

## XII ENCONTRO NACIONAL DE ÁGUAS URBANAS

### **USO DE MODELO RASTER PARA SIMULAÇÃO DE ÁREAS URBANAS: POTENCIAIS E LIMITAÇÕES**

*Matheus Martins de Sousa<sup>1</sup> & Francis Martins Miranda<sup>2</sup>*

*Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira<sup>3</sup> & Osvaldo Moura Rezende<sup>4</sup> & Marcelo Gomes Miguez<sup>5</sup>*

**Resumo** - A maior facilidade de obtenção de modelos digitais de elevação proporcionou a difusão dos modelos hidrodinâmicos chamados "Raster". Nesses modelos a estrutura de um arquivo Raster é adaptada para funcionar como um modelo Quasi-2D, onde cada pixel funciona como uma célula, com nível de água horizontal nos elementos e fluxo em função das diferenças de nível de água entre o elemento e seus vizinhos. Com a maior velocidade de processamento dos computadores o modelo Raster tem se difundindo e apresentado resultados satisfatórios em bacias não urbanas. Entretanto o seu uso em regiões urbanas requer um maior refinamento da grade que encarece os custos do levantamento e computacionais. O presente trabalho busca avaliar o uso de um modelo Raster construído a partir do Modelo de Células Escoamento – MODCEL aplicando-o a um caso de estudo urbano onde modelos 2D são comparados. O teste consiste na simulação de um evento de inundação em algumas ruas da cidade de Glasgow na Escócia. O objetivo é avaliar a capacidade do modelo em simular os escoamentos em ruas e refletir sobre os custos computacionais e de levantamento requeridos. Os resultados também permitem avaliar o funcionamento do modelo MODCEL-Raster em regiões urbanas e compará-lo a modelos consagrados mundialmente.

**ABSTRACT**– The greater ease of obtaining digital models of elevation provided the diffusion of the hydrodynamic models called "Raster". In these models the structure of a Raster file is adapted to function as a Quasi-2D model, where each pixel functions as a cell, with horizontal water level in the elements and flow as a function of water level differences between the element and its neighbors. With higher processing speed of the computers the Raster model has been diffusing and presented satisfactory results in non-urban basins. However, its use in urban areas requires a greater refinement of the raster grid that increases the costs of surveying and processing. The present work aims to evaluate the use of a Raster model built from the Flow Cell Model - MODCEL applying it to an urban case study tested with 2D models. The test consists in simulating a flood event on a few streets in the city of Glasgow, Scotland. The objective is to evaluate the model's ability to simulate street flows and to reflect about the computational and surveying costs required. The results also allow to evaluate the operation of the MODCEL-Raster model in urban regions and to compare it to models worldwide consecrated.

**Palavras-Chave** – Modelo Raster, Inundações Urbanas, MODCEL.

<sup>1</sup> AquaFluxus Consultoria Ambiental em Recursos Hídricos, matheus@hidro.ufrj.br

<sup>2</sup> COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, francis@coc.ufrj.br

\* Autor Correspondente.

<sup>3</sup> COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, krishnamurti@poli.ufrj.br

<sup>4</sup> AquaFluxus Consultoria Ambiental em Recursos Hídricos, om.rezende@hidro.ufrj.br

<sup>5</sup> COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, marcelomiguez@poli.ufrj.br

## INTRODUÇÃO

O formato *raster* consiste em uma grade de células com representação matricial composta por  $i$  colunas e  $j$  linhas ( $M_{i,j}$ ). Cada célula, também chamada de pixel, armazena ou representa um valor referente ao atributo e, quando georreferenciada, possui também um par de coordenadas geográficas associado.

Na modelagem hidrodinâmica a partir de modelos do tipo Raster, a estrutura de um dado arquivo *raster* é adaptada para funcionar como um modelo *quasi-2D*, estabelecendo ligações unidimensionais em múltiplas direções. Estudos nessa linha de concepção vêm sendo desenvolvidos desde os anos 80 (MORRIS e WOOLHISER, 1980 *Apud* JOHNSON e MILLER, 1997), mas somente a partir dos anos 2000 passaram a ser mais difundidos, principalmente em função da crescente disponibilidade de dados topográficos (HUNTER *et al.*, 2007). Em função da vantagem em relação ao tempo de processamento em comparação com os modelos 2D (PAZ, 2010), modelos deste tipo vem sendo amplamente empregados na modelagem de planícies inundáveis alcançando resultados satisfatórios (SOUSA *et al.*, 2017).

