

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

COMPARAÇÃO DAS VAZÕES CALCULADAS PELO MODELO HIDROLÓGICO SWMM E HEC-HMS: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO LAGOINHA, UBERLÂNDIA-MG

Pedro Henrique Faria Brandão¹; Carlos Vinícius Bibiano²& Marina Batalini de Macedo³

Resumo: O presente estudo aborda os recorrentes alagamentos urbanos resultantes do crescimento desordenado e da alta impermeabilização do solo na bacia do Córrego Lagoinha, em Uberlândia-MG. Para isso, empregou-se o modelo hidrológico SWMM, comparando seus resultados aos obtidos com o HEC-HMS, tradicionalmente utilizado pelo DMAE local. O objetivo é avaliar a capacidade do SWMM de simular cenários que incorporam técnicas compensatórias de drenagem sustentável, confrontando-os com o desempenho do modelo convencional. Para tanto, foram simulados seis eventos pluviométricos, com tempos de retorno de 10, 25 e 100 anos e durações de chuva de 30 minutos e 2 horas. Os resultados mostram, de forma geral, que o SWMM gera vazões de pico mais elevadas em quase todas as sub-bacias analisadas, indicando maior sensibilidade a variáveis como área impermeável e largura da sub-bacia. A única exceção ocorreu na sub-bacia 2 para chuva de 2 h, possivelmente em decorrência de características locais específicas e pela baixa área impermeável. Esses valores ressaltam a necessidade de calibrações pontuais antes da comparação de cenários com infraestrutura cinza e verde e apontam tendências importantes para o planejamento sustentável da drenagem urbana.

Palavras-Chave – Modelagem hidrológica, Drenagem urbana, Escoamento superficial

INTRODUÇÃO

A problemática relacionada a alagamentos e inundações em áreas urbanas são uma realidade no Brasil há décadas, resultado do crescimento desordenado das cidades e do uso e ocupação inadequados do solo. As constantes precipitações de alta intensidade, sentidas devido às mudanças climáticas, e insuficiente área de infiltração no solo, onde o solo não consegue absorver todo o volume das águas pluviais, provocam enxentes e alagamentos, consequentemente impactos que muitas vezes podem ser irreversíveis (Lousada et al., 2021).

Diante dos desafios persistentes da drenagem urbana ao longo dos anos, surgiu uma abordagem inovadora voltada para o manejo sustentável das águas pluviais, buscando soluções mais eficientes e ambientalmente responsáveis. Esse novo modelo possui o intuito de compensar a drenagem urbana convencional, através da retenção e armazenamento temporário da água da chuva, gerando a diminuição dos escoamentos superficiais e propiciando um maior escoamento de base, para que haja uma defasagem no volume final de água pluvial que chega nos cursos d'água. Essas abordagens são conhecidas por diversas nomenclaturas, como Técnicas Compensatórias (TC), Desenvolvimento de Baixo de Impacto (*Low Impact Development* – LID, em inglês), Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (*Sustainable Urban Drainage Systems* – SUDS, em inglês), dentre outros (ROSA et al., 2019).

1) Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Av. BPS 1303, Pinheirinho, 37500-903, Itajubá-MG. Tel.: (35) 3629-1101

A área de estudo desse trabalho é a bacia hidrográfica do Córrego Lagoinha, no município de Uberlândia-MG. A área em questão enfrenta inundações frequentes, consequência do rápido crescimento urbano que intensificou a impermeabilização do solo e elevou o volume do escoamento superficial. Além disso, um trecho canalizado impede a drenagem natural das águas durante chuvas intensas, agravando o risco de alagamentos. A prefeitura realizou um estudo, no último ano, com relação ao controle impactos das enchentes, especialmente na região sul de Uberlândia (MG), realizando a análise da implementação de reservatórios de amortecimento de vazão e outras estruturas essenciais, visando controlar o escoamento da água pluvial, reduzindo a sobrecarga no Córrego Lagoinha e prevenindo danos na área central da cidade.

Para a simulação da eficiência das TCs para redução dos problemas de alagamento e inundações na bacia de estudo, faz-se necessário o uso de modelos hidrológicos. O software *Storm Water Management Model* (SWMM) é muito utilizado para simulações de drenagem urbana e, em especial, com TCs, uma vez que possui um módulo próprio para diferentes tipos de técnicas. No entanto, o seu uso em projetos de drenagem no Brasil ainda é restrito, sendo utilizado por grande parte dos projetistas o software HEC-HMS, mesmo esse não sendo específico para drenagem. No mais, o HEC-HMS não permite a incorporação direta de estruturas de TC, como o SWMM. Como exemplo da ampla aplicação do HEC-HMS, o estudo feito pela prefeitura de Uberlândia para dimensionamento de reservatórios de amortecimento de vazão, comentado previamente, foi realizado com este software.

