

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE INFRAESTRUTURA VERDE PARA CONTROLE DE CHEIAS COMPARADAS A INFRAESTRUTURA CINZA: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO LAGOINHA, UBERLÂNDIA-MG

Pedro Henrique Faria Brandão¹ (IC), Marina Batalini de Macedo (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Drenagem urbana. escoamento superficial. Modelagem hidrológica.

Introdução

Os alagamentos urbanos no Brasil decorrem do crescimento desordenado, da ocupação inadequada do solo e da falta de áreas de infiltração. Somadas às chuvas intensas, agravadas pelas mudanças climáticas, essas condições geram enchentes com impactos muitas vezes irreversíveis. Diante dos desafios da drenagem urbana, surgiu uma abordagem sustentável que busca reter e armazenar temporariamente a água da chuva, reduzindo escoamentos superficiais e retardando o volume que chega aos cursos d'água. Essa prática é conhecida como Técnicas Compensatórias. A bacia do Córrego Lagoinha, em Uberlândia-MG, sofre com inundações devido ao crescimento urbano, impermeabilização do solo e canalização de trechos. Para mitigar os impactos, foi realizado o presente estudo visando à implementação de reservatórios de amortecimento, aliados as Técnicas compensatórias para controlar o escoamento e reduzir os riscos de alagamentos. A avaliação da eficiência das TCs requer modelos hidrológicos. Utilizou-se o software SWMM, visto que, possui módulo específico, mas no Brasil ainda prevalece o uso do HEC-HMS, que não incorpora diretamente essas técnicas, como ocorreu no estudo da prefeitura de Uberlândia para reservatórios de amortecimento. Este trabalho busca comparar a modelagem hidrológica feita no SWMM com a realizada pelo HEC-HMS no estudo da prefeitura de Uberlândia, validando os resultados e destacando divergências para apoiar a análise futura entre reservatórios de amortecimento e infraestrutura verde (TCs).

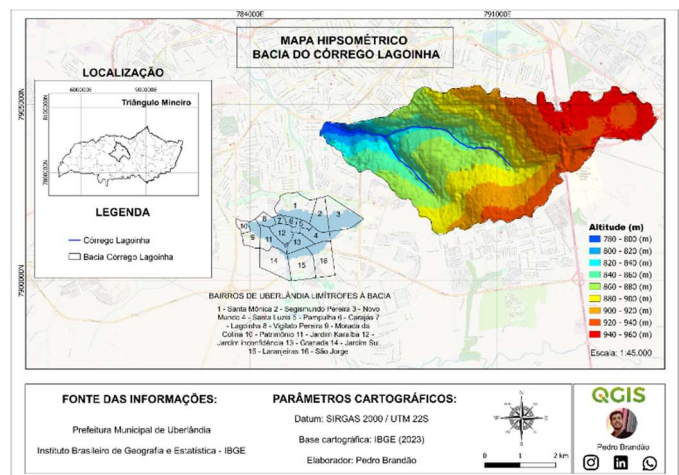
Metodologia

Inicialmente foi realizada a revisão bibliográfica sobre drenagem urbana, enchentes e técnicas compensatórias. Em seguida, procedeu-se à caracterização física e hidrológica da bacia do Córrego Lagoinha, com dados obtidos em plataformas do IBGE, MapBiomas, ANA, INMET e Prefeitura de Uberlândia, tratados no software QGIS 3.18.15. Foram levantadas informações climáticas, físicas e topográficas para determinação de parâmetros do

modelo hidrológico, como Curve Number e impermeabilização do solo, considerando o cenário atual e 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. Posteriormente, iniciou-se a etapa de simulação utilizando o software SWMM. Com base nas vazões de escoamento superficial obtidas no software, foram elaboradas simulações para três cenários: 1) cenário atual, 2) cenário incluindo a infraestrutura cinza e 3) cenário incluindo ambas infraestruturas, possibilitando avaliar a eficiência dessas soluções na redução dos efeitos de cheias em Uberlândia.

A bacia do Córrego Lagoinha, afluente urbano do Rio Uberabinha, localiza-se no sudeste de Uberlândia e possui área de 22,43 km². Seu trecho canalizado agrava os eventos de cheia por dificultar a vazão das águas pluviais. A delimitação da bacia foi feita com o plugin Google Earth Engine, utilizando o Modelo para Grandes Bacias (MGB) e a Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO). A área abrange 16 bairros, sendo 78% urbanizada, o que intensifica o escoamento superficial e reduz a infiltração. O relevo é predominantemente plano, com baixa variação altimétrica, conforme a Figura 1.