O funcionamento do pixel no modelo “Raster” está associado a uma célula de escoamento da modelagem *quasi-2D*, desenvolvendo trocas de vazões entre um dado pixel e seus vizinhos calculados em função das diferenças de níveis d’água horizontais. Acrescenta-se a possibilidade de se considerar como condições de contorno fontes e sumidouros (“*sinks*”) (PAZ, 2010). O atributo considerado no pixel refere-se à elevação do terreno ou edificação sobreposto, podendo representa um valor homogêneo ou equivalente à média de todas as informações de alturas dentro de seus limites. A busca pela compatibilização entre a resolução ideal da área modelada e os custos inerentes ao tempo de processamento e levantamento topográfico podem ser considerados como o paradigma desse tipo de modelagem (HORRITT e BATES, 2001).

Nesse artigo, é utilizada a adaptação do Modelo de Células de Escoamento para Bacias Urbanas – MODCEL (MIGUEZ, 2001; MIGUEZ *et al.*, 2017) para escala Raster (SOUSA *et al.*, 2017) aplicada a um evento de cheia em uma região urbana como parte de um pacote de testes para comparação de modelos 2D proposto pela Agência Ambiental Britânica (*Environment Agency* – EA) (NÉELZ E PENDER, 2010).

Os modelos testados apresentados por Néelz e Pender (2014) são: ANUGA, Flowroute-iTM, InfoWorks ICM, ISIS 2D, ISIS 2D GPU, JFLOW +, MIKE FLOOD, SOBEK, TUFLOW, TUFLOW GPU, TUFLOW FV, XPSTORM, LISFLOOD-FP, RFSM EDA, ISIS Fast Dynamic, UIM, Ceasg, RFSM Direct e ISIS Fast.

## REPRESENTAÇÃO DA TOPOGRAFIA URBANA

A representação da topografia é um processo fundamental na atividade de modelagem de escoamentos. A topografia e sua interpretação compõem um elemento determinante na correta definição de áreas de drenagem, caminhos do escoamento e identificação de obstáculos, além de ser responsável por definir as declividades do terreno, que tem grande importância nas equações hidrodinâmicas.

As fontes de informação topográfica mais comuns são os mapas de curva de nível, os modelos digitais do terreno (MDTs) e os modelos digitais de elevação (MDEs). Modelos digitais de elevação consideram a elevação de objetos posicionados sobre a superfície da terra, por exemplo a copa das árvores de uma região densamente florestada e o topo de edifícios. Já os modelos digitais de terreno referem-se à cota altimétrica do nível do solo e são construídos a partir de mapas topográficos – curvas de nível, levantamentos por GPS ou altimetria laser – LIDAR (ROCHA, 2015).

Os efeitos e implicações da resolução do modelo topográfico sobre os resultados dos modelos de escoamento vem sendo amplamente estudados nos últimos anos (HORRITT e BATES, 2001; LI e WONG, 2010; OZDEMIR *et al.* 2013; KOMI *et al.*, 2017). Na modelagem de regiões mais planas o efeito da resolução dos levantamentos topográficos nos resultados é menor. Komi *et al.* (2017) usou o modelo Raster LISFLOOD-FP para simular as inundações na bacia do rio Oti, sub-bacia da bacia do rio Volta da África Ocidental, região rural com baixa declividades. Os resultados mostraram poucas diferenças ao longo dos 8,4 km<sup>2</sup> de área modelada, para os grids de 30, 60, 120 e 240 metros e variações na ordem de 1 metro no nível d'água para grades de 480 e 960 metros.

Também para as áreas planas, Li e Wong (2010) apontaram que MDEs com resolução mais refinada apresentaram resultados superiores na representação dos caminhos do escoamento ao longo dos rios e planícies de inundação, mas apenas quando a malha do modelo utilizado for pequena o suficiente para representar essa precisão e diferenciar esses caminhos de escoamento. O que revela a importância da forma de representação da topografia na modelagem dos escoamentos. Nos modelos que integram rios e planícies de inundação, o canal principal requer uma discretização refinada da malha numérica (PAZ, 2010). Gillam *et al.* (2005 *apud* PAZ, 2010) recomendam que a largura do canal ocupe pelo menos 4 elementos da grade numérica, enquanto Verwey (2007) sugere um mínimo de 10 elementos para adequadamente simular o escoamento em canais com meandros. Nesses casos um dos caminhos seria o uso de modelos 1D/2D, evitando o acréscimo exagerado de elementos na malha 2D para a representação de canais.