Nesse sentido, visando a comparação futura da eficiência do sistema de reservatórios de amortecimento de cheias com o uso de infraestrutura verde (TCs), um primeiro passo é a estruturação da modelagem hidrológica por meio do SWMM e sua comparação com o estudo contratado pela prefeitura de Uberlândia, como forma de validação da simulação. Dessa forma, este trabalho tem como objetivo comparar os resultados da modelagem feita no SWMM com a feita pelo HEC-HMS, de forma a validar o modelo e elencar os principais pontos de divergência, auxiliando nas discussões dos resultados posteriores relativos a comparação dos projetos de controle de cheias.

METODOLOGIA

Na primeira fase do presente estudo foi realizada a revisão bibliográfica abrangendo conceitos de drenagem urbana e seus efeitos com a urbanização, micro e macrodrenagem, enchentes, inundações e alagamentos, além das técnicas compensatórias de drenagem urbana, já apresentadas.

Posteriormente, foi realizada a caracterização física e hidrológica da área de estudo. As características físicas, geológicas e topográficas foram obtidas em plataformas de bancos de dados de uso livre do IBGE, MapBiomas, ANA e Prefeitura de Uberlândia, sendo que, para o tratamento dos dados e a elaboração dos mapas de localização do município, das bacias e sub-bacias, pedologia, relevo e uso e ocupação do solo, utilizou-se o software de geoprocessamento QGIS na versão 3.18.15 “Firenze”.

Quanto à caracterização hidrológica, foram obtidos dados de precipitação e temperaturas horárias da série histórica de uma estação meteorológica do INMET localizada na área de estudo, para a melhor compreensão do comportamento climático da região. Além disso, com o levantamento de dados das características físicas, geográficas e topográficas da bacia, foram obtidos os valores para os parâmetros de entrada no modelo hidrológico, como o Curve Number (CN), a porcentagem de impermeabilização do solo, entre outros, para o cenário atual e para os cenários com as técnicas compensatórias de drenagem urbana, considerando o projeto dos reservatórios de amortecimento da prefeitura de Uberlândia, para a mitigação dos efeitos das cheias.

Após a determinação dos parâmetros físicos e hidrológicos, iniciou-se a etapa de simulação utilizando o software SWMM. Com base nas vazões de escoamento superficial obtidas no software,

foram elaboradas simulações para quatro cenários: 1) cenário atual, 2) cenário incluindo a infraestrutura cinza, 3) cenário incluindo as infraestruturas verdes e 4) cenário incluindo ambas infraestruturas. Dessa forma, será possível a visualização dos impactos das infraestruturas cinzas e verdes, de modo a avaliar a eficiência na redução dos extremos de cheia na cidade de Uberlândia.

