

## XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **Mapeamento de áreas suscetíveis a inundação no município de Rio do Sul – SC por meio do modelo HANS**

*Bruno Henrique Abatti<sup>1</sup>; Leonardo Rodolfo Paul<sup>2</sup>; Gabriele Vanessa Tschöke<sup>3</sup> & Gean Paulo Michel<sup>4</sup>*

**RESUMO** – As inundações são processos naturais que podem afetar severamente uma comunidade. Portanto, métodos de predição de áreas suscetíveis a esse tipo de fenômeno são essenciais para o planejamento estratégico e estabelecimento da resiliência. Nesse sentido, existem modelos descritores de terrenos que permitem reproduzir manchas de inundação, como o HANS. O objetivo deste trabalho foi verificar o desempenho do modelo HANS e produzir mapas que auxiliem no ordenamento territorial municipal. A área de estudo é localizada no município de Rio do Sul (SC), onde inúmeros processos de inundação impactam na conjuntura econômica e social do município. Assim, por meio da aplicação do HANS foram reproduzidas as extensões das manchas de inundação dos eventos históricos registrados no município, assim como se propôs uma carta de perigo à inundação à região. O modelo apresentou desempenho satisfatório em comparação aos resultados obtidos com modelos mais complexos, principalmente em inundações graduais com nível da lâmina d'água superior a 9,5m. Mesmo que em determinadas situações tenha se observado uma tendência de superestimação da extensão da inundação, o modelo HANS demonstrou ser uma ótima alternativa ao mapeamento de inundação de regiões que não detenham de uma base de dados hidrológicos consistente.

**ABSTRACT**– Floods are natural processes that can severely affect a community. Thus, methods for prediction of flood susceptible areas are essential for strategic planning and establishment of resilience. Thereby, there are terrain descriptors models that reproduce flood spots such as HANS. The purpose of this work was to verify the performance of the HANS model and to produce maps that help in municipal territorial planning. The study area is in the city of Rio do Sul (SC), where numerous flooding processes impact its economic and social conjunctures. Therefore, through the application of HANS historical flood events extensions recorded in the municipality were reproduced. Also, a flood susceptibility map to the municipality was proposed. The model presented satisfactory results compared to the results obtained through more complex models, especially in gradual floods with water depth higher than 9.5 m. Even though the flood's extent was overestimated in some situations, HANS model proved to be a great alternative for flood mapping of regions which do not have a consistent hydrological database.

**Palavras-Chave** – Descritor de Terreno. Inundações. Mapeamento.

### **INTRODUÇÃO**

Nas últimas décadas houve um grande aumento nos danos causados pelos desastres naturais, bem como um aumento na frequência destes eventos. Este acréscimo está relacionado, principalmente, aos

1) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - IPH/ UFRGS, bruno\_abatti@hotmail.com.

2) Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental - IPH/ UFRGS, leonardorpaul@gmail.com

3) Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CEAVI, gabrieletschoke@gmail.com

4) Universidade Federal do Rio Grande do Sul - IPH/ UFRGS, gean.michel@ufrgs.br

processos de expansão urbana, sendo resultado da alteração do perfil das cidades, rápido crescimento populacional e a falta de políticas efetivas de controle do uso e ocupação no solo. Conseqüentemente, favorece-se uma urbanização inconsequente e extremamente suscetível aos desastres (MACDONALD, 2003; KOBİYAMA *et al.*, 2010).

Ainda que se observe um aumento na frequência de ocorrência de todos os desastres naturais, os de origem hidrológica são os que mais cresceram. No Brasil os processos de inundação são os desastres hidrológicos mais frequentes, sendo que no período de 1980 a 2018 foram registrados 107 eventos, nos quais mais de 10 milhões de pessoas foram diretamente afetadas, provocando grandes impactos ambientais e econômicos (EM-DAT, 2018).

Essa conjuntura se encontra em inúmeras regiões, tendo como exemplo o município de Rio do Sul (SC), o qual historicamente se relacionou com eventos hidrológicos críticos deflagrados por precipitações extremas e que atualmente vivencia um aumento imponente na ocorrência desses eventos. Com a intensificação das cheias, é de extrema importância o desenvolvimento e compreensão de métodos que sejam capazes de prever, de modo eficaz, a extensão de eventos hidrológicos críticos (NOBRE, *et al.* 2015).

