

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

# CAPACIDADE DO MODELO HAND NA REPRESENTAÇÃO DE UMA MANCHA DE INUNDAÇÃO COMPARADO AO MODELO HIDRODINÂMICO HEC-RAS 2D

*Benício Emanuel Omena Monte<sup>1\*</sup>; Franciele Zanandrea<sup>1</sup>; Bruno Henrique Abatti<sup>1</sup>; Matheus Henrique Tavares<sup>1</sup> & André Luiz Lopes da Silveira<sup>1</sup>*

**RESUMO** – Prever ou determinar inundações tem se tornado uma questão primordial, e modelos hidrodinâmicos são os mais confiáveis nessa responsabilidade, contudo, sua complexidade por vezes limita seu uso em localidades com poucos dados ou de forma rápida, o que pode inviabilizar tal simulação. O propósito deste trabalho foi explorar a eficácia de um modelo de baixa complexidade frente o uso de modelo hidrodinâmico 2D em áreas planas com diferentes condições de contorno. A área de estudo foi a região do Lago Dourado, em Santa Cruz do Sul-RS. Manchas de inundação foram geradas para ambos modelos com base na inundação de julho de 2015. As métricas utilizadas identificaram que o HAND possui uma capacidade entre razoável e boa para delimitar as inundações, porém pouco confiável quando se trata de profundidades. Ambos os modelos necessitam que os dados apresentados sejam confiáveis, porém o hidrodinâmico é mais sensível a essa limitação. Essa circunstância é importante para que análises mais profundas sejam feitas com o intuito de identificar se os modelos possuem melhor correspondência em cenários onde os dados são mais restritos.

**ABSTRACT** – Predicting or determining floods has become a primary query, and hydrodynamic models are the most reliable in this responsibility, however, their complexity occasionally limits its use in localities with low data or in a quick fashion, which may make these simulations unfeasible. The purpose of this work was to explore the effectiveness of a low-complexity model in comparison with a 2D hydrodynamic model in plain areas and with different contour conditions. The study area was the region of Lake Dourado, in Santa Cruz do Sul-RS. Flood maps were generated with both models, based on the flood of July 2015. The metrics showed that HAND has a moderate to good capacity to delimit the floods, but it is not reliable in representing the depths. Both models need reliable input data, but the hydrodynamic model is more sensitive to this limitation. This circumstance is important for future deeper analysis with the aim of identifying if these models have a better parity in scenarios where data are more restrict.

**Palavras-Chave** – Inundação, HAND, HEC-RAS

## INTRODUÇÃO

A modelagem e o mapeamento de inundação são importantes ferramentas para evitar danos causados pelas inundações urbanas. O mapeamento de inundação determina a extensão da mancha de inundação em função da profundidade e da velocidade da água (Alaghmand et al., 2010). Para

---

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHSA)/Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH)/Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS): Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre, RS – Brasil, 91501-970, Caixa Postal – 15029  
Telefones e E-mails: +55 (51) 98106-5143\*, benicio\_monte@hotmail\*; +55 (51) 997898-8864, franciele.zanan@gmail.com; +55 (47) 99601-3143, bruno\_abatti@hotmail.com; +55 (41) 99827-4904, tavaresmatheush@gmail.com; +55 (51) 3308-6623, andre@iph.ufrgs.br.

obter essas informações são utilizados modelos hidrodinâmicos complexos que exigem como entrada dados hidrológicos e hidráulicos, além da batimetria das seções transversais do rio simulado. Um exemplo de modelo hidrodinâmico comumente utilizado para esse tipo de mapeamento é o HEC-RAS (NETO et al., 2016; PATEL et al., 2017; PINOS E TIMBE, 2019).

