

# DETERMINAÇÃO DE LIMIARES DE PRECIPITAÇÕES EXTREMAS RELACIONADAS À OCORRÊNCIA DE INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO DA BACIA DO RIO SAPUCAÍ EM ITAJUBÁ – MG

*DETERMINATION OF EXTREME PRECIPITATION THRESHOLDS RELATED TO FLOODING OCCURRENCE: CASE STUDY OF THE SAPUCAÍ RIVER BASIN IN ITAJUBÁ – MG*

*BENEDITO CLÁUDIO DA SILVA*

*Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, silvabenedito@unifei.edu.br*

*REBECA MELONI VIRGÍLIO*

*Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, rebecameloni@gmail.com*

*ALESSANDRO MARQUES MARTINS*

*Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, marques.unifei@yahoo.com.br*

## RESUMO ABSTRACT

O presente estudo realiza uma análise dos dados de precipitações disponíveis na bacia do rio Sapucaí a montante do município de Itajubá - MG, com o intuito de determinar limiares de precipitações extremas. Para a bacia do rio Sapucaí foi encontrado um limiar de precipitação intensa médio de 46,5 [mm] em 24 [horas] e a distribuição espacial dos limiares não apresentou nenhum padrão evidente. A avaliação da frequência anual das precipitações que ultrapassassem limiar não apontou nenhuma tendência de aumento ou diminuição no tempo. Quanto à bacia em Itajubá, a análise focou em inundações, e os resultados apontaram que em todos os eventos selecionados ocorreu uma chuva média de pelo menos 47 [mm] em 24 [horas]. No entanto, esse valor é apenas aproximado, pois o tempo de concentração da bacia é menor do que 24 horas, e sem dados horários, não é possível a obtenção do intervalo de tempo em que essa chuva deve estar distribuída para realmente ocasionar uma inundação.

**Palavras-chave:** inundações, limiares, precipitações extremas, tempo de concentração.

This study performs an analysis of rainfall data available in Sapucaí River basin upstream from the city of Itajubá - MG, in order to determine thresholds of extreme rainfall. For the Sapucaí River basin it was found an average threshold of extreme rainfall of 46,5 [mm] in 24 [hours] and the spatial distribution of these thresholds showed no obvious pattern. The assessment of the annual frequency of rainfalls that exceeded this threshold showed no tendency of increase or decrease along the time. Regarding the basin in the city of Itajubá, the analysis focused on floods and the results suggest that in all the selected events a medium rainfall occurred with at least 46 [mm] in 24 [hours]. However, this result is only approximate, since the concentration time of the basin is inferior than 24 [hours] and without hourly data it is not possible to obtain the time interval in which this rainfall should be distributed to actually cause a flood.

**Keywords:** floods, thresholds, extreme rainfall, concentration time.

## 1 OBJETIVOS

A área urbana do município de Itajubá, localizado no sul do estado de Minas Gerais, é atingida por inundações desde a sua fundação, em 1819, existindo relatos de mais de 50 eventos (BARBOSA, OLIVEIRA, OLIVEIRA, 2015; PINHEIRO, 2005). Esses eventos extremos podem ter diversas causas, simultâneas ou não, como impermeabilização da área de drenagem, precipitações extremas, assoreamento dos rios e a ocupação do solo em áreas de risco. Em áreas já consolidadas, uma possível maneira de minimizar os danos provocados, é a adoção de medidas não-estruturais, como o zoneamento de áreas de risco e os sistemas de alerta.

Sendo o volume de precipitação uma das causas presentes na maioria dos eventos de inundação, sua análise é de extrema importância para o desenvolvimento de medidas não-estruturais. Assim sendo, este trabalho tem como objetivo a avaliação dos dados de precipitação das estações pluviométricas existentes na bacia hidrográfica delimitada no Rio Sapucaí a montante do município de Itajubá na tentativa de determinar os limites de precipitações extremas responsáveis pelas principais inundações relatadas na bacia.

## 2 MÉTODO UTILIZADO

Primeiramente foi realizada uma análise da ocorrência de chuvas intensas na bacia do Rio Sapucaí. Foram pré-selecionadas as estações pluviométricas da bacia com mais de 30 anos de dados de precipitação no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) da Agência Nacional de Águas (ANA). Com auxílio do software Manejo de Dados Hidroweb 4.2. verificou-se a existência de falhas nos dados e selecionou-se apenas as estações que apresentaram pequenas quantidades de falhas, sendo ao todo selecionadas 9 estações.