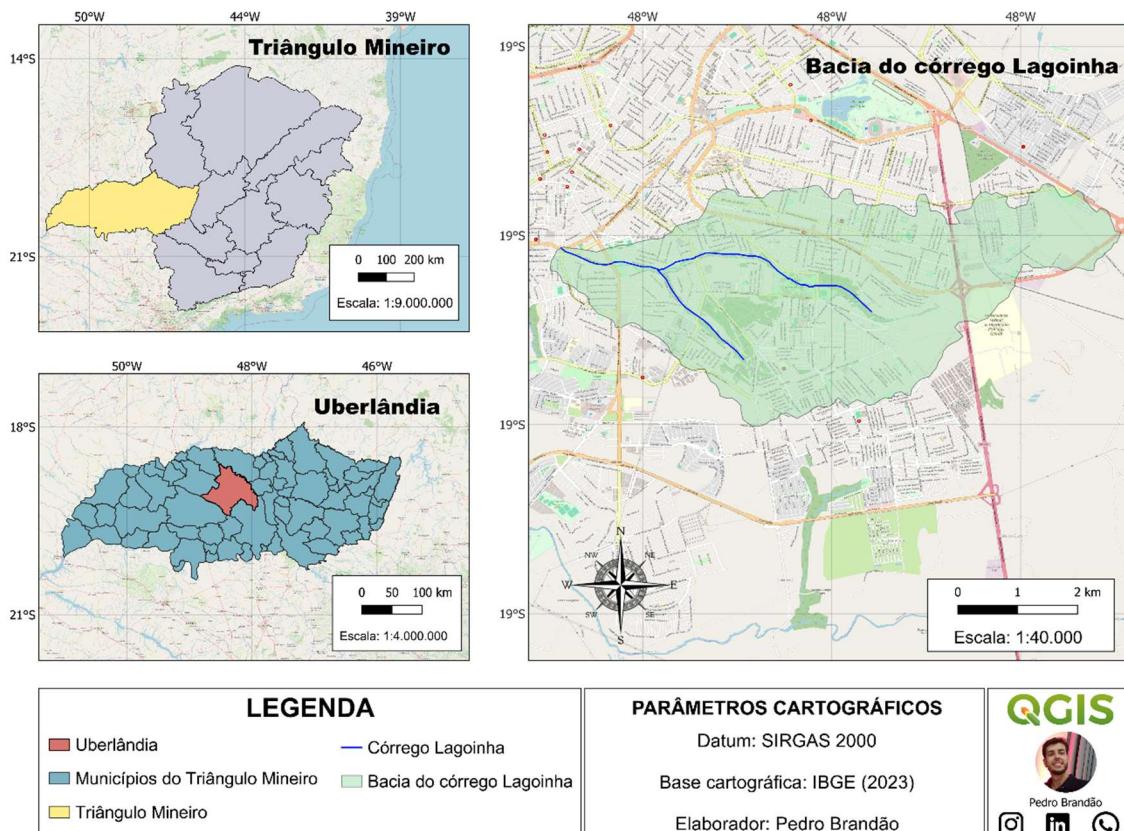
Bacia hidrográfica do Córrego Lagoinha

A bacia hidrográfica do Córrego Lagoinha é afluente urbano do Rio Uberabinha. O Córrego está localizado na região sudeste de Uberlândia e tem sua nascente no Córrego São Pedro, além de um afluente, o Córrego Mogi. O Córrego Lagoinha tem um trecho canalizado que é determinante nos eventos de cheia, visto que, não permite a vazão das águas pluviais de grande volume. Com centroide nas coordenadas latitude $18^{\circ}56'17.9"S$ e longitude $48^{\circ}14'25.6"W$, a bacia possui uma área de drenagem de $22,43 \text{ km}^2$ e perímetro de $26,61 \text{ km}$. As características gerais e o comportamento climático e hidrológico da bacia de estudo são apresentados nos itens a seguir.

A delimitação da bacia foi realizada através do plugin do Google Earth Engine, do Modelo para Grandes Bacias (MGB), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa de Hidrologia de Grande Escala do Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), em parceria com a Agência Nacional de Águas (ANA), que utiliza informações previamente existentes na Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO).

