ANÁLISE DA ESTRUTURA DAS CHEIAS DA BACIA DO ITAJAÍ

Paula Cunha David [1] & Pedro Luiz Borges Chaffe [2]

ABSTRACT – The Itajaí River basin is frequently affected by floods. The objective of this work was to analyze the flood typology of the Itajaí River basin. We considered the relationships between duration, volume and peak discharge of the maximum annual discharge events of 20 of its sub basins. The seasonality of maximum daily annual discharge and precipitation was also evaluated. The maximum precipitation events occured on average between November and February, while the maximum discharge events occured between October and March. The relationship between peak discharge and volume varied with the size of the sub basins. As the area increased the variation increased. The relationship between precipitation and peak discharge varied according to the area, the same precipitation intensity causes a larger peak discharge in a smaller basin than in a larger basin. The average event duration was of 10 days, ranging from 4 to 27 days. In larger basins, a more homogeneous distribution of peak discharge was observed in relation to the duration of the events.

Palavras-Chave – Bacia do Itajaí, cheias.

1) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Santa Catarina; paulacunhadavid@gmail.com
2) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

1 - INTRODUÇÃO

A região do vale do Itajaí é conhecida por ser frequentemente afetada por inundações. Pertencem à bacia do rio Itajaí 50 municípios, sendo que a região metropolitana do vale do Itajaí possui aproximadamente 700 mil habitantes (IBGE, 2010). Entre 1991 e 2012 foram registradas 104 inundações excepcionais caracterizadas como desastre, representando 23% do total de eventos do estado de Santa Catarina (CEPED, 2013). Estima-se que esses eventos causaram a morte de 38 pessoas e gastos superiores a 3 trilhões de reais (Hermann, 2014).

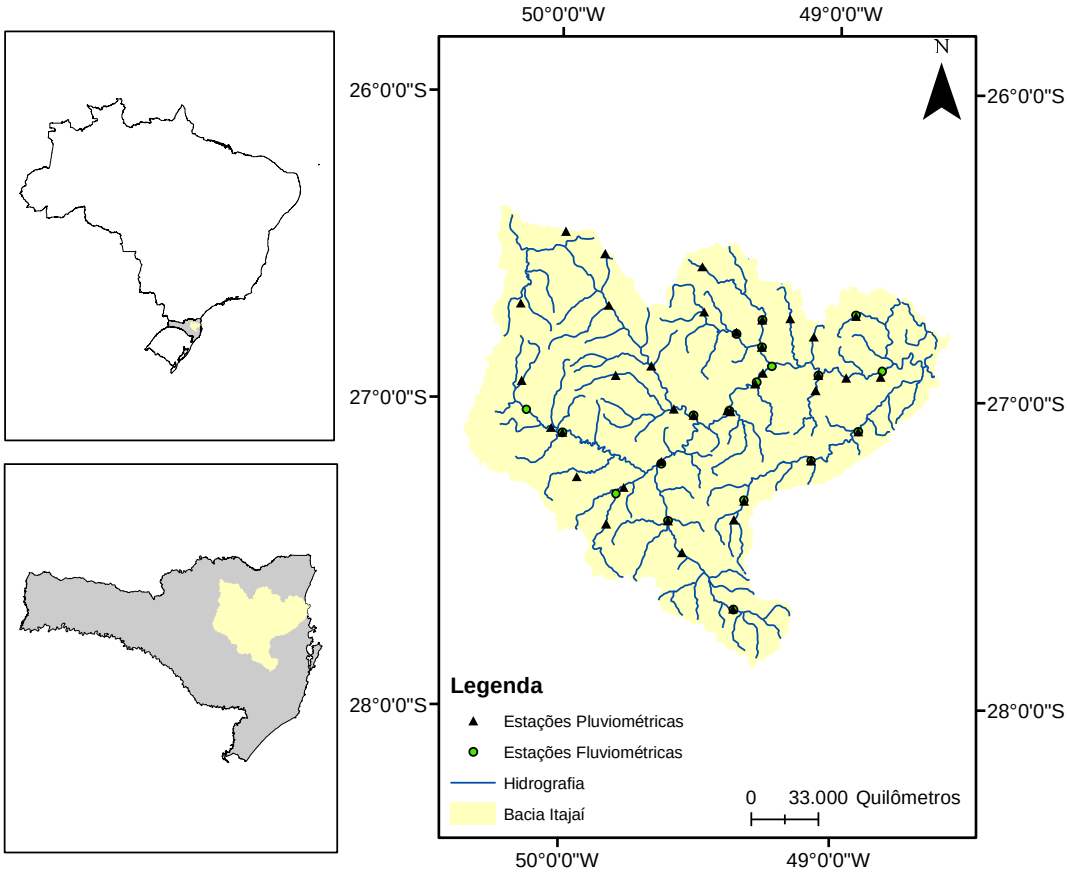
Na inundação de 2011, apenas na cidade de Blumenau 302.000 pessoas foram afetadas e 668 ficaram desabrigadas (CEPED, 2013). Lá, um nível do rio com tempo de retorno de 2 anos é suficiente para afetar 180 prédios (Refosco *et al*. 2013). Por isso, a bacia é bastante estudada tanto sobre o ponto de vista de eventos extremos (Silva et al. 2016, 2017) como de inundações (Momo *et al*. 2016; Nobre *et al*. 2016; Speckhann *et al*. 2017).

