



**I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres:
“Gestão Integrada em RRD no Brasil e o Marco de SENDAI”
Curitiba, Paraná, Brasil – 12 a 15 de Outubro de 2016**

**DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO HIDROLÓGICO ESPACIALMENTE DISTRIBUÍDO PARA
SIMULAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL**

André Luis da Silva Bertoncini¹, Camilo Daleles Rennó² e João Bosco Coura dos Reis³

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, andre.sbertoncini@gmail.com

2 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, camilo@dpi.inpe.br

3 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, joaodosreis89@gmail.com

RESUMO

O processo hidrológico de propagação do escoamento superficial, de modo geral, é governado pela topografia de uma bacia hidrográfica. Esse processo é representado por diversos modelos hidrológicos, que podem considerar ou não sua relação espacial, com base na topografia. Entretanto, os modelos propostos para representar esse processo podem ser, muitas vezes, complexos e exigir o conhecimento de muitas variáveis e parâmetros. O desenvolvimento de modelos hidrológicos espacialmente distribuídos, que utilizem ferramentas de Geoprocessamento, podem ser uma alternativa viável na geração de informações que auxiliem na redução do risco de desastres relacionados à inundação. Assim, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo hidrológico espacialmente distribuído baseado na topografia para a simulação da propagação do escoamento superficial em uma sub-bacia (286 km²) da bacia hidrográfica do Rio Itajaí Mirim, município de Vidal Ramos, Santa Catarina.

Palavras Chave: Modelagem Hidrológica Espacialmente Distribuída, Propagação do Escoamento Superficial, Variabilidade Espaço-temporal da Chuva.

**DEVELOPMENT OF A SPATIALLY DISTRIBUTED HYDROLOGICAL MODEL TO SIMULATE SURFACE RUNOFF
ROUTING**

ABSTRACT

The hydrological process of surface runoff routing is mainly driven by watershed's topography. This process is represented by several models which may or may not consider its spatial context based on topography. However, the proposed models are often very complex, requiring a significant number of variables and parameters. The development of distributed hydrological models, using geospatial tools, might be an alternative to generate information that aids to reduce the risk of disasters related to floods. Thus, this work aims to develop a spatially distributed hydrological model based on topography to simulate surface runoff routing in a sub-catchment (286 km²) of *Rio Itajaí Mirim* watershed, municipality of Vidal Ramos, Santa Catarina.

Keywords: Spatially Distributed Hydrological Modelling, Surface Runoff Routing, Spatiotemporal Rainfall Variability

1



I Congresso Brasileiro de Redução de Riscos de Desastres: “Gestão Integrada em RRD no Brasil e o Marco de SENDAI” Curitiba, Paraná, Brasil – 12 a 15 de Outubro de 2016

1 INTRODUÇÃO

A propagação do escoamento superficial, de modo geral, é governada pela topografia de uma bacia hidrográfica. Baseado no entendimento desse processo hidrológico, diversos modelos foram desenvolvidos para representar a propagação da chuva efetiva do momento de sua produção até atingir um canal fluvial, ou o exutório de uma bacia hidrográfica. Entretanto, esses modelos podem ser onerosos de serem aplicados, ou até mesmo podem omitir o contexto espacial da propagação do escoamento superficial. Uma alternativa é o desenvolvimento de modelos hidrológicos espacialmente distribuídos com o auxílio de ferramentas de Geoprocessamento.

Os modelos hidrológicos são representações simplificadas do sistema hidrológico de uma bacia hidrográfica, e são desenvolvidos com o principal objetivo de suprir as limitações de monitoramento que usualmente são baseadas em poucas observações no espaço e no tempo. Estes modelos podem ser utilizados para extrapolar essas observações existentes para todo o sistema hidrológico em análise, ou ainda serem utilizados na simulação de cenários e, dessa forma, são ferramentas importantes que auxiliam a tomada de decisão. Porém, os sistemas hidrológicos são complexos, e os modelos, como representações desses sistemas, podem exercer forte grau de simplificação e aproximação (BEVEN, 2012).

Os modelos hidrológicos são classificados segundo diferentes aspectos: quanto ao tipo de variável utilizada no modelo (estocásticos ou determinísticos); quanto ao tipo de relação entre essas variáveis (empíricos ou baseados em processos); quanto à forma de representação dos dados (discretos ou contínuos); quanto à consideração das relações espaciais (concentrados ou distribuídos); e quanto à consideração da dependência temporal (estáticos ou dinâmicos) (RENNÓ, 2003).

De acordo com Chaney et al. (2015), o uso de modelos hidrológicos aplicados à previsão de vazão pode fornecer informações essenciais para a tomada de decisão em ações voltadas para a mitigação das consequências causadas por inundações. Entretanto, Todini (2007) constata que a tomada de decisão baseada em informações geradas por modelos hidrológicos deve ser realizada com cautela, e sempre levando em conta a incerteza inerente ao processo de modelagem.