Quando consideradas áreas urbanas, o processo de modelagem se mostra ainda mais sensível aos resultados. Segundo Mark *et al.* (2004), para representar as características de uma paisagem

urbana, a malha deve ter elementos inferiores a 5 metros. Na prática, entretanto, grandes escalas de análise não suportariam uma malha tão refinada (JAMIESON *et al.*, 2012), que elevaria muito o custo computacional e, em alguns casos, até mesmo inviabilizando a simulação. Porém, em áreas urbanas, a busca por uma resolução cada vez mais refinada é uma tendência para muitos modeladores. Até pouco tempo, a resolução utilizada em modelos 2D urbanos ficava na faixa de 1 metro (MARK *et al.*, 2004, GALLEGOS *et al.* 2009, LEANDRO *et al.*, 2009, GALLIEN *et al.*, 2011). Avanços em recursos computacionais e na disponibilidade recente de dados em alta resolução como LiDAR, por exemplo, permitiram as primeiras simulações 2D de inundações urbanas com resoluções inferiores, chegando na ordem de até 10 cm (OZDEMIR *et al.*, 2013).

Em seu estudo, Ozdemir *et al.* (2013) simularam uma mesma região urbana com resoluções diferentes e observaram a elevação das profundidades e velocidades máximas de água em 37% e 32%, respectivamente, com a redução da resolução de 10 cm para 1 metro, enquanto a extensão da inundação diminuiu cerca de 6%. Em outro estudo com modelos de resolução de 10 cm, Almeida *et al.* (2016) averiguam que pequenas mudanças na representação da paisagem urbana, não observadas em resoluções maiores que 1 metro, como elevações na malha rodoviária urbana, podem alterar o fluxo do escoamento em uma direção, entretanto os autores observam e reforçam que resoluções muito detalhadas acarretam um custo computacional, com um elevado tempo de processamento, o que pode inviabilizar o seu uso em projetos de engenharia que demandem a análise de múltiplos cenários.

Por fim, os autores ressaltam a importância de fatores não levados em conta no estudo, como a interação com a rede de microdrenagem. Realmente em escoamentos com lâminas d'água pequenas, onde a influência de resoluções na ordem de centímetros poderia ter relevância significativa, uma boa representação da rede de microdrenagem provavelmente será mais importante para boa reprodução dos padrões de escoamentos, do que o detalhamento dos escoamentos superficiais sem essa contrapartida.

Outra questão que merece destaque é a representação dos coeficientes de rugosidade para uma malha com resolução inferior a 1 metro. Desde a década de 50, muitos trabalhos têm discutido e buscado estimar o coeficiente de Manning em canais (GRISON *et al.*, 2013), no geral tendo como base a estimativa de um trecho representativo do escoamento. De forma geral, a aplicação e estimativas deste coeficiente são bastante abrangentes ao lidar com a representação do comportamento médio de trechos de canais, entretanto sua aplicação em resoluções na ordem de centímetros, onde imperfeições e rugosidades pontuais tendem a ser mais significativas, ainda é pouco analisada e de difícil estimativa.

Desta forma, analisar e entender como a resolução topográfica adotada funciona em cada modelo e qual a pré-análise necessária para a entrada destas informações em cada tipo de modelagem é de extrema importância.

Para os modelos 2D, o processo preliminar da modelagem se limita à demarcação do domínio a ser modelado, na montagem da malha na escala e resolução em que serão realizados os cálculos e na delimitação das condições de contorno do modelo. Por fim, alguns desses modelos permitem a simulação de estruturas hidráulicas adicionadas pontualmente à malha de elementos dimensionada. Fora a representação dessas estruturas pontuais e o possível uso de modelos 1D acoplados para representação das redes de drenagem, nenhuma interpretação física é necessária nessa etapa da modelagem, o modelo vai identificar cada nó da malha representada como um ponto do domínio com uma determinada cota e resolverá as equações de escoamento entre esses pontos.