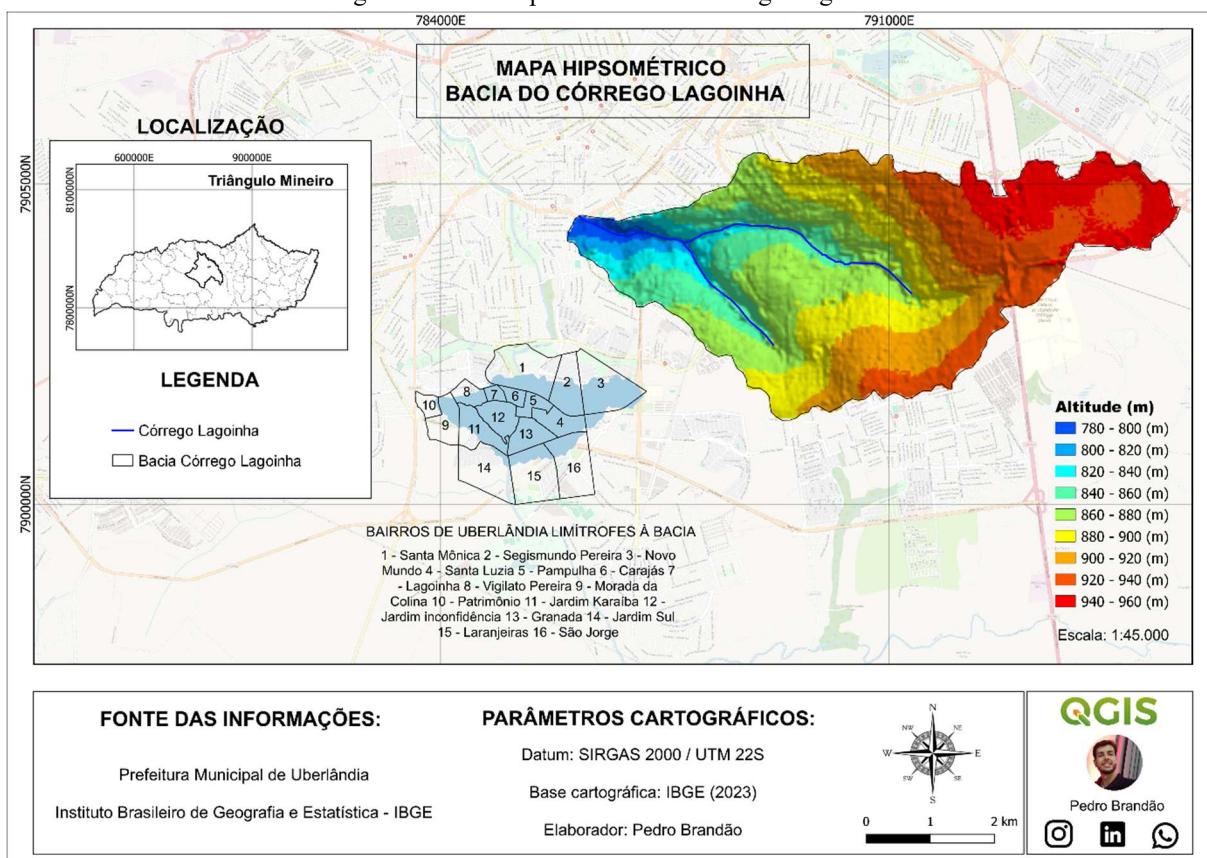
A discretização é feita com base nos trechos e polígonos da BHO, sem a necessidade de pré-processamento de um Modelo Digital de Elevação (MDE). Para a delimitação da bacia, é necessário somente indicar o seu exutório no mapa com um marcador de localização. A Figura 1 apresenta a bacia do Córrego Lagoinha.

Figura 1 – Localização da bacia do Córrego Lagoinha



Além disso, a bacia abrange 16 bairros de Uberlândia, sendo impactada diretamente pelo uso e ocupação do solo, cerca de 78% da bacia é caracterizada como área urbanizada, alterando consideravelmente os processos hidrológicos, como infiltração e escoamento superficial. Ademais, pode ser observado que a região de estudo apresenta, em maior parte, um relevo plano, com baixa variação nas elevações, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Relevo para a bacia do Córrego Lagoinha



Para a modelagem hidrológica adotou-se a versão mais atual do software EPA SWMM, a 5.2. A etapa inicial envolveu a subdivisão da bacia de estudo em sub-bacias, utilizando como referência a base topográfica do município, fornecida pelo DMAE, além dos levantamentos cadastrais realizados pela empresa Senha Engenharia ao longo do Córrego Lagoinha, até a seção fluvial localizada na Alameda Derrama. Como resultado, foram definidas 17 sub-bacias. Com isso, tornou-se possível estabelecer a localização dos elementos do sistema, como condutos, junções, nós, exutório, reservatórios e pluviômetros, compondo o arranjo necessário para a realização das simulações em cada cenário analisado.

Para a análise da infiltração, foi aplicado o Método Cinemático do SCS (Soil Conservation Service – Serviço de Conservação do Solo), exigindo o cálculo do Curve Number (CN) e a estimativa do tempo necessário para que um solo saturado se torne completamente seco. Além disso, as simulações também consideraram o Método da Onda Dinâmica, cuja metodologia permite a ocorrência de alagamentos em nós e o passo tempo adotado foi de 5 minuto. Os dados de entrada do SWMM estão detalhados nos tópicos a seguir.

Parâmetros das sub-bacias

Para a largura de cada sub-bacia, foi considerado a área da sub-bacia, previamente calculado no QGIS, e o comprimento do talvegue, de acordo com o Equação 1:

$$L = \frac{A}{LT} \quad (1)$$

Onde:

- A = área da sub-bacia (m^2);
- LT = Comprimento do talvegue (m);
- Le = largura da sub-bacia (m).

Para a obtenção da declividade média de cada sub-bacia, foi considerado o desnível altimétrico da sub-bacia e o comprimento do talvegue, conforme a Equação 2.

$$I = \frac{H}{LT} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- I = declividade média da bacia (%);
- H = desnível altimétrico da sub-bacia (m);
- LT = comprimento do talvegue (m).