A atuação de eventos extremos sob a sociedade apresenta diversas consequências que vão de impactos na saúde humana, desvalorização imobiliária, impactos na infraestrutura, danos ao trabalho, danos à educação, estresse psicológico e até mesmo a ocorrência de óbitos (HADDAD e TEIXEIRA, 2015). Dados do *International Disaster Database* – EM-DAT mostram que, entre os anos de 1976 e 2006, as inundações causaram um prejuízo de aproximadamente US\$ 337 bilhões no mundo. Já para o estado de Santa Catarina, os prejuízos, entre 2000 e 2003, foram de US\$ 137 milhões, valor considerável para o contexto brasileiro (GOERL, KOBIYAMA e PELLERIN, 2012). Além disso, as mudanças climáticas podem contribuir para que essas consequências sejam ainda mais severas. Segundo o quinto relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC, existe uma tendência para o aumento da frequência e intensidade de eventos de precipitação acentuada. Como consequência, mesmo que o nível de confiança desta afirmação seja baixo, a frequência e magnitude das inundações fluviais também irão aumentar (IPCC, 2014; MILLY et al., 2008).

Dentro deste contexto, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver um modelo hidrológico espacialmente distribuído baseado na topografia para a simulação da propagação do escoamento superficial em uma sub-bacia (286 km²) da bacia hidrográfica do Rio Itajaí Mirim, município de Vidal Ramos, Santa Catarina.

2 METODOLOGIA

A metodologia do trabalho, de maneira resumida, consiste no uso de um Modelo Digital de Elevação – MDE para a obtenção da Direção Local de Fluxo – LDD (*Local Drainage Direction*) para cada espaço celular da bacia em estudo. O modelo de propagação do escoamento superficial utiliza o LDD para determinar a direção preferencial da chuva e gera a propagação do escoamento superficial de maneira espacialmente distribuída para n passos de tempo (Figura 1).



Figura 1. Fluxograma da metodologia adotada neste trabalho

2.1 Área de Estudo

A área de estudo é delimitada pela área de drenagem (286 km²) da estação hidrometeorológica Salseiro, de responsabilidade da Empresa de Pesquisa e Extensão Agropecuária de Santa Catarina (EPAGRI). Esta bacia hidrográfica está localizada na bacia do Rio Itajaí-Mirim, na região do Vale do Itajaí, município de Vidal Ramos, Santa Catarina (Figura 2).

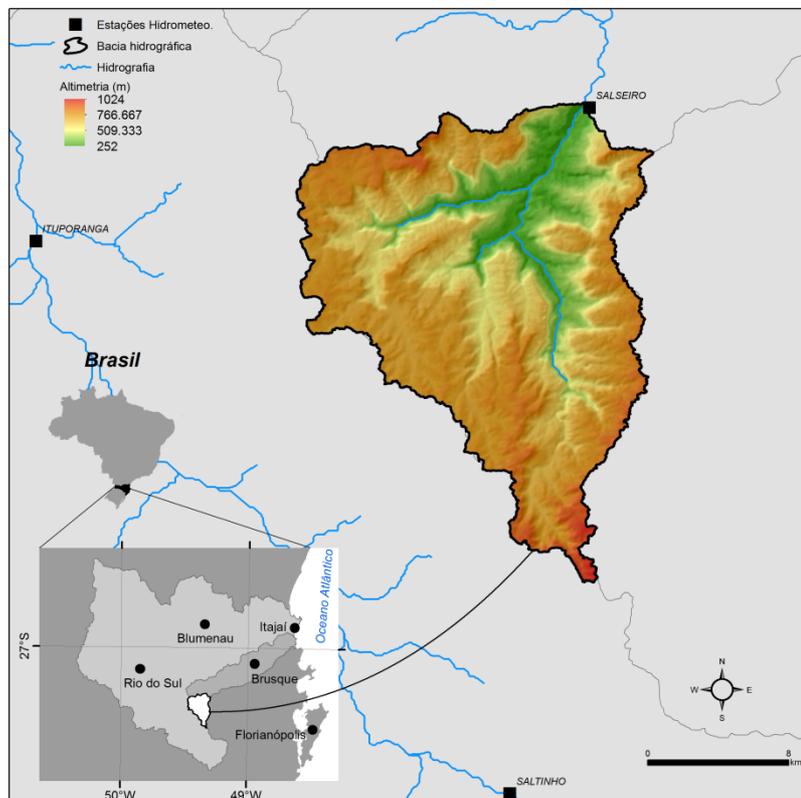


Figura 2. Mapa de localização da área de estudo

O clima na região, segundo a classificação de Köppen, é definido como subtropical (Cfa). Esse tipo de clima é caracterizado por temperatura média diária de 18 °C no inverno e 22 °C no verão (PEEL et al., 2007). A chuva é bem distribuída ao longo do ano, entretanto tende a ser ligeiramente maior na primavera e verão, com um total anual de 1600 mm (PANDOLFO et al., 2002).

A litologia na região é dominada por rochas sedimentares da bacia do Paraná (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL, 2014). A pedogênese na região resultou em solos, em sua maioria, do tipo Cambissolo, Neossolo e Argissolo, o último com potencial para formação de camadas de baixa permeabilidade no horizonte B textural (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2005). Por fim, o uso e cobertura da terra é dominado por classes de área florestal (38%) e campos rupestres (28%), e também tem contribuição expressiva de tipologias rurais, tais como solo exposto – 25%, culturas – 5% e pastagem – 4% (BERTONCINI, 2014).

2.2 Dados Hidrometeorológicos e Geográficos

Foram utilizados dados horários de chuva e vazão para calibração de parâmetros do modelo. Esses dados foram disponibilizados pela Agência Nacional de Águas – ANA, através do portal de Sistema de Monitoramento Hidrológico (mapas-hidro.ana.gov.br/Usuario/mapa.aspx). Os dados de chuva foram extraídos de quatro estações meteorológicas no entorno e dentro da bacia hidrográfica, sendo que foi utilizada a média das estações para representar a chuva na bacia. Já os dados de vazão são oriundos apenas da estação hidrometeorológica localizada no exutório da bacia (Figura 2).