O modelo Raster funciona com equações unidimensionais sobre uma malha quadriculada, gerada em cima do arquivo *raster*. Da mesma maneira que ocorre nos modelos 2D, quase nenhuma interpretação física é requerida nesse tipo de modelagem.

## O MODELO DE CELULAS DE ESCOAMENTO

O MODCEL-Raster é uma adaptação do Modelo de Células e Escoamento para uma grade Raster. A estrutura do MODCEL (MIGUEZ, 2001; MIGUEZ *et al.*, 2017) parte da premissa que a região pode ser discretizada em células, as quais possuem ligações hidráulicas pré-determinadas pelo modelador, de forma que o conjunto de células e ligações represente as diversas possibilidades de escoamento superficial resultante de um evento de chuva. Essa estrutura é adaptada para configuração do modelo digital de elevação apresentado no formato de um arquivo *raster* podendo ou não ser reamostrado em relação ao seu pixel de origem (SOUSA *et al.*, 2017). Dessa forma, cada elemento é representado no modelo como uma célula de escoamento ligada às demais células em seu entorno pelas equações de Saint-Venant sem os termos de inércia, conforme representado esquematicamente na Figura 1.

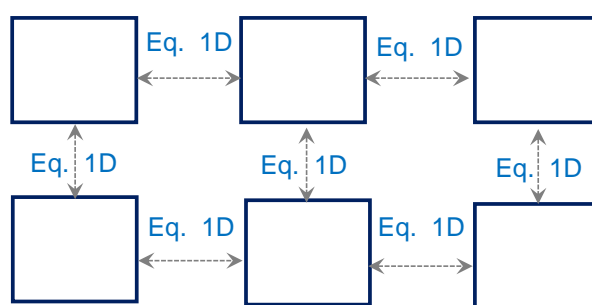


Figura 1– Representação esquemática da ligação entre as células/pixels do MODCEL-Raster. Fonte: Sousa *et al.*(2017).

## ESTUDO DE CASO: GLASGOW, ESCÓCIA

O estudo de caso desenvolvido nesse artigo tem como base as recentes publicações da Agência Ambiental Britânica (NÉELZ e PENDER, 2010; 2014), onde diferentes resultados de modelos de escoamento para 8 diferentes tipos de arranjos são compilados e comparados periodicamente. Os testes comparativos entre modelos têm como objetivo subsidiar e definir critérios para contratação de estudos e projetos por parte da agência. Estudos comparativos subsequentes vêm sendo desenvolvidos, testando outros modelos para as mesmas bases já simuladas (JAMIESON *et al*, 2012; BEEVERS *et al*, 2016; GUIDOLIN *et al*, 2016).

O teste objeto de análise consiste na simulação de uma região urbana de cerca de 0,4 km por 0,96 km na cidade de Glasgow na Escócia – UK, conforme apresentada na Figura 2. O alagamento é gerado a partir de um evento de precipitação distribuída uniformemente sobre a área modelada, com intensidade constante de 400mm/hora e duração de 3 minutos, e um hidrograma de cheia (Figura 3), aplicado no ponto sinalizado como “INFLOW” na Figura 2.