Figura 1 – Relevo da bacia do Córrego Lagoinha



“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

Para a modelagem hidrológica utilizou-se o software EPA SWMM 5.2. A bacia foi subdividida em 17 sub-bacias com base na topografia e levantamentos do DMAE, possibilitando a definição de condutos, junções, nós, exutório, reservatórios e pluviômetros para as simulações. A infiltração foi analisada pelo Método Cinemático do SCS, considerando o Curve Number (CN). As simulações também adotaram o Método da Onda Dinâmica, permitindo alagamentos em nós, com passo de tempo de 5 minutos. Os parâmetros das sub-bacias estão detalhados a seguir.

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:

$$L = \frac{A}{LT}$$

Onde:

- A = área da sub-bacia (m²);
- LT = Comprimento do talvegue (m);
- L = 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.

$$I = \frac{H}{LT} \times 100$$

Onde:

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

O cálculo das áreas impermeáveis e permeáveis de cada sub-bacia foi baseado nos dados do MapBiomas processados no QGIS, considerando como impermeáveis as porcentagens da classe urbanizada e classificando as demais ocupações como áreas permeáveis.

O coeficiente de rugosidade de Manning (n) foi adotado como 0,014 para áreas impermeáveis e 0,20 para áreas permeáveis, conforme recomendações do manual do SWMM. Para o parâmetro Curve Number (CN), que reflete as condições de uso e ocupação do solo, utilizou-se o valor médio de 83 em todas as sub-bacias, representando a predominância de áreas residenciais impermeabilizadas, zonas industriais e espaços vegetados, garantindo a representatividade do modelo.

O armazenamento da fração impermeável (Dstore-Imperv) foi definido a partir da declividade média de cada sub-bacia, enquanto para as áreas permeáveis adotou-se

o valor fixo de 2,54 mm de armazenamento em depressão, conforme recomendação de ASCE (1992 *apud* EPA, 2015), visto que se trata de uma área com elevado grau de impermeabilização do solo.

$$dpi = 0,0303x S^{-0,49}$$

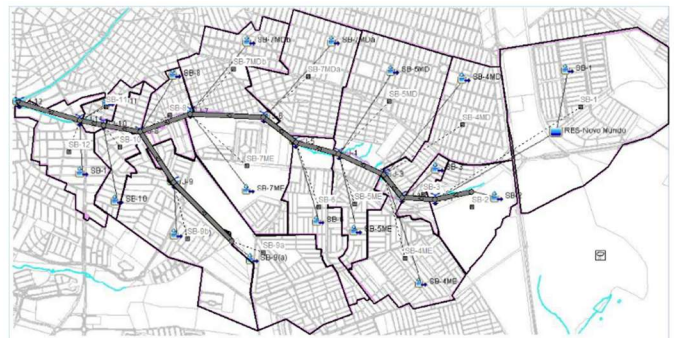
Onde:

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

Adotou-se 25% de área impermeável sem armazenamento (Zero-Imperv), conforme a recomendação de Gironás et al. (2009 *apud* BARROS et al., 2016).

A Figura 2 ilustra a disposição das sub-bacias usadas para a inserção dos dados no modelo hidrológico.

Figura 2 – Configurações das sub-bacias no SWMM



Quanto a precipitação, foram inseridos dados de chuva na bacia do Córrego Lagoinha a partir das curvas IDF, simulando seis eventos pluviométricos combinando tempos de retorno de 10, 25 e 100 anos com durações de 30 minutos e 2 horas. Os dados foram lançados na seção “Time Series” do SWMM, permitindo calcular as vazões de runoff e avaliar o comportamento hidrológico da bacia, identificando os eventos de maior risco de inundação para orientar o dimensionamento das soluções de drenagem. Para o cenário com LID, foi utilizado a bioretensão no módulo LID do SWMM. Foram adotadas bioretensões de 12,5 m² de área, considerando o tamanho de uma vaga de estacionamento. Foram adotadas 1000 LID por sub-bacia.

