

# Influências da distribuição temporal de precipitação no mapeamento de inundação

*Influences of time distribution of precipitation in flood mapping*

Submissão: 28/07/2014

Revisão: 06/11/2014

Aprovado: 05/12/2014

**Leonardo Romero Monteiro**  
**Masato Kobiyama**

**RESUMO:** Em estudos de inundações, tem-se grande dificuldade para estimar a distribuição temporal de precipitação. O objetivo do presente trabalho foi analisar a influência dos padrões temporais da precipitação no mapeamento de inundações. Foi investigado o caso da Bacia do Braço do Baú (48 km<sup>2</sup>) no município de Ilhota/SC. Quatro hietogramas com formatos diferentes aplicados a dois casos de saturação de solo foram projetados e utilizados na modelagem hidrológica e hidrodinâmica para a criação de mapas de inundação. Os resultados permitem concluir que, para diferentes distribuições temporais de precipitação, existe relevante variação das vazões de pico. A velocidade do escoamento superficial tem grande variação e afeta diretamente o Índice de Perigo da inundação. Consequentemente, confirma-se uma forte influência da distribuição temporal nas características da inundação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Inundação, distribuição temporal de precipitação, Modelagem Hidrológica, Modelagem Hidrodinâmica.

**ABSTRACT:** In flood studies it is very difficult to estimate the time distribution of precipitation. Therefore, the objective of this study was to analyze the influence of the time distribution of precipitation on hydrographs and on flood areas. The case of Braço do Baú basin (48 km<sup>2</sup>), in Ilhota, SC, Brazil was then investigated as a case study. Four hietographs with different patterns but the same quantity of precipitation were projected and used in hydrologic and hydrodynamic modeling with two different soil saturation conditions. The results obtained allow the conclusion that, in accordance with different time-distributions of precipitation, there is a major variation in hydrograph peaks. Large variations in flood flow velocity occur, which directly affect the Flood Hazard Index. Thus, a strong influence of time distribution of the precipitation on flood mapping is confirmed.

**KEYWORDS:** Flood, Time distribution of precipitation, Hydrologic modeling, Hydrodynamic modeling.

## INTRODUÇÃO

Em novembro de 2008, a região do vale do Itajaí foi afetada por chuvas severas que desencadearam diversos desastres naturais. A região mais atingida foi a do Complexo do Baú, onde a Bacia do Braço do Baú se localiza. Diversos relatos foram elaborados referenciando os desastres naturais ocorridos no Complexo do Baú em 2008, alguns deles com intuítos científicos, como Frank e Sevegnani (2009), Lima et al. (2010) e Monteiro e Kobiyama (2013), além de outros com intuito social, como Menezes (2009) e Pereira (2009).

Esses trabalhos demonstram que, para minimizar os desastres, é necessário implantar medidas não estruturais, entre as quais o mapeamento de risco de inundação. Devido ao banco de dados escasso, incluindo de precipitação, é difícil concretizar tal

mapeamento. A variação temporal detalhada se torna ainda mais importante quanto menor for o tempo de concentração da bacia e o detalhamento desta variação não existe em grande parte dos bancos de dados de precipitação do Brasil. Desta forma, métodos alternativos são necessários para estimar a variação temporal da precipitação.

Diversos autores abordaram a importância de aspectos das precipitações nos estudos de hidrologia. Rahman et al. (2002) afirmaram que os fatores primordiais que afetam a geração de vazão são a duração da tempestade, a intensidade, padrões temporais e de área da precipitação e as perdas da precipitação total, que resulta na precipitação efetiva. Loukas (2002) comentou sobre a relevância da variação temporal da precipitação e aplicou análises estatísticas fazendo comparações com dados observados para estimar esta importância. Canholli (2005) discutiu a influência da

distribuição temporal das precipitações nos projetos de drenagem urbana e realizou uma revisão bibliográfica sobre o assunto. Entretanto, na literatura são poucas as publicações que tratam da influência da distribuição temporal da precipitação sobre o mapeamento de inundação, onde um dos pioneiros é o trabalho de Abreu (2013). Ainda, são raros os trabalhos publicados levando em conta o perigo de inundação.

Com base nessas observações, o objetivo deste trabalho foi analisar as influências da distribuição temporal da precipitação no mapeamento de inundação com as aplicações de modelos hidrológicos e hidrodinâmico na bacia do Braço do Baú em Ilhota/SC. Para isto, a metodologia de mapeamento de perigo de inundação, proposta por Monteiro e Kobiyama (2013), foi utilizada como base metodológica para a criação de mapas de inundação correspondentes a diferentes regimes de precipitação e saturação do solo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de Estudo

A área de estudo é composta pela bacia hidrográfica do Braço do Baú (48 km<sup>2</sup>), que faz parte do Complexo do Baú e se localiza no município de Ilhota, estado de Santa Catarina. O comprimento do rio principal, que é caracterizada pela 4ª ordem de acordo com a hierarquia fluvial de Strahler (1952), é de aproximadamente 15 km. Essa bacia é rural, havendo poucas áreas de comércios, moradias e estradas.

O município possui 12.324 habitantes (IBGE, 2010) e está inteiramente dentro da bacia do Rio Itajaí (Figura 1). Tanto o município como o Rio Itajaí são marcados por um histórico de problemas com inundações. De acordo com Lima et al. (2010), os usos do solo da bacia consistem em 50% de mata (capoeira, capoeirão, mata secundária e clímax), 15% de plantação de banana, 13% de capoeirinha, 11% de reflorestamento, 9% cultivo de arroz, 1% de outros cultivos e 1% solo exposto.