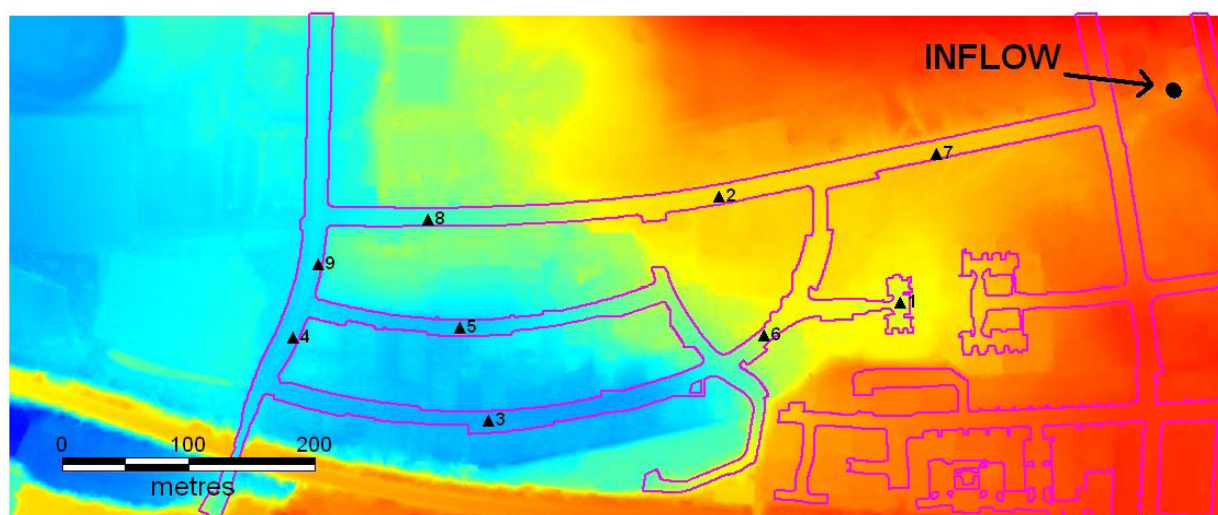


Figura 2 – Região a ser simulada no teste 8 A. Fonte: NÉELZ E PENDER, 2014.

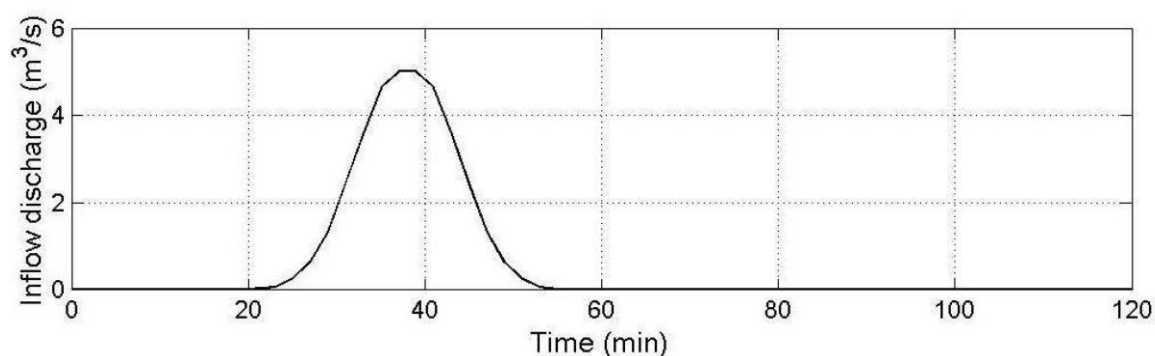


Figura 3– Hidrograma de entrada aplicado no ponto INFLOW localizado na Figura 2. (NÉELZ E PENDER, 2014).

O MODCEL-Raster foi elaborado com 43.148 células quadradas de área de 9 m<sup>2</sup> cada, ligadas entre si pela equação de Saint-Venant sem os termos de inércia e com o coeficiente de Manning de 0,02 nas áreas pavimentadas, e 0,05 nas demais áreas. As especificações da Agencia Ambiental Britânica sugerem a utilização de um grid com 97.000 elementos com área de 4 m<sup>2</sup> cada, entretanto um grid nesse nível de detalhamento tornaria o tempo computacional requerido pelo MODCEL extremamente grande. Dessa maneira, a opção adotada no presente estudo foi a de simular inicialmente com um grid menos refinado e, em função dos resultados satisfatórios obtidos, não foram simulados grids mais refinados.

## RESULTADOS E COMPARAÇÕES

Nos testes apresentados por Néelz e Pender (2014), a maioria dos modelos, em especial os que resolvem as equações de águas rasas completas, apresentam níveis de água máximos coerentes entre si. As medições de velocidades apresentaram diferenças mais significativas, especialmente nos pontos de níveis baixos (pontos 6, 8 e 9) onde a influencia do fundo é mais significativa.

Os resultados obtidos com o MODCEL-Raster para os pontos 2 e 6, cujas localizações podem ser observadas na Figura 2, estão apresentados na Figura 4. A mancha de inundação resultante é apresenta na Figura 5.

