

## DELIMITAÇÃO DA ÁREA POTENCIALMENTE INUNDADA PELA CHEIA HISTÓRICA DE 1974 EM TUBARÃO, SC

*Franciele Zanandrea<sup>1\*</sup>; Franciele Maria Vanelli<sup>1</sup>; Thiago de Gois Araújo Tavares<sup>1</sup> & Joel Avruch Goldenfum<sup>2</sup>*

**ABSTRACT** – In order to support urban planning decisions, mapping areas susceptible to flooding can be an important tool in risk management. Typically, this mapping is done through complex models that require detailed hydraulic and hydrological data, that may be non-existent. Alternatively, there are models, such as the HAND, which from the description of the land makes an estimate of the maximum extent of a flood. Thus, the present study aims to estimate the area potentially flooded due to the extreme event occurred in 1974 in the city of Tubarão, SC. For this, the HAND model was used, using as input data the DTM of high spatial resolution and the level reached by the flood in a central point of the municipality. The validation was performed through the comparison with points collected in the field during interviews with residents of the municipality in 1974. The 1974 floodplain has an area of approximately 322 km<sup>2</sup>, reaching 45% of Tubarão territory. Of the 193 points surveyed, 151 are consistent with the flood spot raised, representing an HAND hit of approximately 80%. The comparison showed a small underestimation of the potentially flooded area generated by the HAND. Despite its limitations, it turns out that the HAND model can be applied for preliminary delimitation of areas potentially flooded with historical floods.

**Palavras-Chave** – Inundação histórica; HAND.

---

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS

2) Professor Titular – IPH/UFRGS

\* franciele.zanan@gmail.com

## 1 - INTRODUÇÃO

A inundação corresponde ao extravasamento do leito menor para a área denominada planície de inundação (Tucci, 2007), se tratando de um processo inerente ao regime dos rios. Muitas vezes, passa a representar um desastre natural devido à aproximação das populações aos rios. Desse modo, a consolidação de centros urbanos no entorno dos rios e a ocupação desordenada das planícies de inundação podem gerar conflitos de interesse.

Com o objetivo de apoiar as decisões de planejamento urbano, o mapeamento das áreas suscetíveis a inundações pode ser uma etapa para estruturação de medidas não-estruturais. Em geral, aplicam-se modelos hidráulicos numéricos para representar a propagação das vazões ao longo da rede de drenagem, e esses podem ser utilizados em conjunto com modelos hidrológicos, a fim de obter uma representação mais adequada dos processos envolvidos. Entretanto, esses modelos demandam, além de dados topográficos, grande quantidade e detalhados dados hidráulicos e hidrológicos (Gall *et al.*, 2007) que podem ser insuficientes ou inexistentes requerendo, em muitos casos, a realização de estimativas probabilísticas.

Em contrapartida, os avanços em sensoriamento remoto possibilitam o acesso a informações topográficas cada vez mais detalhadas. Desta forma, a aplicação de modelos que utilizam o Modelo Digital do Terreno (MDT) para extração e análise de parâmetros hidrológicos e geomorfológicos possibilita uma delimitação preliminar das áreas suscetíveis   inundação, sendo o seu uso cada vez mais frequente, visando suprir a falta de dados hidrológicos (Momo *et al.*, 2016; Goerl *et al.*, 2017b). Um exemplo é o modelo HAND, que realiza uma estimativa da extensão máxima de uma inundação estacionária a partir da descrição do terreno (Nobre *et al.*, 2016).

Aplicando esses modelos descritores do terreno com MDTs de alta resolução espacial, como disponíveis para o estado de Santa Catarina,   possível estimar a máxima área afetada considerando uma marca de cheia. A obtenção dessa delimitação estimada a partir de um único ponto pode ser utilizada como uma alternativa complementar para pr -avaliação de modelos hidrodinâmicos.

Santa Catarina é o terceiro estado brasileiro com maior número de registros de desastres. Os desastres hidrológicos corresponderam a 44% dos cinco mil desastres registrados em Santa Catarina no período de 1991 e 2012 (Tasca *et al.*, 2017). Dentre suas bacias hidrográficas, a Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão foi a terceira mais atingida por desastres hidrológicos no período de 1991 a 2012 (Tasca *et al.*, 2017). No município hom nimo ao rio, existe um histórico de inundações desde o século XIX, sendo o mais antigo registrado em 1880 e o denominado mais catastrófico ocorrido em 1974, afetando aproximadamente 90% do município (Machado, 2005).