Dados altimétricos do *Shuttle Radar Topography Mission* – SRTM foram utilizados para a geração de um Modelo Digital de Elevação – MDE. A resolução espacial do MDE é de aproximadamente 30 m (1 arco-segundo), porém foi reamostrada para 120 m pelo método do vizinho mais próximo, para diminuir o tempo de processamento do modelo.

Por meio do sistema TerraHidro, foi gerado a grade LDD segundo o método de Burrough e McDonnell (1998), que determina a direção do fluxo local baseado na topografia dos oito vizinhos mais próximos de uma célula. O LDD apresenta uma codificação referente às direções cardeais (ROSIM et al., 2014), que está representada na Figura 3.

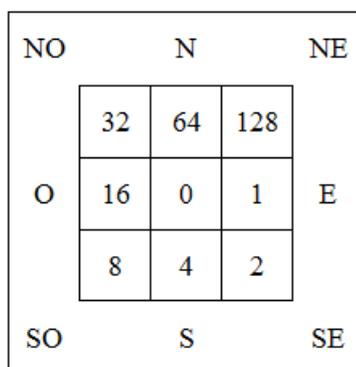


Figura 3. Diagrama ilustrando a codificação do LDD

2.3 Desenvolvimento do Modelo

O modelo foi desenvolvido no ambiente do software estatístico R. A linguagem de programação R é uma derivação da linguagem S, porém o ambiente computacional ainda pode utilizar linguagens como C, C++ e Fortran para processar atividades computacionalmente onerosas (R PROJECT, 2015).

De modo geral, a cada iteração, o modelo contabiliza o total de chuva acumulada numa determinada célula, descontando uma parte deste valor referente a perdas por infiltração e/ou evapotranspiração (representado pela constante de escoamento direto K_r) e transferindo parte deste valor (representado pela constante de acumulação K_a) para a célula indicada pelo LDD como aquela que receberá o fluxo excedente. Através da constante K_a , o modelo considera que nem toda a água acumulada é escoada imediatamente na mesma iteração.

Inicialmente todas as células possuem valor de água acumulada ($ACUM$) igual a zero, considerando que não houve nenhuma precipitação anterior. A cada iteração t , a água estocada em cada célula i ($EST_{i,t}$), será resultado da água já presente nesta célula ($ACUM_{i,t-1}$) somada a água escoada ($ESC_{j,t-1}$) por todas as $nviz_i$ células que convergem para esta célula (representada na grade LDD):

$$EST_{i,t} = ACUM_{i,t-1} + \sum_{j=1}^{nviz_i} ESC_{j,t-1}$$

Parte da água estocada será escoada para a célula indicada pelo LDD (célula vizinha abaixo):

$$ESC_{i,t} = Kr * EST_{i,t}$$

E parte será armazenada podendo ser evapotranspirada ou escoada numa próxima iteração:

$$ACUM_{i,t} = Ka * EST_{i,t}$$

Visto o exposto, o modelo desenvolvido pode ser considerado um modelo dinâmico uma vez que o mesmo apresenta uma dimensão temporal explícita, ou seja, suas variáveis de entrada e saída variam com o tempo, e seus estados atuais dependem dos estados anteriores (ALMEIDA, 2004). Além disso, o modelo pode ser classificado como determinístico, por se basear em 2 parâmetros (Ka e Kr) e distribuído, por utilizar a informação de relação hidrológica entre as células representada pela grade LDD (TUCCI, 2005; BEVEN, 2012).

2.4 Calibração

A calibração foi realizada com base em dois eventos para o ano de 2014. Um evento com a chuva concentrada no espaço e no tempo entre os dias 11 e 12 de janeiro, resultado de processos convectivos locais. O outro evento analisado com a chuva distribuída no espaço e no tempo no dia 24 e 25 de setembro, sendo que esse tipo de evento é resultante, principalmente, da passagem de frentes frias na região. Para cada evento, o tempo de retardo (*lag time*) foi calculado com base nos dados observados de chuva e vazão (Figura 4). O tempo de retardo é definido como o tempo entre o centro de massa da chuva e da vazão de pico (USDA, 2010). O centro de massa da chuva foi definido pela seguinte equação:

$$P_{cm} = \frac{1}{P_{ac}} \sum_{i=1}^n P_i \cdot i$$

Onde: P_{cm} é o passo de tempo do centro de massa [], P_{ac} é a chuva acumulada para o evento [mm] e P_i é a chuva para o passo de tempo i [mm].

Com intuito de melhor representar dois tipos de eventos típicos na região, concentrados e distribuídos, optou-se por variar o número de passos de tempo (iterações) que representa uma hora, outro parâmetro do modelo, com base no tempo de retardo dos dados observados de chuva e vazão. Assim, para o evento concentrado (Figura 4a), o tempo de retardo foi de 5 horas. Dessa forma, definiu-se que um intervalo temporal de 1 hora representa 36 passos de tempo do modelo. Ou seja, em 1 hora são percorridos 36 espaços celulares ou cerca de 4,5 km, uma vez que neste tipo de evento o escoamento superficial é mais rápido. Por outro lado, para o evento distribuído – frente fria (Figura 4b), o tempo de retardo foi de 9 horas. Para esse tempo de retardo, 1 hora representa 22 passos de tempo no modelo. Neste caso, em 1 hora são percorridos cerca de 3 km, visto que neste tipo de evento o escoamento superficial é mais lento.