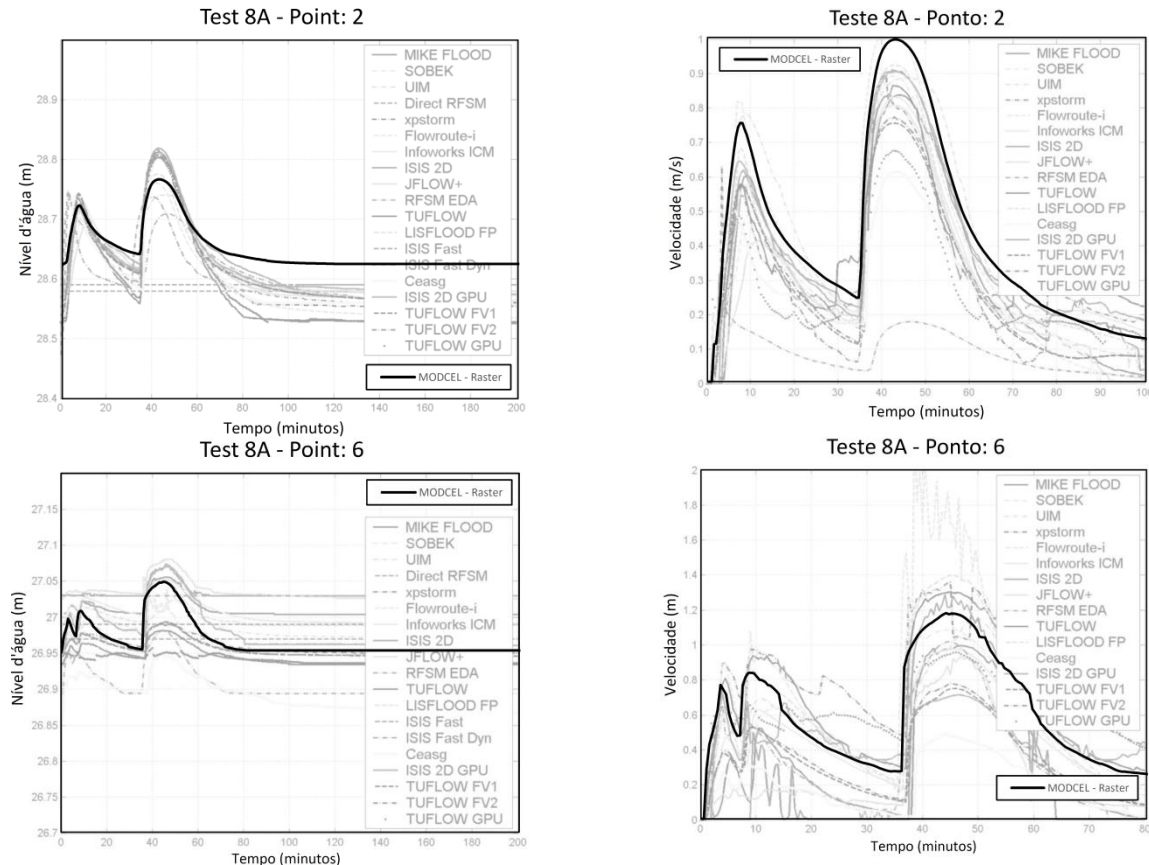


Figura 4– Resultados do MODCEL – RASTER nos pontos 2 e 6.

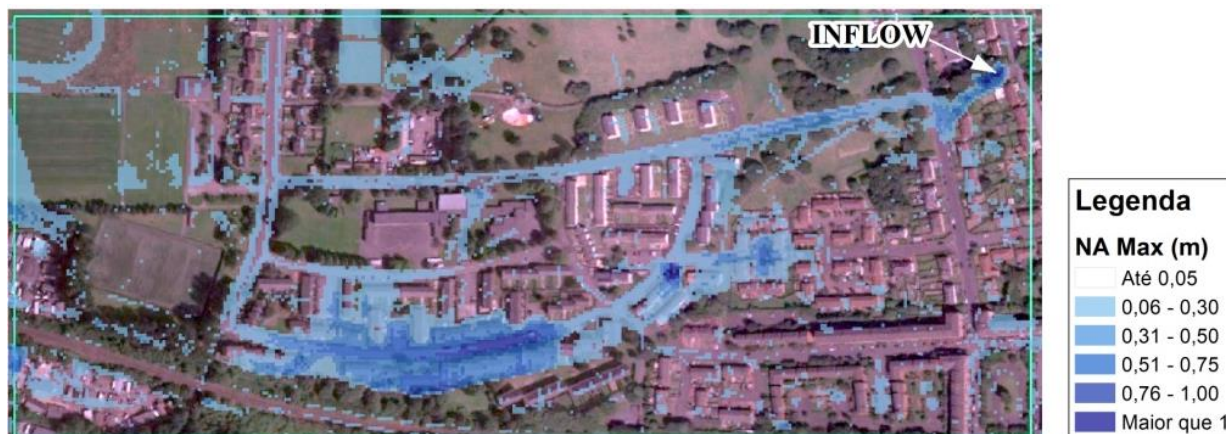


Figura 5– Mancha de Inundação resultante do MODCEL – RASTER.