Em seguida foi determinado o percentil de excedência igual a 1% de cada uma dessas estações, sendo possível a verificação dos valores de precipitação que ocorreram em apenas 1% do tempo de todo o período de dados existente na estação, ou seja, a estimação de um limiar de precipitações intensas.

A segunda análise está relacionada com a quantidade de chuva responsável pela ocorrência de inundações na bacia do Rio Sapucaí a montante do município de Itajubá, cidade que apresenta desde a sua fundação problemas com eventos de cheias.

Foram selecionados eventos de inundação que ocorreram no município a partir da década de 60, devido a maior quantidade de estações ativas na região com dados suficientes para análise das precipitações extremas. Os eventos foram escolhidos a partir do levantamento de estudos sobre o histórico de enchentes em Itajubá, sendo selecionados apenas os considerados de grande magnitude pelos autores consultados (Tabela 1).

**Tabela 1.** Eventos de inundações significativos ocorridos no município de Itajubá - MG.

Evento de inundação	Fonte
21 de janeiro de 1979	Barbosa (2015)
16 de janeiro de 1981	Pinheiro (2005)
27 de dezembro de 1986	Pinheiro (2005)
16 de janeiro de 1991	Barbosa (2015) e Pinheiro (2005)
2 de janeiro de 2000	Barbosa (2015) e Pinheiro (2005)
5 de janeiro de 2007	Barbosa (2015)
15 de fevereiro de 2009	Barbosa (2015)

Para determinação da data exata em que o evento ocorreu, dado que nem sempre foi fornecido pelos estudos consultados, realizaram-se análises das vazões de duas estações fluviométricas existentes no município, 61271000 (exutório da bacia em estudo) e 61285000. Foram construídos hidrogramas mensais para cada ano selecionado e verificado o mês e o dia em que ocorreu o pico de vazão em ambas as estações. Quando o dia do pico não coincidiu, foi escolhido aquele que aconteceu primeiro.

A área de estudo foi delimitada com o auxílio do software de sistemas de informações geográficas ArcGis® tomando como exutório a estação fluviométrica 61271000, localizado pelas coordenadas Latitude Sul - 22°26'36" e Longitude Oeste - 45°25'46", no município de Itajubá no sul de Minas Gerais (Figura 1). Foram verificadas as estações pluviométricas existentes na bacia traçada e no seu entorno, sendo selecionadas 14 estações (Figura 2).

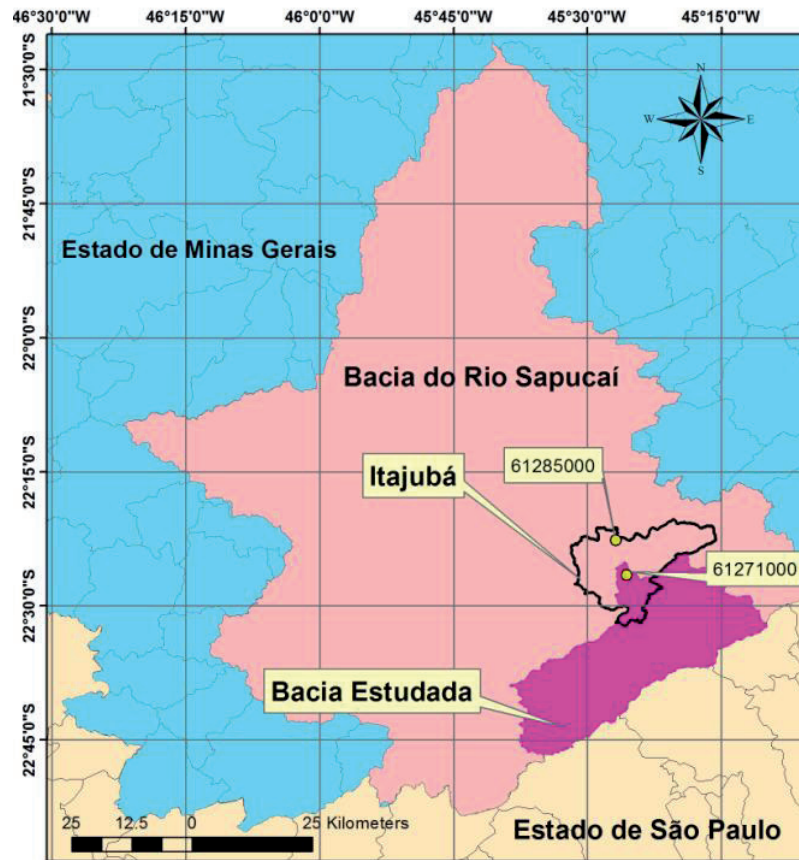


Figura 1. Localização da bacia estudada.