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

Resultados e discussão

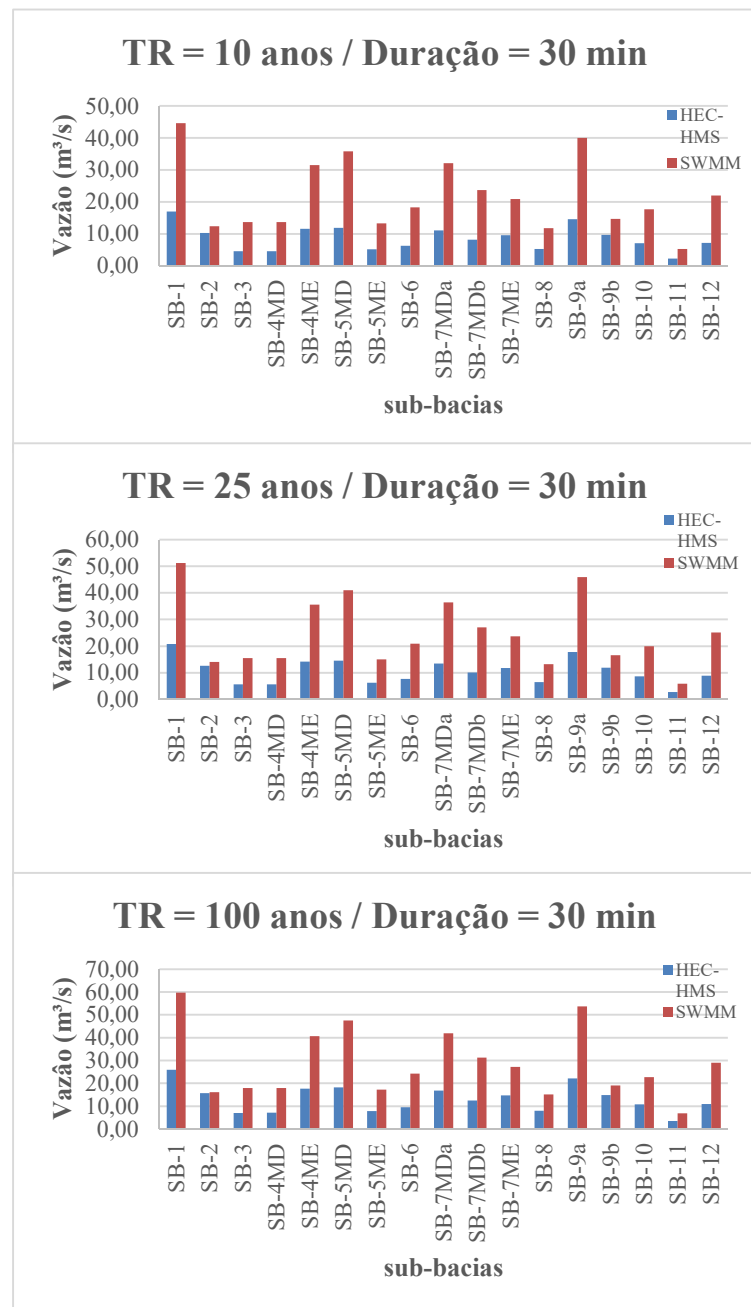
O atual capítulo apresenta os resultados das simulações no software SWMM, a validação e modelagem hidrológica, além das discussões dos resultados obtidos no modelo em comparação ao resultado encontrado pelo Departamento Municipal de Água e Esgoto (DMAE) de Uberlândia.

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. A Figura 3 a seguir apresenta a comparação entre os resultados obtidos pelos softwares, considerando tempos de retorno de 10, 25 e 100 anos, com duração de chuva de 30 minutos. Já a Figura 4, apresenta o hidrograma preliminar de comparação entre o cenário atual, o cenário com infraestrutura cinza e o cenário composto por infraestrutura cinza e verde.

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.

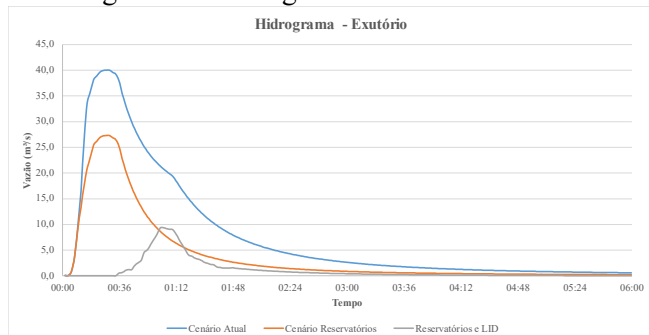
Além disso, é importante destacar que o SWMM requer a definição de um parâmetro altamente sensível: a largura da sub-bacia, o que pode influenciar significativamente os resultados da simulação. Esse parâmetro não é exigido no HEC-HMS. Da mesma forma, enquanto o tempo de concentração é essencial para 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 3 – Comparações entre os softwares para duração de chuva de 30 min



“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

Figura 4 – Hidrograma no Exutório da bacia



Conclusões

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, além disso, nota-se a redução da vazão de pico à medida que diferentes infraestruturas são implementadas ao longo da bacia.

Agradecimentos

Agradeço à orientadora Marina Batalini de Macedo pelas orientações, à Universidade Federal de Itajubá e ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

Referências

Barros, A. M.; M. G. F. P. Neves; D. C. Henrique. Variabilidade e causas na geração de vazão em bacias urbanas: estudo de caso do Riacho do Sapo, Maceió-AL. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA), v. 4, n. 2, p. 220-231, 2016 – ISSN: 2317-563X.

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>.

PORTO, R. L. et al. *Hidrologia Aplicada*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

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.

Tucci, C. E. M. et al. *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: UFRGS, 2001.