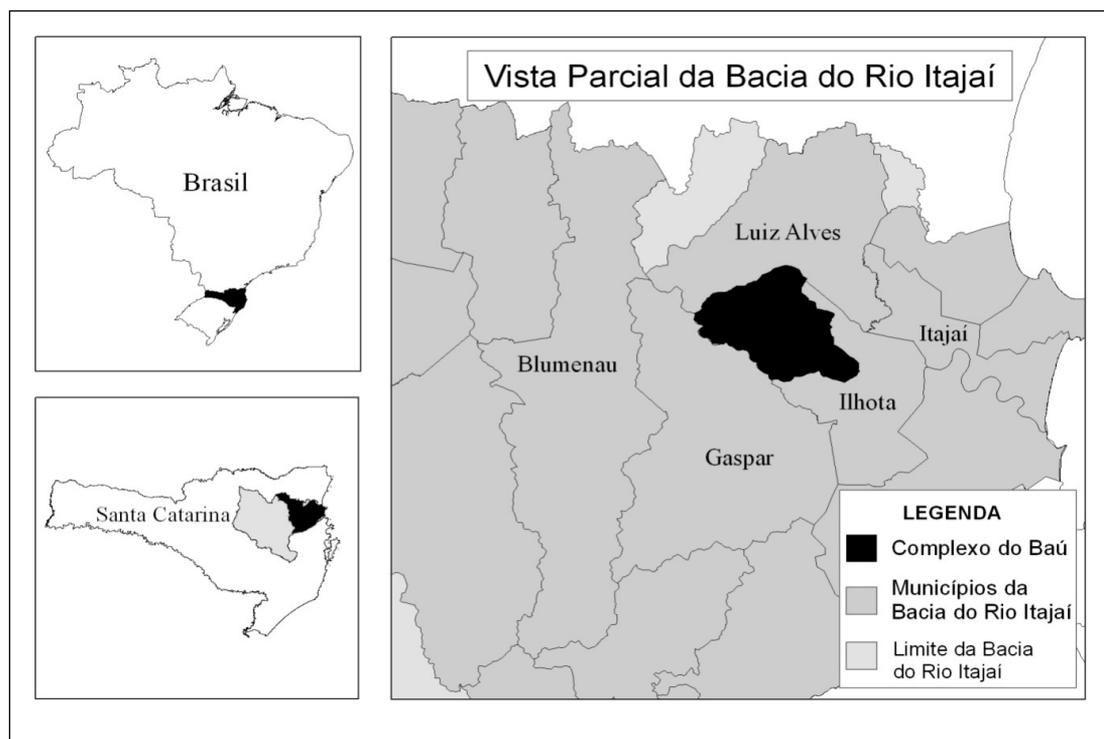
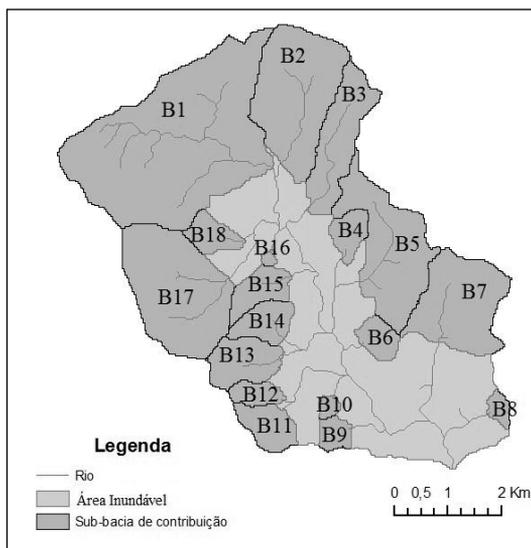


FIGURA 1. Mapa de localização do Complexo do Baú.

Com o mapa geográfico do IBGE (escala 1:50.000), observa-se que, na hierarquia fluvial de Strahler, a bacia do Braço do Baú possui 39 segmentos de 1ª ordem, 9 segmentos de 2ª ordem, 2 segmentos de 3ª ordem e 1 segmento de 4ª ordem. Pelas análises de área das bacias hidrográficas propostas por Christofoletti (1980), o Braço do Baú possui o Índice de Circularidade de  $0,59 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , o Índice entre Comprimento e Área de  $1,47 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , a densidade de rios de  $1,06 \text{ rios}/\text{km}^2$  e a densidade de drenagem de  $1,53 \text{ km}/\text{km}^2$ .

Por meio de observações em campo e entrevistas com moradores locais, verificou-se quais lugares foram inundados no evento extremo de 2008, e então foram coletados 12 pontos geográficos com um GPS de precisão para delimitar a área inundável. Com estas informações, aplicou-se a metodologia proposta por Monteiro e Kobiyama (2013) e a bacia foi dividida em 18 sub-bacias de contribuição (B) e uma área inundável (AI) (Figura 2 e Tabela 1).