É importante, portanto, entender a estrutura das cheias da região e suas possíveis causas, uma vez que a região é propensa a eventos de inundação e elas estão geralmente associadas a outros tipos de desastres como os escorregamentos. Este trabalho tem como objetivo avaliar a estrutura das cheias da bacia do rio Itajaí através de relações entre duração, volume e vazão de pico dos eventos de vazão máxima anual de suas sub bacias. Foi avaliada ainda a sazonalidade da vazão e precipitação máximas anuais.

2 - MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 - Área de estudo

A bacia do Itajaí está localizada no estado de Santa Catarina e possui uma área de 15000 km² (Figura 1), com precipitação anual de 1610 mm. A precipitação apresenta um comportamento sazonal dividida entre duas estações: verão úmido (outubro a março) e inverno seco (abril a setembro). Entretanto, a bacia é frequentemente submetida a eventos extremos de precipitação tanto no inverno quanto no verão (Nery *et al*. 2000). Foram utilizadas 20 estações fluviométricas e 18 pluviométricas, cujos dados foram obtidos no HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA).



Sistema de coordenadas: SAD69 /UTM zona 22S

Figura 1 – Localização da Bacia do rio Itajaí

2.2 - Análise das máximas anuais

Foi selecionada a vazão máxima de cada ano de cada estação para o cálculo da sazonalidade e análise do evento máximo anual. Os eventos de cheia foram separados por inspeção visual e para o evento de precipitação relacionado foram considerados os 5 dias anteriores e posteriores ao pico do evento.

O dia médio anual da precipitação e vazão máxima de cada estação foi calculado com estatística direcional, utilizada em estudos de sazonalidade (Villarini, 2016; Bartiko *et al*. 2017; Merz *et al*. 2018). A data na qual ocorreu o valor máximo é transformado em coordenada polar através da equação (1).

$$\theta = 2\pi Dia/365 \quad (1)$$

As componentes do vetor são calculadas a partir da soma dos valores de seno e cosseno dos ângulos encontrados:

$$\overline{x} = \sum_{i=1}^{n} \cos(\theta_i)\ /n \quad (2)$$

$$\overline{y} = \sum_{i=1}^{n} \text{sen}(\theta_i) \, / n \tag{3}$$

onde n é o número de anos de cada série histórica.

