

SENSIBILIDADE DA MODELAGEM HIDRODINÂMICA À RESOLUÇÃO ESPACIAL DA MALHA 2D E À DISCRETIZAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO CÓRREGO DA MOOCA, SÃO PAULO

Caio Gama de Camilo¹; Vinícius Lino e Silva²; Elton Vicente Escobar-Silva³; Juliana Dorn Nóbrega⁴; Joaquin Ignacio Bonnacarrere Garcia⁵

RESUMO – Este estudo teve como objetivo avaliar a sensibilidade da modelagem hidrodinâmica urbana em relação a dois fatores: (i) discretização topográfica do modelo digital de terreno (MDT) utilizado para representar a superfície de escoamento e (ii) resolução espacial da malha bidimensional (2D) empregada no modelo. A análise foi conduzida por meio de um estudo de caso na bacia do córrego da Mooca, no município de São Paulo. Foram simulados quatro cenários, combinando duas fontes topográficas e duas resoluções de malha, utilizando o software PCSWMM (interface gráfica do SWMM - EPA). Foram comparados um MDT com resolução espacial de 1m (obtido por aerolevantamento com *Light Detection and Ranging* - LiDAR), com um MDT de resolução espacial de 5m (obtido por aerofotogrametria na escala 1:10.000); além de duas malhas com células hexagonais de diâmetro nominal de 5m e 10m. Os resultados evidenciaram uma sensibilidade significativa do modelo a ambos os fatores, manifestada por variações nas profundidades máximas e nas velocidades de escoamento superficial. O cenário de maior resolução espacial e malha de 5m apresentou maior custo computacional, mais de seis vezes superior ao cenário com malha de 10m, porém com melhor mapeamento do escoamento superficial em vias secundárias e de lotes atingidos.

Palavras-Chave – modelagem 2D; PCSWMM; inundação urbana.

ABSTRACT – This study aimed to evaluate the sensitivity of urban hydrodynamic modeling to two factors: (i) the topographic discretization of the digital terrain model (DTM) used to represent the overland flow surface and (ii) the spatial resolution of the two-dimensional (2D) mesh employed in the model. The analysis was conducted through a case study in the Mooca stream basin, in the municipality of São Paulo. Four scenarios were simulated, combining two topographic sources and two mesh resolutions, using PCSWMM software (graphical interface of SWMM - EPA). A DTM with 1 m spatial resolution, obtained by airborne survey using Light Detection and Ranging (LiDAR), was compared with a DTM of 5 m spatial resolution, obtained by aerophotogrammetry at 1:10,000 scale; in addition to two meshes with hexagonal cells of 5 m and 10 m cell size. The results showed significant model sensitivity to both factors, expressed through variations in maximum water depths and overland flow velocities. The scenario with the highest spatial resolution and 5 m mesh presented greater computational cost, more than six times higher than the 10 m mesh scenario, but with better mapping of overland flow on secondary roads and of affected land parcels.

Key-words – 2D modeling; PCSWMM; urban flooding.

¹) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia Hidráulica e Ambiental) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Av. Prof. Almeida Prado, 83, Butantã, São Paulo - SP, CEP 05508-070. E-mail: caio.gama@usp.br.

²) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia Hidráulica e Ambiental) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Av. Prof. Almeida Prado, 83, Butantã, São Paulo - SP, CEP 05508-070. E-mail: vinicius.lino.sv@usp.br.

³) Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). Estr. Dr. Altino Bondesan, 500 - Eugênio de Melo, São José dos Campos - SP, 12247-016. E-mail: elton.escobar@cemaden.gov.br; eltescobar@gmail.com.

⁴) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Av. Prof. Almeida Prado, 83, Butantã, São Paulo - SP, CEP 05508-070. E-mail: juliana.nobrega@usp.br.

⁵) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Engenharia Hidráulica e Ambiental) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Av. Prof. Almeida Prado, 83, Butantã, São Paulo - SP, CEP 05508-070. E-mail: joaquinbonne@usp.br.