A aplicação de um modelo descritor do terreno, mesmo mediante suas limitações, pode apoiar o uso dos modelos hidrodinâmicos no estudo de inundações históricas sob o aspecto de avaliação da área potencialmente inundada.

Assim, o presente estudo visa estimar a área potencialmente inundada em decorrência do evento extremo de máxima ocorrido em 1974 em Tubarão, SC a fim de delimitar uma mancha de inundação histórica sem o uso de dados hidrológicos monitorados. Para tal, utilizou-se o modelo HAND, empregando como dado de entrada o MDT de alta resolução espacial e uma única marca de cheia.

## 2 - METODOLOGIA

Para determinar a macha de inundação histórica de 1974, os seguintes procedimentos foram efetuados: (i) Aplicação do modelo HAND; e (ii) Reclassificação do HAND para o nível da marca de cheia histórica. Desta forma, foi possível mapear as áreas suscetíveis à inundação em 1974, utilizando como dados de entrada apenas um MDT de alta resolução espacial e o nível da água da marca de cheia.

### 2.1 -Área de Estudo

O município de Tubarão, está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão, no sul do estado de Santa Catarina. Essa bacia hidrográfica é composta pelas seguintes sub-bacias: Bacia do Rio Capivari, Bacia Braço do Norte, bacia Formadores do Rio Tubarão e bacia do Baixo Tubarão, totalizando uma área inferior a 5.000 km<sup>2</sup>. Sua localização entre a Serra Geral e a zona costeira (Figura 1) contribui para que o município sofra influências tanto de montante quanto de jusante.

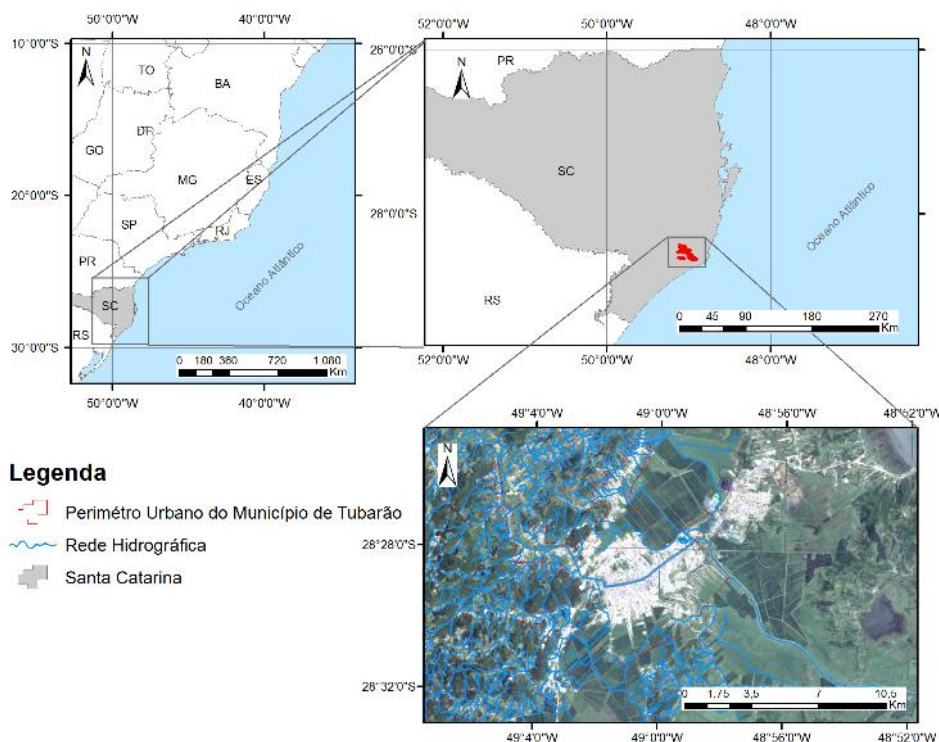


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo, Tubarão/SC.

Conforme os dados censitários do IBGE (2010), o município possui 97.235 habitantes. Entre o histórico de inundações ocorridas no Município, destaca-se o evento ocorrido entre 22 e 26 de março de 1974 cujas proporções foram catastróficas. Entre os registros desse evento, existe uma marca de cheia a cerca de 70 m da margem do Rio Tubarão, latitude -28,48 e longitude -49,00 em um estabelecimento comercial indicando um nível d'água de aproximadamente 1,50 m. Conforme a base de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA), a estação fluviométrica código 84580000 situada no Rio Tubarão, latitude -28,42 e longitude -49,11, apresenta, entre os dados consistidos de vazão para esse período, o valor de  $1.307,50 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

## 2.2 -Modelo Digital do Terreno (MDT)

Em 2012 foi realizado o levantamento aerofotogramétrico do estado de Santa Catarina por meio da Secretaria do Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável (SDS). A partir desse produto, foi produzido o Modelo Digital do Terreno (MDT) de todo o estado em alta resolução espacial com pixels de 1,0 m e resolução vertical de 0,39 m do solo. O MDT está disponibilizado no Sistema de Informações Geográficas do Estado de Santa Catarina na plataforma eletrônica: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br/>>. Apesar do MDT não ser exatamente de 1974, a maior modificação ocorrida foi a retificação do rio Tubarão, logo após a zona urbana central do município.

## 2.3 -O modelo HAND

O modelo HAND normaliza a topografia em relação à rede de drenagem através do conjunto de dois procedimentos em um MDT: (i) executa uma sequência de cálculos para criar um MDT hidrológicamente coerente, sendo definidos os caminhos de fluxo e delineando os canais de drenagem; e (ii) Origina um conjunto de procedimentos utilizando as direções de drenagem locais e a rede produzida para gerar um mapa de drenagem, o que irá guiar o operador HAND espacialmente na produção da topologia normalizada do modelo (Nobre *et al.*, 2011).

A extração da rede de drenagem pode ocorrer através do método da direção de fluxo único D8, apresentando resultados satisfatórios para áreas com declividade moderado (Jones, 2002; e Lindsay, 2006). Já para regiões planas, esse método pode gerar incerteza na determinação das direções de fluxo no MDT (Nardi *et al.*, 2008). Tendo em vista a topografia do terreno, optou-se por utilizar o método da direção do fluxo múltiplo D-infinito, que proporciona a saída de cada célula da grade entre uma ou mais células da grade de declive (Tarboton, 1997; e Tesfa *et al.*, 2011). O modelo HAND foi gerado utilizando o software ArcGis® e seguiu as etapas abaixo:

- Na etapa 1: Foi realizada a correção do MDT, através da remoção das depressões, e posteriormente, definidas a direção e a área de acumulação de fluxo para cada ponto de grade;
- Na etapa 2: Foi gerado o modelo HAND que calcula a altura de cada célula em uma rasterização do MDT em relação ao seu ponto de drenagem mais próximo (Rennó *et al.* 2008,

Nobre et al. 2011). O modelo utiliza a rede de drenagem e as direções de drenagem locais para criar a distância até ao mapa de drenagem mais próximo, que é a topologia normalizada do modelo (Rennó *et al.*, 2008; Nobre *et al.* 2011).

## 2.4 - Reclassificação do HAND

A reclassificação do HAND foi realizada visando elaborar uma delimitação preliminar das áreas potencialmente inundadas no evento ocorrido em março de 1974, tendo como base o valor do nível d'água alcançado na marca de cheia existente.

De maneira geral, teremos que, se um valor de pixel é menor que o valor do HAND no ponto mais a altura do nível de água nesse ponto, esse pixel é considerado como inundado. Assim, com o valor referente ao evento de 1974 em um ponto no município, reclassificou-se o HAND para que todos os valores abaixo do valor de HAND mais o nível da água nesse ponto fossem considerados como área potencialmente inundada.

## 2.5 -Validação do HAND

Após a reclassificação, foi realizada a validação da área sujeita à inundação de 1974 delimitada pelo HAND. Esta validação foi efetuada a partir de pontos identificados em campo pela equipe da Secretaria de Proteção e Defesa Civil durante os anos de 2014 e 2015, durante entrevistas com moradores residentes no município no ano de 1974. No total, foram obtidos 193 registros, dentre os quais apenas 7 pontos não foram identificados como inundação, ou seja, onde a água não chegou na residência.

## 3 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da reclassificação do HAND para à marca de cheia de 1974, foi delimitada a possível mancha de inundação de 1974 (Figura 2). A mancha de inundação gerada possui uma área de aproximadamente 322 km<sup>2</sup>, sendo 135 km<sup>2</sup> localizados dentro dos limites do município, o que corresponde a 45% do território de Tubarão.

Observa-se que a mancha de inundação gerada pelo HAND atingiu grande parte da região central urbanizada de Tubarão, de forma coerente com os relatos da população. A mancha se espalhou pelas áreas planas inundando a maior parte da porção leste do território, próximo ao Oceano Atlântico.

Posteriormente, para avaliar a confiabilidade da mancha gerada, a mesma foi confrontada com os pontos levantados em campo de residências afetadas e não afetadas pela inundação de 1974. As estatísticas desses pontos em relação à mancha de inundação gerada pelo HAND são apresentadas na Tabela 1.

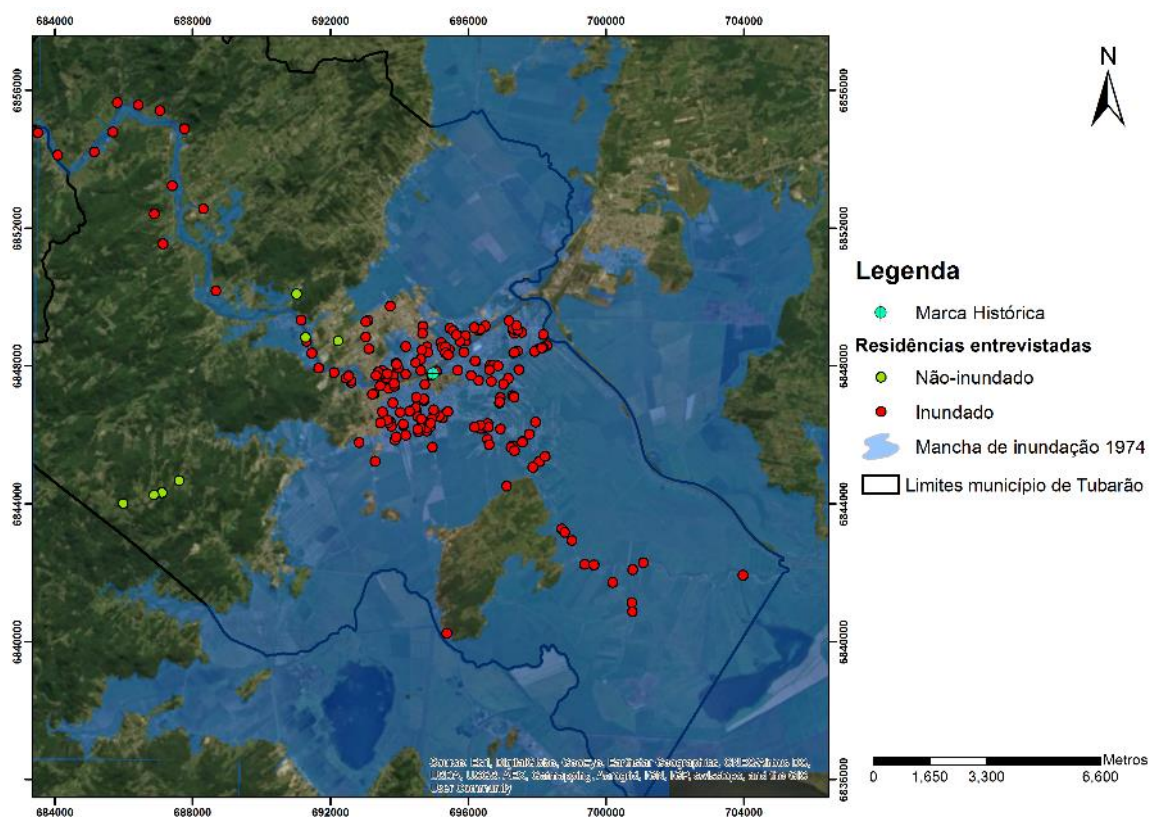


Figura 2. Mancha de inundação de 1974 gerada pela reclassificação do HAND.

Tabela 1. Estatísticas dos pontos levantados e a mancha de inundação gerada pelo HAND.

	Número de Pontos	Coerente com a mancha	Porcentagem de Acerto do HAND
<b>Pontos inundados</b>	186	145	78%
<b>Pontos não inundados</b>	7	6	86%
<b>Total de pontos</b>	193	151	80%

Dos 193 pontos levantados, 151 estão coerentes com a mancha de inundação levantada, representando um acerto do HAND de aproximadamente 80%. Dos pontos que não foram afetados pela inundação, a mancha gerada pelo HAND acertou 6 de 7 pontos, o que representa 86%, aproximadamente. Já dos 186 pontos residenciais afetados pela inundação, a mancha coincidiu com 145 pontos, apresentando um acerto de 78% para as áreas inundadas.