O MODCEL-Raster apresentou resultados coerentes com os demais modelos testados na previsão de níveis d'água e velocidade, onde todas as respostas ficaram dentro da variação dos demais modelos. A Tabela 1 apresenta a comparação dos resultados de níveis e lâminas do MODCEL-Raster com os resultados obtidos por NÉELZ e PENDER (2014) para o modelo Infoworks (tomado como referência, pela sua difusão e aceitação em nível mundial) nos pontos 1, 2, 3 e 6 conforme localização na Figura 2.

Tabela 1 – Comparação de resultados de nível d'água, em metros.

| Ponto | Infoworks  |         |      | MODCEL-Raster |         |      |
|-------|------------|---------|------|---------------|---------|------|
|       | NA inicial | NA Max, | h    | NA inicial    | NA Max, | h    |
| 1     | 27,10      | 27,68   | 0,58 | 27,10         | 27,70   | 0,60 |
| 2     | 28,54      | 28,80   | 0,26 | 28,54         | 28,76   | 0,22 |
| 3     | 23,60      | 24,38   | 0,78 | 23,60         | 24,39   | 0,79 |
| 6     | 27,00      | 27,05   | 0,05 | 27,00         | 27,05   | 0,05 |

## CONCLUSÕES

De maneira geral, o MODCEL-Raster apresentou bons resultados na representação do escoamento para o estudo de caso apresentado, com respostas de níveis d'água e velocidades dentro da faixa de variação dos demais modelos.

Um cenário urbano normalmente apresenta diversas estruturas e diferenças de cotas que obrigam modelos 2D ou Raster a adotarem um grid muito detalhado, como no estudo de caso apresentado. Entretanto, o detalhamento do grid não garante a representação fiel dos caminhos da água em um evento de inundação. A opção pela modelagem do tipo Raster consiste em processo metodológico com incertezas associadas a não interpretação da topografia e possíveis obstáculos ao escoamento. Tal temática merece destaque em função da tendência de automatização de modelos hidrodinâmicos, onde o modelador exerce pouca interpretação dos fenômenos físicos inerentes ao escoamento, principalmente em bacias urbanas.



Pequenos desníveis na observação geral dos padrões de escoamento podem introduzir declividades e distorções significativas em pequenas distâncias, no caso de grids mais refinados. Por exemplo, um meio fio de 15 cm pode introduzir uma declividade de 7,5% em um grid de 2 metros, distorcendo o campo longitudinal dos escoamentos (na direção da rua) com uma velocidade transversal (da calçada para a rua) grande e não importante no movimento geral da rua alagada.

Dessa forma é possível concluir que mesmo apresentando resultados compatíveis com os modelos 2D, a aplicação de um modelo Raster à uma região urbana ainda é limitada pelo custo do levantamento necessário para garantir uma boa escala e pelo custo computacional para a modelagem de áreas maiores. Essa limitação restringe sua aplicação a ruas, quarteirões ou pequenos bairros e, mesmo nesses casos, há a necessidade de uma interpretação dos resultados pelo modelador.