1. INTRODUÇÃO

Inundações e alagamentos estão entre os desastres naturais mais recorrentes e fatais em escala global (Chen et al., 2019; Nevo et al., 2022), agravados pela expansão urbana, que amplia as áreas impermeáveis e intensifica vazões de pico (Yang et al., 2022; Zhou et al., 2019), e pelas mudanças climáticas, que tornam os eventos de precipitação mais intensos e frequentes (Ahmed et al., 2024; Dong et al., 2025; Liu et al., 2023). Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), esse quadro é potencializado pela urbanização acelerada e desordenada do século XX (SMDU, 2012; Frabetti, 2013), marcada por alta impermeabilização, ocupação de áreas de risco e canalização de cursos d'água. A modelagem de inundações é, portanto, ferramenta indispensável, sendo mais complexa em ambiente urbano do que em bacias rurais devido à variabilidade topográfica, à presença de edificações e à interação entre escoamento superficial e rede de drenagem (Yang et al., 2022; Mignot et al., 2019).

O *Storm Water Management Model* (SWMM) é um dos modelos mais utilizados para simulação de drenagem urbana (Yang et al., 2020; Yang et al., 2022; Fan et al., 2021), mas sua natureza unidimensional limita a representação do escoamento superficial após o extravasamento das galerias. O acoplamento com modelos 2D de superfície supera essa limitação, permitindo simular de forma integrada a rede de condutos e a propagação da inundação. Como a qualidade dessas simulações depende criticamente do modelo digital de terreno (MDT) empregado e da resolução da malha 2D adotada, este trabalho avalia a sensibilidade da modelagem hidrodinâmica urbana a esses dois fatores, por meio de um estudo de caso na bacia do córrego da Mooca, São Paulo, com simulações no PCSWMM (CHI®).

2. METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

A bacia do córrego da Mooca, afluente da margem direita do Rio Tamanduateí, está localizada em área extremamente adensada na zona Leste do Município de São Paulo, com 22 km² de superfície (Figura 1). A hidrografia da bacia é composta pelo córrego da Mooca e por afluentes de primeira ordem, com destaque para o córrego das Vacas, que conflui com o córrego da Mooca a aproximadamente 600 m da desembocadura deste, no Rio Tamanduateí. Resultado de um processo de urbanização intenso e desconectado de planejamento integrado, os córregos da bacia foram quase totalmente canalizados sob o viário, com o leito do córrego principal ocupado atualmente pela Avenida Professor Luiz Ignácio de Anhaia Mello. O sistema de drenagem é composto por galerias de

águas pluviais, cuja capacidade hidráulica máxima é frequentemente excedida durante eventos de precipitação intensa (FCTH, 2023).

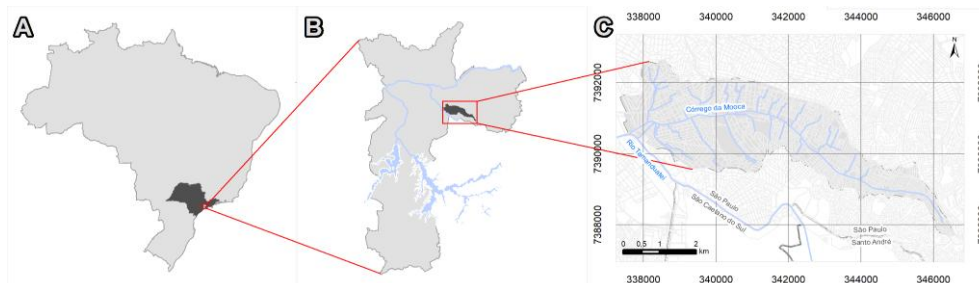


Figura 1 – Esquema de localização da área de estudo. (A) Localização do Estado de São Paulo no Brasil; (B) Localização da Bacia no Município de São Paulo; (C) Delimitação da Bacia do córrego da Mooca com hidrografia.