Contudo, mesmo em regiões que são frequentemente atingidas pelas cheias poucos são os municípios que possuem mapeamentos de inundação que possam ser utilizados para desenvolvimento de políticas municipais de gestão de risco. Dessa maneira, acredita-se ser importante difundir técnicas que favoreçam e ampliem a produção e aplicação dos mapeamentos de áreas suscetíveis as inundações.

A elaboração de cartas de inundação, usualmente, é desenvolvida por meio de modelos hidrodinâmicos. Contudo essas simulações possuem limitações referentes à reprodução da dinâmica dos processos de cheias, que por sua vez estão relacionadas ao requerimento de uma grande quantidade de dados de entrada, de notável complexidade de obtenção, e a necessidade de aplicações em menor escala (AFSHARI *et al.*, 2017). Logo, em regiões com baixa disponibilidade de dados, precisa-se buscar alternativas simplificadas que auxiliem na prevenção dos desastres.

Como alternativa a essas situações, descritores de terreno surgem com a proposta de definir manchas de inundação a partir de considerações pertencentes exclusivamente às feições da paisagem. Por meio de um modelo digital de terreno (MDT) são calculadas as distâncias verticais da grade matricial utilizando a rede de drenagem mais próxima como referência, permitindo, mediante a uma análise de nível da lâmina d'água, determinar a extensão máxima de uma inundação estacionária (RENNÓ *et al.*, 2008; NOBRE *et al.*, 2011; TESFA *et al.*, 2011).

Posto isso, busca-se atestar o desempenho das simulações através de um descritor de terreno, mais especificamente o algoritmo *Height Above Nearest Stream* (HANS) (TESFA *et al.*, 2011), em Rio do Sul (SC), uma região que é notoriamente conhecida por ser afetada por inundações. Dessa

maneira, foram desenvolvidas representações de inundações históricas no município e verificada a coerência das simulações, a fim de desenvolver uma carta que apresente as áreas de perigo a inundação no município.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

O município de Rio do Sul se localiza na região do Alto Vale do Itajaí em Santa Catarina. Considerando os inúmeros registros de inundação na bacia do rio Itajaí Açu, o município de Rio do Sul é apontado como região prioritária à adoção de medidas mitigadoras de inundações (JICA, 2011). De acordo com registros da Defesa Civil Municipal ocorreram aproximadamente 57 inundações no município no período de 1911 a 2018. Dentre todos os eventos, destacam-se as inundações sucedidas nos anos de 1983, 1984 2011, as quais atingiram uma cota máxima de 13,58, 12,8 e 12,96 metros respectivamente e impactaram fortemente toda a parcela urbana do município.