No entanto, muitas vezes esses dados não estão disponíveis ou então são insuficientes para uma boa representação do modelo. Visando suprir a falta de dados hidrológicos, uma alternativa para o mapeamento da mancha de inundação é através de modelos baseados no terreno (MOMO et al., 2016). Nesse sentido, um modelo que vem sendo bastante utilizado é o HAND, o qual realiza uma estimativa da extensão máxima da mancha de inundação estacionária a partir da descrição do terreno (NOBRE et al., 2016). Assim, a principal limitação desses modelos é a impossibilidade de extrair algumas informações, como a velocidade da água, por exemplo. Ambos os modelos possuem limitações, porém quando existem dados precisos e confiáveis para a região, a modelagem hidrodinâmica é mais indicada, pois fornece resultados mais precisos.

Afshari et al. (2018) compararam a mancha de inundação gerada a partir do modelo HEC-RAS com a gerada pelo modelo HAND em escala de bacia, observando uma semelhança na representação entre as mesmas. Assim, os autores retratam a necessidade de examinar se as ferramentas de mapeamento de inundação de baixa complexidade, com requisitos simplificados de entrada, podem ser preferíveis do ponto de vista operacional, particularmente em cenários de resposta rápida a emergências.

Com isso, o presente estudo propõe-se a comparar a mancha de inundação gerada com o modelo HAND com a gerada pelo modelo hidrodinâmico HEC-RAS afim de validar o uso de modelos simples baseados apenas no terreno quando não houver disponibilidade de dados hidrológicos em regiões planas. A metodologia foi aplicada ao evento de inundação de 2015 que ocorreu no rio Pardino e atingiu o município de Santa Cruz do Sul, sendo este evento escolhido por possuir dados hidrológicos e topográficos disponíveis.

## ÁREA DE ESTUDO

A análise realizada limitou-se ao município de Santa Cruz do Sul-RS no Brasil, mais precisamente na região do Lago Dourado, se caracterizando por ser um *polder* fechado com seu interior armazenando água. Sua área total é de 228 ha e um espelho d'água de 120 ha, projetado em 1997 e inaugurado em 2000 (SILVEIRA; GOLDENFUM; MONTE, 2018). A rodovia ERS-409 e a rua Irmão Emílio são os limites físicos que se qualificam como *polders* transversais, e na sua extensão constam 5 pontes e uma série de bueiros para facilitar o fluxo em momentos de inundação.

O lago se encontra entre dois cursos d'água, ambas pertencentes a bacia hidrográfica do rio Pardino (1.083 km<sup>2</sup>), o Rio Pardino (área de 915 km<sup>2</sup> até os limites do Lago Dourado) a esquerda

e o Arroio Lajeado (35 km<sup>2</sup>) a direita (Figura 1). As maiores cotas do rio Pardinho se encontram a 719 m nas nascentes e de 17 m na foz, no encontro com o rio Pardo (WENZEL, 1997). A partir do município de Sinimbu, a bacia torna-se mais plana e conseqüentemente há mais registros de inundações (SEMA/RS, 2005). As áreas que possuem registros recorrentes de inundações nas proximidades do Lago Dourado se localizam no bairro Várzea (SILVEIRA; GOLDENFUM; MONTE, 2018). As vazões diárias máximas anuais têm sido crescentes entre 1979 a 2003 no rio Pardinho em Santa Cruz do Sul (SEMA, 2005), algo também atestado através dos níveis linimétricos (MPRS, 2016). Em termos sociais, a região de estudo é uma área urbana pequena, possuindo 2.009 habitantes. Baseados em levantamentos próprios, a região tem uma divisão percentual de uso e ocupação do solo da seguinte forma: agricultura (38,63%), água (4,55%), área urbana (27,91%), solo exposto (1,18%), mata nativa (22,71%) e pasto (5,02%).