A partir dessa avaliação, pode-se afirmar que a delimitação da área potencialmente inundada gerada pelo HAND apresentou uma pequena subestimativa da mancha de inundação histórica do evento de 1974. Esse resultado está coerente com o que foi relatado por Goerl *et al.* (2017a), que obtiveram resultados semelhantes para outros municípios de Santa Catarina, gerados a partir do mesmo MDT, em locais de baixa declividade, semelhantes à área do presente estudo.

## 4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho estimou a área potencialmente inundada em decorrência da inundação catastrófica ocorrida em 1974 no município de Tubarão, SC. A delimitação da mancha histórica de inundação foi efetuada através da reclassificação do modelo HAND para uma marca de cheia. A comparação com informações coletadas em campo sobre pontos inundados e não inundados, demonstrou uma pequena subestimativa da área potencialmente inundada gerada pelo HAND.

O modelo HAND se apresentou como uma ferramenta para estimativa da área inundada empregando para isso, somente o MDT de alta resolução espacial e uma marca de cheia referente à inundação histórica. Apesar de suas limitações, verifica-se que o modelo HAND pode ser aplicado para delimitação preliminar de áreas potencialmente inundadas, sendo possível seu uso como uma estimativa preliminar aos modelos hidrodinâmicos.

O HAND se mostrou uma alternativa eficiente no mapeamento da mancha de inundações históricas quando não houverem dados hidrológicos monitorados do evento. Em Santa Catarina, estado com recorrentes desastres hidrológicos, a existência do MDT de alta resolução espacial e o uso de modelos descritores do terreno, permitem que com custo reduzido os municípios realizem um mapeamento preliminar de áreas potencialmente inundáveis.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, ao CNPq e à Prefeitura Tubarão, SC pelo apoio financeiro recebido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GALL, M.; BORUFF, B. J.; CUTTER, S. L. (2007). *“Assessing flood hazard zones in the absence of digital floodplain maps: comparison of alternative approaches”*. Natural Hazards Review, v. 8, n. 1, p. 1 – 12.

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. (2017a). *“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.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBIYAMA, M. (2017b). *“Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais”*. Revista Brasileira de Cartografia, Edição Especial Geotecnologias e Desastres Naturais, n. 69/1, p. 61 – 69.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). *“Censo populacional do município de Tubarão/SC”*. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/tubarao/panorama>>. Acesso em: 22 de maio de 2018.

JONES, R. (2002). *“Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples”*. Computers & Geosciences, v. 28, p. 1051 – 1060.

- LINDSAY, J.B. (2006). “Sensitivity of channel mapping techniques to uncertainty in digital elevation data”. *International Journal of Geographical Information Science* v. 20, p. 669 – 692.
- MACHADO, C.C. (2005). “Tubarão 1974: fatos e relatos da grande enchente”. Unisul, Tubarão/SC, 203 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*, v. 21, n. 1, p. 200 – 208.
- NARDI, F., GRIMALDI, S., SANTINI, M., PETROSELLI, A., UBERTINI, L. (2008). “Hydrogeomorphic properties of simulated drainage patterns using digital elevation models: the flat area issue”. *Hydrological Sciences Journal*, v. 53, p.1176 – 1193.
- NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M. (2011). “Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model”. *Journal of Hydrology*, v. 404, p. 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*, v. 30, p. 320 – 333.
- RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J. WATERLOO, M. J. (2008). “HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia”. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, p. 3469 – 3481.
- SOILLE, P., VOGT, J., & COLOMBO, R. (2003). “Carving and adaptive drainage enforcement of grid digital elevation models”. *Water Resources Research*, v. 32, p. 1366 – 1375.
- TARBOTON, D. G. (1997). “A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models”. *Water Resources Research*, v. 33, n. 2, p. 309 –319.
- TASCA, F. A.; GOERL, R. F.; CAPRARIO, J.; RECH, A. S.; MIRANDA, N.; FINOTTI, A. R.; POMPÊO, C. A. (2017). “Análise espacial de desastres hidrológicos sob a ótica de bacias hidrográficas” in *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis/SC, 2017*, pp. 1-8.
- TESFA, T K., TARBOTON, D. G., WATSON, D. W., SCHREUDERS, K. A.T., BAKER, M. E., WALLACE, R. M. (2011). “Extraction of hydrological proximity measures from DEMs using parallel processing”. *Environmental Modelling & Software*. v. 26, p. 1696 – 1709.
- TUCCI, C.E.M. *Inundações Urbanas*. (2007). ABRH/RHAMA, Porto Alegre/RS, 389 p.