O dia médio é dado, então, pelo vetor $\overline{\theta}$, que representa a direção média do vetor:

$$\overline{\theta} = tan^{-1}(\overline{y}/\overline{x}) \tag{4}$$

Foi calculada também a variabilidade da data de ocorrência da máxima, dada pelo vetor R (equação 5), que varia de 0 a 1, sendo próximo de 0 quando há uma grande heterogeneidade nas datas e próximo de 1 quando todos os eventos ocorrem entre o mesmo dia do ano.

$$R = \sqrt{\overline{x}^2 + \overline{y}^2} \, / n \tag{5}$$

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta o dia médio de vazão e precipitação máximas para cada estação considerada. Os eventos de precipitação máximas ocorrem em média entre novembro e fevereiro, enquanto os de vazão máxima ocorrem entre outubro e março. Dentre as últimas 23 enchentes registradas no município de Blumenau, desde 1983, apenas 5 ocorreram entre este período. A variabilidade da data de ocorrência variou entre próximo de 0 e 0.4, ou seja, os eventos são distribuídos ao longo do ano. A diferença da distribuição das datas entre precipitação e vazão evidenciam a importância de outros fatores que causam enchentes, como condição inicial da bacia, índice de umidade e o tipo de evento de precipitação.

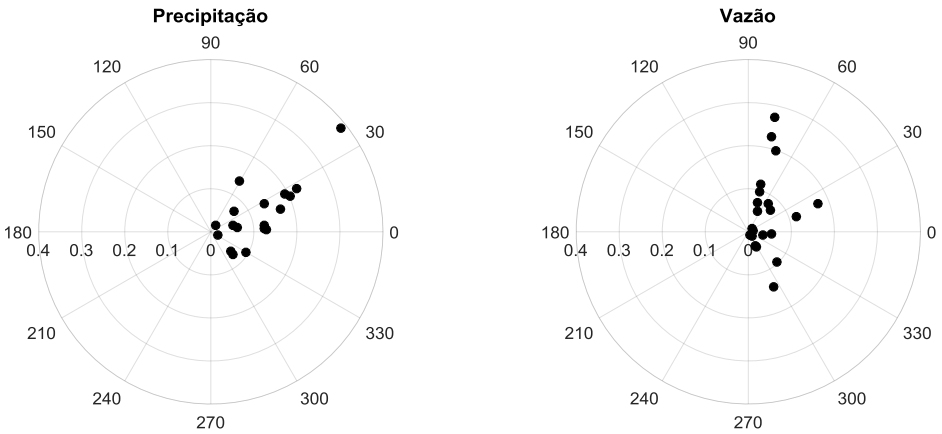


Figura 2 – Dia médio da ocorrência das vazões e precipitações máximas anuais de todas as estações fluviométricas e pluviométricas. Uma variabilidade próxima de 0 (i.e. no centro) indica uma alta heterogeneidade dos dias, uma próxima a 1 indica que os eventos ocorreram em torno do mesmo dia.

A relação entre a vazão de pico e volume dos eventos variou conforme o tamanho das sub bacias. As vazões e volumes foram padronizados, dividindo-os pela área da bacia correspondente. Conforme o aumento da área a variação aumentou, assim, um evento com uma determinada vazão de pico possui um volume maior em uma bacia maior do que em uma pequena (Figura 3). A relação entre precipitação e vazão de pico também variou de acordo com a área da bacia, conforme a Figura 4. Quanto menor a bacia, maior o coeficiente angular entre precipitação e vazão de pico. Uma precipitação de determinada intensidade causa uma vazão de pico maior em uma bacia pequena do que em uma bacia grande.

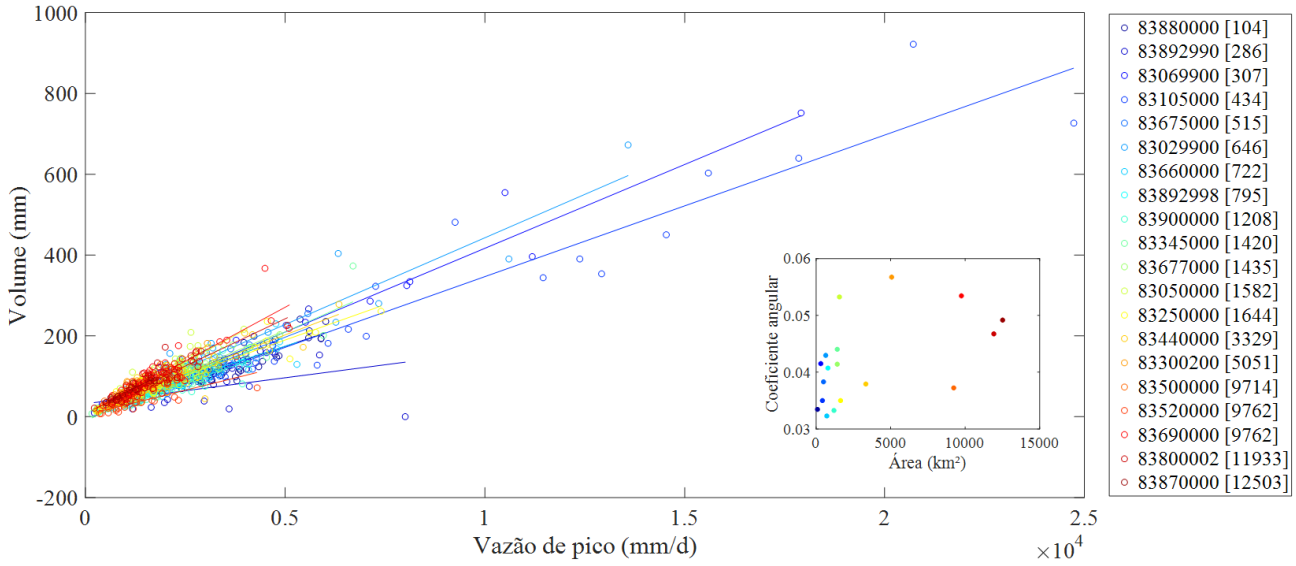


Figura 3 – Gráfico de vazão de pico por volume de todas as estações fluviométricas. Os dados de vazão e volume foram padronizados dividindo-os pela área da sub bacia correspondente. A inserção no canto inferior direito relaciona o coeficiente angular de cada reta com a área da bacia.

A duração dos eventos também apresentou relações com o tamanho da bacia e a vazão de pico (Figura 5). Quanto maior a vazão de pico, menor a duração do evento. A duração mínima de um evento de vazão máxima foi de 4 dias e a máxima de 27 dias. Em bacias maiores a variação da vazão de pico foi menor em relação à duração do evento do que em bacias menores.

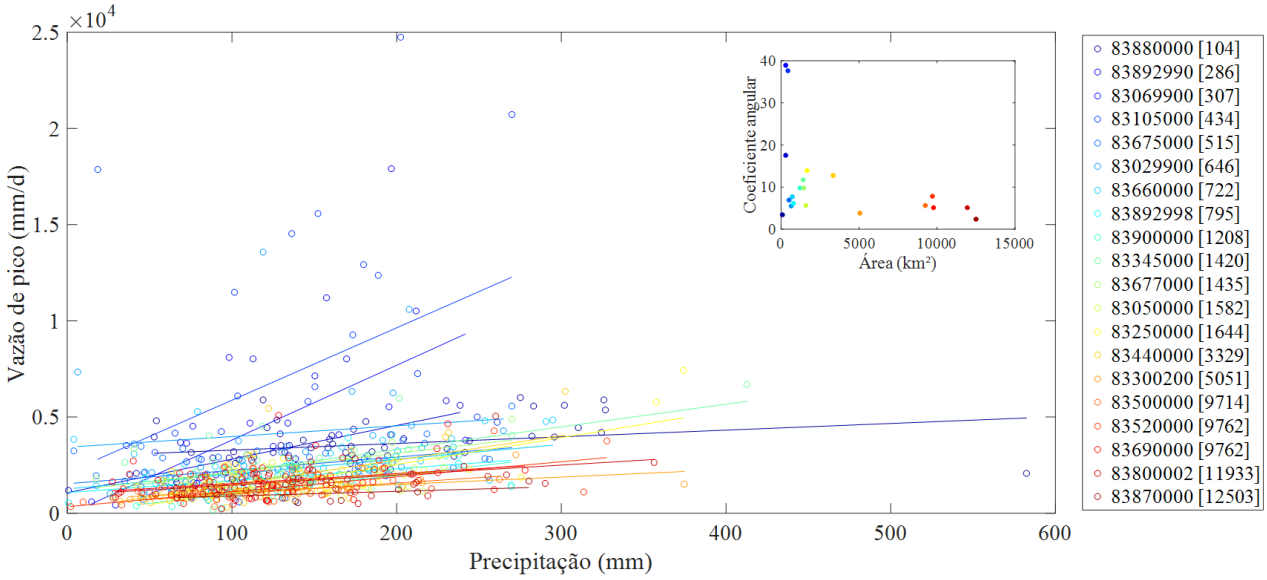


Figura 4 – Gráfico de precipitação por vazão de pico de todas as estações fluviométricas. Os dados de vazão foram padronizados dividindo-os pela área da sub bacia correspondente. A inserção no canto superior direito relaciona o coeficiente angular de cada reta com a área da bacia.

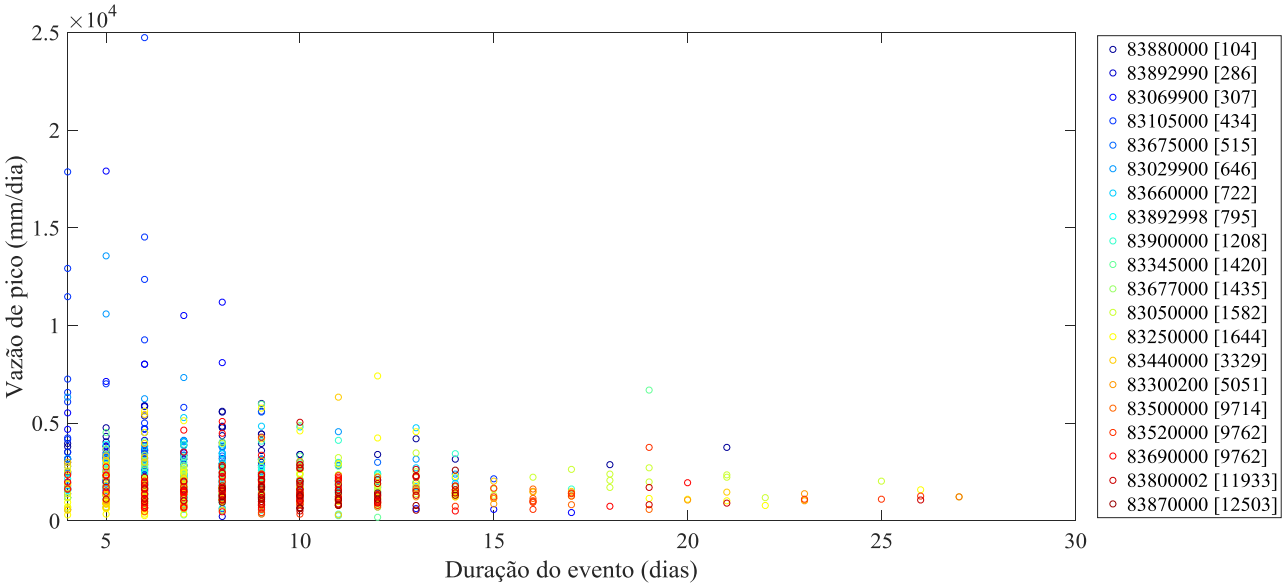


Figura 5 – Gráfico de duração do evento por vazão de pico de todas as estações fluviométricas. Os dados de vazão foram padronizados dividindo-os pela área da sub bacia correspondente.

4 - CONCLUSÕES

O presente trabalho analisou as relações entre volume, vazão de pico e duração dos eventos de vazão máxima anual e o evento de precipitação associado de 20 sub bacias do Rio Itajaí. O dia médio de ocorrência da máxima anual de vazão e precipitação ocorrem na primavera e verão, sendo que no caso da precipitação os dias estão mais concentrados em janeiro e fevereiro. A

diferença nos períodos salienta a importância da consideração de outros fatores além da precipitação máxima anual (i. e. umidade antecedente da bacia) que possam contribuir com a causa das inundações. A variabilidade do dia de ocorrência da máxima anual foi alta, o que acontece na bacia, que já teve inundações que ocorreram também no inverno. Os eventos com vazão máxima podem variar de 4 a 27 dias, sendo que a maioria tem duração menor que 10 dias. Em bacias maiores verificou-se uma distribuição mais homogenia da vazão de pico em relação a duração dos eventos.

Para os próximos trabalhos, pretende-se avaliar o tipo de chuva que ocorreu em cada evento (e. g. Merz e Blöschl, 2003) e relacionar períodos mais e menos frequentes em vazões extremas (*flood rich* e *flood poor*) e sua distribuição anual com características atmosféricas, como por exemplo El Niño – Ocilação Sul (ENOS). Os episódios de El Niño de 1983, 1987, 1992, 1997/98, 2002/03 estão relacionados às inundações que aconteceram na região, por exemplo.

AGRADECIMENTOS

A primeira autora agradece a CAPES pela bolsa de mestrado fornecida através do projeto Refinamento regional oceânico e atmosférico (ROAD-BESM – Regional oceanic and atmospheric downscaling/88881146046201701).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTIKO, D.; OLIVEIRA, D.Y.; SPECKHANN, G.A.; CHAGAS, V.B.P.; BONUMÁ, N.B.; CHAFFE, P.L. *Sazonalidade de vazões máximas no Sul do Brasil*. In: XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Florianópolis, 2017.

CEPED (Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. (2013). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – 1991-2012*. 2nd ed. Vol. Santa Catarina. Florianópolis: Editora da UFSC.

HERRMANN, M.L.P. (2014) *Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: Período de 1980-2010*. 2.ed. Florianópolis: Editora UFSC. pp. 214.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2010). Sinopse do censo demográfico 2010. Brasília.

MERZ, R.; G. BLÖSCHL. (2003). *A process typology of regional floods*. Water Resour. Res., 39(12), 1340.

MERZ, B.; DUNG, N. V.; APEL, H.; GERLITZ, L.; SCHRÖTER, K.; STEIROU, E.; VOROGUSHYN, S. (2018) *Spatial coherence of flood-rich and flood-poor periods across Germany.* Journal of Hydrology. v. 559. p. 813-826.

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.* Revista Brasileira De Recursos Hídricos, 21 (1), 200–208.

NERY, J.T.; BALDO M.C.; MARTINS M.D.L.O.F. (2000) *O comportamento da precipitação na Bacia do Itajaí*. Acta Sci-Technol 22(5): pp. 1429–1435.

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.* Hydrological Processes, 30, 320–333.

REFOSCO, J.C.; SILVA, G. S.; ESKELSEN, C. R; NICOLETTI, A. L.; CORDERO, A.; SALVADOR, D. F.(2013). *Mapas de inundação a partir de geoprocessamento e georreferenciamento – O caso de Blumenau (SC*). In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13–18 Abril 2013. Foz do Iguaçú, Brasil.

SPECKHANN, G. A.; CHAFFE, P. L. B.; GOERL, R. F.; ABREU, J. J.; FLORES, J. A. A. (2017). *Flood hazard mapping in Southern Brazil: a combination of flow frequency analysis and the HAND model*. Hydrological Sciences Journal, v.22, e48, 2017.

SILVA, A.T.; NAGHETTINI, M.; PORTELA, M.M. (2016). *On some aspects of peaks-over-threshold modeling of floods under nonstationarity using climate covariates.* Stoch. Environ. Res. Risk. Assess. 30:207–224.

SILVA, A.T.; PORTELA, M.M.; NAGHETTINI, M.; FERNANDES, W. (2017). *A Bayesian peaks-over-threshold analysis of floods in the Itajaı-açu River under stationarity and nonstationarity.* Stoch. Environ. Res. Risk. Assess (2017) 31:185–204.

VILLARINI, G. (2016). *On the seasonality of flooding across the continental United States*. Advances in Water Resources, v. 87, p. 80–91.