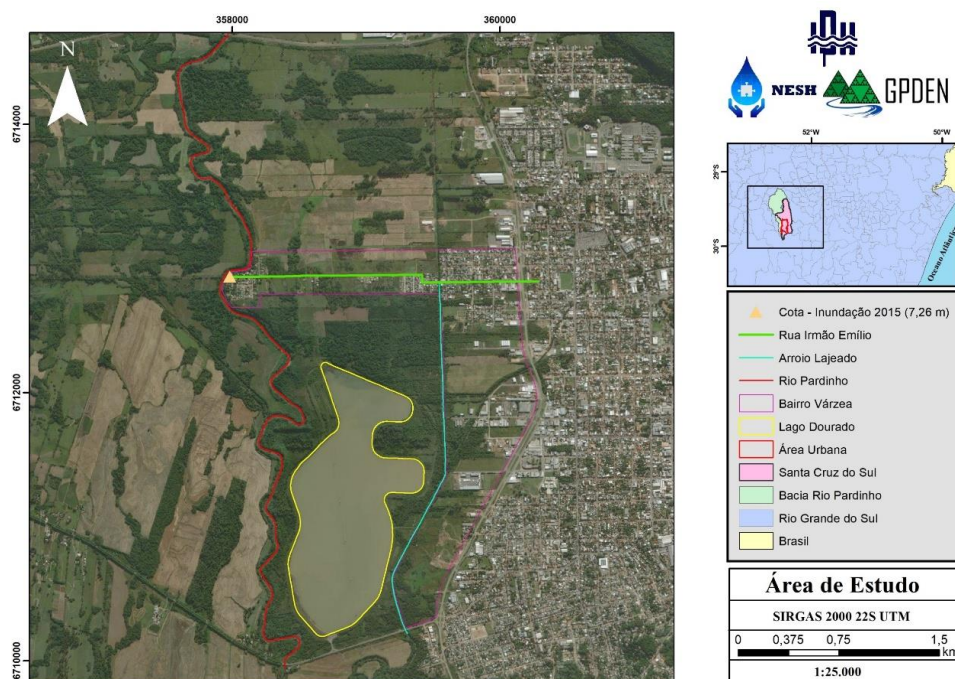


Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.

## METODOLOGIA

### Dados Básicos

Para a representação das características geomorfológicas da área de estudo, utilizou-se o Modelo Digital de Terreno (MDT) fornecido pela Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul, com entrada de informações altimétricas de gradeamento de 20 × 20 m e com variação topográfica de 1 metro, exclusivamente na margem esquerda do rio Pardinho.

Para a calibração do HEC-RAS e definição da mancha do HAND foram utilizados três pontos de controle, onde mediante auxílio da Defesa Civil municipal e levantamento por GPS, foram coletados dois pontos, que definiram a extensão máxima da mancha inundaçãõ, e um último que

determinou a altura da lâmina d'água no evento de julho de 2015 em um ponto de interesse, próximo ao rio. Neste ponto o valor da lâmina foi de 14 cm, cota na régua linimétrica de 7,26 m e a cota do terreno no local é de 30,98 m.

### **Modelo HAND**

O descritor de terreno, denominado HAND, normaliza as cotas do terreno utilizando a rede de drenagem mais próxima como referência relativa. Para isso se utiliza uma única informação de entrada, o MDT. A partir deste dado se descreve a dinâmica de armazenamento e direcionamento de fluxo da água, considerando exclusivamente as feições da paisagem (NOBRE *et al.*, 2011). Para obter a mancha de inundação da cheia de 2015, sucedida em Santa Cruz do Sul-RS, executou-se três procedimentos principais: (i) condicionamento do MDT, (ii) aplicação do algoritmo HAND e (iii) classificação dos pixels inundáveis.

Primeiramente, realizou-se os procedimentos para obtenção dos arquivos de entrada necessários à aplicação do algoritmo HAND, no qual se fez a correção das depressões existentes no MDT, definiu-se as direções de fluxo e os canais de drenagem. Ressalta-se a importância de definir apenas os canais de drenagem que efetivamente propagam a mancha de inundação, visto que a profundidade da lâmina d'água será definida utilizando estes canais como referência relativa. Neste contexto, estipulou-se que apenas o rio Pardinho será utilizado como referência relativa da área de estudo. A segunda etapa, aplicou-se o algoritmo HAND, que é definido com qual canal de drenagem os pixels estão espacialmente associados, para então estabelecer a distância vertical do pixel em relação ao seu canal de drenagem mais próximo, resultando em um MDT normalizado em relação ao canal de drenagem.