**FIGURA 2. Divisão da Bacia do Braço do Baú**

**TABELA 1**  
**Características das sub-bacias de contribuição (B) e da área inundável (AI)**

Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Declividade Média do Rio (%)	Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Declividade Média do Rio (%)
B1	10,07	6,8	B11	0,95	16,5
B2	4,21	13,7	B12	0,65	19,9
B3	2,09	8,3	B13	1,51	17,8
B4	0,67	6,2	B14	1,01	9,8
B5	3,42	4,1	B15	1,01	4,7
B6	0,64	14,4	B16	0,18	24,7
B7	3,06	7,8	B17	4,49	11,5
B8	0,3	18,8	B18	0,63	18,7
B9	0,48	15,6	AI	12,98	0,3
B10	0,16	18,5			

### Cálculo da precipitação de projeto

Com a série temporal de 3 estações pluviométricas disponibilizadas pela ANA (Estação 2648000 de 01/1935 até 12/1966; Estação 2648001 de 09/1927 até 12/1966; Estação 2648002 de 01/1941 até 12/2006), utilizou-se o método de Thiessen para estimar a área de abrangência de cada estação. Assim, estimou-se uma única série histórica de dados diários referentes à bacia de estudo com o Método

da Distância Invertidas (SINGH, 1992). Com essa nova série, aplicou-se o Método de Gumbel para estimar as precipitações máximas anuais e o método de desagregação, proposto pela DAEE/CETESB (1980), para aferir a variação temporal da intensidade da precipitação. Com o resultante, criou-se a Curva de Precipitações Intensas para a localidade.

Levando em consideração as recomendações de Silveira (2005), onde que a bacia de estudo é uma

pequena bacia rural, o Método da Onda Cinemática (KIBLER, 1982) foi utilizado para o cálculo do tempo de concentração da bacia

$$t_c = \frac{7,35n^{0,6}L^{0,6}}{i^{0,4}S^{0,3}} \quad (1)$$

onde  $t_c$  é o tempo de concentração (h),  $n$  é o número de Manning de 0,07,  $L$  é o comprimento do talvegue de 15,28 km,  $i$  é a intensidade da precipitação de 35 mm/h e  $S$  é a declividade média do talvegue de 0,0303 m/m. Assim, o tempo de concentração é de 5,27 h. Adotou-se o período de retorno de 5 anos e a duração de precipitação de 5 horas que é aproximadamente igual ao tempo de concentração da bacia, obtido com a equação (1).

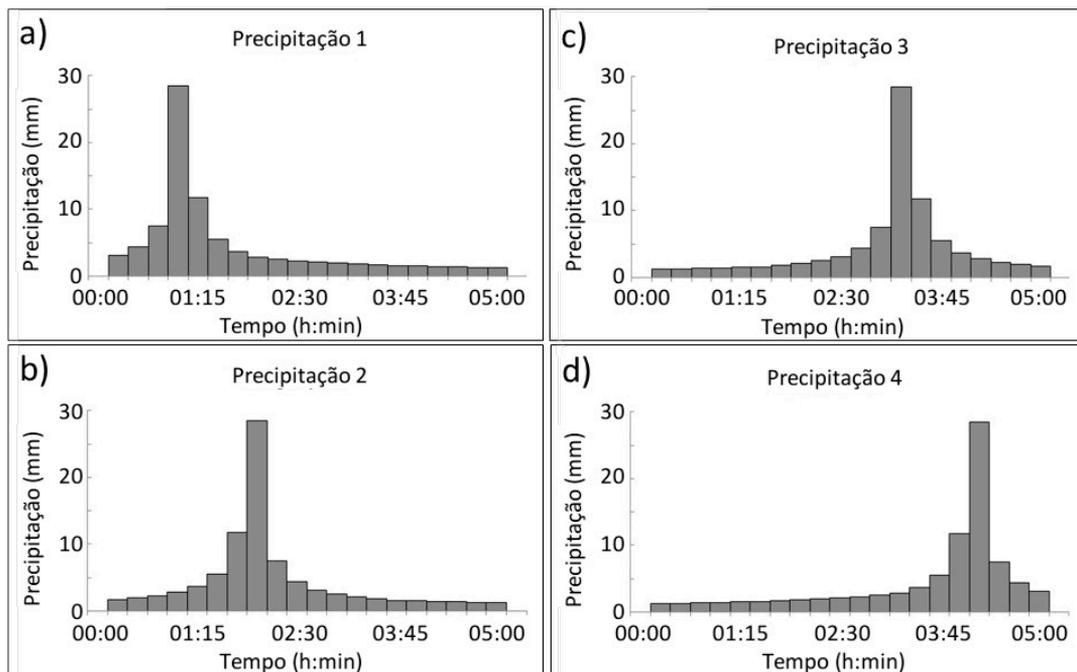


FIGURA 3. Hietogramas da precipitação de projeto a) Precipitação 1; b) Precipitação 2; c) Precipitação 3; d) Precipitação 4.

TABELA 2  
Estrutura do HEC-HMS

Modelo	Método utilizado	Parâmetros variáveis	Parâmetros fixos
Perdas de Precipitação	Modelo da Retenção Potencial Máxima - SCS Curve Number	Número de Deflúvio; Perdas Iniciais; Precipitação de projeto	-
Transformação do Escoamento Superficial	Hidrograma Unitário de Clark	Precipitação efetiva	Área da bacia; tempo de concentração; coeficiente de armazenamento
Escoamento Básico	Constante Mensalmente	-	Vazão do escoamento de base

Para definir a distribuição temporal da precipitação, o Método dos Blocos Alternados foi modificado. A alteração consiste principalmente em diferenciar a localização do bloco de precipitação máxima do hietograma, como propõe Huff (1967) em seu método de distribuição temporal de precipitação, contrário ao Método dos Blocos Alternados tradicional onde a precipitação máxima se localiza aproximadamente na duração média do evento chuvoso. Desta maneira, foram criados quatro hietogramas de diferentes formatos com tempo de duração de cada bloco de 15 minutos. Os picos das Precipitações 1, 2, 3 e 4 ocorrem às 01:00, 02:00, 03:15 e 4:15 horas do início da precipitação, respectivamente (Figura 3).

### Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica

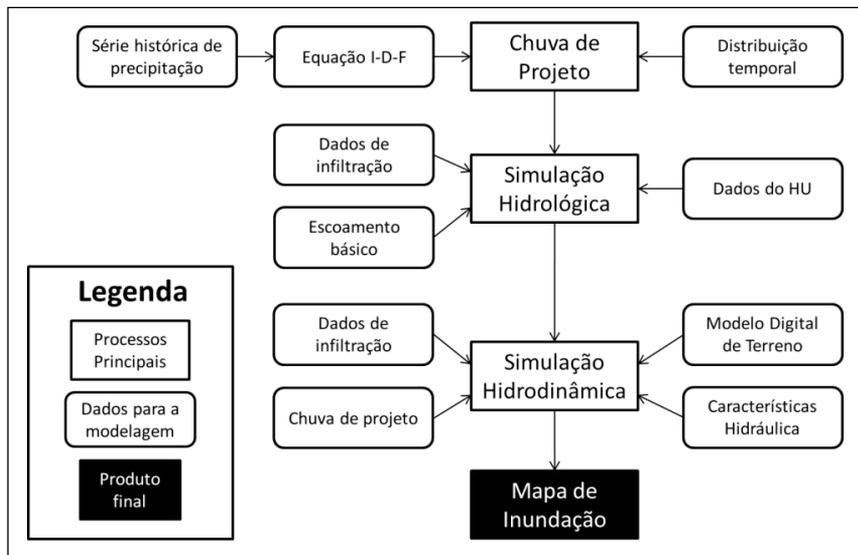
A modelagem hidrológica foi realizada com o programa HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*), desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica do Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos da América (USACE-HEC, 2000). Os modelos e os parâmetros referenciados na Tabela 2 foram utilizados. Os parâmetros foram separados em variáveis e fixos. Os parâmetros variáveis criaram diferentes cenários a serem analisados.

O valor do Número de Deflúvio (*CN*) foi obtido com base em Lima et al. (2010) que realizaram a discriminação do uso do solo para a mesma área de estudo. De acordo com SCS (1985), para um mesmo tipo e uso do solo, o valor de *CN* pode sofrer variações

de acordo com o estado atual de umidade do solo. Três condições de umidade são definidas: Solos mais secos (Condição 1); Solos com umidade média (Condição 2) e Solos mais úmidos (Condição 3). Como se trata de um estudo de inundações, utilizou-se apenas as Condições 2 e 3 denominadas no presente trabalho de Caso 1 e Caso 2, respectivamente. Assim, para o Caso 1, o *CN* é de 73,9, enquanto que para o Caso 2 é de 86,7.

As perdas iniciais de precipitação foram obtidas de acordo com o que o SCS sugere para pequenas bacias rurais, em função de *CN*. O coeficiente de armazenamento foi estimado através da proposição de Dooge (1973). Os valores de vazão de base foram obtidos com uma média dos dias em que não ocorreram precipitações nos três dias anteriores, utilizando os dados da ANA de uma bacia vizinha, do município de Luiz Alves (Estação 83880000 de 01/1930 até 12/1966). Assim, encontrou-se as vazões de base para as sub-bacias da área de estudo realizando proporções lineares entre área de drenagem e escoamento base.

A modelagem hidrodinâmica foi realizada com o modelo FLO-2D proposto por O'Brien et al. (1993). O mapa topográfico e a imagem de satélite foram considerados como os parâmetros de entrada fixos. As informações dos hidrogramas calculados com o HEC-HMS para cada sub-bacia, as próprias precipitações que causaram essas vazões, e as informações referentes ao uso do solo e seu nível de saturação foram utilizados como os parâmetros variáveis. Semelhante



**FIGURA 4.** Mapeamento de inundação (Modificação de Monteiro e Kobiyama, 2013).

ao caso da modelagem hidrológica, o método adotado para estimar as perdas de precipitação na modelagem hidrodinâmica foi o Método de Retenção Potencial Máxima. Para realizar a simulação 2D de inundação, foram criadas grades de 100 m<sup>2</sup>.

Assim, o presente trabalho adaptou a metodologia para o mapeamento de perigo de inundação proposta por Monteiro e Kobiyama (2013) para apenas o mapeamento de inundação (Figura 4). Desta maneira, com as diferentes precipitações de projeto, pode-se criar hidrogramas de contribuição com o modelo hidrológico, os quais servem como dados de entrada para o modelo hidrodinâmico. Com os resultados do modelo hidrodinâmico se cria o mapa de inundação. No total, foram realizadas oito simulações para a modelagem hidrológica, sendo quatro distribuições temporais (Precipitação 1 a 4) para dois tipos de condição de solo (Caso 1 e 2). Na modelagem hidrodinâmica foram realizadas quatro simulações, duas distribuições temporais (Precipitação 1 e 4) para cada Caso de saturação do solo.