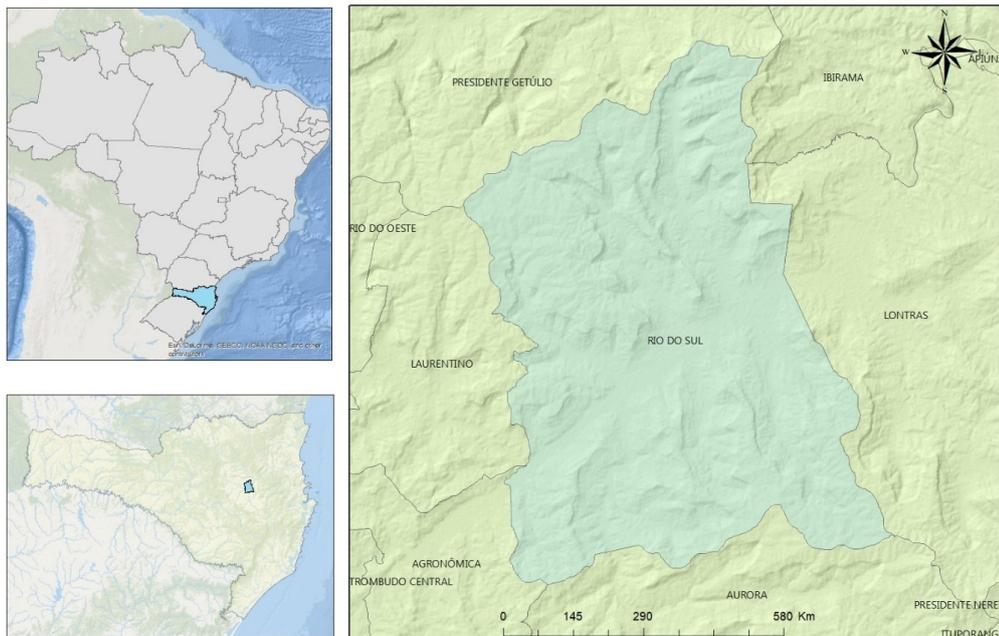


Figura 1 – Localização do município de Rio do Sul

### Height Above Nearest Stream – HANS

Modelos descritores de terreno expressam informações a partir das características topográficas da área de estudo. A aplicação desses modelos em estudos de inundação parte do princípio da dinâmica do escoamento da água condicionado estritamente pelas feições da paisagem, no qual as variações de elevação do terreno proporcionam ao escoamento gradientes de energia potencial, que definem as direções e os locais de acúmulo de fluxo (NARDI *et al.*, 2006; NOBRE *et al.*, 2011).

O modelo HANS realiza a normalização dos pixels que compõem a rede de drenagem, assim, há a possibilidade de identificar a distância vertical de um determinado ponto do Modelo Digital de

Terreno em relação a seu respectivo pixel de escoamento de drenagem mais próxima. Diante disso, é possível determinar que quanto menor a distância de um pixel à rede de drenagem, maior é a suscetibilidade à atuação de cheias (RENNÓ *et al.*, 2008; NOBRE *et al.*, 2011; TESFA *et al.*, 2011).

Tendo em vista que apenas as feições da paisagem são contabilizadas para a formação das manchas de inundação, seu principal dado de entrada é um Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT utilizado foi fornecido pela Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável do governo de Santa Catarina, o qual está disponível publicamente com resolução espacial de 1m.

Para o condicionamento e aplicação do algoritmo HANS, aplica-se as etapas apresentadas por Nobre *et al.* (2011): a) remoção das depressões existentes através do preenchimento dos pixels vizinhos, para que este se torne um MDT hidrologicamente coerente; (b) definição da rede de drenagem que será utilizada como referência, definida a partir das direções de fluxo, fluxo acumulado e o limiar de mínima contribuição necessária para formar uma rede de drenagem; (c) emprego do algoritmo HANS para normalização do MDT utilizando como referência a rede de drenagem mais próximo de cada pixel.

A partir disso, para definir uma rede de drenagem apenas com canais principais, buscou-se manusear o resultado obtido com o limiar de 0,08 km<sup>2</sup> de área de contribuição. Seguidamente a obtenção deste arquivo *raster*, extraiu-se apenas as redes de drenagem de interesse, isto é, foram definidos apenas os canais que propagam inundação no município de Rio do Sul.

Para enfim obter as manchas de inundações, os pixels do modelo digital terreno normalizado são agrupados em classes. Assim como Mengue (2016) e Momo *et al.* (2016), o fatiamento dos pixels que caracterizarão as áreas sujeitas a inundação se realizou de acordo com as cotas históricas de cheia do município de Rio do Sul.

A fixação dos valores de pixels que serão caracterizados como inundáveis partiu de uma calibração do valor de HANS frente ao evento de setembro de 2011, no qual em registros históricos da defesa civil municipal utiliza-se como valor de referência o nível d'água em 12,97 m. Assim, procurou-se identificar qual a faixa de classificação do HANS que identifica melhor a área a ser inundada em uma situação em que o Rio Itajaí Açu se encontra na cota de referência do evento de 2011, estipulada pela Defesa Civil Municipal.