Quanto ao cálculo das áreas impermeáveis e permeáveis de cada sub-bacia, considerou-se as porcentagens da classe área urbanizada, cujos valores são mais expressivos e coerentes com a realidade da área de estudo, obtidas pelo processamento dos dados do MapBiomas no QGIS, enquanto as demais classes de uso e ocupação da bacia como áreas permeáveis no estudo.

O coeficiente de rugosidade de Manning (n) é um dos parâmetros fundamentais na estimativa da vazão sobre a superfície, pois incorpora as características geométricas do escoamento, como área molhada, raio hidráulico e declividade do canal (LYRA et al., 2010). Para as áreas impermeáveis (N-Imperc), foi utilizado o coeficiente de 0,014. Já para as porções permeáveis (N-Perv), foi considerado o valor de 0,20, conforme sugerido por Crawford & Linsley (1966) (apud EPA, 2015), referência presente no manual do SWMM para superfícies cobertas por grama leve.

O parâmetro CN representa o tipo de cobertura do solo e da ocupação na bacia em condições normais de chuva antecedente. O valor de CN é compreendido entre zero e 100, sendo zero a representação de uma bacia de condutividade hidráulica infinita e 100 o valor correspondente a uma bacia totalmente impermeável. Foi adotado o CN = 83 para todas as sub-bacias nas simulações. Essa média reflete as características predominantes da bacia, como o uso residencial com alto grau de impermeabilização, áreas industriais e espaços abertos com diferentes coberturas vegetais, garantindo representatividade no modelo hidrológico aplicado.

O volume de armazenamento da fração impermeável, ou a profundidade de armazenamento para área impermeável (Dstore-Imperc), foi determinado com base na declividade média de cada sub-bacia, conforme apresentado na Equação 3, enquanto foi adotado o valor de 0,10 polegadas para a profundidade de armazenamento em depressão para superfícies permeáveis.

$$dpi = 0,0303x S^{-0,49} \quad (3)$$

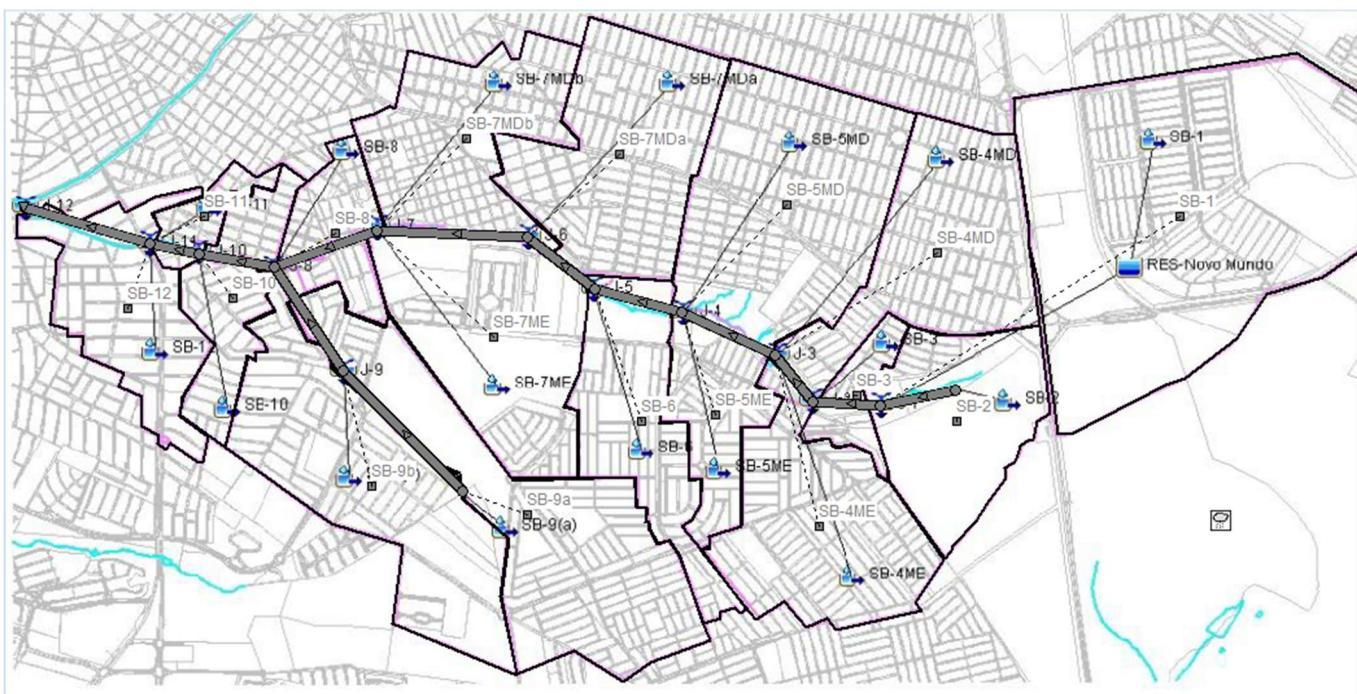
Onde:

- dpi = Profundidade de armazenamento em depressão para superfícies impermeáveis (pol);
 - S = Declividade média de cada sub-bacia (%).

O percentual da área impermeável sem armazenamento (Zero-Imperc) utilizado no estudo foi de 25%, seguindo a recomendação de Gironás et al. (2009 apud BARROS et al., 2016).

A Figura 3 apresenta a disposição das sub-bacias utilizada para a inserção dos dados no modelo hidrológico.

Figura 3 – Configurações das sub-bacias no modelo hidrológico



Precipitação

Nessa etapa, foram inseridos os dados de precipitação na bacia do Córrego Lagoinha a partir das curvas Intensidade Duração Frequência (IDF). Foram simulados seis eventos pluviométricos, combinando tempos de retorno de 10, 25 e 100 anos com durações de 30 minutos e 2 horas, de modo a contemplar diferentes cenários de escoamento superficial. Para cada combinação, os valores de precipitação foram lançados na seção “Time Series” do SWMM, obedecendo à distribuição temporal calibrada do evento pluviométrico. Esse procedimento permitiu calcular as vazões de runoff associadas a cada cenário e avaliar o comportamento hidrológico da bacia. Com isso, ao confrontar os diferentes tempos de retorno e durações, conseguimos identificar quais eventos de chuva representam maior risco de inundação e orientar o dimensionamento das soluções de drenagem de forma mais adequada ao perfil da bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O atual capítulo apresenta os resultados das simulações no software SWMM, a validação e modelagem hidrológica, além das discussões dos resultados obtidos no modelo em comparação ao resultado encontrado pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) de Uberlândia.

Neste primeiro cenário, é apresentada a comparação entre o escoamento superficial em cada sub-bacia estimado pelo DMAE, utilizando o software HEC-HMS, e os valores de escoamento superficial obtidos por meio do software SWMM. As Figuras 4 e 5 a seguir apresentam as comparações entre os resultados obtidos pelos softwares, considerando tempos de retorno de 10, 25 e 100 anos, com durações de chuva de 30 minutos e 2 horas.

As diferenças observadas nos valores de escoamento podem ser atribuídas, em grande parte, à variação na porcentagem de área impermeável considerada para cada sub-bacia. No relatório técnico do DMAE, não foi explicitado qual valor de impermeabilização foi adotado, o que dificulta a verificação dos parâmetros utilizados. Por outro lado, na modelagem realizada com o SWMM, foram utilizadas as porcentagens de áreas impermeáveis obtidas por meio de análise de geoprocessamento da região.

Além disso, é importante destacar que o SWMM requer a definição de um parâmetro altamente sensível: a largura da sub-bacia, o que pode influenciar significativamente os resultados da simulação. Esse parâmetro não é exigido no HEC-HMS. Da mesma forma, enquanto o tempo de concentração é essencial para as simulações no HEC-HMS, no SWMM esse dado não precisa ser inserido diretamente, sendo considerado de forma implícita a partir das características geométricas da sub-bacia.