Por fim, foram definidos os pixels que foram inundados no evento de interesse e que por consequência irão indicar a extensão da mancha de inundação. Para isso, foi utilizado o ponto de referência de cota de inundação, que definiu o limiar de pixels inundáveis. Isto é, define-se que os pixels que possuem valores iguais ou inferiores ao valor de HAND somado a lâmina d'água do ponto observado serão computados na extensão da mancha de inundação.

### **Modelagem Hidrodinâmica 2D**

A simulação do evento de 2015 foi realizada com o modelo HECRAS 5.0.6 (USACE, 2016), no seu formato 2D. Foram utilizados dados de entrada altimétricos fornecido pela Prefeitura Municipal de Santa Cruz do Sul, na margem esquerda com 1 m de variação, e na margem direita o produto fornecido pela missão SRTM da NASA, que possui variação topográfica de 30 m. O MDT foi manipulado para a adição das batimetrias interpoladas do Arroio Lajeado e do rio Pardinho. Foram 15 seções topobatimétricas no Arroio Lajeado e 18 seções no Rio Pardinho.



Para todo perímetro do estudo, adotou-se regime não permanente. Os valores de *Manning* utilizados foram de 0,1 para agricultura, 0,01 para espelhos d'água, 0,2 para cidade, 0,085 para os canais do Rio Pardinho e do Arroio Lajeado, 0,02 para solo exposto, 0,2 para mata densa e 0,1 para pasto. O intervalo de tempo considerado foi de 5 segundos. A calibração se deu por dois pontos limites da inundação que ocorreu em julho de 2015, um nas proximidades da Escola Municipal Guido Herbert, na rua Irmão Emílio e outro ponto na altura da rua 28 de Setembro, número 2141.

### *Condições de contorno*

Nas condições de contorno, além da condição da cota do lago, foi reconstituído o hidrograma da inundação de julho de 2015 no rio Pardinho. Foram utilizados 8 dias de simulação com dados horários, o 1º e o 8º dia serviram como *warm-up* e para estabilização do modelo, o pico do hidrograma ocorreu na 60ª hora, e os demais dados foram interpolados linearmente (SILVEIRA; GOLDENFUM; MONTE, 2018). As vazões referenciais de interpolação ao fim e início de cada intervalo foram ajustadas a partir das médias diárias, considerando que a vazão de pico horária é fisicamente superior a correspondente média diária. Para uma área de 910 km<sup>2</sup>, o fator tem valor 1,29. Portanto a vazão de pico horária, situada na 60ª hora passa a ter valor 1,29 vezes da máxima vazão diária que acontece no 3º dia, e o valor foi de 475,8 m<sup>3</sup>/s. Essa majoração do pico implica na aplicação nas demais vazões diárias com correções redutoras proporcionais.

Para o Arroio Lajeado, definiu-se um hidrograma unitário (HUT) do método SCS compatível com o passo de tempo das chuvas. O tempo de pico avaliado em 1,66 h, com tempo de base de 4,43 h. A estação pluviométrica utilizada foi o da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). A bacia foi avaliada como um solo tipo C e CN = 81. Foram gerados hidrogramas com intervalos de tempo de 30 minutos, mas foram consideradas as médias horárias, para compatibilizar com o passo de tempo do rio Pardinho (SILVEIRA; GOLDENFUM; MONTE, 2018). São 11 horas de hidrograma, com pico na 6ª hora (26 m<sup>3</sup>/s), com um dia de *warm-up* e um dia de recessão com vazão mínima fixa. As demais horas foram obtidas por interpolação linear. Por último, o Lago Dourado foi definido com água na cota 29,5 m. São 2 pontes em vigas de concreto, uma na BR-287 e outra na ERS-409, 1 pequena ponte na rua Irmão Emílio, 1 pequena ponte na ERS-409 e 2 pontes em arco na ERS-409. Além disso, constam 17 bueiros espalhados pela rua Irmão Emílio.