## **Desempenho das Simulações**

Para avaliar as manchas de inundação obtidas através do HANS, comparou-se as simulações realizadas com mapeamentos já existentes de eventos de inundação, que ocorreram no município de Rio do Sul. Os mapeamentos observados foram desenvolvidos por Dolzan, Laudares (2015) e Wormsbecher (2017) mediante levantamento em campo de pontos que foram inundados nas cheias

de 2011 e 2015. A partir desses dois eventos os autores extraíram manchas de inundação para cotas de menor magnitude de 7,5, 8,5 e 9,5 metros.

Logo, para a avaliação do desempenho da ferramenta HANS em representar os eventos de 2011 e 2015 e os demais mapeamentos existentes, foram contabilizadas as áreas de acerto, omissão e comissão (Momo *et al.*, 2016)

O acerto se refere as áreas que coincidiram tanto no mapeamento através de pontos observados ( $o$ ) quanto no mapeamento através da simulação ( $s$ ), sendo definido por  $o \cap s$ . A omissão representa as áreas que são de fato inundáveis, mas que na simulação são negligenciadas, ou seja, são as áreas denominadas falso-negativo, sendo definido por  $o - o \cap s$ . Por fim, as áreas de comissão traduzem as áreas inundáveis que a simulação superestima, que são computadas como a diferença entre a área simulada e a área de acerto,  $s - o \cap s$ .

Nesse contexto, através da definição das áreas de acerto, omissão e comissão, determinou-se diferentes coeficientes estatísticos que pretendem reproduzir, quantitativamente, o desempenho das simulações frente à eventos de inundações que ocorreram no município. Foram determinados as variáveis F estatístico (COOK; MERWADE, 2009), precisão geral, taxa de alarme falso (TAF) (STEPHENSON, 2000) e a taxa de tendências (BIAS) (STEPHENSON, 2000).

## Mapeamento de perigo a inundação no município de Rio do Sul

Para que os produtos gerados através do mapeamento de inundação possam ser efetivamente utilizados, é necessário definir cotas de inundações correspondentes a cada localidade do município, bem como cotas de alerta, a fim de auxiliar nas tomadas de decisões dos gestores municipais.

Tendo em vista os inúmeros registros que a defesa civil municipal possui, no qual são atribuídos níveis de lâmina d'água em cada evento de inundação, determinou-se a frequência em que o nível do rio Itajaí-Açu alcança as determinadas cotas de cheias. Assim, é possível determinar através de um tempo de retorno o grau de perigo que cada nível da água possui e, conseqüentemente, determinar os valores HANS referentes a cada período de retorno.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa de calibração, determinou-se que os pixels classificados com HANS  $\geq 7,5$  caracterizam a extensão de uma inundação com cota de referência 12,97 no município de Rio do Sul, a partir dessa informação se definiu os demais valores de HANS para cada evento a ser estudado neste trabalho. Isto é, tendo em vista que os valores de HANS consistem em um valor de cota normalizado com a drenagem mais próxima, encontra-se o valor de HANS para o evento calibrado e se utiliza da diferença desse valor para definir o nível d'água dos demais eventos de acordo com a referência da defesa civil. A Tabela 1 evidencia os valores correspondentes de HANS face as cotas históricas.

Tabela 1 – Faixa de valores de HANS que representam cada extensão de inundação

Cota de Referência Defesa Civil (m)	Valor de HANS
7,5	0 — 2,03
8,5	0 — 3,03
9,5	0 — 4,03
10,71	0 — 5,24
12,97	0 — 7,50

A seguir na Figuras 2 serão exibidas as manchas de inundação que representam as áreas de acerto, omissão e comissão obtidas em cada simulação. Ressalta-se que o mapeamento existente apresenta falhas, dessa forma as áreas em que a simulação representou melhor que o mapeamento observado não são contabilizadas no desempenho da simulação.