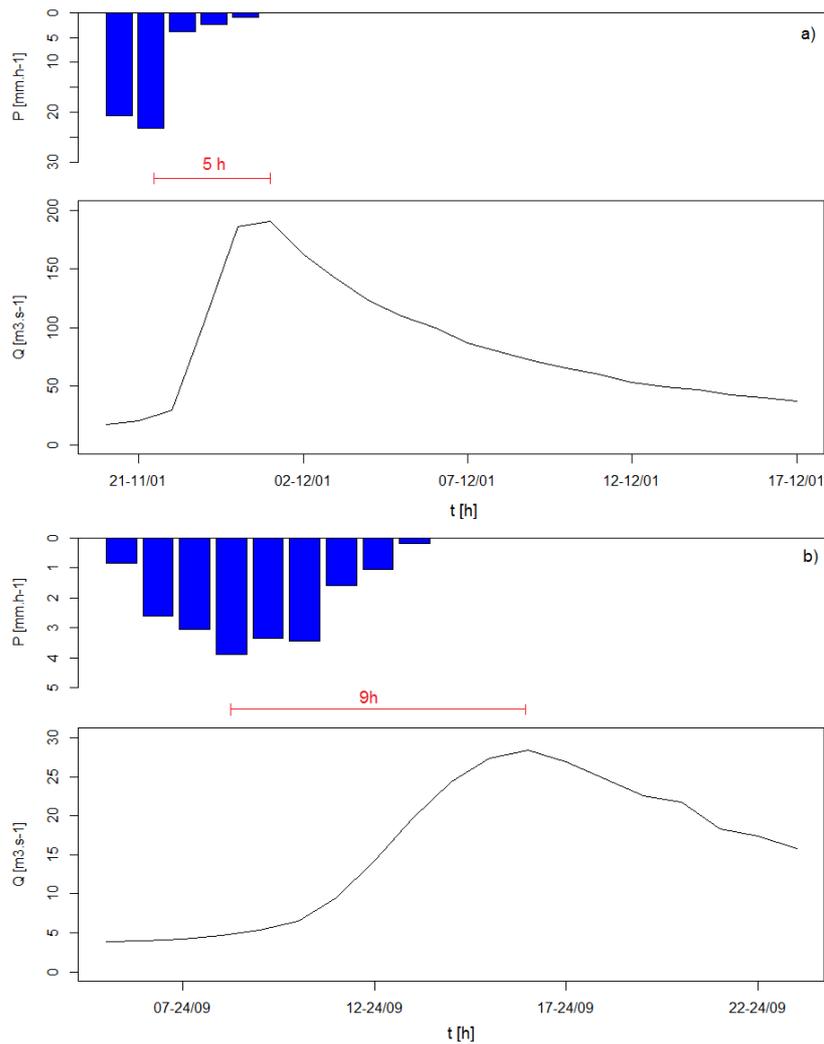


Figura 4. Eventos utilizados para calibração do modelo. No painel superior (a) o evento de chuva concentrada e no inferior (b) o evento de chuva distribuída. Em vermelho o tempo de retardo de cada evento e as barras invertidas em azul representam a chuva

A calibração dos valores de Kr e Ka foi realizada com base na relação entre a vazão simulada e observada. Para isso, foram utilizadas as métricas Raiz do Erro Quadrático Médio – RMSE e Coeficiente de Determinação – r^2 . A calibração do Kr e Ka foi realizada de maneira interativa e manual. Esse método de calibração ajusta os parâmetros para que os dados simulados se aproximem ao máximo dos dados observados com base em determinadas métricas (ARAÚJO, 2014). Neste caso, a calibração teve por objetivo minimizar o RMSE e aumentar o r^2 . Foram adotados valores médios dos parâmetros que representassem a melhor estimativa para ambos os tipos de eventos (concentrados e distribuídos), sempre levando em conta o RMSE e o r^2 .

2.5 Cenários

Uma vez que o modelo é calibrado, o mesmo pode ser utilizado para fazer a previsão de cenários. Dessa forma, com base em sistemas atmosféricos atuantes na região, três cenários de chuva sintética foram simulados (Figura 5):

- Chuva concentrada no espaço e no tempo na cabeceira da bacia (*con1*), chuva distribuída em 2 horas;

- Chuva concentrada no espaço e no tempo próximo do exutório (*con2*), chuva distribuída em 2 horas;
- Chuva simulando uma frente fria, tipicamente bem distribuída no espaço e no tempo (*frente*), chuva distribuída em 5 horas.

Vale ressaltar que o volume total de chuva integrado no espaço e no tempo para o cenário *con1* foi de 11.231 mm, para o cenário *con 2* de 11.279 mm e para o cenário *frente* foi de 60.827 mm. O último cenário (*frente*) apresenta um volume significativamente maior devido sua abrangência espacial.

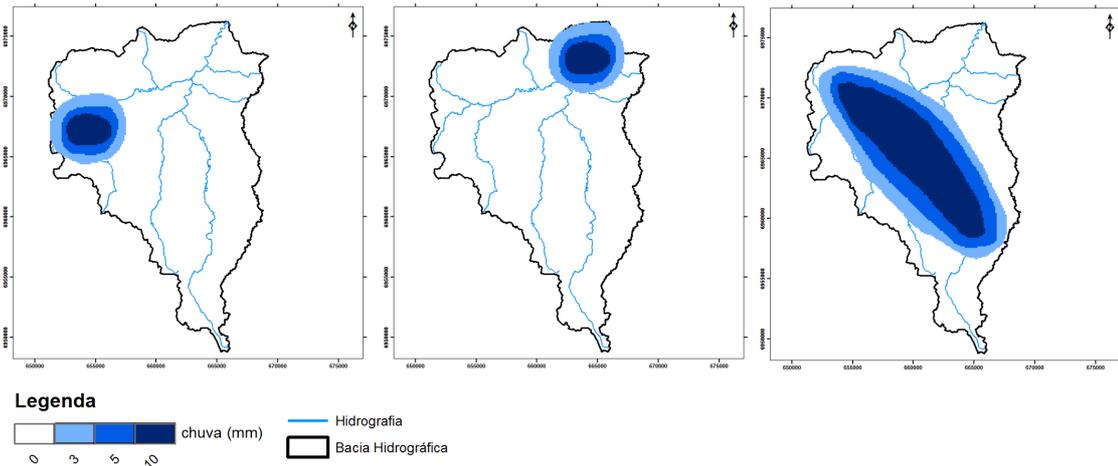


Figura 5. Cenários de chuva sintética simulados, da esquerda para direita: *con1*, *con2* e *frente*

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resultados da calibração se mostraram satisfatórios, com um coeficiente de determinação para o evento concentrado de 0,68 e para o evento distribuído 0,82. O RMSE foi de $52,28 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o evento concentrado e $5,94 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ para o evento distribuído (Figura 6). Os valores dos parâmetros adotados após o processo de calibração foram 0,81 para a constante de escoamento (Kr) e 0,245 para a constante de acumulação (Ka). Os resultados da calibração mostram que apesar do evento concentrado ter apresentado um desempenho satisfatório, apresenta uma acurácia inferior ao evento distribuído. A diminuição da capacidade do modelo estimar a vazão é notada principalmente após a vazão de pico ser atingida, uma vez que o modelo não simula a contribuição dos escoamentos de base (subsuperficial e subterrâneo). Mesmo assim, o modelo foi capaz de capturar o comportamento da vazão e o tempo de pico quando comparado ao observado (Figura 6a). Vale ressaltar que como o evento concentrado é de maior magnitude, é esperado que os valores do RMSE sejam maiores. Para o evento distribuído, a vazão foi estimada com melhor acurácia para todo o evento, entretanto estimou o tempo de pico ligeiramente atrasado em cerca de uma hora (Figura 6b).