### **Métricas comparativas entre modelos**

Foram geradas manchas de inundação com modelo HAND e com o modelo HEC-RAS 2D, para efeito de validação dos resultados do modelo HAND, utilizou-se da estatística *Kappa* ( $\kappa$ ) (1) e *Fitness* (*F*) (2) (AFSHARI et al., 2018; YU e LANE, 2006) para medir a similaridade das extensões de inundação entre HEC-RAS 2D e HAND, e a diferença média (DM) e a raiz do erro quadrado médio (RMSE), analisado célula por célula. Analisados de forma conjunta, MD e o RMSE precisam de

cautela no seu uso: um MD menor nem sempre vem acompanhado por um RMSE menor. A descrição de cada item pode ser obtida em (AFSHARI et al., 2018).

Os resultados foram obtidos através de rotina do software R que realiza comparações célula a célula para o um conjunto de estatísticas descritos acima (AFSHARI, 2017).

$$\kappa = \frac{n \cdot (n_{w1,w2} + n_{d1,d2}) - (n_{w1+d1,w2}n_{w1,w2+d2} + n_{w1+d1,d2}n_{d1,w2+d2})}{n^2 - (n_{w1+d1,w2}n_{w1,w2+d2} + n_{w1+d1,d2}n_{d1,w2+d2})} \quad (1)$$

$$F = \frac{n_{w1,w2}}{n_{w1,w2+d2} + n_{w1+d1,w2} - n_{w1,w2}} \quad (2)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Modelo HAND

Mediante a verificação da extensão da mancha de inundação através dos pontos de interesses, considera-se que se obteve uma representação satisfatória da extensão máxima da cheia de julho de 2015 por meio do modelo descritor de terreno comparado aos pontos de campo (Figura 2a). Quanto as informações de profundidade, foi identificada a tendência de superestimar esses valores nas regiões estritamente planas. Sobretudo, acredita-se que o algoritmo possui uma condição muito favorável a replicação em inúmeras áreas de estudos (GOERL et al., 2017; ZANANDREA et al., 2018). Ainda que a motivação da aplicação deste tipo de modelo seja a insuficiência de dados, destaca-se que sua relativa simplicidade de aplicação e sua capacidade em representar a extensão de eventos de inundação, faz com que essa seja uma alternativa no desenvolvimento de ferramentas a gestão das cheias.

### Modelagem hidrodinâmica

A maior expansão da mancha de inundação ocorreu após 1 hora do pico da inundação no rio Pardinho, que é precedida pelo pico do hidrograma de menor dimensão do Arroio Lajeado. O extravasamento da água além da calha ocorre próximo da ponta noroeste do Lago Dourado, e avança de jusante para montante primeiramente até atingir a rua Irmão Emílio, que acaba servindo como uma espécie de *polder*. Posteriormente, próximo do pico do hidrograma, a inundação surge do extravasamento da calha a montante da rua Irmão Emílio, ultrapassa a mesma via ou nas áreas altimétricas mais baixas da rua, depois contorna o Lago Dourado, principalmente pelo lado leste, onde há menores altimetrias, por fim atingem a ERS-409, que também serve como um barramento (Figura 2b). As limitações encontradas possuem relação com a falta da inserção no modelo de estruturas tipo ponte, algo que foi contornado usando estruturas tipo barragem com comportas sempre abertas, o que se aproxima das características de pontes.

## Análises estatísticas

Os resultados considerados para extensão da inundação demonstram que o HAND (área inundada de 6,3 km<sup>2</sup>) teve uma capacidade de seguir a inundação do HEC-RAS 2D (6,5 km<sup>2</sup>), com algumas extrapolações ou subdimensionamentos mínimos. O índice  $\kappa$  teve um valor excelente (Tabela 1) (LANDIS e KOCH, 1977) e um valor razoável de  $F$ , em que acima de 0,85 seria considerado bom (HORRITT; BATES, 2001; SARHADI; SOLTANI; MODARRES, 2012). Todavia, o HAND é incapaz de identificar efeitos de remanso, e isso causou uma diferença considerável a montante da rua Irmão Emílio, que funciona como um dique no pico da inundação.