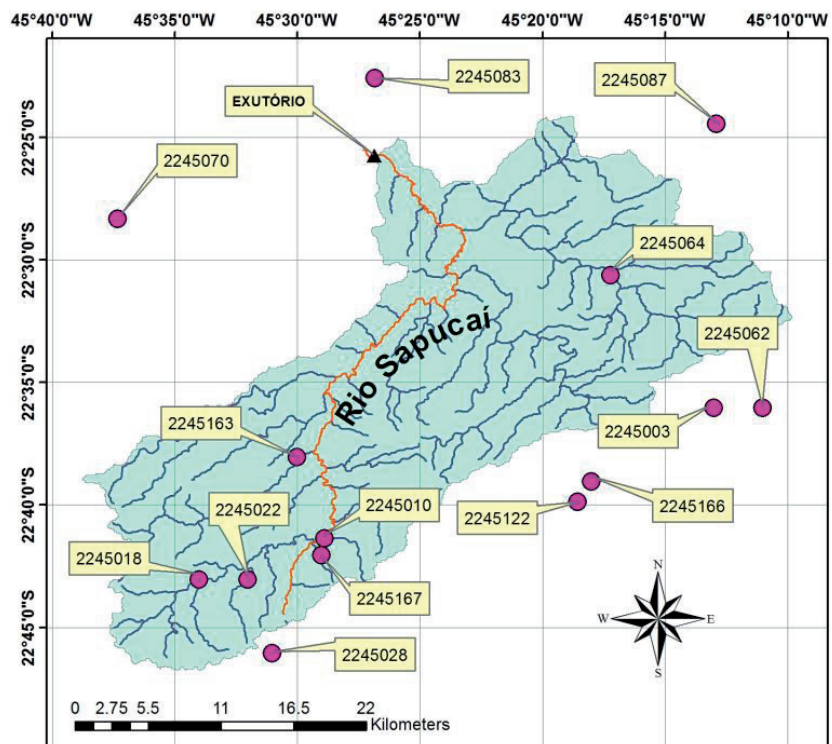


Figura 2. Localização das estações pluviométricas selecionadas para o estudo.

Para cada evento foram levantadas as precipitações para os 14 dias anteriores e os 2 dias seguintes à inundação de todas as estações e calculada a média para cada dia desse intervalo de tempo. Assim foi possível estimar a chuva média diária na bacia responsável pela enchente em Itajubá e a sua distribuição no tempo. Para a confirmação do valor encontrado no passo anterior foram levantados todos os dados de precipitação existentes nas 14 estações pluviométricas e investigada a existência de chuvas médias diárias acima do limiar encontrado.

Ainda analisando a chuva média responsável pela ocorrência das inundações foi determinado o tempo de concentração da bacia por três métodos diferentes, considerados condizentes com as características da mesma. O cálculo do tempo de concentração da bacia é de grande importância já que define o tempo necessário para que a água que precipitou no ponto mais distante da bacia caminhe até o exutório. Sendo assim, é necessária uma análise crítica da chuva média e sua distribuição temporal, pois os dados disponibilizados para o estudo são dados de precipitação diários e não horários.

O primeiro método utilizado foi o do Corps of Engineers, recomendado por Silveira (2005), que possui validade teórica para bacias rurais de até 12.000 [km<sup>2</sup>]:

$$T_C = 0,191L^{0,6} S^{-0,9} \text{ [horas]}$$

O segundo método utilizado foi o de Ven te Chow, também recomendado por Silveira (2005), e possui validade teórica para bacias rurais de até 19 [km<sup>2</sup>]. No entanto, o autor obteve bons resultados ao avaliar seu desempenho em bacias de 153 [km<sup>2</sup>] até 11.162 [km<sup>2</sup>]:

$$T_C = 0,106L^{0,6} S^{-0,3} \text{ [horas]}$$

Por fim, o terceiro método, sugerido por Collischonn e Dornelles (2013), possui validade teórica para bacias de até 5.840 [km<sup>2</sup>]:

$$T_C = 7,8 \left( \frac{L}{S^{0,5}} \right)^{0,9} \text{ [min]}$$

Nas três equações,  $L$  é o comprimento do curso d'água principal em [km] e  $S$  é a declividade média do curso d'água principal em [m/m]. É importante ressaltar que, para as formulações de Corps of Engineers e Ven te Chow, Silveira (2005) afirma que o modo de cálculo da declividade média é incerto nas informações dadas pelas fontes bibliográficas. Por isso, foi adotada uma equação sugerida por Collischonn e Dornelles, 2005, onde  $P_{85\%}$  é a altitude em [m] do ponto do curso d'água principal à 85% de seu comprimento a partir do exutório,  $P_{10\%}$  é a altitude em [m] do ponto do curso d'água principal à 10% de seu comprimento a partir do exutório e  $L$  é o comprimento do curso d'água principal em [m]:

$$S = \frac{P_{85\%} - P_{10\%}}{0,3 L} \text{ [m/m]}$$

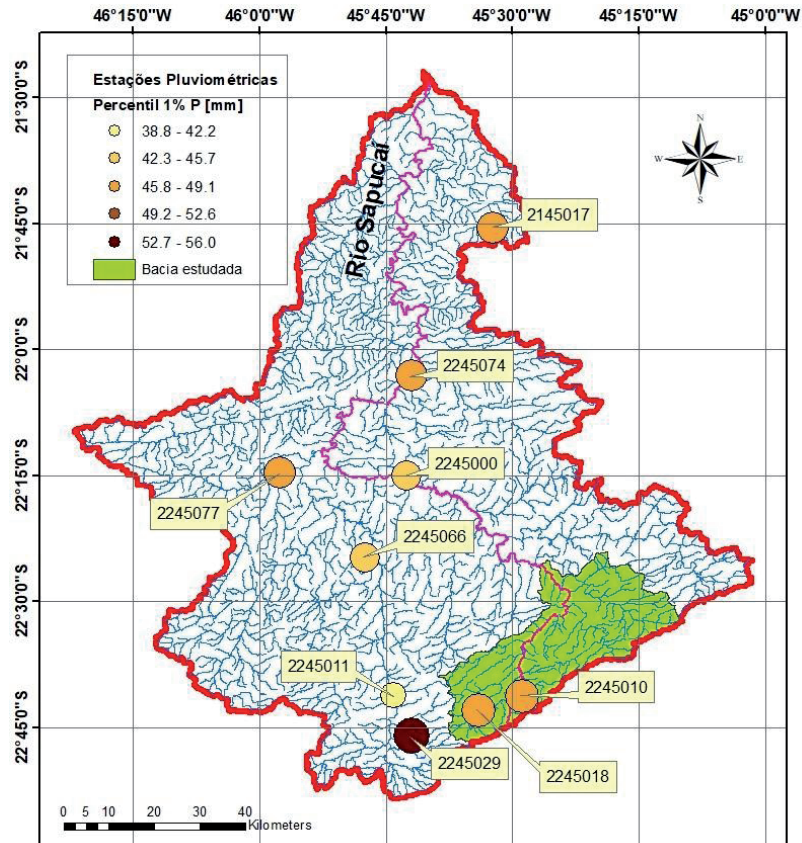
Como última análise verificou-se as cotas do rio Sapucaí na estação fluviométrica 61271000 (exutório da bacia em estudo) para verificação, da existência ou não, de uma relação entre os eventos de inundação e o nível d'água nos três dias anteriores ao evento. Para isso foram comparados dados dos eventos selecionados com outras datas onde não foi relatada nenhuma enchente no município.

### 3 DISCUSSÃO

Ao levantarmos estações pluviométricas com uma quantidade significativa de dados e com poucas falhas foi possível estimar o volume das precipitações intensas de cada estação selecionada na bacia do rio Sapucaí. Na Tabela 2 apresentam-se os valores encontrados e na Figura 3 pode ser visualizada a distribuição espacial dos mesmos.

**Tabela 2.** Precipitações extremas (frequência de 1%).

Código da Estação	Precipitação 1% [mm]	Código da Estação	Precipitação 1% [mm]
2145017	47,5	2245029	56,0
2245000	45,1	2245066	45,2
2245010	46,4	2245074	47,0
2245011	38,8	2245077	45,7
2245018	47,4		

**Figura 3.** Distribuição das precipitações extremas em milímetros na bacia do rio Sapucaí.

Ao analisarmos os valores de precipitação encontrados temos que, em média, a chuva diária intensa na bacia do Rio Sapucaí é de 46,5 [mm] e que sua distribuição espacial não apresenta nenhum padrão. A partir do levantamento da quantidade de precipitações que ultrapassaram o

limiar estimado para chuvas intensas em todas as nove estações pluviométricas, no período de 1934 a 2013, é possível perceber que a bacia não possui uma tendência de aumento na frequência de precipitações com o passar dos anos (Figura 4).

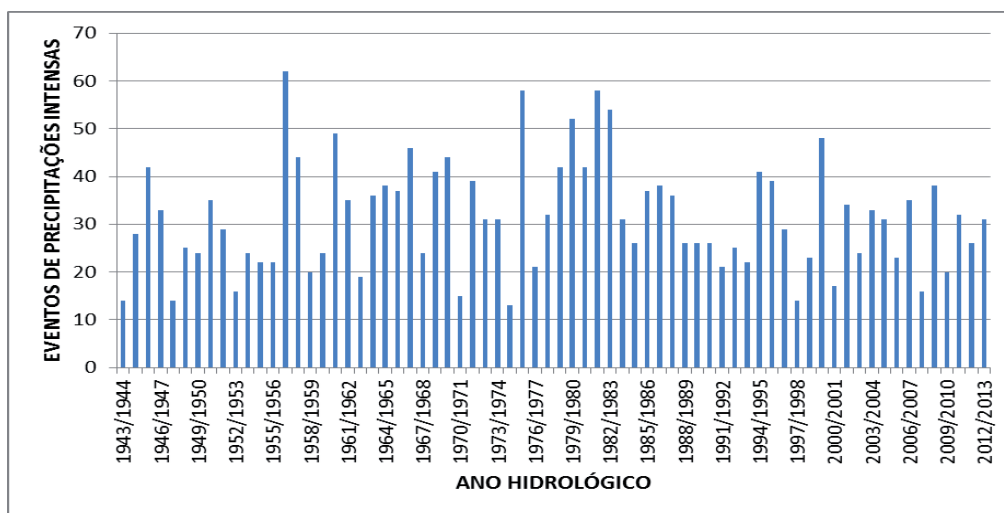


Figura 4. Frequência das precipitações intensas da bacia do Rio Sapucaí.

Partindo para a análise referente à bacia delimitada no rio Sapucaí a montante do município de Itajubá, após a seleção das estações pluviométricas no interior da bacia e o levantamento de seus dados de precipitação foi possível estimar a

quantidade mínima de chuva necessária para desencadear os eventos de inundação selecionados. Os resultados encontrados mostram que em todas as enchentes selecionadas ocorreu uma chuva de pelo menos 47 [mm] em 24 [horas] (Figura 5).

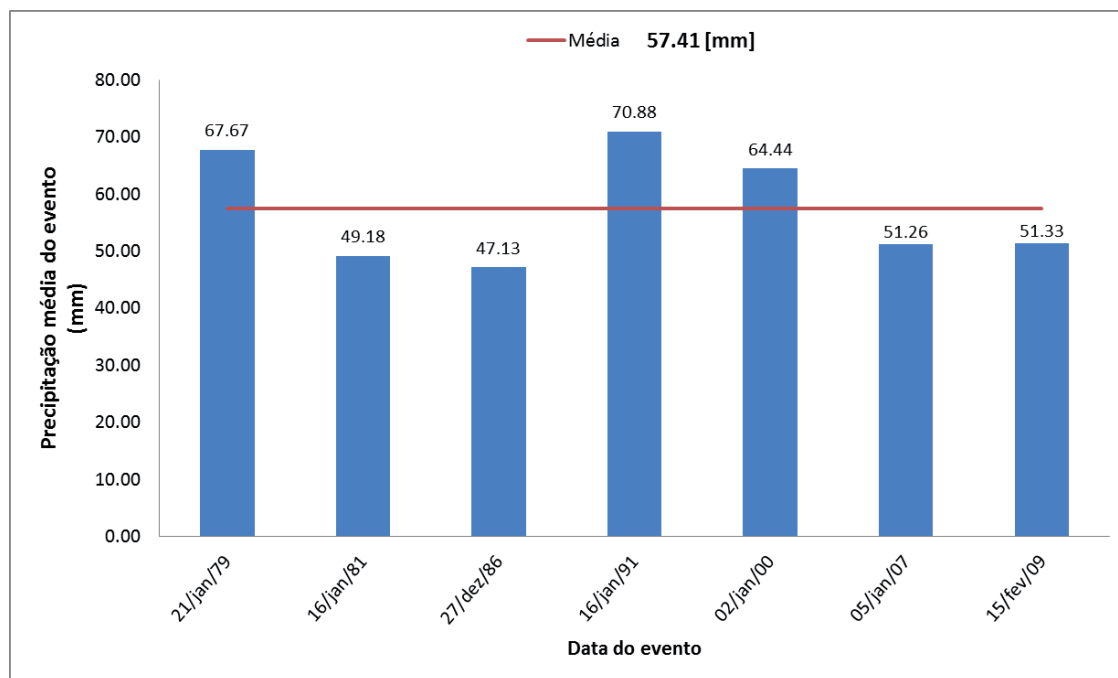


Figura 5. Precipitação média em 24 [horas] dos eventos de inundação selecionados.

A partir da determinação das chuvas médias diárias para todo o período de dados existente para cada uma das 14 estações selecionadas

verificou-se que eventos com mais de 47 [mm] de chuva ocorrem em diversas datas onde não foram identificadas inundações nas referências

consultadas. Sendo assim, pode-se levantar a hipótese de que essa quantidade de precipitação se concentrou em um intervalo de tempo menor do que 24 [horas]. Para verificação dessa hipótese foi calculado o tempo de concentração da bacia, por três métodos diferentes e condizentes com as características da bacia em estudo. Os valores encontrados são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Tempo de Concentração da bacia estudada.

Método	Tempo de Concentração [horas]
Corps of Engineers	9,9
Ven te Chow	8,8
Watt e Chow	18,0

Como esperado, o tempo de concentração da bacia é menor do que 24 [horas]. Assim sendo, pode-se inferir que a precipitação de 47 [mm] se concentrou em um período de tempo menor do que um dia. Ou seja, se esses 47 [mm] forem bem distribuídos durante 24 [horas] a inundação provavelmente não irá acontecer. No entanto, não será possível a determinação desse intervalo de tempo em que o volume de precipitação deve-se concentrar devido à inexistência de dados horários de chuva para a região de interesse.

Por fim, foi realizada uma análise das cotas do rio nas duas estações fluviométricas de Itajubá, citadas anteriormente, com o intuito de verificar se há alguma relação entre os níveis do rio Sapucaí nos dias anteriores a inundação e a inundação em si, a partir da comparação dos eventos detectados com volumes de precipitação acima do limiar de 47 [mm] em dias com e sem enchentes. No entanto, não foi encontrada nenhum padrão.

#### 4 CONCLUSÃO

A análise das precipitações da bacia do rio Sapucaí, oriundas das 9 estações selecionadas, permitiu a determinação de valores de precipitações intensas a partir do percentil de excedência de 1%, que foi de, em média, 46,5 [mm] em 24 [horas], não tendo apresentado nenhum padrão na sua distribuição espacial. O levantamento da frequência anual de precipitações onde esse limiar foi extrapolado não apresentou nenhuma tendência

de aumento ou redução com o passar dos anos. A respeito da bacia do rio Sapucaí a montante do município de Itajubá, segundo a análise das precipitações obtidas das 14 estações selecionadas e do levantamento de eventos de inundação significativos na região, foi determinado a quantidade mínima de chuva necessária para desencadear os eventos, que foi de pelo menos 47 [mm] em 24 [horas]. No entanto, a verificações de ocorrências desse valor ao longo do tempo mostraram que ele nem sempre acontece vinculado a uma inundação. Isso pode ser explicado pelo fato da bacia possuir um tempo de concentração menor do que 24 [horas]. A determinação de um limiar mais próximo da realidade seria possível a partir de dados horários de precipitação, porém, não existem estações com essa precisão na região estudada.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelo financiamento da pesquisa a qual o trabalho está vinculado: Desenvolvimento de um sistema de prognóstico por conjunto de chuvas extremas e sua aplicação em ações de prevenção a desastres naturais. Edital MCTI/CNPq/FNDCT N ° 65/2013.

#### REFERÊNCIAS

- BARBOSA, A. A.; OLIVEIRA, G. M.; OLIVEIRA, T. J. Histórico de enchentes em Itajubá/MG. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade, vol. 9, n. 4, p. 125-140, jul/dez 2015.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. 1 ed. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2013.
- PINHEIRO, M. V. Avaliação Técnica e Histórica das Enchentes em Itajubá - MG. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, p. 104, 2005.
- SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, vol. 10, n. 1, p. 5-23, jan/mar 2005.