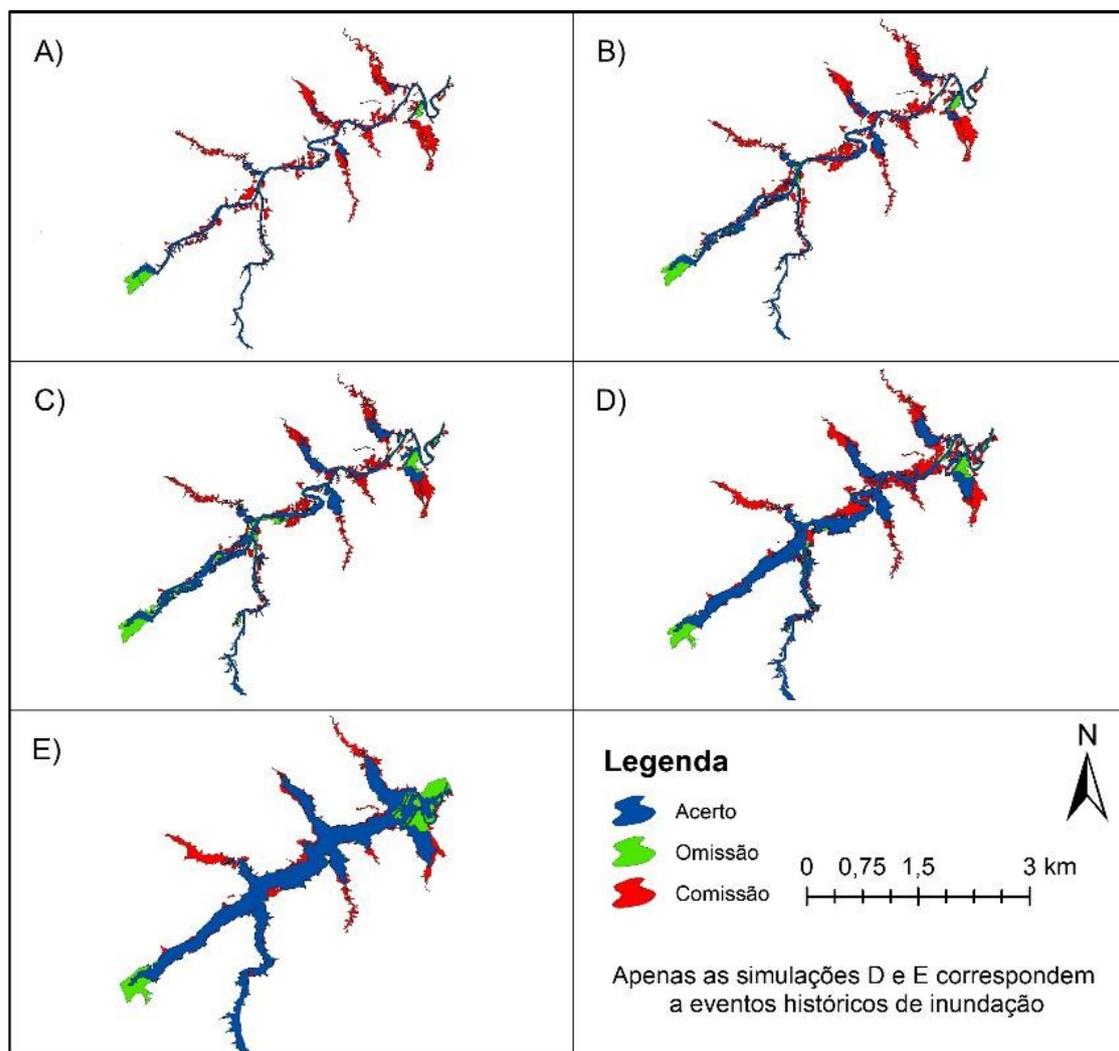


Figura 2 – Desempenho das simulações para as cotas 7,5 m (A), 8,5 (B), 9,5 (C), 10,71 (D) e 12,97 (E)

A Tabela 2 informa os resultados das medidas de desempenho empregados neste trabalho. Entende-se que os valores obtidos nas análises de desempenho certificam a capacidade do modelo em representar as inundações graduais no município de Rio do Sul, bem como possibilita a comprovação da capacidade de um modelo de baixa complexidade obter resultados, de extensão da

inundação, semelhantes aos adquiridos por meio de modelos mais robustos, tal como os modelos hidrodinâmicos.