As análises de profundidade foram apenas para área de intersecção das duas manchas (AFSHARI et al., 2018), e considerado os resultados, é possível concluir que o HAND superestima os resultados em área mais planas (Tabela 1). Sua metodologia se baseia em “inundar” tudo que está abaixo da cota determinada, ou seja, a extensão e profundidade são geradas de forma “horizontal”, enquanto modelos semelhantes como o AutoRoute criam os mesmos resultados de forma “vertical” (FOLLUM et al. 2017). Isso pode explicar o motivo do HAND não conseguir captar corretamente a inundação a montante da rua Irmão Emílio, onde provavelmente os níveis a norte e sul do “dique” são diferentes, pela própria dinâmica da inundação ocorrer em momentos diferentes tanto a montante como a jusante da rua.

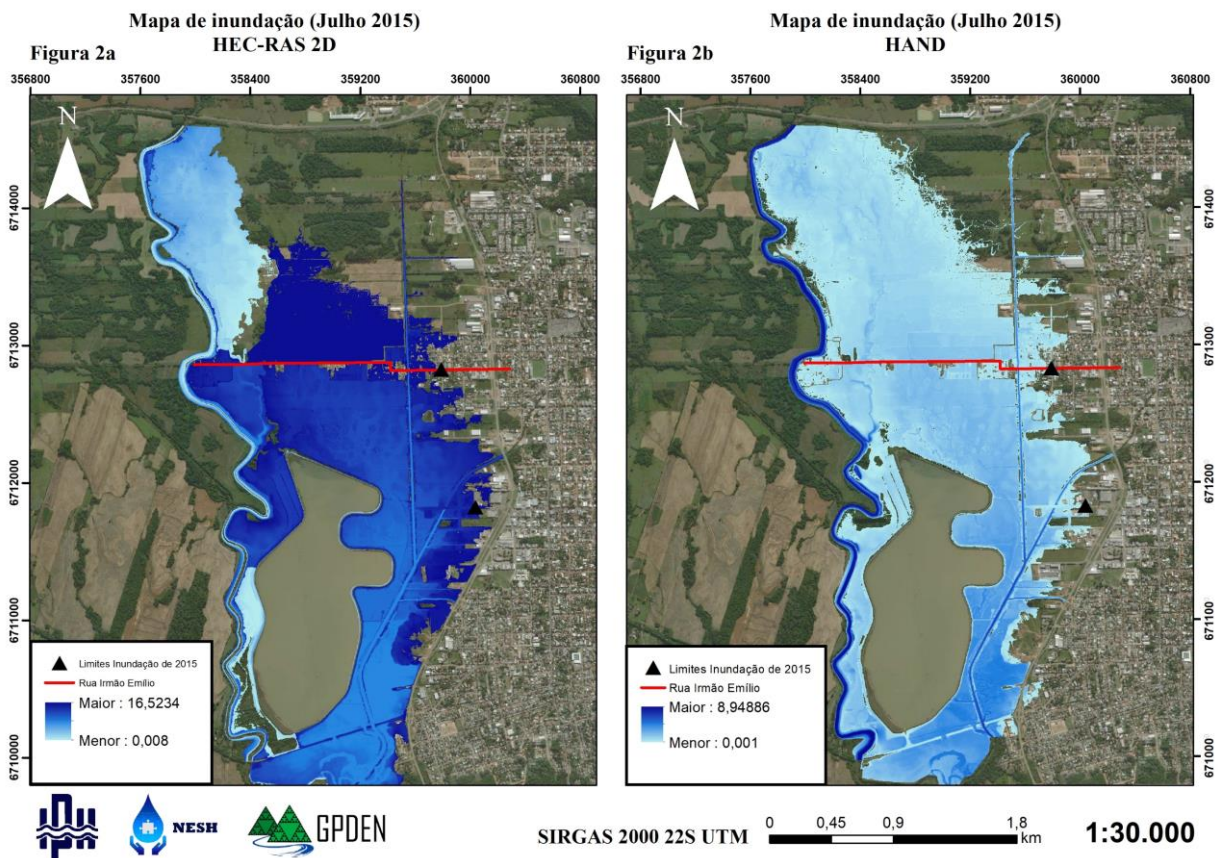


Figura 2 – Resultados das manchas de inundação – Figura 2a - a partir do modelo HAND e Figura 2b - a partir do modelo HEC-RAS2D.