Figura 4 – Comparações entre os softwares para duração de chuva de 30 min

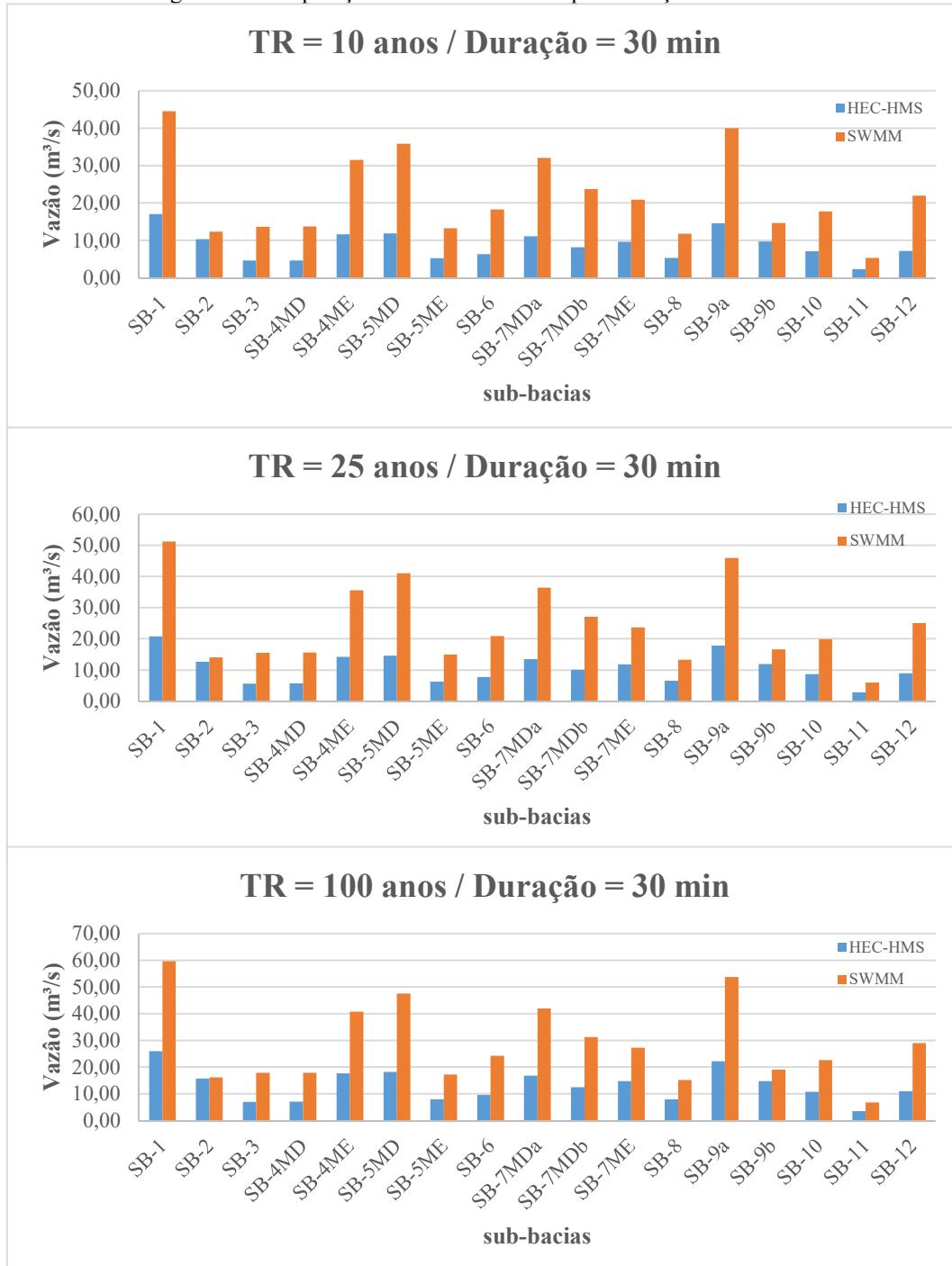
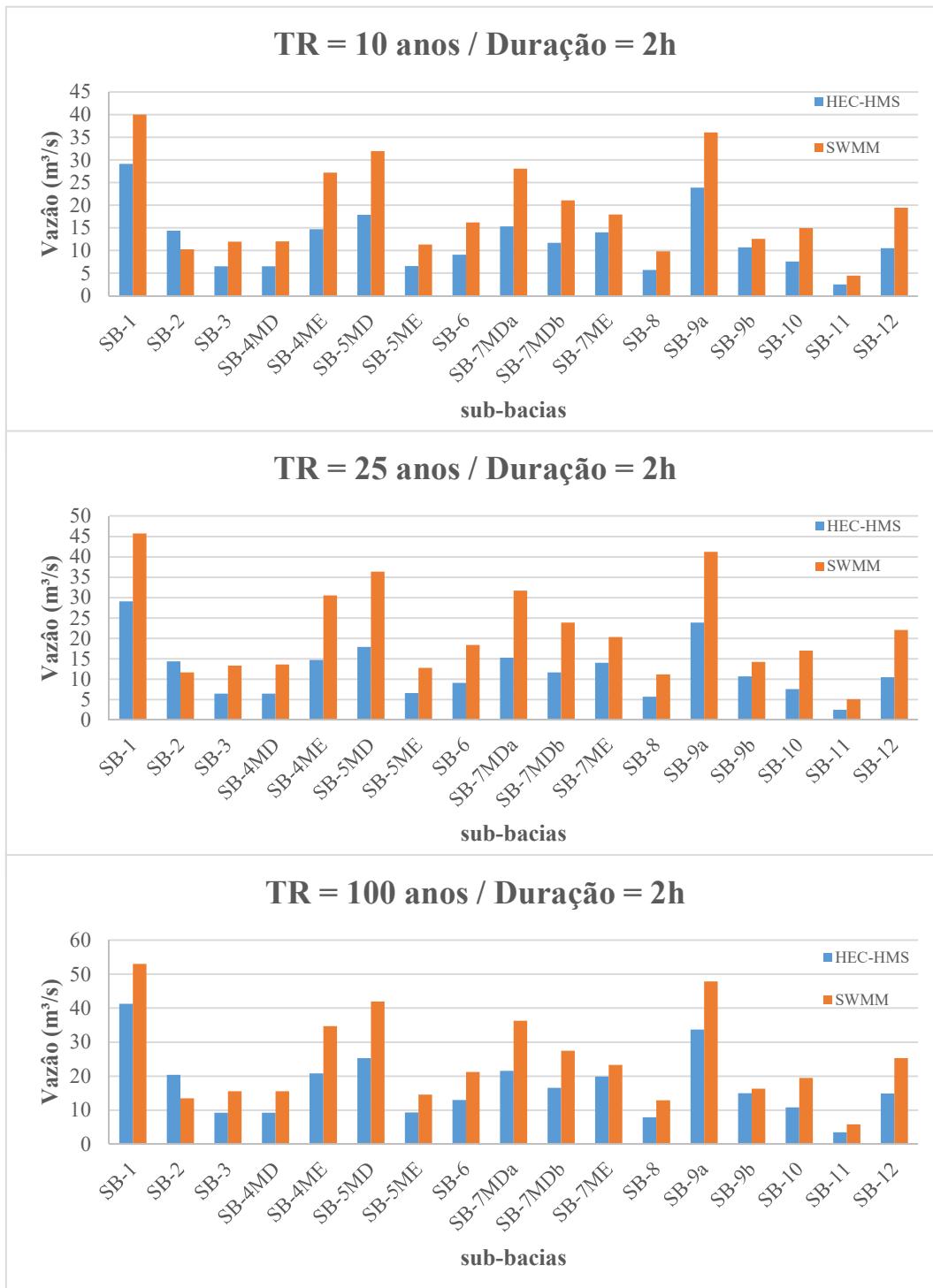


Figura 5 – Comparações entre os softwares para duração de chuva de 2 horas



Observa-se que os valores de vazão de pico obtidos pelo SWMM são, de modo geral, superiores aos gerados pelo HEC-HMS em todas as sub-bacias analisadas, exceto na sub-bacia 2, quando considerada uma duração de chuva de 2 horas. Essa exceção pode estar relacionada principalmente às características específicas da sub-bacia, como menor grau de impermeabilização, topografia ou dimensões que influenciam a resposta hidrológica do modelo frente a eventos de maior duração. Esse

achado ressalta a importância de calibrar individualmente cada sub-bacia, considerando variações de uso do solo, rugosidade de Manning e profundidade de armazenamento.

Por fim, este trabalho encontra-se em desenvolvimento e, portanto, ainda não contempla todos os cenários previstos para a comparação completa entre as infraestruturas cinzas e verdes. Contudo, os resultados preliminares já apontam tendências importantes para a modelagem hidrológica urbana, em que, na maioria das sub-bacias, o SWMM gera vazões de pico mais elevadas que o HEC-HMS.

REFERÊNCIAS

LOUSADA, S. et al. *Hydraulic Planning in Insular Urban Territories: The Case of Madeira Island – Ribeira Brava*. Water 2021, 13, 2951. <https://doi.org/10.3390/w13212951>.

ROSA, Altair; MENDIONDO, Eduardo Mario; MACEDO, Marina Batalini; DE SOUZA, Vladimir Caramori; SAMPLE, David; PROCOPIUCK, Mário. *Sustainable urban drainage: delineation of a scientific domain of knowledge production*. Revista Tecnologia e Sociedade, Curitiba, v. 15, n. 38, p. 18–36, out./dez. 2019.