2.2 Dados Topográficos e Parâmetros da Rede de Drenagem

Foram utilizadas duas fontes de MDT representativas das opções disponíveis para o Município de São Paulo. O primeiro MDT foi elaborado pelo GeoSampa, portal de dados georreferenciados da cidade de São Paulo (SMUL, 2017). Esse MDT foi gerado a partir do processamento da nuvem de pontos resultante do perfilamento de toda a área do município, realizado em 2020 por meio de tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*), com densidade de 10 pontos/m². O produto representa exclusivamente a altimetria do solo, estando em conformidade com o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) Classe A e possui resolução planimétrica de 1 m (SMUL, 2020).

O segundo MDT foi produzido pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC). O modelo foi derivado do Sistema Cartográfico Metropolitano, originalmente produzido pela extinta Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S.A. (Emplasa), por meio de restituição estereofotogramétrica, a partir de aerofotogrametria. O mapeamento básico na escala 1:10.000, que abrange os 39 municípios da RMSF, possui curvas de nível com equidistância de 5 m, resultando em um MDT com resolução nominal de 5 m (IGC, 2026).

Quanto aos dados da rede de drenagem, eles foram obtidos junto à Secretaria de Infraestrutura Urbana e Obras do Município de São Paulo (SIURB) e à Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH), compreendendo a geometria e atributos das galerias e dos canais da bacia em estudo.

2.3 Estrutura do Modelo PCSWMM e Componente 2D

O acoplamento 1D-2D no PCSWMM seguiu as recomendações de Yang et al. (2020), Fan et al. (2021) e Yang et al. (2022), dividido em domínio 1D (rede de drenagem) e 2D (escoamento

superficial). No domínio 1D, o SWMM resolve as equações completas de Saint-Venant nos condutos, com perdas estimadas pelo método curva número (CN) (SCS, 1972). Como apenas a macrodrenagem foi modelada, as sub-bacias drenam diretamente para os nós da rede, e o extravasamento (*manhole surcharge*) constitui o elo com o domínio 2D (Yang et al., 2022; Fan et al., 2021).

No domínio 2D, o MDT define a elevação de cada célula hexagonal (valor do centroide, na configuração padrão), e o escoamento entre células adjacentes segue uma formulação simplificada das equações de águas rasas, análoga ao LISFLOOD-FP (Bates et al., 2010; Yang et al., 2022), com velocidades e trocas de volume calculadas pela equação de Manning em função do gradiente de nível d'água. A vinculação 1D-2D ocorre pelos nós da rede, associados à célula hexagonal mais próxima por critério de proximidade (Da Silva et al., 2018; Yang et al., 2022). O volume extravasado é transferido como fonte pontual à célula correspondente; o retorno à rede subterrânea, quando o nível superficial excede o da galeria, é calculado por fórmula de vertedor ou orifício (Yang et al., 2022; Fan et al., 2021; Da Silva et al., 2018).

2.4 Resolução da Malha e Custo Computacional

O passo de tempo adaptativo da simulação é limitado pela condição de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL), expressa por:

$$\Delta t_{max} = \alpha \cdot \frac{\Delta x}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (1)$$

em que Δx é o tamanho da célula, g a aceleração gravitacional, h a profundidade da lâmina d'água e α um coeficiente de estabilidade entre 0,2 e 0,7 (Yang et al., 2022), de modo que o passo de tempo máximo escala diretamente com o tamanho da célula. Alta resolução espacial melhora a representação de estruturas urbanas determinantes nos caminhos de escoamento (sarjetas, guias, rebaixos de vias), mas eleva o custo computacional; células maiores, por sua vez, podem não capturar depressões ou cristas relevantes, comprometendo a precisão das manchas simuladas (Yang et al., 2022; Fan et al., 2021). Essa relação de perdas e ganhos (*trade-off*) entre precisão espacial e viabilidade computacional é um dos fatores centrais avaliados nos cenários deste trabalho.