Tabela 1 – Métricas estatísticas utilizadas para medir a eficiência do modelo HAND frente ao HEC-RAS 2D.

Métrica	Valor
Acurácia Total	0,88
Índice Kappa ( $\kappa$ )	0,86
<i>Fitness (F)</i> - Sobreposição	0,77
Raiz do Erro Quadrado Médio (RMSE)	3,88 m
Diferença Média (DM)	- 3,43 m

## CONCLUSÕES

Este artigo objetivou comparar dois modelos de inundação: um modelo hidrodinâmico (i.e. HECRAS 2D) e um modelos de baixa complexidade (i.e. HAND). Modelos hidrodinâmicos são considerados os mais precisos para estimar esse fenômeno natural, todavia são questionáveis quanto a complexidade que o envolve. Assim, avaliamos a efetividade que o modelo HAND possui frente a modelos complexos.

A rapidez e simplicidade do modelo HAND nos condicionou a entender que o mesmo possui uma capacidade razoável para identificar a extensão das inundações nas áreas planas do Lago Dourado apenas utilizando uma cota de inundação do pico e um MDT. Essas informações são possíveis de serem utilizadas em locais onde há falta de dados ou para geração de manchas de inundação com certa rapidez. Em contrapartida, as profundidades perante o modelo hidrodinâmico são superdimensionadas, o que indica cautela no uso desses produtos, visto que resultados grosseiros são facilmente encontrados.

Quanto mais complexa for a simulação no modelo hidrodinâmico 2D (i.e. condições de contorno, estruturas hidráulicas, inserção de topobatimetria), maior a possibilidade de distorções entre as manchas. Outro fator limitante é a confiabilidade das cotas e dos limites da inundação, isso afetando ambos os modelos, pois foram poucos dados e sem identificação de hora e dia dos mesmos, uma realidade comum no Brasil. Por isso, em cada estudo deve ser analisado cuidadosamente o uso de modelos de baixa complexidade. Estudos com outras configurações de condição de contorno, morfologia de canais, planícies de inundação e demais variáveis são fundamentais para um melhor entendimento do comportamento de modelos como HAND.

## AGRADECIMENTOS

O presente estudo integra o Projeto “Estudos Hidrológicos e Hidráulicos para Verificação e Mitigação de Impactos de Inundação do Complexo Lago Dourado – Santa Cruz do Sul/RS”, em desenvolvimento pelo IPH/UFRGS, com suporte financeiro do Município de Santa Cruz do Sul. Os autores agradecem ao CNPq e a Capes pelas bolsas de mestrado e doutorado. Agradecemos ainda a Defesa Civil de Santa Cruz do Sul pelo apoio e informações fornecidas.



## REFERÊNCIAS

- AFSHARI, S. (2017). R, Repository. License: GNU General Public License. <http://doi.org/10.5281/zenodo.893563>.
- AFSHARI, S.; TAVAKOLY, A. A.; RAJIB, M. A.; ZHENG, X.; FOLLUM, M. L.; OMRANIAN, E. O.; FEKETE, B. M. (2018). “*Comparison of new generation low-complexity flood inundation mapping tools with a hydrodynamic model*”. Journal of Hydrology, 556, pp. 539-556.
- ALAGHMAND, S.; ABDULLAH, R.; ABUSTAN, I.; VOSOOGH, B. (2010). “*GIS-based river flood hazard mapping in urban area (a case study in Kayu Ara River Basin, Malaysia)*”. International Journal of Engineering and Technology, 2 (6), pp. 488-500.
- FOLLUM, M.L. (2012). AutoRoute Rapid Flood Inundation Model. Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note ERDC/CHL CHETN-IV-88. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Coastal and Hydraulics Laboratory, Vicksburg, Mississippi. Disponível em: [http://acwc.sdp.sirsi.net/client/en\\_US/default/index.assetbox.assetactionicon.view/1024883](http://acwc.sdp.sirsi.net/client/en_US/default/index.assetbox.assetactionicon.view/1024883).
- GOERL, R. F.; CHAFFE, P. L. B.; SPECKHANN, G. A.; PELLERIN, J. R. G. M.; FLORES, J. A. A.; ABREU, J. J.; SANCHEZ, G. M. (2017). “O modelo HAND como ferramenta de mapeamento de áreas propensas a inundar” in Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis/SC, 2017, pp. 1-8.
- HORRITT, M. S.; BATES, P. D. (2001). “*Predicting floodplain inundation: raster-based modelling versus the finite-element approach*”. Hydrological Processes, 15, 5, p.p 825–842.
- LANDIS, R.; KOCH, G. G. (1977). “*The measurement of observer agreement for categorical data*”. Biometrics, 33, 1, p.159-174.
- MINISTÉRIO PÚBLICO DO RIO GRANDE DO SUL. (2016). *Parecer técnico/documento UAA nº 0356/2016*. Porto Alegre: 21 p.
- MOMO, M. R.; PINHEIRO, A.; SEVERO, D. L.; CUARTAS, L. A.; NOBRE, A. D. (2016). “*Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 21 (1), pp. 200 – 208.
- NOBRE, A. D.; CUARTAS, L.A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C.D.; RODRIGUES, G. SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. (2011). “*Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model*”. Journal of Hydrology, 404, pp.13-29.
- NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; MOMO, M. R.; SEVERO, D. L.; PINHEIRO, A.; NOBRE, C. A. (2016). “*HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent*”. Hydrology Processes, 30, pp. 320 –333.
- NETO, A. R.; BATISTA, L. F. D. R.; COUTINHO, R. Q. (2016). “*Methodologies for generation of hazard indicator maps and flood prone areas: municipality of Ipojuca/PE*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 21 (2), pp. 377-390.
- PATEL, D. P.; RAMIREZ, J. A.; SRIVASTAVA, P. K.; BRAY, M.; HAN, D. (2017). “*Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling: a case application of the new*

- HEC-RAS 5”. *Natural Hazards*, 89, pp. 93-130. PINOS, J.; TIMBE, L. (2019). “*Performance assessment of two-dimensional hydraulic models for generation of flood inundation maps in mountain river basins*”. *Water Science and Engineering*, *in press*.
- SARHADI, A.; SOLTANI, S.; MODARRES, R. (2012). “*Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis*”. *Journal of Hydrology*, v. 458–459, p. 68–86.
- SEMA/RS. (2005). *Consolidação do Conhecimento sobre os Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pardo e Elaboração do Programa de Ações da Sub-Bacia do Rio Pardinho, RE-A, Contrato N° 001/04 - DRH/SEMA-Ecoplan Engenharia Ltda*. Porto Alegre, pp. 58.
- SILVEIRA, A.L.; GOLDENFUM, J.A.; MONTE, B.E.O. (2018). *Estudos Hidrológicos e Hidráulicos para Verificação e Mitigação de Impactos de Inundação do Complexo Lago Dourado – Santa Cruz do Sul/RS*. IPH/UFRGS Porto Alegre, 193 p.
- ZANANDREA, F.; VANELLI, F.M; TAVARES, T. G. A.; GOLDENFUM, J.A. (2018). *Delimitação da área potencialmente inundada pela cheia histórica de 1974 em Tubarão, SC* in *Anais do I Encontro Nacional de Desastres*, Porto Alegre/RS, 2018, pp. 1-8.
- WENZEL, J. A. (1997). “*A sustentabilidade qualitativa e quantitativa do abastecimento de água na zona urbana de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil*”. *REDES*, v. 2, n. 2, pp. 231-246. Disponível em: <https://online.unisc.br/seer/index.php/redes/article/view/10645/pdf>. Acesso em 08 abr. 2019.
- YU, D.; LANE, S.N. (2006). “*Urban fluvial flood modelling using a two-dimensional diffusion-wave treatment, part 2: development of a sub-grid-scale treatment*”. *Hydrological Processes* 20, pp. 1567–1583.