	87.570	0.3	0	0	0

Fonte: Autor (2022).

APENDICE F – Dimensões dos nós inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 2

Project Data						
Data Category	Name	Elevation	MaxDepth	InitDepth	SurDepth	Aponded
[TITLE]	62	89.101	0.3	0	0	0
[OPTIONS]	63	88.021	0.3	0	0	0
[EVAPORATION]	64	87.990	0.3	0	0	0
[RAINGAGES]	65	87.819	0.3	0	0	0
[SUBCATCHMENTS]	66	87.570	0.3	0	0	0
[SUBAREAS]	67	86.808	0.3	0	0	0
[INFILTRATION]	56	86.200	0.3	0	0	0
[JUNCTIONS]	55	85.924	0.3	0	0	0
[OUTFALLS]	54	85.660	0.3	0	0	0
[CONDUITS]	7	85.490	0.3	0	0	0
[ORIFICES]	6	85.300	0.3	0	0	0
[XSECTIONS]	5	85.250	0.3	0	0	0
[CURVES]	68	87.511	0.3	0	0	0
[TIMESERIES]	69	86.986	0.3	0	0	0
[REPORT]	70	86.685	0.3	0	0	0
	57	86.400	0.3	0	0	0
	58	86.500	0.3	0	0	0
	59	86.986	0.3	0	0	0
	60	87.631	0.3	0	0	0
	61	88.242	0.3	0	0	0
	71	85.250	0.3	0	0	0
	72	83.970	1.48	0	0	0
	74	86.30	0.3	0	0	0
	75	85.800	0.3	0	0	0
	77	84.8	1.5	0	0	0
	78	84.30	1.5	0	0	0
	80	83.870	1.48	0	0	0

Fonte: Autor (2022).

APENDICE G – Valores dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 1

Project Data	Name	From Node	To Node	Length	Roughness	InOffset	OutOffset	InitFlow	MaxFlow
[TITLE]	:Galeria								
[OPTIONS]	1	31	32	60	0.015	0	0	0	0
[EVAPORATION]	:Galeria								
[RAINGAGES]	2	30	31	70	0.015	0	0	0	0
[SUBCATCHMENTS]	3	29	30	60	0.015	0	0	0	0
[SUBAREAS]	4	25	29	60	0.015	0	0	0	0
[INFILTRATION]	5	24	25	70	0.015	0	0	0	0
[JUNCTIONS]	6	17	25	66	0.015	0	0	0	0
[OUTFALLS]	7	16	17	14	0.015	0	0	0	0
[CONDUITS]	8	18	17	66	0.015	0	0	0	0
[ORIFICES]	9	19	18	66	0.015	0	0	0	0
[XSECTIONS]	10	20	19	74	0.015	0	0	0	0
[CURVES]	11	22	21	20	0.015	0	0	0	0
[TIMESERIES]	12	21	23	78	0.015	0	0	0	0
[REPORT]	13	23	24	60	0.015	0	0	0	0
	14	35	22	98	0.015	0	0	0	0
	17	1	14	56	0.015	0	0	0	0
	18	14	15	60	0.015	0	0	0	0
	19	15	16	44	0.015	0	0	0	0
	20	33	34	66	0.015	0	0	0	0
	21	34	35	20	0.015	0	0	0	0
	22	32	2	286	0.015	0	0	0	0
	23	2	3	170	0.015	0	0	0	0
	24	3	4	152	0.015	0	0	0	0
	:Rua								
	25	6	5	60	0.03	0	0	0	0
	:Rua								

Fonte: Autor (2022).

