

Sistema de previsão imediata por conjunto a partir de radares meteorológicos para alertas de inundação

Bolsista: Dra. Angélica Nardo Caseri
Projeto Fapesp número: 2017/00275-0

1. Introdução

As inundações são responsáveis por cerca de 50% dos prejuízos ocasionados pelos desastres naturais ocorridos no mundo (Kron, 2003). Durante o período 1946-2007, na Europa, foram identificados 550 eventos de inundação (Bastone *et al.*, 2011). No Brasil, entre 2008 e 2013, 27,7% das cidades brasileiras foram atingidas por enchentes e 28,3% foram atingidas por inundações bruscas. Entre os diferentes tipos de inundações, as inundações bruscas são particularmente perigosas devido ao seu súbito acontecimento e difícil previsibilidade (Jonkman and Vrijling, 2008). As inundações bruscas possuem uma resposta rápida. Este tipo de inundação é localizado, principalmente, em bacias hidrográficas pequenas e médias. Os sistemas de previsão e alerta a inundações são essenciais para a antecipação de eventos extremos, e assim, reduzir os seus possíveis impactos. Devido à difícil previsibilidade dos eventos de inundações bruscas, como citado em Zappa *et al.* (2011), os alertas fornecidos por um sistema de previsão possuem diversas incertezas. As previsões por conjunto consistem em considerar as incertezas das previsões hidrometeorológicas.

Este projeto tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia de previsão imediata por conjunto de alertas de inundação. Para isto um simulador probabilístico de chuva será utilizado, baseado em um método geoestatístico, para gerar as previsões imediatas de precipitação por conjunto e um modelo hidrológico de chuva-vazão.

2. Atividades realizadas

Estes primeiros seis meses do pós-doutorado foram dedicados as seguintes etapas:

- Análise dos dados de chuva do radar utilizado no projeto (radar móvel banda X, instalado na região de Campinas, dentro da Universidade Unicamp). A Figura 1 apresenta a localização do radar e a área de estudos do projeto de pesquisas.
- Seleção de eventos extremos na região.
- Calibração dos parâmetros do software geoestatístico SAMPO TBM (Caseri *et al.*, 2015).
- Adaptação e desenvolvimento da metodologia para o cálculo das previsões de precipitação por conjunto a partir do software SAMPO TBM no modo simulação condicional.
- Avaliação dos primeiros resultados.

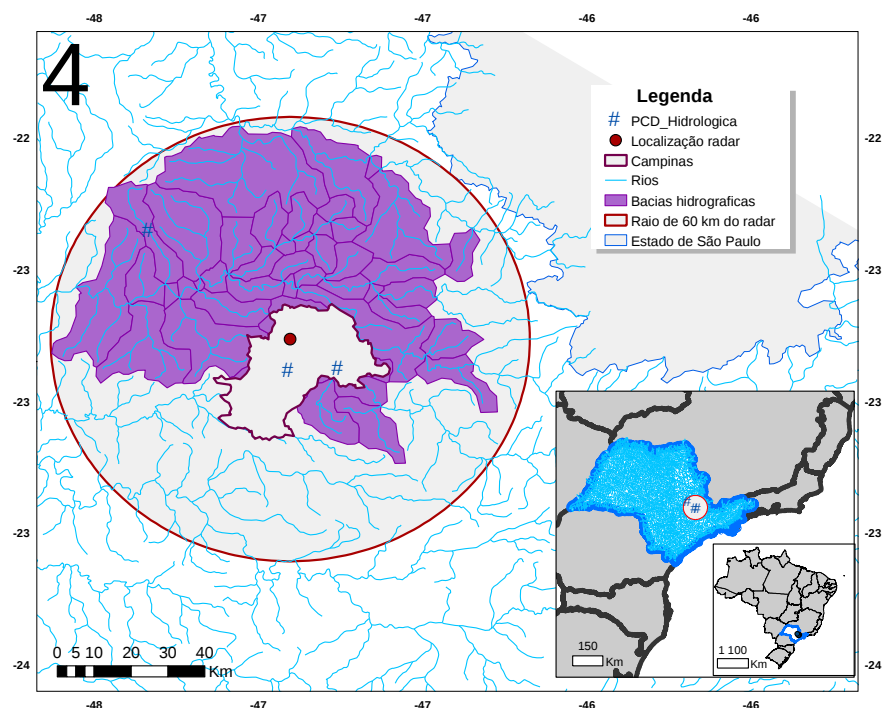


Figura 1. Localização do radar instalado no Museu Exploratório de Ciências da UNICAMP, em Campinas, e da área de estudos determinada pela circunferência em vermelho (raio de 60 km do radar) e pelas bacias hidrográficas selecionadas.

Seleção de eventos

A fim de selecionar os eventos extremos que serão utilizados neste projeto, foi realizada uma análise do histórico de eventos ocorridos na região entre 2016-2017. Um dos critérios para selecionar estes eventos foi de considerar apenas os eventos que passavam de 5 mm/h ao menos em 1 km² da região (como apresenta a Figura 2). Estes eventos foram selecionados utilizando os dados do radar instalado no Museu Exploratório de Ciências da UNICAMP em Campinas.

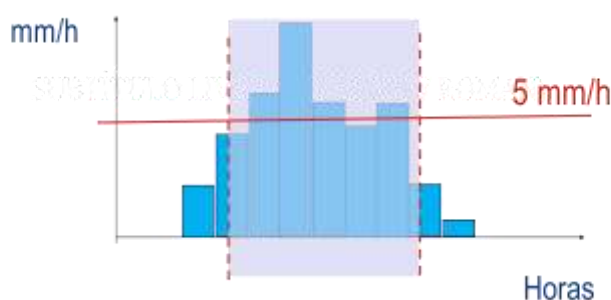


Figura 2. Metodologia para seleção dos eventos.

A Figura 3 apresenta os eventos selecionados para este projeto. No total foram selecionados 16 eventos. Os valores máximos acumulados de precipitação de cada evento variam entre 30 mm a 250 mm e a duração varia de 5 horas a 28 horas, sendo que o evento com o máximo observado mais elevado durou 18 horas.

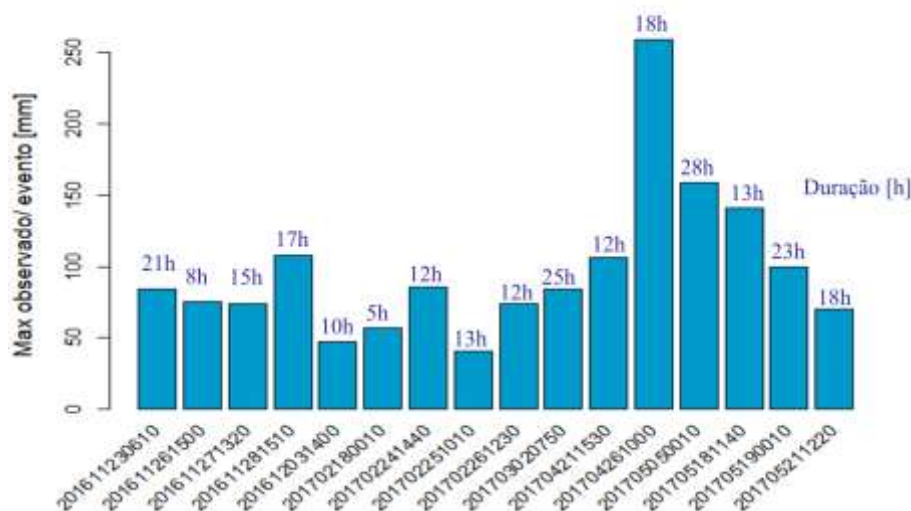


Figura 3. Eventos selecionados e suas principais características.

Calibração dos parâmetros para utilização do SAMPO TBM

A segunda etapa deste projeto foi a calibração dos parâmetros para a utilização do software SAMPO TBM (Leblois *et al.*, 2013; Caseri *et al.*, 2015), o qual será utilizado neste projeto para realizar previsões imediatas por conjunto de eventos extremos. Para cada evento foi calculada a média da velocidade do evento, a correlação espacial das zonas de chuva e das zonas de intermitência. A Figura 4 apresenta os valores dos parâmetros de cada evento. A velocidade do vento foi calculada a partir do *tracking* das imagens radar (Leblois *et al.*, 2013) e os parâmetros de correlação espacial foram calculados por meio do variograma exponencial dos dados radar.

A partir da Figura 4, pode-se observar que os eventos de 26/11/2016, 27/11/2016, 26/02/2017 possuem a velocidade do vento mais baixa, 1 m/s, quando comparados com os outros. O evento de 19/05/2016 possui a velocidade mais elevada, 20 m/s. Em relação aos parâmetros de correlação espacial, pode-se observar que a correlação espacial da zona chuvosa mais baixa foi observada no evento de 26/04/2017, cerca de 3 km, e a mais elevada foi observada no evento de 02/03/2017, cerca de 35 km. Igualmente, pode-se verificar que a correlação espacial das zonas de intermitência variam de 8 km (evento de 26/11/2016) a 55 km (evento de 25/02/2017). Por meio desta análise, pode-se observar que existe uma variabilidade elevada entre os eventos, possibilitando assim, uma base de dados robusta para as próximas etapas do projeto.

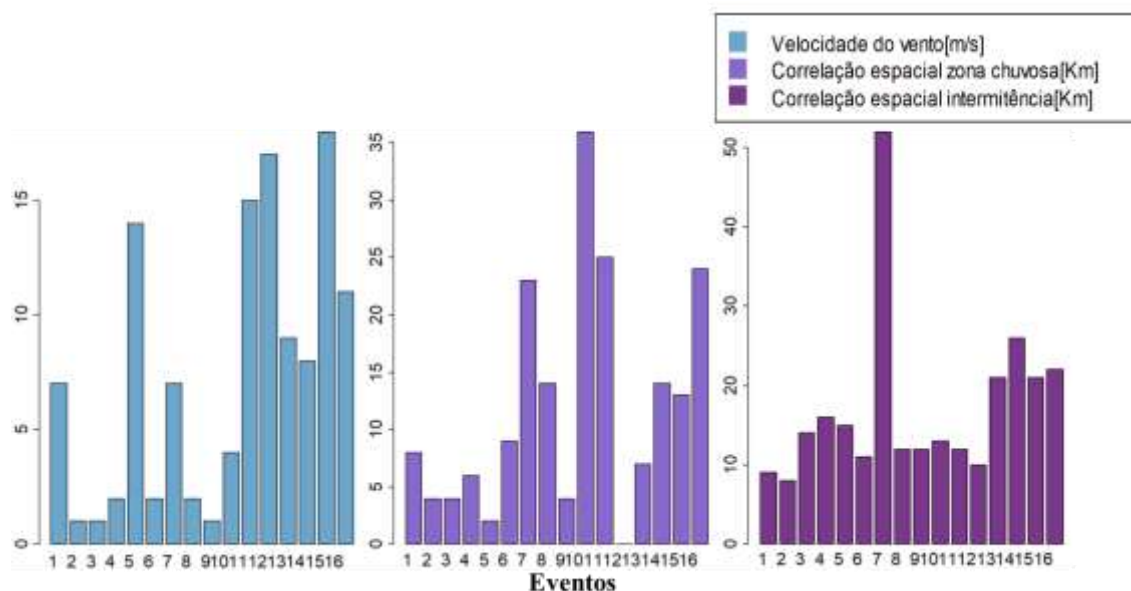


Figura 4. Valores dos parâmetros utilizados no SAMPO TBM para cada evento selecionado (a esquerda – velocidade do vento; no centro – correlação espacial das zonas chuvosas; a direita – correlação espacial da intermitência).

Previsão evento 3–12–2016

A terceira etapa realizada deste trabalho foi inicializar as previsões imediatas por conjunto de eventos extremos utilizando o software SAMPO TBM. Primeiramente o método foi aplicado no evento de 3 de Dezembro de 2016. Este evento é caracterizado por uma tempestade de granizo a qual atingiu grande parte da região abordada neste projeto, ocasionando pontos de alagamento em diversos locais, principalmente na cidade de Campinas (G1.Globo, 2017).

A técnica de calibração dos parâmetros do SAMPO TBM para a previsão imediata é baseada nos parâmetros estimados a partir de uma janela deslizante. Isto significa que os parâmetros e os dados utilizados para a simulação condicional serão estimados apenas nas últimas horas dos dados de observação de precipitação. Também neste método é considerada a simulação condicional (para mais detalhes da metodologia: Renard *et al.*, 2011; Caseri *et al.*, 2016) por meio dos pluviômetros localizados na região. No total foram considerados 30 pluviômetros. As previsões para este evento foram calculadas da forma a seguir:

- Inicialização da calibração dos parâmetros do software SAMPO TBM considerando as primeiras 1h30 observadas do evento.
- Simulação condicional utilizando os pluviômetros da região.
- Simulação de campos de chuva possíveis através do SAMPO TBM: são realizadas previsões para as próximas 2 horas (cada passo de tempo com 30 min), sendo geradas 30 previsões para cada passo de tempo (previsão por conjunto).
- Reinicialização da calibração dos parâmetros do software SAMPO TBM a cada 30 minutos.

A Figura 5 representa um esquema explicativo do processo de calibração dos parâmetros do SAMPO TBM para a previsão imediata de precipitação por conjunto.

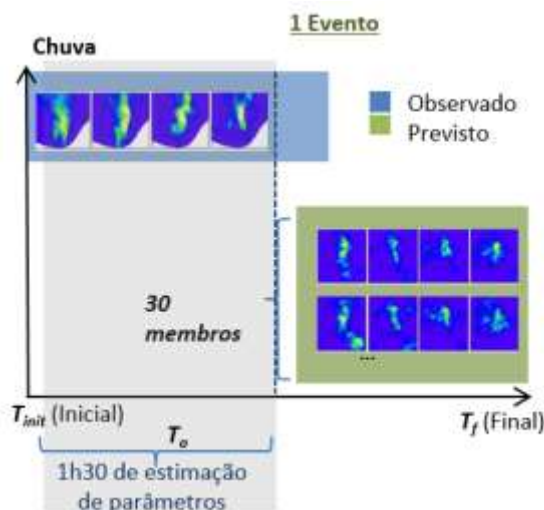


Figura 5. Ilustração do método de calibração dos parâmetros de SAMPO TBM a partir dos dados de observação de chuva de um determinado evento (T_i = início do evento, T_o = último instante de observação da precipitação, T_f = fim do evento).

Análise dos Resultados da previsão imediata por conjunto para o evento de 3-12-2016

Critérios de avaliação utilizados

A fim de avaliar a capacidade do método proposto neste projeto em gerar previsões imediatas por conjunto foram utilizados os seguintes critérios de avaliação:

- **CRPS:** em inglês “*Continuous Ranked Probability Score*”, compara a função de distribuição da variável esperada com a densidade de probabilidade acumulada observada, para cada previsão ele representa a distância quadrática entre essas duas funções de distribuição. A média dos valores obtidos para cada previsão é levada em consideração. A densidade de probabilidade cumulativa observada é muitas vezes representada pela função Heaviside cujo valor é 0 antes do valor observado e 1 após ele (Hersbach, 2000). Este critério avalia o desempenho global do método.
- **Área da curva ROC:** curva ROC permite avaliar a capacidade de uma previsão em detectar eventos sem que muitos falsos alertas sejam efetuados (Mason and Graham, 1999). Para construir uma curva ROC, para cada diferença de *nível de referência* (ou percentagem de membros da previsão por conjunto que detectaram um evento), traça-se um diagrama que representa a probabilidade de detecção de um evento em função da probabilidade de falsos alertas (mais detalhes em Jolliffe and Stephenson, 2003). A área sob a curva ROC (AUC, em inglês “*Area Under the Curve*”) é seguidamente utilizada para a avaliação comparativa de curvas ROC. Uma curva ROC sob a linha diagonal do diagrama é caracterizada por uma AUC de 0,5, indicando uma baixa capacidade de discriminação de eventos. O limiar considerado neste projeto foi de 5 mm/h.

Resultados

A fim de avaliar as previsões imediatas por conjunto geradas para o evento do 3/12/2016, as previsões de chuva foram comparadas aos valores observados pelos pluviômetros utilizados na simulação condicional do SAMPO TBM para cada passo de tempo de previsão (4 passos de tempo,

total de 2 horas de previsão). A Figura 6 apresenta os valores de CRPS calculados e a Figura 7 apresenta os valores da área da curva ROC.

A partir da análise das Figuras 6 e 7, pode-se observar que as previsões possuem um bom desempenho até 2 horas de previsão, mas que a capacidade de previsão diminui à medida que o passo de tempo de previsão aumenta. Isso é observado principalmente no caso do CRPS. Por meio da Figura 6, verifica-se que o CRPS calculado varia de 0,4 mm/h a 0,6 mm/h. Dessa forma, pode-se constatar que as previsões possuem um bom desempenho global. Através da Figura 7, observa-se que a área da curva ROC varia de 0,5 a 0,6. Sendo assim, verifica-se que até 2 horas de previsão o método possui boa capacidade de detecção de eventos.

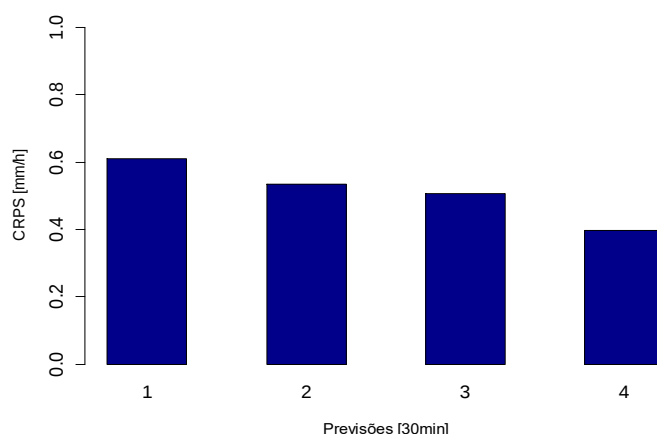


Figura 6. CRPS calculado a partir das previsões geradas pelo SAMPO TBM (previsões com passo de tempo de 30 min, 1h, 1h30 e 2h). Avaliação a partir dos dados dos pluviômetros da região.

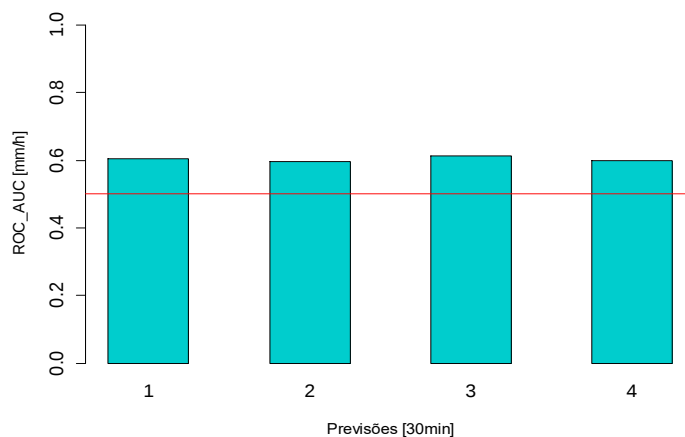


Figura 7. Área da curva ROC (AUC) calculada a partir das previsões geradas pelo SAMPO TBM (previsões com passo de tempo de 30 min, 1h, 1h30 e 2h). Avaliação a partir dos dados dos pluviômetros da região. A linha vermelha representa o valor de 0,5, um AUC inferior a este valor representa que as previsões possuem baixa capacidade de detecção de um evento.

3. Conclusão

Por meio deste estudo foi possível compreender de forma mais aprofundada as principais características dos eventos extremos da região de Campinas. Desta forma, possibilitando o aprimoramento da metodologia do SAMPO TBM para a previsão imediata de eventos extremos. Os primeiros resultados encontrados nesse projeto, a partir da geração da previsão imediata por conjunto para o evento de 3 de Dezembro de 2016, mostram que a metodologia abordada pode ser uma solução

interessante para a previsão imediata de eventos de inundações. As próximas etapas desta trabalho se caracterizam pela geração de previsão imediata por conjunto para os outros eventos selecionados e a utilização de um modelo hidrológico para a transformação da chuva em vazão.

4. Participações em congressos e reuniões

- *Apresentação oral* - Brahve. SISTEMA DE EPREVISÃO IMEDIATA POR CONJUNTO DE ALERTAS DE INUNDAÇÃO. 2017.
- *Pôster* - EPGMET.PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS EVENTOS EXTREMOS OBSERVADOS NA REGIÃO DE CAMPINAS A PARTIR DE DADOS DE RADARES METEOROLÓGICOS. 2017.
- *Apresentação oral* - SBRH - SBRH - XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. PREVISÃO IMEDIATA POR CONJUNTO PARA ALERTA DE CHEIAS. 2017.
- *Apresentação oral* – Reunião SOS Chuva. PREVISÃO IMEDIATA POR CONJUNTO DE CHUVA A PARTIR DE UM MÉTODO GEOESTATÍSTICO PARA EVENTOS DE INUNDAÇÕES BRUSCAS. 2017

Referências

BASTONE, V., GARNIER, C.H., DE LA TORRE, Y., 2011. *Etude préliminaire de l'impact du changement climatique sur les risques naturels à la Réunion*. Paris: BRGM, 2011, p. 135.

CASERI, A., P., JAVELLE, M.-H., RAMOS, E. LEBLOIS, 2015. Generating precipitation ensembles for flood alert and risk management, *Journal of Flood Risk Management*.

CASERI, A.; RAMOS, M.-H. ; JAVELLE, P.; LEBLOIS, E. *A space-time geostatistical approach for ensemble rainfall nowcasting*. E3S Web of Conferences, v. 7, p. 18001, 2016.

HERSBACH H. 2000. *Decomposition of the Continuous Ranked Probability Score for Ensemble Prediction Systems*. *Weather and Forecasting* 15 (5): 559–570.

JONKMAN, S.N., VRIJLING, J.K. Loss of life due to floods. *Journal of Flood Risk Management*, v. 1, n.1, p. 43–56, 2008.

KRON, W. Flood catastrophes: causes, losses and prevention an international re-insure's viewpoint. In: Workshop on Precautionary Flood Protection in Europe. 2003. Bonn. *Proceedings...* New York: Science Press, 2003.

LEBLOIS, E., CREUTIN, J.-D. Space-time simulation of intermittent rainfall with prescribed advection field: Adaptation of the turning band method. *Water Resources Research*, v. 49, p. 3375–3387, 2013.

MASON, S.J., GRAHAM, N.E. Conditional Probabilities, Relative Operating Characteristics, and Relative Operating Levels. *Weather and Forecasting*, v.14, p. 713–725, 1999.

RENARD, B. et al. Toward a reliable decomposition of predictive uncertainty in hydrological modeling: Characterizing rainfall errors using conditional simulation. *Water Resources Research*, v. 47, 2011.

ZAPPA, M. et al. Superposition of three sources of uncertainties in operational flood forecasting chains. *Atmospheric Research*, v.100, n. 2-3, p. 246-262, 2011.