### Índice de Perigo

Para Stephenson (2002) o perigo de uma inundação não é influenciado pela área inundada e é avaliado pela relação que a coluna de água tem com a velocidade das partículas que passam por ela, não levando em consideração os efeitos das colunas de água adjacentes. Assim, formulou o Índice de Perigo (IP) como,

$$IP = H \cdot v \quad (2)$$

onde  $h$  é a profundidade da lâmina de água da inundação (m) e  $v$  é a velocidade do escoamento (m/s). Utilizando este índice, foi proposta a diferenciação qualitativa do perigo para diferentes valores de IP (Figura 5). Logo, torna-se evidente a importância da velocidade da água nos estudos de inundação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados consistem na análise dos resultados do mapeamento de inundações, sendo que tanto as características das inundações, quanto dos hidrogramas que fornecem a água para a área de inundação são discutidas.

### Hidrograma

As análises de três sub-bacias representativas do conjunto total são apresentadas: B1, B5 e B10 (Tabela 3). A Figura 6 mostra os hidrogramas do escoamento superficial referentes à Sub-bacia B1 nos Casos 1 e 2. Em ambos os casos, com a variação das distribuições temporais de precipitação, quando o pico da precipitação se localiza ao final do evento, o valor máximo da vazão do hidrograma aumenta e sua duração é reduzida. Isto ocorre porque a parte precipitada inicialmente aumenta a saturação do solo, expressa pelo potencial de saturação do solo, diminuindo as perdas de precipitação durante o pico. Para o Caso 2, onde o solo é inicialmente mais saturado, este efeito é menor.

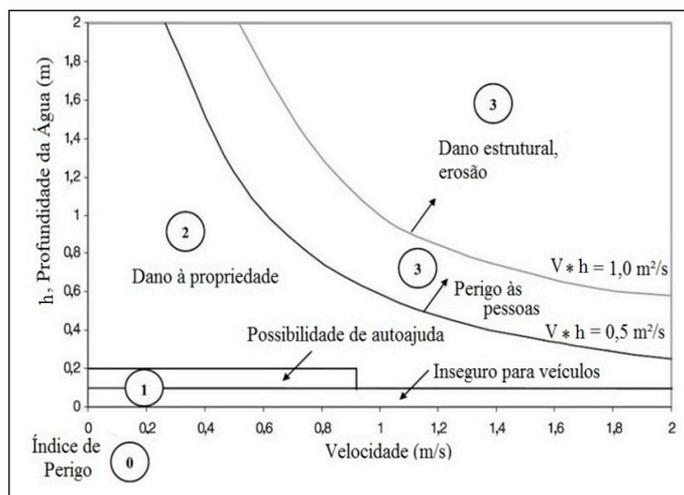


FIGURA 5. Diagrama do perigo de inundação (Adaptado de Stephenson, 2002).

TABELA 3  
Características das sub-bacias analisadas

Sub-bacia	Área (km <sup>2</sup> )	Declividade (%)
B1	10,07	6,8
B5	3,42	4,1
B10	0,16	18,5

Observa-se a semelhança entre a Precipitação 1 e a Precipitação 2, após 05:30h de duração do evento chuvoso. Isto resulta do fato em que os volumes já escoados se tornam iguais para os dois Casos após esse período. A partir deste momento, a taxa de infiltração permanece igual para ambas as precipitações (Figura 6).

Para analisar melhor os resultados, as diferenças relativas entre os hidrogramas provenientes da Precipitação 1 com o da Precipitação 4 são apresentadas (Tabela 4). A tendência à conservação do volume total escoado para ambos os Casos já era esperada, pois tanto os volumes precipitados quanto os parâmetros de infiltração são iguais para todas as sub-bacias. A sub-bacia com maior diferença das vazões de pico foi a B5 (98,60% para o Caso 1 e 52,20% para o Caso 2), por causa de fatores geomorfológicos (menor declividade) que influenciam o Modelo de Transformação do Escoamento Superficial.

TABELA 4  
Análise dos Hidrogramas

	Diferença dos volumes totais do escoamento superficial	Diferença das vazões de pico
Equações	$\frac{vol_{P4} - vol_{P1}}{vol_{P4}}$	$\frac{Q_{P4} - Q_{P1}}{Q_{P4}}$
Sub-bacia	<b>Caso 1</b>	
B1	0,00%	81,40%
B5	0,03%	98,60%
B10	0,18%	97,50%
	<b>Caso 2</b>	
B1	0,01%	41,70%
B5	0,01%	52,20%
B10	0,10%	47,40%

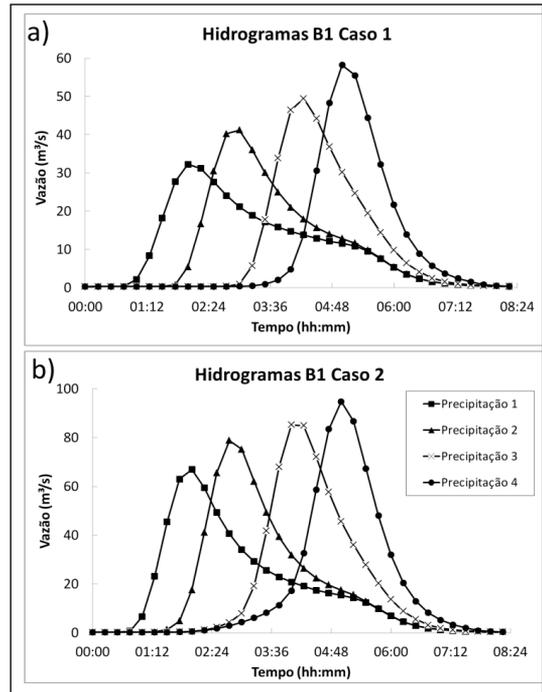


FIGURA 6. Hidrogramas das quatro diferentes precipitações para B1: (a) Caso 1; (b) Caso 2.