APENDICE H – Valores dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 2

Data Category	Name	From Node	To Node	Length	Roughness	InOffset	OutOffset	InitFlow	MaxFlow
[TITLE]	;Rua								
[OPTIONS]	44	62	63	66	0.01	0	0	0	0
[EVAPORATION]	;Rua								
[RAINGAGES]	45	63	64	20	0.03	0	0	0	0
[SUBCATCHMENTS]	;Rua								
[SUBAREAS]	46	64	65	96	0.03	0	0	0	0
[INFILTRATION]	;Rua								
[JUNCTIONS]	47	65	66	20	0.03	0	0	0	0
[OUTFALLS]	;Rua								
[CONDUITS]	48	66	67	78	0.03	0	0	0	0
[ORIFICES]	;Rua								
[XSECTIONS]	49	67	56	60	0.03	0	0	0	0
[CURVES]	;Rua								
[TIMESERIES]	50	56	55	70	0.03	0	0	0	0
[REPORT]	;Rua								
	51	55	54	60	0.03	0	0	0	0
	;Rua								
	52	54	7	60	0.03	0	0	0	0
	;Rua								
	53	7	6	70	0.03	0	0	0	0
	;Rua								
	54	61	60	56	0.03	0	0	0	0
	;Rua								
	55	60	59	60	0.03	0	0	0	0
	;Rua								
	56	59	58	44	0.03	0	0	0	0
	;Rua								

Fonte: Autor (2022).

APENDICE I – Valores dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 3

Project Data									
Data Category	Name	From Node	To Node	Length	Roughness	InOffset	OutOffset	InitFlow	MaxFlow
[TITLE]	:Rua								
[OPTIONS]	53	7	6	70	0.03	0	0	0	0
[EVAPORATION]	:Rua								
[RAINGAGES]	54	61	60	56	0.03	0	0	0	0
[SUBCATCHMENTS]	:Rua								
[SUBAREAS]	55	60	59	60	0.03	0	0	0	0
[INFILTRATION]	:Rua								
[JUNCTIONS]	56	59	58	44	0.03	0	0	0	0
[OUTFALLS]	:Rua								
[CONDUITS]	57	58	57	14	0.01	0	0	0	0
[ORIFICES]	:Rua								
[XSECTIONS]	58	68	69	74	0.03	0	0	0	0
[CURVES]	:Rua								
[TIMESERIES]	59	69	70	66	0.03	0	0	0	0
[REPORT]	:Rua								
	60	70	57	66	0.3	0	0	0	0
	:Rua								
	61	57	55	66	0.01	0	0	0	0
	62	5	71	100	0.03	0	0	0	0
	63	80	72	45	0.015	0	0	0	0
	66	75	6	100	0.03	0	0	0	0
	67	74	75	60	0.03	0	0	0	0
	:Galeria								
	72	78	31	100	0.015	0	0	0	0
	:Galeria								
	73	77	78	60	0.015	0	0	0	0
	76	80	32	55	0.015	0	0	0	0

Fonte: Autor (2022).

APENDICE J – Valores dos orifícios inseridos no SWMM para a simulação do cenário I

Project Data								
Data Category	Name	From Node	To Node	Type	Offset	Coeff	Gated	CloseTime
[TITLE]	15	31	6	SIDE	0	1.8	NO	0
[OPTIONS]	16	32	5	SIDE	0	1.6	NO	0
[EVAPORATION]	64	71	72	SIDE	0	1.6	NO	0
[RAINGAGES]	68	74	77	SIDE	0	1.6	NO	0
[SUBCATCHMENTS]	70	75	78	SIDE	0	1.6	NO	0
[SUBAREAS]	35	30	7	SIDE	0	1.8	NO	0
[INFILTRATION]	34	29	54	SIDE	0	1.8	NO	0
[JUNCTIONS]	33	25	55	SIDE	0	1.8	NO	0
[OUTFALLS]	43	1	61	SIDE	0	1.8	NO	0
[CONDUITS]	42	14	60	SIDE	0	1.8	NO	0
[ORIFICES]	41	15	59	SIDE	0	1.8	NO	0
[XSECTIONS]	40	16	58	SIDE	0	1.8	NO	0
[CURVES]	39	17	57	SIDE	0	1.8	NO	0
[TIMESERIES]	37	19	69	SIDE	0	0.65	NO	0
[REPORT]	36	20	68	SIDE	0	1.8	NO	0
	26	33	62	SIDE	0	1.8	NO	0
	27	34	63	SIDE	0	1.8	NO	0
	28	35	64	SIDE	0	1.8	NO	0
	29	22	65	SIDE	0	1.8	NO	0
	30	21	66	SIDE	0	1.8	NO	0
	31	23	67	SIDE	0	1.8	NO	0
	32	24	56	SIDE	0	1.8	NO	0
	38	18	70	SIDE	0	1.8	NO	0