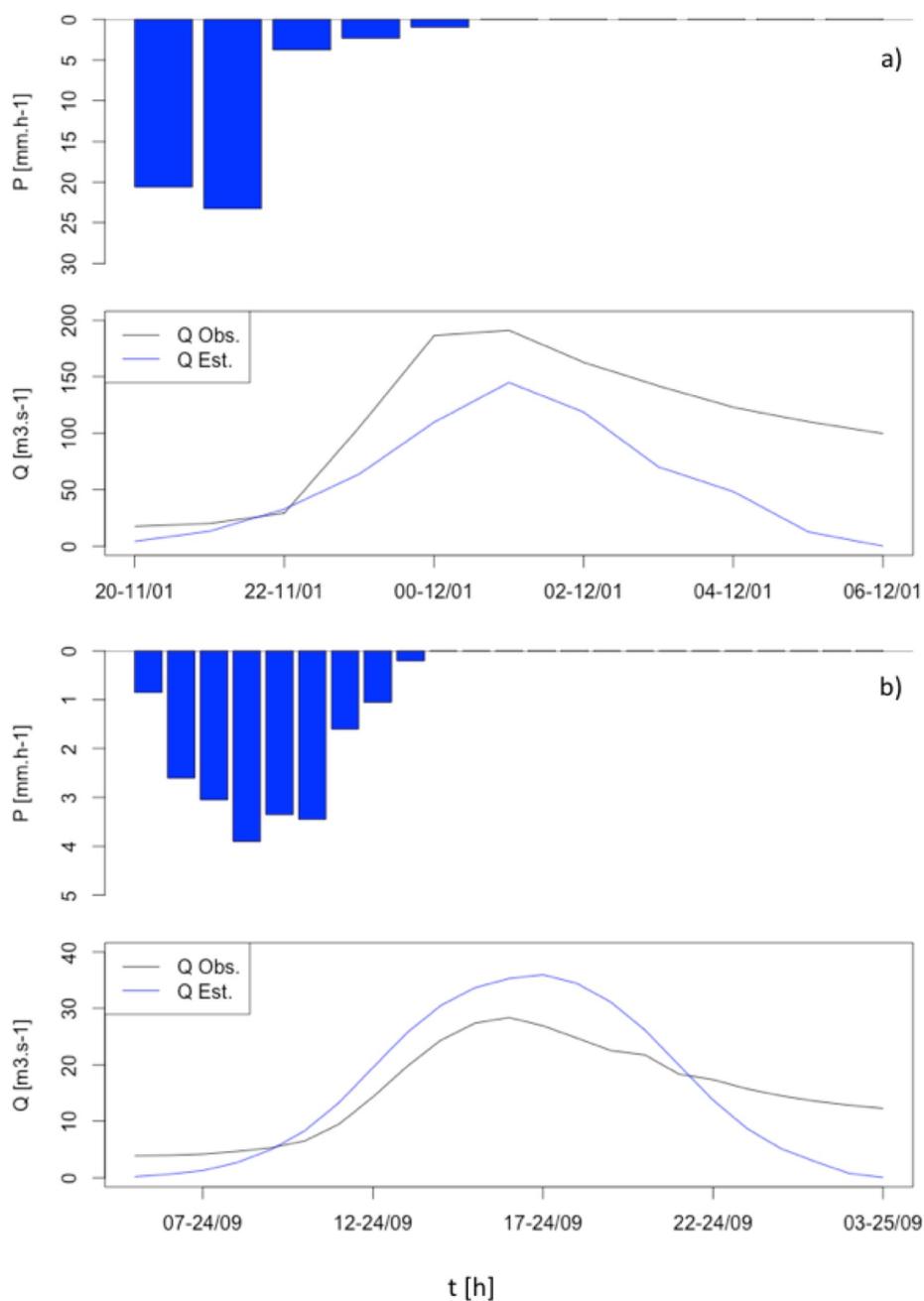


Figura 6. Resultados da calibração do modelo. No painel superior (a) o evento de chuva concentrada e no inferior (b) o evento de chuva distribuída. As barras invertidas em azul representam a chuva, a linha preta a vazão observada e a linha azul a vazão simulada

Uma maior incerteza na calibração do evento de chuva concentrada pode estar relacionada com o fato de que o modelo foi calibrado com a chuva uniforme no espaço, devido à baixa densidade de estações meteorológicas presentes na área de estudo. Dessa forma, como a influência da variabilidade espaço-temporal da chuva na estimativa do escoamento superficial é mais importante para eventos de chuva concentrados no espaço e no tempo (NICÓTINA et al., 2008; VIGLIONE et al., 2010; EMMANUEL et al., 2015), as incertezas foram maiores neste caso. Eventos bem distribuídos no espaço e no tempo tendem a apresentar uma menor sensibilidade à entrada da chuva em modelos hidrológicos, uma vez que a intensidade da chuva apresenta uma baixa variabilidade espacial dentro da bacia hidrográfica, especialmente no caso de bacias pequenas (OBLED,

WENDLING e BEVEN, 1994; WOODS e SIVAPALAN, 1999; NIKOLOPOULOS et al., 2011) como a analisada neste estudo.

A simulação de cenários, ilustrada nas Figuras 7 e 8, mostra como a variabilidade espaço-temporal da chuva influencia na dinâmica do hidrograma do escoamento superficial. O cenário que representa o maior perigo é o *con1*, visto que apresenta a maior vazão de pico. Porém, quando comparado com o *con2*, com menor vazão de pico, apresenta um tempo de pico (*lead time*) maior (5h30min) o que permite que a sociedade esteja preparada para receber o perigo imposto por um escoamento superficial acentuado. Mesmo que o *con2* apresente um tempo de pico muito curto (2h30min), como a chuva é concentrada no exutório a propagação do escoamento superficial pelo canal principal é rápida, e não permite o desenvolvimento de vazão pico acentuada. O cenário *frente* (chuva distribuída) é o que representa o menor perigo para a sociedade uma vez que apresenta a menor vazão de pico e o maior tempo de pico (9h30min).

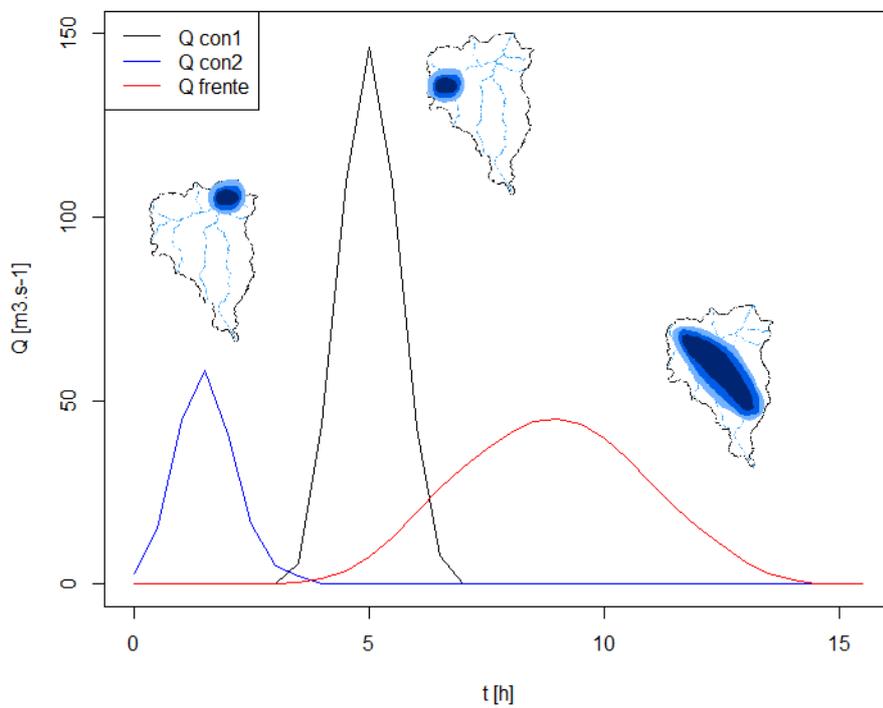


Figura 7. Vazão estimada para os três cenários de chuva: *con1* (preto), *con2* (azul) e *frente* (vermelho)

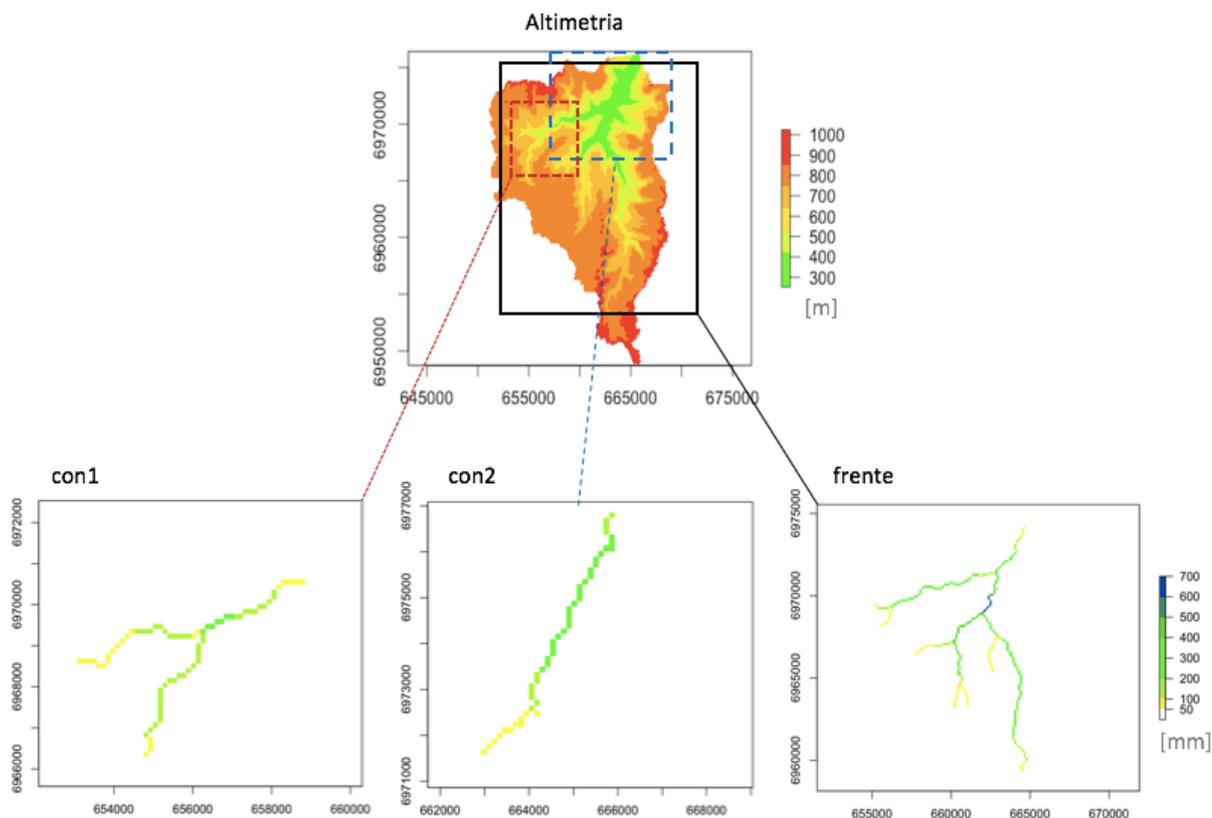


Figura 8. Propagação do escoamento superficial no passo de tempo de 2 h para os três cenários, da esquerda para direita: *con1*, *con2* e *frente*

A variação da distribuição espaço-temporal da chuva (Figuras 7 e 8) mostra a forte dependência espacial dos modelos hidrológicos distribuídos na simulação do escoamento superficial. Isso já é constatado por Zoccatelli et al. (2011) e Emmanuel et al. (2015) quando os autores afirmam que a utilização de um modelo hidrológico com a chuva uniforme pode apresentar uma variação no tempo de pico entre -30 a 70%, para eventos concentrados próximo do exutório, e pode ocasionar uma diminuição da vazão pico simulada, para eventos concentrados na cabeceira de bacias hidrográficas.

4 CONCLUSÕES

Este estudo desenvolveu um modelo hidrológico espacialmente distribuído baseado na topografia (LDD) para simulação da propagação do escoamento superficial em uma sub-bacia (286 km²) da bacia hidrográfica do Rio Itajaí Mirim, município de Vidal Ramos, Santa Catarina.

O estudo mostrou que o desenvolvimento de um modelo hidrológico relativamente simples, porém que considere os principais processos hidrológicos envolvidos na propagação do escoamento superficial, pode fornecer informações espaço-temporais do tempo e vazão de pico de um evento hidrológico, e, assim, é capaz de responder perguntas importantes que auxiliem na tomada de decisão para a redução do risco de desastres relacionados à inundação. Entretanto, vale ressaltar que existem incertezas inerentes a modelagem hidrológica, que nesse caso, são principalmente relacionadas a simplificação do processo de escoamento subsuperficial e subterrâneo pelo modelo proposto.

Dessa forma, propõe-se que em estudos futuros sejam incorporadas as componentes do escoamento subsuperficial e subterrâneo para que diminuam as incertezas na modelagem hidrológica deste tipo de evento. No mesmo sentido, outra perspectiva futura, é a utilização dos coeficientes de escoamento e acumulação espacialmente distribuídos, e que esses levem em conta variáveis como uso e cobertura da terra e tipo de solo.

5 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C.M. *Modelagem da Dinâmica Espacial como uma Ferramenta Auxiliar ao Planejamento: Simulação de Mudanças de Uso da Terra em Áreas Urbanas para as Cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil*. 2004. 323 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2004.
- ARAÚJO, A.S. *Calibração Multiobjetivo de Modelos Hidrológico e de Superfície Atmosférico*. 121 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2014.
- BERTONCINI, A.L.S. *Modelagem Hidrológica Aplicada a Previsão de Vazões: o caso de uma sub-bacia do Rio Itajaí-Mirim, Vidal Ramos – SC*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), Florianópolis, 2014.
- BEVEN K.J. *Rainfall-Runoff Modelling: the primer*. Lancaster: Wiley-Blackwell, 2012.
- BURROUGH, P.A.; MCDONNELL, R.A. *Principles of Geographical Information Systems*. New York: Oxford University Press, 1998, 333 p.
- CHANEY, N.W.; HERMAN, J.D.; REED, P.M.; WOOD, E.F. *Flood and drought hydrologic monitoring: the role of model parameter uncertainty*. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 19, p. 3239-3251, 2015.
- EMMANUEL, I.; ANDRIEU, H.; LEBLOIS, E.; JANEY, N.; PAYRASTRE, O. *Influence of rainfall spatial variability on rainfall-runoff modeling: Benefit of a simulation approach?* *Journal of Hydrology*, v. 531, p. 337-348, 2015.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: EMBRAPA, 2005.
- GOERL, R.F.; KOBAYAMA, M.; PELLERIN, J.R.G.M. *Proposta Metodológica para Mapeamento de Áreas de Risco a Inundação: Estudo de caso do município de Rio Negrinho – SC*. *Boletim de Geografia*, v. 30, n. 1, p. 81-100, 2012.
- HADDAD, E.A.; TEIXEIRA, E. *Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil*. *Habitat International*, v. 45, p. 106-113, 2015.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Geneva, CH: IPCC, 2014. 151 p.
- MILLY, P.C.D.; BETANCOURT, J.; FALKENMARK, M.; HIRSCH, R.M.; KUNDZEWICZ, Z.W.; LETTENMAIER, D.P.; STOUFFER, R.J. *Stationarity Is Dead: Whither Water Management?* *Science*, v.319, n.1, p. 573-574, 2008.
- NICÓTINA, L.; CELEGON, E.A.; RINALDO, A.; MARANI, M. *On the impact of rainfall patterns on the hydrologic response*. *Water Resources Research*, v. 44, p. 1-14, 2008.
- NIKOLOPOULOS, E.I.; ANAGNOSTOU, E.N.; BORGA, M.; VIVONI, E.R.; PAPADOPOULOS, A. *Sensitivity of a mountain basin flash flood to initial wetness condition and rainfall variability*. *Journal of Hydrology*, v. 402, p. 165-178, 2011.
- OBLED, C.; WENDLING, J.; BEVEN, K. *The sensitivity of hydrological models to spatial rainfall patterns: an evaluation using observed data*. *Journal of Hydrology*, v. 159, p. 305-333, 1994.
- PANDOLFO, M. et al. *Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina*. Florianópolis: EPAGRI-CIRAM, 2002. 13 p.
- PEEL, M.C.; FINLAYSON, B.L.; MCMAHON, T.A. *Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification*. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 11, p. 1633-1644, 2007.
- R PROJECT. *The R Project for Statistical Computing*. 2015. Disponível em: <<https://www.r-project.org/about.html>>. Acesso em: 8 Dez 2015.
- RENNÓ, C. D. *Construção de um Sistema de Análise e Simulação Hidrológica: Aplicação a Bacias Hidrográficas*. 2004. 146 p. (INPE-10437-TDI/925) Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

ROSIM, S.; OLIVEIRA, J.S.R.; JARDIM, A.C.; CUELLAR, M.Z. Extração de Drenagem da Região Nordeste Utilizando o Sistema TerraHidro. In: *Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, n. XII, 2014, Natal – RN. Anais... Porto Alegre: ABRH, 2014.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. *Grupo Itararé: formação Rio do Sul*. 2014. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/coluna/fmriosul.html>>. Acesso em: 18 Dez 2014.

TODINI, E. *Hydrological catchment modelling: past, presente and future*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 11, n.1, p. 468-482, 2007.

TUCCI, C.E.M. *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2005. 678 p.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). Time of concentration: chapter 15. USDA, In: *National Engineering Handbook (Part 630 Hydrology)*. USDA, Washington, E.U.A, 2010, 29 p.

VIGLIONE, A.; CHIRICO, G.B.; WOODS, R.; BLÖSCHL, G. *Generalised synthesis of space-time variability in flood responde: An analytical framework*. Journal of Hydrology, v. 394, p. 198-212, 2010.

WOODS, R.; SIVAPALAN, M. *A synthesis of space-time variability in storm response: Rainfall, runoff generation, and routing*. Water Resources Research, v. 35, n. 8, p. 2469-2485, 1999.

ZOCCATELLI, D.; BORGA, M.; VIGLIONE, A.; CHIRICO, G. B.; BLÖSCHL, G. *Spatial moments of catchment rainfall: rainfall spatial organization, basin morphology, and flood response*. Hydrology and Earth System Sciences, v. 15, p. 3767-3783, 2011.