## REFERÊNCIAS

- BEEVERS, L.; Popescu, I.; Pan, Q.; Pender, D. *Applicability of a coastal morphodynamic model for fluvial environments*. Environmental Modelling & Software, v. 80, p. 83-99, 2016.
- DE ALMEIDA, G. AM; BATES, P.; OZDEMIR, H. *Modelling urban floods at submetre resolution: challenges or opportunities for flood risk management?*. Journal of Flood Risk Management, 2016.
- GALLEGOS, H. A.; SCHUBERT, J. E.; SANDERS, B. F. *Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California*. Advances in water resources, v. 32, n. 8, p. 1323-1335, 2009.
- GALLIEN, T. W.; SCHUBERT, J. E.; SANDERS, B. F. *Predicting tidal flooding of urbanized embayments: A modeling framework and data requirements*. Coastal Engineering, v. 58, n. 6, p. 567-577, 2011.
- GRISON, F., de ALMEIDA M., A., KOBAYAMA, M., CARDOSO, A. T., & MONTEIRO, L. R. 2013 *Avaliação dos Métodos de Estimativa do Coeficiente de Manning em um Canal Fluvial*. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH). Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, Brazil.
- GUIDOLIN, M.; CHEN, A. S., GHIMIRE, B., KEEDWELL, E. C., DJORDJEVIĆ, S., & SAVIĆ, D. A. *A weighted cellular automata 2D inundation model for rapid flood analysis*. Environmental Modelling & Software, v. 84, p. 378-394, 2016.
- HORRITT, M. S.; BATES, P. D. *Effects of spatial resolution on a raster based model of flood flow*. Journal of Hydrology, v. 253, n. 1, p. 239-249, 2001
- HUNTER, N. M., BATES, P. D., HORRITT, M. S., WILSON, M. D. *Simple spatially-distributed models for predicting flood inundation: a review*. Geomorphology, v. 90, n. 3, p. 208-225, 2007.
- JAMIESON, S.R., LHOMME, J., WRIGHT, G., GOULDBY, B. *A highly efficient 2D flood model with sub-element topography*. In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management. Thomas Telford Ltd, 2012. p. 581-595

- JOHNSON, DENNIS L.; MILLER, ARTHUR C. *A spatially distributed hydrologic model utilizing raster data structures*. Computers & Geosciences, v. 23, n. 3, p. 267-272, 1997.
- KOMI, K., NEAL, J., TRIGG, M. A., & DIEKKRÜGER, B. *Modelling of flood hazard extent in data sparse areas: a case study of the Oti River basin, West Africa*. Journal of Hydrology: Regional Studies, v. 10, p. 122-132, 2017.
- LEANDRO, J.; CHEN, A. S.; DJORDJEVIĆ S.; SAVIĆ D. A. (2009). *Comparison of 1D/1D and 1D/2D Coupled (Sewer/Surface) Hydraulic Models for Urban Flood Simulation*, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, June, pp. 495-504. Downloaded 02 June 2011 from <http://www.ascelibrary.org>.
- LI, J.; WONG, Da. WS. *Effects of DEM sources on hydrologic applications*. Computers, Environment and urban systems, v. 34, n. 3, p. 251-261, 2010.
- MARK, O., WEESAKUL, S., APIRUMANEKUL, C., AROONNET, S. B., & DJORDJEVIĆ, S. *Potential and limitations of 1D modelling of urban flooding*. Journal of Hydrology, v. 299, n. 3, p. 284-299, 2004.
- MIGUEZ, M.G. (2001). *Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas*. Tese (Doutorado) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- MIGUEZ, M. G., BATTEMARCO, B. P., SOUSA, M. M., REZENDE, O. M., VERÓL, A. P., & GUSMAROLI, G. (2017). *Urban Flood Simulation Using MODCEL—An Alternative Quasi-2D Conceptual Model*. Water, 9(6), 445
- NÉELZ, S.; PENDER, G. *Benchmarking of 2D Hydraulic Modelling Packages*; Environment Agency: Bristol, UK, 2010.
- NÉELZ, S.; PENDER, G. *Benchmarking of 2D Hydraulic Modelling Packages*; Environment Agency: Bristol, UK, 2014.
- OZDEMIR, H., SAMPSON, C., de ALMEIDA, G. A., & BATES, P. D. *Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 10, p. 5903-5942, 2013.
- PAZ, A. R., COLLISCHONN, W., TUCCI, C. E. *Simulação hidrológica de rios com grandes planícies de inundação*. RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 15 n.4 Out/Dez 2010, 31-43.
- ROCHA, Felipe Figueiredo. *Retro análise da ruptura da barragem São Francisco-Miraí*, Minas Gerais, Brasil. 2015
- SOUSA, M. M.; MIGUEZ, M. G. ; OLIVEIRA, A. K. B. ; REZENDE, O. M.; SILVA, B. M. G. ; JACOB, A. C. P.; RIBEIRO, L. B. F. . *Uso de Modelo Raster para Simulação de Onda de Cheias em um Vale Encaixado*. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2017, Florianópolis. XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre: ABRH, 2017.
- VERWEY, A. (2007). *Hydroinformatics support to flood forecasting and flood management*. IAHS publication, 310, 23