Tabela 2 - Resultados de desempenho das simulações

Parâmetros	COTAS DE INUNDAÇÃO (m)				
	7,5	8,5	9,5	10,71	12,97
Área Inundada Observada (km <sup>2</sup> )	4,864	6,918	9,919	13,529	21,665
Área Inundada Simulada (km <sup>2</sup> )	8,937	11,686	11,825	16,978	20,598
Área de Acerto (km <sup>2</sup> )	3,421	5,130	6,869	10,504	16,598
Omissão (%)	29,7%	25,8%	23,4%	22,4%	23,4%
Comissão (%)	113,4%	68,9%	49,9%	47,9%	18,46%
F estatístico (%)	33,0%	38,1%	46,2%	52,5%	64,7%
Precisão Geral (%)	70,3%	74,2%	69,3%	77,6%	76,6%
TAF (%)	61,7%	56,1%	41,9%	38,1%	19,4%
BIAS	1,837	1,689	1,192	1,255	0,951

Alerta-se que uma grande área de acerto, frente a área observada, não necessariamente representa uma excelente estimativa da extensão da mancha de inundação, uma vez que, em casos que a simulação apresentar uma área extremamente grande de inundação certamente haverá intersecção com a área observada. Consequentemente haverá uma considerável área de falsos positivos (comissão), os quais comprometem substancialmente a confiabilidade dos resultados, tendo como consequência um mapeamento com baixa relevância frente a mitigação e aumento de resiliência da comunidade. Verifica-se que essa situação ocorreu principalmente nas simulações de nível d'água de 7,5m e 8,5m, nas quais tiveram uma área de acerto semelhante a área observada, todavia tiveram excessivas áreas de comissão.

É preciso destacar que o nível d'água utilizado para a classificação dos pixels se refere as cotas alcançadas no rio Itajaí-Açu, entretanto este nível é uniforme ao longo de toda a área de estudo, o que provoca a extrapolação da onda de inundação nos rios menores. Outro fato que contribui para a ocorrência da superestimação da área inundável é a desconsideração das áreas ocupadas pela trajetória natural dos rios tributários até os principais canais de drenagem no mapeamento existente. A respeito da omissão, verificou-se valores extremamente satisfatórios, sendo que foram alcançados resultados semelhantes em todas as simulações.

Entre todos os parâmetros calculados, o *F estatístico* possibilitou uma maior elucidação no acréscimo de desempenho das simulações de acordo com a elevação das cotas de inundação. Tendo em vista que este parâmetro considera um valor de 100% como simulação perfeita, observa-se que apenas a partir da cota 9.5m foram encontrados resultados aceitáveis.

Nesse contexto, os resultados nas simulações de menor nível d'água foram pouco satisfatórias por conta das regiões inundáveis estarem em sua maior parte em planícies, comprometendo a análise,

que por sua vez, baseia-se em feições topográficas e exigindo uma maior precisão frente as características do escoamento (GOERL *et al.*, 2017).

Compara-se o desempenho obtido nas simulações com os resultados alcançados por Momo *et al.* (2016), no qual aplicou o modelo descritor de terreno HAND para definição das áreas inundáveis no município de Blumenau e Brusque (SC). Os resultados adquiridos são extremamente semelhantes aos adquiridos nas simulações de cheias pro município de Rio do Sul, para Blumenau o valor máximo de F estatístico encontrado foi de 62,5%, de precisão geral se obteve os valores próximos a 90%. Além de que assim como neste trabalho, os autores encontraram dificuldades em representar inundações de menor magnitude, e ao passo que se aumenta o nível d'água eleva-se o desempenho do descritor de terreno.

Avaliando os resultados apresentados por diversos autores na definição da extensão da mancha de inundação e o desempenho que modelos hidrodinâmicos, descritores de terreno e de determinados algoritmos possuem acerca da previsão correta das áreas inundáveis (BIORESITA *et al.*, 2018; COOK, MERWADE, 2009; TAYEFI *et al.* 2007), constata-se que as simulações com nível d'água de 10,71m e 12,97m apresentaram resultados satisfatórios. Ressalta-se ainda sua viabilidade de aplicação, principalmente em casos aonde modelos que requerem uma extensa quantidade de dados certamente não poderão ser aplicados, e assim, a partir de um modelo descritor de terreno resultados semelhantes a aqueles que poderiam ser obtidos, são alcançados.