2.5 Cenários de Simulação

A matriz de cenários foi estruturada a partir da combinação das duas fontes de dados topográficos e duas resoluções de discretização espacial, resultando em quatro configurações distintas (Tabela 1). O diâmetro das células hexagonais foi definido em 5m ou 10m, conforme os cenários

apresentados na Tabela 1. Para a representação da rugosidade superficial na malha bidimensional (2D), adotou-se um coeficiente de Manning uniforme de $n = 0,034$ para toda a extensão do terreno. Este valor foi definido por apresentar melhor adequação às características de propagação do escoamento na bacia e maior aderência aos resultados observados em etapas preliminares de calibração, em comparação aos valores teóricos sugeridos por Yang *et al.* (2022). A rede de macrodrenagem, composta integralmente por estruturas de concreto, utilizou $n = 0,014$ em toda a sua extensão, conforme os mesmos autores.

Tabela 1 – Matriz de cenários de simulação

Cenário	Fonte do MDT	Resolução Original	Diâmetro da Célula Hex.	Tempo computacional
A	GeoSampa (PMSP)	~1 m (LiDAR aerofotogramétrico)	5 m	2h e 22 min
B	GeoSampa (PMSP)	~1 m (LiDAR aerofotogramétrico)	10 m	22 min
C	IGC (Estado de SP)	5 m (curvas 1:10.000)	5 m	2h e 26 min
D	IGC (Estado de SP)	5 m (curvas 1:10.000)	10 m	25 min

Fonte: Autores.

A bacia do Córrego da Mooca foi discretizada em 30 sub-bacias, com áreas variando de 0,0742 km² a 1,55 km². O grau de impermeabilização médio da bacia é elevado, variando de 75% a 92%. O armazenamento em depressões foi parametrizado entre 1,0 e 3,0 mm para superfícies impermeáveis e entre 1,5 e 3,5 mm para superfícies permeáveis. O processo de infiltração foi simulado pelo método do CN, com valores variando entre 65 e 80, considerando-se um tempo de estiagem (“*drying time*”) de 7 dias. A propagação interna nas sub-bacias foi conduzida diretamente aos exutórios, enquanto a propagação hidráulica na rede pluvial seguiu o método da onda dinâmica, visando capturar os efeitos de remanso e pressurização da rede, típicos de eventos críticos.

A condição de contorno hidrológica baseou-se nas curvas de Intensidade-Duração-Frequência (IDF) estabelecidas pela FCTH. Os hietogramas de projeto foram gerados para uma duração de chuva de 3 horas, adotando-se a distribuição temporal característica do setor Tietê Centro, conforme a metodologia proposta por Rocha Filho (2020) para o Sistema de Alerta a Inundações de São Paulo (SAISP). Para a avaliação do comportamento do modelo sob condições críticas, priorizou-se o cenário correspondente ao tempo de retorno de 100 anos (TR100), fundamentado nos acumulados máximos anuais processados para a região, com hietograma de projeto de 3 horas e pico de aproximadamente 24 mm aos 30 minutos, conforme distribuição temporal do setor Tietê Centro (SAISP, 2020). O desempenho de cada cenário foi avaliado de forma comparativa por meio da extensão das manchas

de inundação máxima, velocidades de escoamento superficial e das séries temporais de nível d'água em pontos de controle estrategicamente localizados.

Por fim, todas as simulações foram executadas em uma estação de trabalho equipada com processador Intel i7-1255U, 16GB de memória RAM e armazenamento em SSD, visando a padronização do esforço computacional entre os cenários, cujos resultados dos tempos computacionais de cada cenário estão apresentados na Tabela 1. Os valores de *routing* e *runoff* em todos os cenários de simulação foram inferiores a 0,5%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise da Extensão e Profundidade da Mancha de Inundação

A comparação entre as manchas de inundação simuladas demonstra que a fonte do MDT exerce um impacto superior à resolução da malha na determinação do volume e da área inundada. Conforme apresentado na Tabela 2, os cenários baseados no MDT GeoSampa (1 m) identificaram uma área inundada aproximadamente 5,5% maior que os cenários do MDT IGC para a mesma resolução de 5 m.

Essa diferença espacial é ilustrada na Figura 2, que apresenta o comportamento do escoamento em uma aproximação (zoom-in) na região da Estação Vila Prudente. Observa-se que o detalhamento MDT do GeoSampa capturou o extravasamento para vias secundárias com maior precisão, enquanto o MDT do IGC resultou em maior confinamento do escoamento ao eixo principal da via. Essa sensibilidade à representação topográfica é um fator crítico para a confiabilidade dos resultados em áreas de topografia plana, onde pequenos gradientes determinam os caminhos de escoamento (Yang *et al.*, 2020).

Tabela 2 – Métricas comparativas dos cenários de simulação.

Cenário	Área (m ²)	Volume (m ³)	Velocidade máxima interface 1D-2D (m/s)	Velocidade máxima escoamento superficial (m/s)	Lotes atingidos
A	1.074.415	661.366	7,5	4,8	2.310
B	1.101.982	668.484	7,1	4,1	2.342
C	1.017.829	608.817	10,4	5,1	1.896
D	1.034.017	606.781	8,5	4,8	1.933

Fonte: Autores.

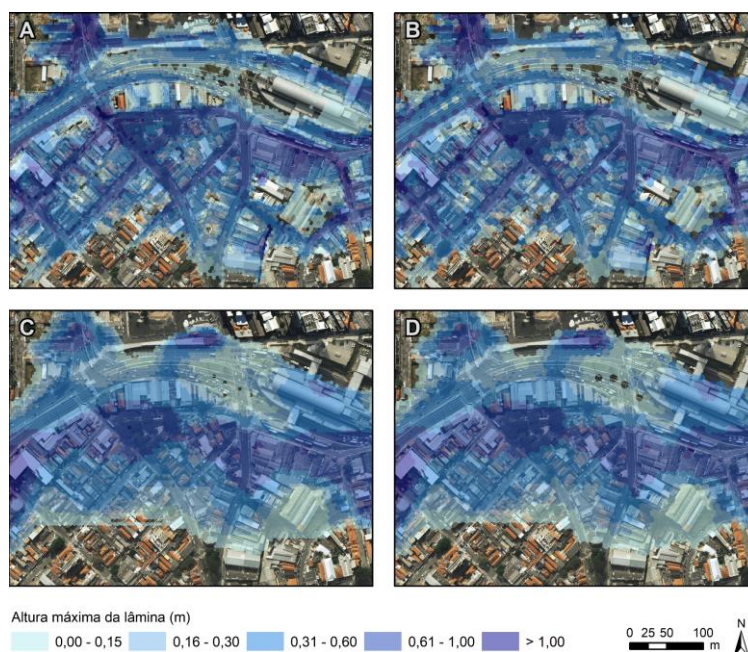


Figura 2 – Comparação das manchas de inundação máxima (TR100) na região da Estação Vila Prudente, localizada na Bacia da Mooca. (A) MDT GeoSampa com célula hexagonal de 5 m; (B) MDT GeoSampa com célula hexagonal de 10 m; (C) MDT IGC com célula hexagonal de 5 m; e (D) MDT IGC com célula hexagonal de 10 m.

3.2 Distribuição de Profundidades e Gestão de Riscos

A análise das frequências de profundidade, sintetizada na Figura 3, evidencia a capacidade do MDT GeoSampa de capturar lâminas d'água críticas, devido a sua maior resolução espacial. Enquanto os cenários do IGC concentram o escoamento em faixas intermediárias (0,30 m a 1,00 m), o cenário GeoSampa 5 m apresenta uma frequência significativamente superior de inundação severa, com 16,6% da mancha superando a cota de 1,00 m, contra 13,6% no cenário equivalente do IGC. Este refinamento impacta o inventário de danos: o Cenário A identificou 21,8% mais lotes atingidos que o Cenário C, corroborando a literatura quanto à insuficiência do uso do solo isolado para explicar alterações hidrológicas urbanas (Zhou et al., 2019).

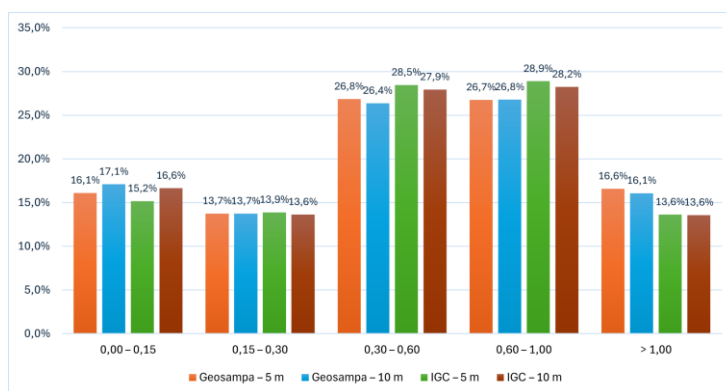


Figura 3 – Distribuição de frequências das classes de profundidade de inundação por cenário.

3.3 Comportamento Hidrodinâmico e Validação Espacial

As velocidades máximas nos pontos de interface (Tabela 2) apresentaram-se discrepantes em relação ao escoamento superficial, com picos de até 10,4 m/s (Cenário C). Esse fenômeno decorre da conexão direta entre o nó 1D e a malha 2D do PCSWMM, que transfere massa sem considerar perdas de carga ou a conservação de momento na interface (Yang *et al.*, 2020). Sem essa resistência física, as soluções numéricas podem gerar velocidades artificiais para equalizar instantaneamente os níveis d'água, resultando em dados numéricos não-físicos (Morales-Hernández *et al.*, 2013).

Comparativamente, os cenários baseados no MDT IGC exibiram instabilidades de interface superiores aos cenários do GeoSampa, indicando que a maior suavização topográfica do IGC potencializa erros de acoplamento (Morales-Hernández *et al.*, 2013; Hu *et al.*, 2024). Após a filtragem destes valores, as velocidades de escoamento superficial efetivo situaram-se entre 4,1 m/s e 5,1 m/s. Nestas células, o GeoSampa (A e B) manteve valores menores devido ao detalhamento LiDAR, que captura com precisão feições urbanas que dissipam a energia do fluxo (Yang *et al.*, 2022; Mignot *et al.*, 2019).

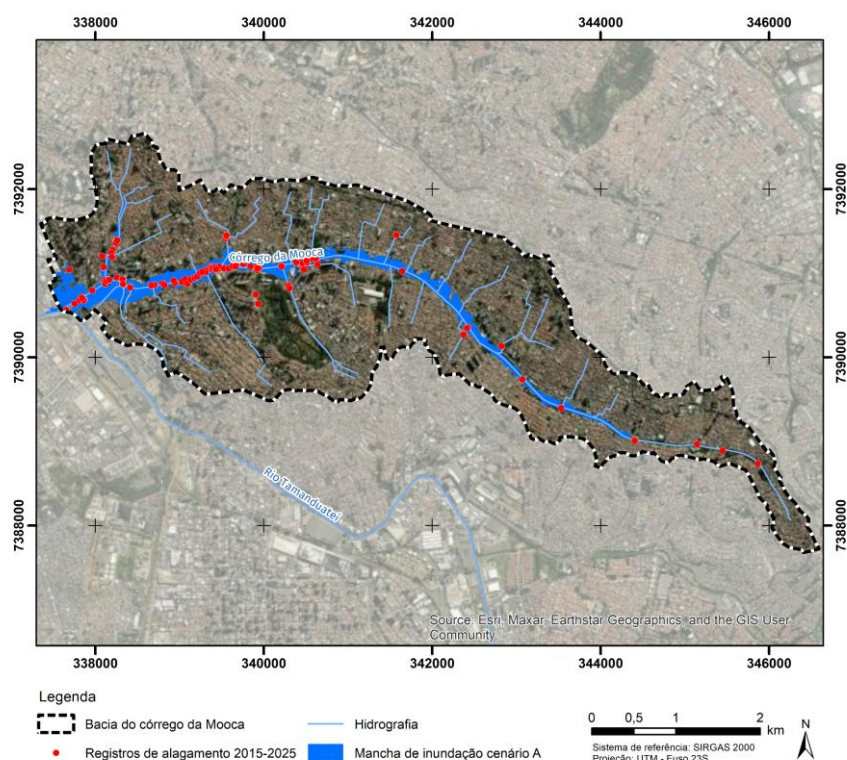


Figura 4 – Sobreposição da mancha simulada (cenário A) com pontos históricos de inundação da CET/CGE.

Para consolidar a confiabilidade do modelo, a validação espacial do Cenário A (Figura 4) confrontou a mancha máxima simulada com os registros históricos da Companhia de Engenharia de

Tráfego (CET) e do Centro de Gerenciamento de Emergências (CGE) do Estado de São Paulo. A convergência espacial foi elevada em trechos críticos, como o Córrego das Vacas e a Avenida Professor Luiz Ignácio de Anhaia Mello (Córrego da Mooca). O tempo de processamento exigido para essa precisão (2h e 22 min para célula hexagonal de 5 m *versus* 22 min para célula hexagonal de 10 m) é governado pela condição de estabilidade CFL, na qual o passo de tempo escala linearmente com a resolução da célula (Δx) em formulações inerciais (Bates *et al.*, 2010). O uso de malhas (célula hexagonal) de 5 m, embora computacionalmente mais oneroso, justifica-se pela redução de instabilidades e melhor representação da complexidade urbana (Yang *et al.*, 2022).

4. CONCLUSÕES

O estudo demonstrou que a sensibilidade de modelos hidrodinâmicos 1D-2D à fonte topográfica e à resolução da malha computacional, na bacia do Córrego da Mooca, estabelece um trade-off entre acurácia espacial e viabilidade operacional, de modo que a escolha do cenário ideal depende do objetivo da gestão hídrica. O Cenário A (MDT GeoSampa, malha de 5 m) consolidou-se como a configuração mais adequada para o mapeamento detalhado de vulnerabilidades urbanas: a base LiDAR permitiu melhor captura do terreno, identificando 21,8% mais lotes atingidos que o cenário equivalente com MDT IGC e apresentando maior aderência espacial aos registros históricos de inundação. Essa precisão, no entanto, exigiu 2h22min de processamento — cerca de 6,5 vezes o tempo dos cenários com célula de 10 m (22 min).

Recomenda-se, portanto, a resolução de 5 m para planejamento urbano de longo prazo e projetos de intervenção estrutural, onde a subestimação de áreas de risco pode comprometer o dimensionamento de obras de macrodrenagem; e a malha de 10 m, como no Cenário B, para sistemas de previsão e alerta em tempo real, priorizando agilidade de resposta.

REFERÊNCIAS

- AHMED, A. A.; SAYED, S.; ABDOLHALIK, A.; MOUTARI, S.; OYEDELE, L. (2024). "Applications of machine learning to water resources management: A review of present status and future opportunities". *Journal of Cleaner Production*, 441, p. 140715.
- BATES, P.D.; HORRITT, M.S.; FEWTRELL, T.J. (2010). "A simple inertial formulation of the shallow water equations for efficient two-dimensional flood inundation modelling". *Journal of Hydrology*, 387, pp. 33–45.
- CHEN, W.; WANG, X.; DENG, S.; LIU, C.; XIE, H.; ZHU, Y. (2019). "Integrated urban flood vulnerability assessment using local spatial dependence-based probabilistic approach". *Journal of Hydrology*, 575, pp. 454–469.
- DA SILVA, C. V. F.; SCHARDONG, A.; GARCIA, J. I. B.; OLIVEIRA, C. D. P. M. (2018). "Climate change impacts and flood control measures for highly developed urban watersheds". *Water*, 10(7), 829.