Foi realizada a regressão linear entre os valores de pico dos hidrogramas e seus tempos de ocorrência, para, assim, se analisar a correlação entre as diferentes precipitações (Tabela 5). A Figura 7 mostra a correlação para a Sub-bacia B1 em ambos os Casos. Os elevados valores de  $R^2$  implicam que há uma forte correlação linear entre o pico e seus horários de ocorrência. Ambos os Casos demonstram que quanto menor for a bacia, menor também é a correlação entre os picos, inferindo a complexidade no estudo de pequenas bacias. A variação no horário do pico entre ambos os Casos ocorreu porque a taxa de infiltração foi mais efetiva no Caso 1.

No Caso 1, onde o solo é inicialmente menos saturado, a relação se aproxima mais de uma equação de uma reta em todas as Sub-bacias do que no Caso 2. A maior infiltração, ou seja, a maior perda de precipitação forma a menor precipitação efetiva e esta perda é responsável pela variação dos picos das vazões dos hidrogramas. Se a perda de precipitação for muito pequena, o amortecimento do pico do hidrograma pode não ser significativo para qualquer distribuição

TABELA 5  
Regressão linear dos picos nas três sub-bacias em ambos os Casos.

Sub-bacia	Caso 1	
	Equação linear	R <sup>2</sup>
B1	$Q = 199,97 \cdot T + 15,58$	<b>0,990</b>
B5	$Q = 91,85 \cdot T + 7,75$	<b>0,946</b>
B10	$Q = 5,69 \cdot T + 0,51$	<b>0,936</b>
Caso 2		
B1	$Q = 206,58 \cdot T + 51,90$	<b>0,959</b>
B5	$Q = 95,90 \cdot T + 23,58$	<b>0,926</b>
B10	$Q = 5,50 \cdot T + 1,54$	<b>0,900</b>

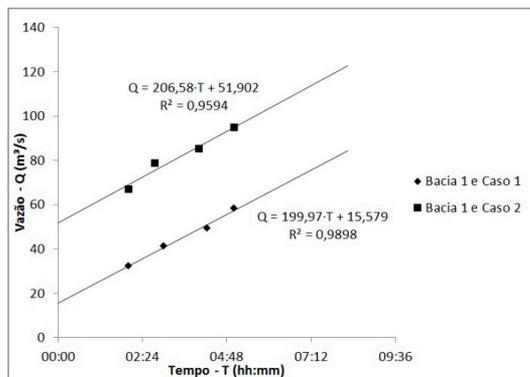


FIGURA 7. Correlação entre os horários e as vazões de pico dos hidrogramas em B1.

temporal da precipitação. Estas considerações permitem dizer que existem duas situações de infiltração nas quais a distribuição temporal da precipitação não tem importância na avaliação da vazão de pico: quando a infiltração é muito alta e não permite que ocorra escoamento superficial e quando não existem perdas por infiltração.

### Inundação

Foram analisadas apenas as Precipitações 1 e 4 para ambos os Casos. As análises de inundação compõem a área de inundação, a profundidade de inundação e a velocidade máxima de escoamento (Tabela 6 e Figura 8). A velocidade máxima de escoamento não necessariamente está relacionada ao horário de pico

do hietograma devido a complexidade da convolução dos hidrogramas das sub-bacias com características diferentes (tempo de concentração e área).

TABELA 6  
Análises da área de inundação, profundidade de inundação e velocidade de escoamento

Parâmetros de Análise	Caso 1		
	P1	P4	Diferença relativa (%)
Área de inundação (km <sup>2</sup> )	3,31	3,63	8,8
Porcentagem inundada da área total inundável (%)	0,255	0,28	-
Profundidade máxima (m)	5,38	5,61	4,1
Profundidade média (m)	0,11	0,13	12,8
Velocidade máxima (m/s)	1,67	2,41	30,7
Velocidade média (m/s)	0,33	0,46	28
Caso 2			
Área de inundação (km <sup>2</sup> )	3,81	3,89	2,1
Porcentagem inundada da área total inundável (%)	0,294	0,3	-
Profundidade máxima (m)	5,66	5,83	2,9
Profundidade média (m)	0,18	0,2	10,1
Velocidade máxima (m/s)	2,57	3,12	17,6
Velocidade média (m/s)	0,51	0,62	18,4

As áreas de inundação compõem os locais onde o escoamento alcançará em algum momento do evento. Este parâmetro não é muito relevante se analisado exclusivamente, pois não indica detalhadamente o grau de perigo de uma inundação. As áreas de inundação são maiores na Precipitação 4 porque a vazão fornecida ao sistema da AI é maior. No Caso 1 a variação das áreas de inundação entre duas Precipitações é maior do que no Caso 2, porém a área total de inundação é maior no Caso 2.

A profundidade da inundação foi obtida por meio da diferença entre a cota do terreno, com a cota de elevação do nível de água. Quanto maior for a profundidade, maior será o potencial destrutivo,

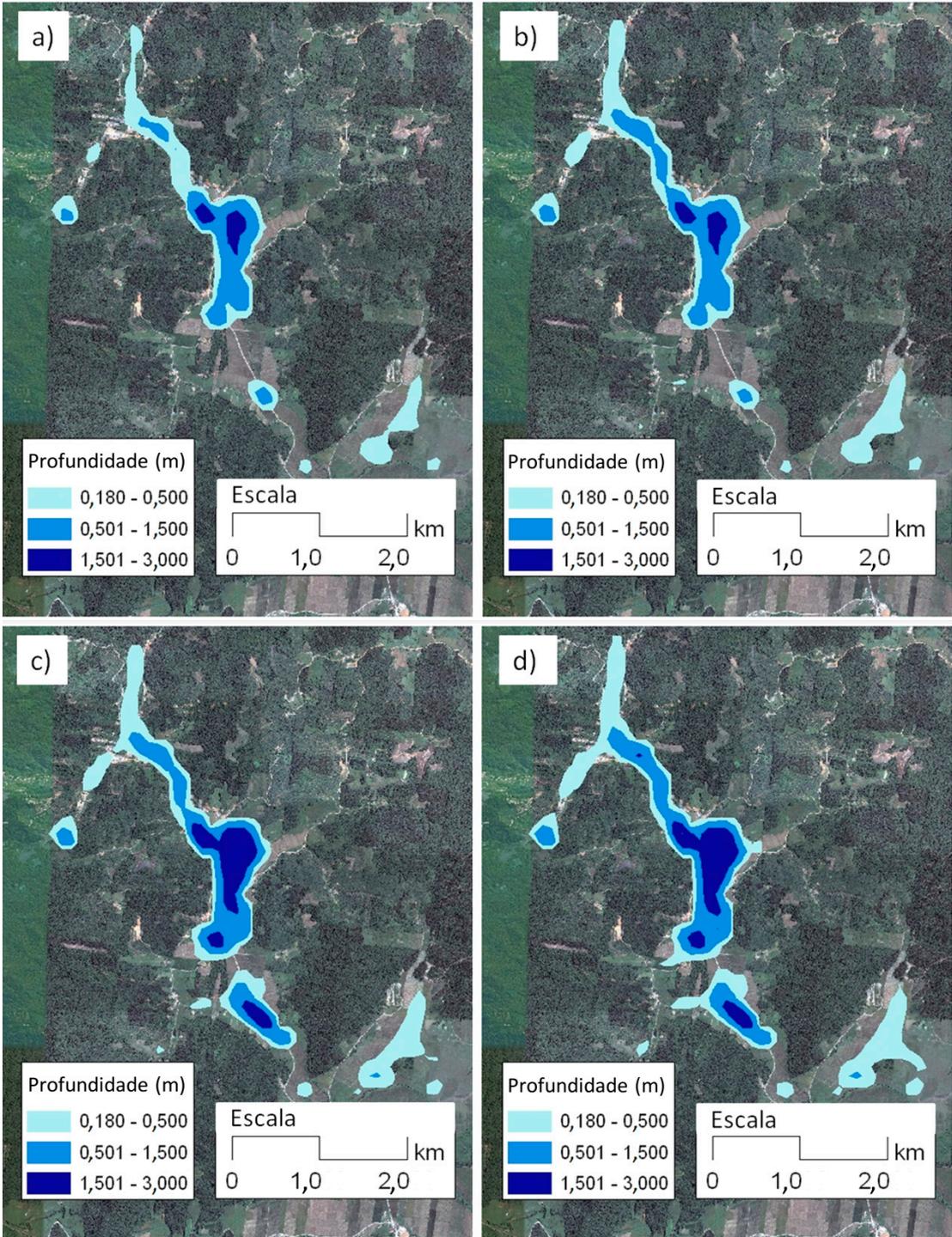


FIGURA 8. Mapas de Inundação. a) Caso 1 e P1; b) Caso 1 e P4; c) Caso 2 e P1; e d) Caso 2 e P4.

para uma mesma velocidade conforme o conceito de perigo de Stephenson (2002). Para a profundidade, deve-se destacar a maior variação quando se compara a profundidade referente à bacia inteira (profundidade média). Isto ocorre porque quando se analisa a profundidade máxima, uma área de armazenamento como uma depressão está sendo representada.

Tanto os dados de velocidade máxima como os de velocidade média possuem grande variação entre as duas precipitações e entre os dois Casos. Este resultado se relaciona ao momento da ocorrência do pico no hidrograma. Comparando os valores das Tabelas 4 e 6, foi observado que a diferença relativa da velocidade é aproximadamente um terço daquela da vazão de pico em ambos os Casos.

A Tabela 7 apresenta os maiores valores encontrados de IP. Stephenson (2002) comentou que inundações com IP maior do que 1 m<sup>2</sup>/s possuem capacidade de causar danos a estruturas físicas. Os valores da diferença relativa na Tabela 7 indicam a importância da distribuição temporal da precipitação no cálculo do IP. O local de ocorrência do máximo IP foi igual para ambos os casos e ambas as precipitações.

TABELA 7  
Índice de Perigo Máximo

	Caso 1		
	P1	P4	Diferença relativa
IP (m <sup>2</sup> /s)	2,23	3,02	26,10%
	Caso 2		
	P1	P4	Diferença relativa
IP (m <sup>2</sup> /s)	3,48	4,5	22,70%

## CONCLUSÕES

Utilizando um modelo hidrológico e um hidrodinâmico (HEC-HMS e FLO-2D), este trabalho avaliou a influência da distribuição temporal da

precipitação sobre o hidrograma de cada Sub-bacia de Contribuição e sobre a Inundação na Bacia do Braço do Baú, Ilhota/SC. Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

- Tende a ocorrer uma conservação do volume total escoado no hidrograma em todas as Sub-bacias. Entretanto a variação de vazões de pico é grande com diferentes distribuições temporais de precipitação e depende fortemente da infiltração.
- As áreas de inundação são maiores na Precipitação 4 por causa da maior vazão fornecida ao sistema da AI. A variação das áreas de inundação entre as Precipitações 1 e 4 é maior no Caso 1 do que no Caso 2.
- Na alteração da distribuição de precipitação, ocorre a maior variação na profundidade média de inundação do que na profundidade máxima.
- Tanto os dados de velocidade máxima como os de velocidade média do escoamento superficial possuem grande variação entre as duas Precipitações e entre os dois Casos.
- A alteração da distribuição temporal da precipitação modifica significativamente o Índice de Perigo de inundação, assim como a mudança dos valores de *CN*.

Para investigar inundações de forma adequada com a distribuição temporal da precipitação, deve-se realizar monitoramento de precipitações com variações temporais mais detalhadas e precisas. Isto pode ser feito com o aperfeiçoamento das técnicas de medição e do banco de dados sobre as precipitações na região a ser estudada. Para reduzir os desastres associados a inundações, é necessário implementar o monitoramento hidrológico em nível federal, estadual e municipal com o curto intervalo de medição.

## AGRADECIMENTO

O presente trabalho faz parte do projeto “Análise e Mapeamento das Áreas de Risco a Movimentos de Massa e Inundações nos Municípios de Gaspar, Ilhota e Luiz Alves (complexo do Morro do Baú), SC” (209/2009) financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC).

## Referências

ABREU, F. G. Análise da influência da distribuição temporal das chuvas intensas e de cenários de uso e ocupação do solo na quantificação dos prejuízos econômicos diretos provocados pelas inundações urbanas. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-Graduação e Área de Concentração em Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. (2013).

- ANA. Hidroweb. Disponível em [http://hidroweb.ana.gov.br], acesso em julho de 2010
- CANHOLI, A. P. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. São Paulo - SP: Oficina de Textos, 2005, 302 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo, Edgar Blücher, 2ª edição, 1980.
- DAEE/CETESB. Drenagem Urbana. 2ª Edição, São Paulo (SP), 1980.
- DOOGE, J. C. I. Linear theory of hydrologic systems. Tech. Bull. N° 1468. Agricultural Research, U. S. Dept. of Agriculture, Washington, D. C. 1973.
- FRANK, B.; SEVEGNANI, L. Desastre de 2008 no Vale do Itajaí. Água, gente e política. Agência de Água do Vale do Itajaí, Blumenau – SC, 2009, 192 p.
- HUFF, F. A. Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms. Water Resources Research, v.3, n.4, p. 1007 – 1019, 1967.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE Cidades – Gaspar. Disponível em [www.ibge.gov.br], acesso em junho de 2010.
- KIBLER, D. F. Desk-top methods for urban stormwater calculation. Urban stormwater hydrology, American Geophysical Union, Water Resources Monograph, v. 7, p. 87–135, 1982.
- LIMA, G.M.A.; BASTOS, L.C.; BELTRAME, A.V. Correlação entre o movimento de massa e a cobertura vegetal na bacia do Braço do Baú, Município de Ilhota – SC. In Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação, Recife, Jul. 2010, p. 001 – 008.
- LOUKAS, A. Flood frequency estimation by a derived distribution procedure. Journal of Hydrology, v.255, p. 69 – 89, 2002.
- MENEZES, J.G.R. A tragédia do Morro do Baú. Nova Letra Gráfica e Editora, Blumenau – SC, 2009, 438 p.
- MONTEIRO, L. R.; KOBİYAMA, M. Proposta de metodologia de mapeamento de perigo de inundação. Revista de Gestão de Águas da América Latina, v.10, p 13-25, 2013.
- O'BRIEN, J.S.; JULIEN, P.Y.; FULLERTON, W.T. Two-dimensional water flood and mudflow simulation. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, v.119, n.2, p. 244 – 259, 1993.
- PEREIRA, M. Ilhota, 23 de novembro de 2008: diário de uma tragédia. HB Editora, Blumenau – SC, 2009, 272 p.
- RAHMAN, A.; WEINMANN, P.E.; HOANG, T.M.T; LAURENSEN, E.M. Monte Carlo simulation of flood frequency curves from rainfall. Journal of Hydrology, v.256, p.196 – 210, 2002.
- SCS Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release n° 55 (TR-55), Hydrology, U. S. Dept. of Agriculture, 1986.
- SILVEIRA, A. L. L. Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.10, n.1, p.5-23, 2005.
- SINGH, V. P. Elementary Hydrology. New Jersey: Prentice Hall, 1992, 973 p.
- STEPHENSON, D. Integrated flood plain management strategy for the Vaal. Urban Water, v.4, p. 425-430, 2002.
- STRAHLER, A.N. *Hypsometric (Area-altitude) analysis of erosional topography*. Bull. G.S.A., v.63, p.1117-1142, 1952.
- USACE-HEC. *Hydrologic Modeling System, HEC-HMS – Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. 2000, 157p

**Leonardo Romero Monteiro** Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/  
UFRGS. E-mail: leonardoromeromonteiro@gmail.com

**Masato Kobiyama** Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. E-  
-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br