A carta de perigo a ser apresentada, busca evidenciar as regiões influenciadas pela dinâmica da inundação a partir de determinados níveis de lâmina d'água. A Tabela 3 apresenta os níveis de perigo de acordo com o tempo de retorno correspondente às cotas de inundação.

Tabela 2 - Classificação da Perigo a inundações

Perigo à Inundação	Tempo de Retorno Correspondente	Cota de Inundação Correspondente (m)
Alto	TR < 5 anos	< 8,8
Moderado	5 < TR < 25 anos	8,8 < Cota < 10,89
Baixo	TR > 25 anos	>10,89

Com base nas classes de perigo definidas, elaborou-se a carta de perigo a inundação demonstrada na Figura 4. Observou-se que grande parcela das regiões de alta suscetibilidade a inundação estão ocupadas, motivo pelo qual inúmeros impactos econômicos e sociais são originados pelas cheias no município de Rio do Sul. Salienta-se a gravidade dessa constatação, visto que essas áreas tendem a ser atingidas por inundações com tempo de retorno menor que 5 anos. Dessa maneira, é possível perceber a importância da determinação dos níveis de perigo para o desenvolvimento da consciência e da elucidação das áreas potencialmente inundáveis, além de ser um produto pertinente frente a um planejamento territorial.

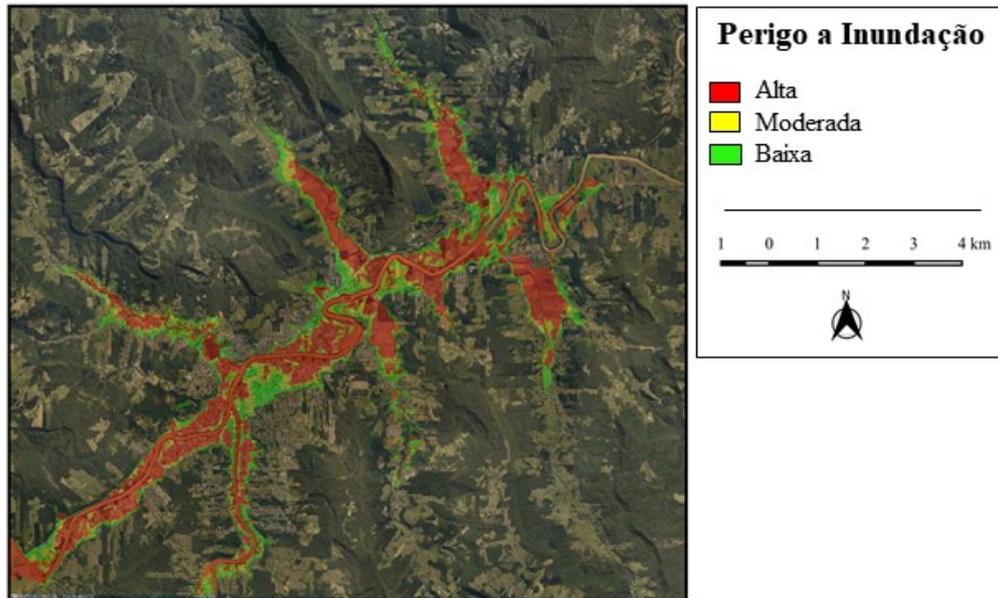


Figura 3 – Carta de perigo a inundação

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desempenho das simulações demonstra a grande capacidade que o descritor de terreno possui em representar as grandes inundações na área de estudo, alcançando resultados semelhantes a outros trabalhos que utilizam modelos mais robustos. Contudo, destaca-se a necessidade do usuário possuir um bom conhecimento da região, principalmente referente aos principais rios e seus tributários, e uma prévia consciência da dinâmica da inundação, visto que resultados pouco refinados podem ser obtidos.