- DONG, Z.; SHEN, X.; LI, J.; ZHAO, Y.; WU, J. (2025). "City-scale high-resolution flood nowcasting based on high-performance hydrodynamic model and deep learning". *Journal of Hydrology*, 634, p. 131030.
- FAN, Y.; WANG, C.; YU, H.; PAN, J.; OUYANG, Z. (2021). "Coupling of SWMM With 2D Hydrodynamic Model for Simulation of Sponge City Construction Scheme". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 643, 012002.
- FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (2023). *Caderno de Bacia Hidrográfica: Caracterização da Bacia do Córrego da Mooca*. São Paulo: FCTH/SIURB.
- FRABETTI, G. L. (2013). *Metropolization from the suburban perspective: metamorphoses of labor and private property in the trajectory of São Caetano do Sul*. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo, São Paulo.
- HU, D.; CHEN, Z.; LI, Z.; ZHU, Y. An implicit 1D-2D deeply coupled hydrodynamic model for shallow water flows. *Journal of Hydrology*, v. 631, p. 130833, 2024.
- IGC – Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (2026). *Listagem Emplasa*. Disponível em: https://www.igc.sp.gov.br/habit_igc/Produtos/listagem%20emplasa. Acesso em: 01/05/2026.
- LIU, W.; FENG, Q.; ENGEL, B.A.; YU, T.; ZHANG, X.; QIAN, Y. (2023). "A probabilistic assessment of urban flood risk and impacts of future climate change". *Journal of Hydrology*, 618, p. 129267.
- MIGNOT, E.; LI, X.; DEWALS, B. (2019). "Experimental modelling of urban flooding: A review". *Journal of Hydrology*, 568, pp. 334–342.
- MORALES-HERNÁNDEZ, M.; GARCÍA-NAVARRO, P.; BURGUETE, J.; BRUFAU, P. A conservative strategy to couple 1D and 2D models for shallow water flow simulation. *Computers & Fluids*, v. 81, p. 26–44, 2013.
- NEVO, S.; MORIN, E.; ROSENTHAL, A.G.; METZGER, A.; BARSHAI, C.; WEITZNER, D.; VOLOSHIN, D.; KRATZERT, F.; ELIDAN, G.; DROR, G.; BEGELMAN, G.; NEARING, G.; SHALEV, G.; NOGA, H.; SHAVITT, I.; YUKLEA, L.; ROYZ, M.; GILADI, N.; LEVI, N. P.; REICH, O.; GILON, O.; MAOR, R.; TIMNAT, S.; SHECHTER, T.; ANISIMOV, V.; GIGI, Y.; LEVIN, Y.; MOSHE, Z.; BEN-HAIM, Z.; HASSIDIM, A.; MATIAS, Y. (2022). "Flood forecasting with machine learning models in an operational framework". *Hydrology and Earth System Sciences*, 26(15), pp. 4013–4032.
- ROCHA FILHO, G. M. Distribuições temporais de chuvas intensas para o Município de São Paulo. 120 f. *Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH)*, São Paulo, 2020.
- SCS – Soil Conservation Service (1972). *National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology*. Washington: United States Department of Agriculture.
- SMDU – Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (2012). *Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais do Município de São Paulo*. Volume I. São Paulo: SMDU.
- SMUL – Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (2017). "GeoSampa reúne dados georreferenciados sobre a cidade de São Paulo". *Prefeitura de São Paulo*. Disponível em: <https://prefeitura.sp.gov.br/web/licenciamento/w/noticias/247194>. Acesso em: 01/05/2026.
- SMUL – Secretaria Municipal de Urbanismo e Licenciamento (2020). *GeoSampa: Metadados do Modelo Digital de Terreno (MDT)*. Disponível em: <https://metadados.geosampa.prefeitura.sp.gov.br/geonetwork/srv/api/records/b9b1b6d2-eb59-49fc-8ba7-66e75eb552a6>. Acesso em: 01/05/2026.
- YANG, Q.; MA, Z.; ZHANG, S. (2022). "Urban Pluvial Flood Modeling by Coupling Raster-Based Two-Dimensional Hydrodynamic Model and SWMM". *Water*, 14, 1760.
- YANG, Y.; SUN, L.; LI, R.; YIN, J.; YU, D. (2020). "Linking a Storm Water Management Model to a Novel Two-Dimensional Model for Urban Pluvial Flood Modeling". *International Journal of Disaster Risk Science*, 11, pp. 508–518.
- ZHOU, Q.; LENG, G.; SU, J.; REN, Y. (2019). "Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation". *Science of The Total Environment*, 658, pp. 24–33.