Fonte: Autor (2022).

APENDICE K –Forma e geometria dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 1

Data Category	Link	Shape	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels	Culvert
[TITLE]	1	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1	
[OPTIONS]	2	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1	
[EVAPORATION]	3	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1	
[RAINGAGES]	4	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1	
[SUBCATCHMENTS]	5	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[SUBAREAS]	6	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[INFILTRATION]	7	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[JUNCTIONS]	8	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[OUTFALLS]	9	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[CONDUITS]	10	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[ORIFICES]	11	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[XSECTIONS]	12	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[CURVES]	13	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[TIMESERIES]	14	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
[REPORT]	17	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
	18	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
	19	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
	20	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
	21	CIRCULAR	0.6	0	0	0	1	
	22	CIRCULAR	1	0	0	0	1	
	23	CIRCULAR	1.2	0	0	0	1	
	24	CIRCULAR	1.2	0	0	0	1	
	25	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
	44	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
	45	RECT_OPEN	1	8.26	0	0	1	
	46	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
	47	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	

Fonte: Autor (2022).

APENDICE L –Forma e geometria dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 2

Data Category	Link	Shape	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels	Culvert
[TITLE]	47	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[OPTIONS]	48	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[EVAPORATION]	49	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[RAINGAGES]	50	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[SUBCATCHMENTS]	51	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[SUBAREAS]	52	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[INFILTRATION]	53	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[JUNCTIONS]	54	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[OUTFALLS]	55	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[CONDUITS]	56	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[ORIFICES]	57	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[XSECTIONS]	58	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[CURVES]	59	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[TIMESERIES]	60	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
[REPORT]	61	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
	62	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
	63	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1	
	66	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
	67	RECT_OPEN	1	7	0	0	1	
	72	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1	
	73	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1	
	76	CIRCULAR	.75	0	0	0	1	
	15	RECT_CLOSED	.15	.8	0	0		
	16	RECT_CLOSED	.15	.8	0	0		
	64	RECT_CLOSED	.15	.8	0	0		
	68	RECT_CLOSED	.15	1	0	0		
	70	RECT_CLOSED	.15	1	0	0		

Fonte: Autor (2022).

APENDICE M –Forma e geometria dos condutos inseridos no SWMM para a simulação do cenário I, parte 3

Project Data							
Data Category	Link	Shape	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels Culvert
[TITLE]	67	RECT_OPEN	1	7	0	0	1
[OPTIONS]	72	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1
[EVAPORATION]	73	CIRCULAR	0.75	0	0	0	1
[RAINGAGES]	76	CIRCULAR	.75	0	0	0	1
[SUBCATCHMENTS]	15	RECT_CLOSED	.15	.8	0	0	
[SUBAREAS]	16	RECT_CLOSED	.15	.8	0	0	
[INFILTRATION]	64	RECT_CLOSED	.15	.8	0	0	
[JUNCTIONS]	68	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
[OUTFALLS]	70	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
[CONDUITS]	35	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
[ORIFICES]	34	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
[XSECTIONS]	33	CIRCULAR	.15	0	0	0	
[CURVES]	43	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
[TIMESERIES]	42	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
[REPORT]	41	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	40	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	39	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	37	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	36	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	26	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	27	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	28	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	29	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	30	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	31	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	32	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	
	38	RECT_CLOSED	.15	1	0	0	

Fonte: Autor (2022).