Neste cenário, mesmo que uma das motivações da aplicação de modelos descritores de terreno seja a insuficiência de dados hidrológicos e de bases cartográficas mais adequadas, ressalta-se que sua capacidade de simulação em escalas maiores e relativa simplicidade de aplicação, são fatores que impulsionam o desenvolvimento de estudos que atestem tais modelos. Uma vez que, a elaboração de metodologias que facilitem a concepção de produtos de grande complexidade, tal como o mapeamento de risco a inundação, viabiliza a utilização dessas ferramentas nas tomadas de decisões face a promoção de prevenção e mitigação dos impactos decorrentes dos eventos de inundação.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho recebeu apoio financeiro parcial da CAPES e do CNPQ. Os autores agradecem também ao Grupo de Pesquisas em Desastres Naturais (GPDEN) do IPH/UFRGS.

## REFERÊNCIAS

AFSHARI, Shahab et al. (2017). “Comparison of new generation low-complexity flood inundation mapping tools with a hydrodynamic model”. *Journal of Hydrology*, v. 556, p. 539-556.

BIORESITA, Filsa et al. (2018). “A Method for Automatic and Rapid Mapping of Water Surfaces from Sentinel-1 Imagery”. *Remote Sensing*, v. 10, n. 2, p. 217-234.

COOK, A.; MERWADE, V. (2009). “*Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping*”. Journal Of Hydrology. United States, p. 131-142.

DOLZAN, D. A.; LAUDARES, S. (2015). “*Geotecnologias webmapping como ferramenta de divulgação de áreas inundáveis: estudo de caso da área urbana do município de Rio do Sul*”. Curso de Pós-graduação em Geoprocessamento, PUC – Minas.

EM-DAT. *The International Disaster Database*. Disponível em: <http://www.emdat.be/database>, acesso em novembro de 2018.

GOERL, R. F. *et al.* (2017). “*O modelo HAND como ferramenta de mapeamento de áreas propensas a inundar*” in Anais do XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Florianópolis, Nov, 2017. p. 1-8.

JAPAN INTERNATIONAL COORPORATION AGENCY (JICA). (2011). “*Progress Report on the Itajaí River Basin Flood Control Project*”. Tokyo, Japão. 1986. In: Estudo preparatório para o projeto de prevenção e mitigação de desastres da bacia do Rio Itajaí. Santa Catarina.

KOBIYAMA, M. *et al.* (2010). “*Hydrological disasters reductions: lessons from hydrology*”, in *Science and Technology for Environmental Studies*. Org por Senz, M. L. e Mondardo, R. I. Florianópolis: UFSC. p. 49-72.

MACDONALD, R. (2003). *Introduction to Natural and Man-made Disasters and their Effects on Buildings*. Oxford: Elsevier. 257p.

MENGUE, V. P. *et al.* (2016). “*Utilização do Modelo HAND para mapeamento das áreas mais suscetíveis à inundação no Rio Uruguai*”. Pesquisas em Geociências, Porto Alegre, v. 43, p. 41-53.

MOMO, M. R *et al.* (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 *et al.* (2016). “*Investigating a floodplain scaling relation using a hydrogeomorphic delineation method*”. Water Resources Research, v. 42, n. 9, pp.1-15.

NOBRE, A. D. *et al.* (2011). “*Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model*”. Journal of Hydrology, v. 404, p.13-29.

NOBRE, A. D. *et al.* (2015). “*HAND contour: a new proxy predictor of inundation extent*”. *Hydrological Processes*, v. 30, p.320-333.

STEPHENSON, D. B. (2000). “*Use of the “Odds Ratio” for Diagnosing Forecast Skill*”. Weather And Forecasting, v. 15, n. 2, p.221-232.

RENNÓ, C. D. *et al.* (2008). “*HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia*”. Remote Sensing Of Environment, v. 112, n. 9, p.3469-3481.

TAYEFI, V. *et al.* (2007). “*A comparison of one- and two-dimensional approaches to modelling flood inundation over complex upland floodplains*. Hydrological Processes. Nottinghamshire, p. 3190-3202.

TESFA, Teklu K. *et al.* (2011). “*Extraction of hydrological proximity measures from DEMs using parallel processing*”. Environmental Modelling & Software, Richland, v. 26, n. 999, p.1696-1709.

WORMSBECHER, A. G. (2017). “*Uso de SIG na gestão de inundações no município de Rio do Sul*”. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado Profissional em Planejamento Territorial e Gestão Sócio Ambiental, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis.