

INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E DA DISTRIBUIÇÃO DAS CHUVAS NA PREVISÃO DE ENCHENTES EM SÃO SEBASTIÃO DO CAÍ, RS

Guilherme Garcia de Oliveira¹; Laurindo Antonio Guasselli²; Dejanira Luderitz Saldanha³.

RESUMO

O objetivo deste estudo é verificar a influência da morfometria e da distribuição espacial das chuvas nos erros de previsão de enchentes em São Sebastião do Caí. Utilizaram-se dados SRTM, séries históricas de chuva e um modelo matemático de previsão de cotas. Inicialmente, foi realizada a manipulação dos dados SRTM, a delimitação das sub-bacias e a extração de variáveis morfométricas. Foi elaborado um índice de influência conjugando as variáveis morfométricas para identificar as sub-bacias que mais contribuem nas enchentes em São Sebastião do Caí. Em seguida, foi analisada a precipitação em cinco eventos para verificar a distribuição espacial das chuvas nas sub-bacias e a influência desta nos erros de previsão do modelo matemático. De acordo com o índice de influência morfométrica, as sub-bacias que mais influenciam nas enchentes no município são a dos arroios Forromeco e Piai. Na análise dos eventos pluviométricos constatou-se que uma concentração de chuvas nas sub-bacias com maior índice de influência nas enchentes induz o modelo matemático de previsão ao erro de subestimação de cota em São Sebastião do Caí.

Palavras-Chave: Precipitação; Modelo matemático de previsão de cotas; Bacia hidrográfica do rio Caí.

ABSTRACT – The study aims to check the influence of morphology and spatial distribution of rainfall in the flood prediction errors in São Sebastião do Caí. Were used the SRTM data, series of precipitation and a mathematical model for flood prediction. Initially, we performed a manipulation of the SRTM data, the delimitation of sub-basins and the extraction of morphometric variables. We prepared an influence index combining the morphometric variables to identify the sub-basins that most contribute in the floods in São Sebastião do Caí. Then, the precipitation was analyzed in five events to check the spatial distribution of rainfall in the sub-basins and their influence in errors of the mathematical model for flood prediction. According the influence morphometric index, the sub-basins that most influence the floods in the city are the Forromeco and Piai Streams. In the analysis of rainfall events was found that a concentration of rainfall in the sub-basins with highest influence on flooding induces the mathematical model prediction into error of underestimation quota in São Sebastião do Caí.

Keywords: Precipitation; Mathematical model for flood prediction; Caí River Basin.

Introdução

As enchentes consistem na elevação do nível de água de um rio, acima de sua capacidade de escoamento, podendo causar inundações. Esses eventos ocorrem naturalmente em todos ambientes fluviais, sendo importantes na manutenção da dinâmica hidrológica e dos processos geomorfológicos.

Na bacia hidrográfica do rio Caí, no RS, as enchentes ocorrem periodicamente, deixando graves consequências em todos os âmbitos da sociedade. Os maiores prejuízos se

¹ Mestre em Sensoriamento Remoto. Bolsista de Pesquisa – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). g.g.oliveira10@gmail.com.

² Prof. Dr. Departamento Geografia – UFRGS. E-mail: laurindo.guasselli@ufrgs.br.

³ Profa. Dra. Departamento Geodésia – UFRGS. E-mail: dejanira.saldanha@ufrgs.br.

dão aos moradores rurais que ocupam as várzeas, onde predominam os cultivos de hortaliças, de arroz e de frutas cítricas, e aos habitantes das áreas urbanas às margens do rio Caí, como em São Sebastião do Caí, Montenegro, Pareci Novo e Feliz.

A periodicidade desses eventos em São Sebastião do Caí, é o fator mais preocupante. Estima-se que, em média, a área urbana deste último seja atingida pelas águas a cada 1,28 anos. De acordo com a série histórica apresentada em Oliveira (2010), as maiores enchentes ocorreram em 1982, 2000 e 2007. Estima-se que a enchente de 24/09/2007 afetou 14.331 habitantes em São Sebastião do Caí, sendo que, destes, 3.038 ficaram desabrigados. Centenas de estabelecimentos comerciais e industriais foram atingidos e houve o comprometimento do abastecimento de água, de energia e no sistema de transporte.

A criação e/ou o aperfeiçoamento dos sistemas de previsão de enchentes destacam-se como medidas não-estruturais essenciais para o planejamento dos municípios afetados. Ainda que não solucionem o conflito existente entre a ocupação humana de áreas inundáveis e o regime fluvial, essas medidas auxiliam substancialmente na amenização dos danos decorrentes das enchentes, contribuindo diretamente nas ações de remoção e deslocamento de pessoas com a maior antecedência possível (Tucci & Bertoni, 2003; Eckhardt, 2008).

Um modelo matemático de previsão de cotas (Eq. 1) para a área urbana de São Sebastião do Caí foi proposto por Oliveira (2010), baseado na relação cota-cota entre duas estações fluviométricas (Nova Palmira, à montante, e Barca do Caí, na seção de interesse). O modelo apresentou bons resultados, com erro médio de previsão da cota de 0,68 m. A precisão do modelo variou entre 0,62 m e 1,43 m, de acordo com a magnitude da enchente. Ainda assim, alguns eventos previstos apresentaram erros superiores a 1,5 m.

$$Y_p = \frac{1}{(0,0298 * [X - 3,3538]^2 + 0,2017)} + 1,641 * X \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: Y_p é a cota prevista para São Sebastião do Caí e X é a cota em Nova Palmira.

Este trabalho investiga a hipótese de que os erros na previsão de cota (subestimações e superestimações) se devem, em parte, às diferentes características morfométricas da área de contribuição de São Sebastião do Caí e à distribuição espacial das chuvas nessa área. A validação dessa hipótese poderá contribuir para o aperfeiçoamento do modelo matemático.

Com base nessa hipótese, o objetivo deste estudo é verificar a influência de aspectos morfométricos e da distribuição espacial das chuvas nos erros de previsão observados em algumas enchentes ao longo da série histórica, tendo como área de estudo, a porção da bacia hidrográfica do rio Caí localizada à montante da área urbana de São Sebastião do Caí, RS.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo – A bacia hidrográfica do rio Caí situa-se na porção nordeste do RS. Possui uma área de 4.981 km² e a população estimada é de 537.658 habitantes (5% da população do estado). O município de São Sebastião do Caí situa-se às margens do rio Caí, no limite entre o médio e o baixo curso do rio. A área municipal é de 111,45 km² e a população é de 20.359 habitantes, dos quais, 81% residem na área urbana (IBGE, 2007). A bacia de contribuição de São Sebastião do Caí possui 3.025 km² (Fig. 1 e 2). Os principais cursos d'água da bacia de contribuição são: o rio Caí e os arroios Forromeco, do Ouro e o Piaí. O rio possui três barragens que regulam em certo grau o regime fluvial: do Salto, Blang e Divisa.

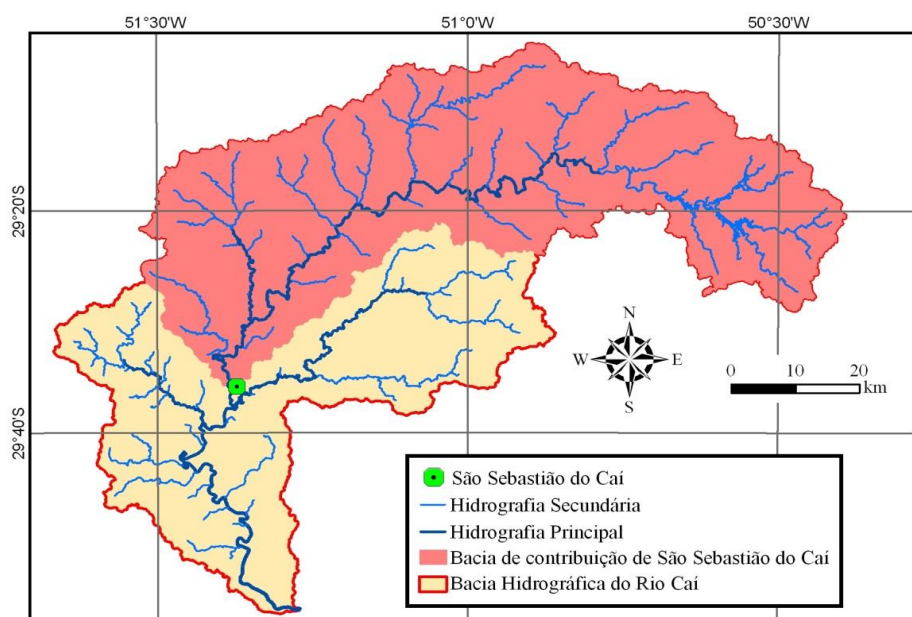


Figura 1. Bacia hidrográfica do rio Caí e bacia de contribuição de São Sebastião do Caí.

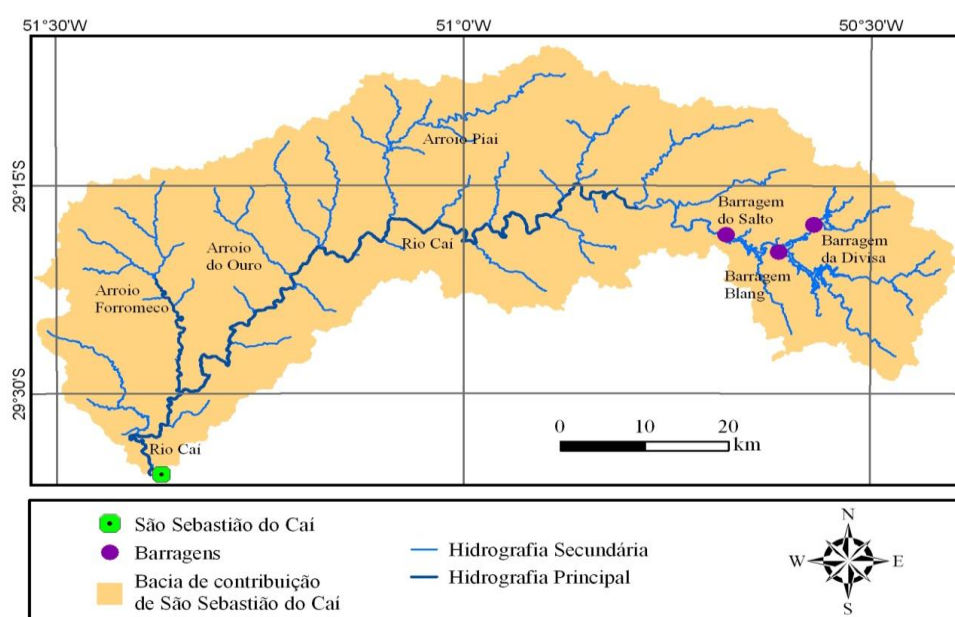


Figura 2. Hidrografia simplificada da bacia de contribuição de São Sebastião do Caí.

Materiais – Foram utilizados os seguintes materiais:

Dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), modelo de elevação com resolução espacial de 90 m, disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration*;

a) Dados de precipitação das estações pluviométricas cadastradas no portal HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas (ANA), compreendidas pela bacia de contribuição ou localizadas em áreas próximas à bacia;

b) Modelo matemático de previsão de enchentes em São Sebastião do Caí, proposto por Oliveira (2010), baseado na relação cota-cota entre as estações fluviométricas Barca do Caí, em São Sebastião do Caí, e Nova Palmira, à montante (Caxias do Sul).

Métodos – Neste item são descritas as técnicas e métodos adotados no trabalho (Fig. 3). Visando a melhor compreensão da metodologia, o trabalho foi estruturado em quatro etapas: a) manipulação dos dados SRTM; b) extração de variáveis morfométricas; c) análise da precipitação em alguns eventos da série histórica; d) análise da influência das variáveis morfométricas e da distribuição das chuvas nos erros de previsão do modelo matemático.

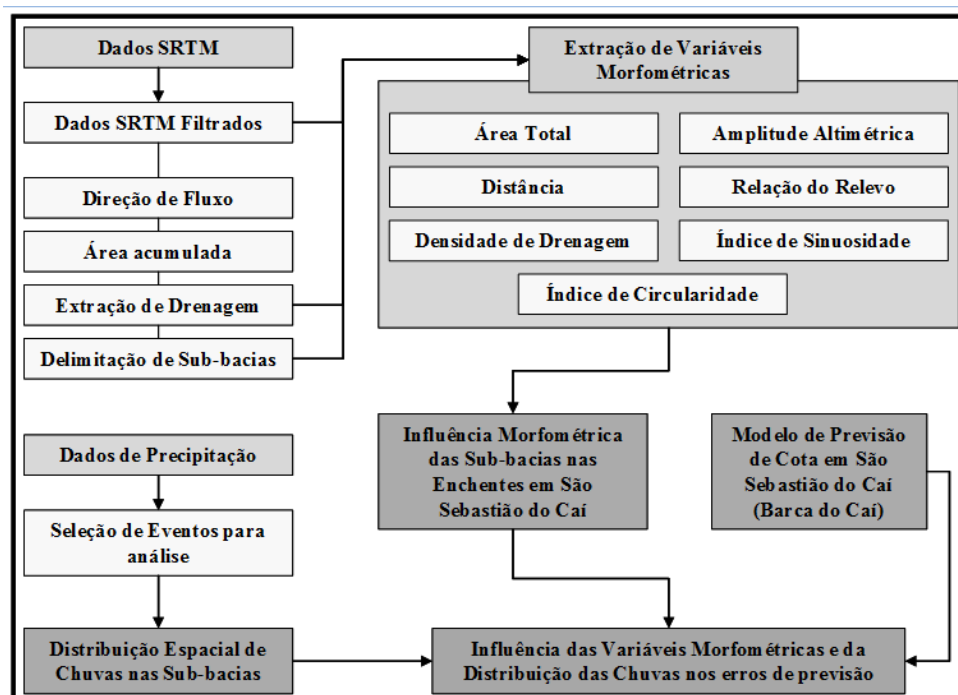


Figura 3. Fluxograma simplificado do trabalho.

Inicialmente, a manipulação dos dados SRTM compreendeu a filtragem do modelo de elevação para a remoção de informações discrepantes (variações abruptas e inconsistentes).

Esse processo garante a continuidade do fluxo de drenagem no modelo, tornando-se imprescindível para a extração de variáveis morfométricas consistentes.

As direções de fluxo foram extraídas conforme o método de Jenson & Domingue (1988), no qual se considera, pela lógica da maior declividade, uma única direção de fluxo para cada pixel do modelo (janela 3x3). A partir das direções de fluxo é gerada uma grade com as áreas acumuladas de drenagem, onde cada pixel tem um valor correspondente à soma das áreas dos pixels que deságuam nele (Jenson & Domingue, 1988; Tarboton *et al.*, 1991).

Com base nas direções de fluxo e na área acumulada de drenagem foi extraída a rede de drenagem, organizada de forma hierárquica, conforme Strahler (1952). Esse processo origina um arquivo de drenagem em formato matricial (*raster*), que foi convertido para o formato vetorial para ampliar a capacidade de análise da rede hidrográfica.

A manipulação dos dados SRTM compreendeu ainda a fragmentação da bacia de contribuição de São Sebastião do Caí em 18 sub-bacias (Fig. 4), para verificar as diferenças morfométricas existentes na área. O critério para a delimitação das sub-bacias considerou os tributários do rio Caí com ordem igual ou superior a quatro. As áreas não compreendidas por esses tributários foram agrupadas em sub-bacias intermediárias.

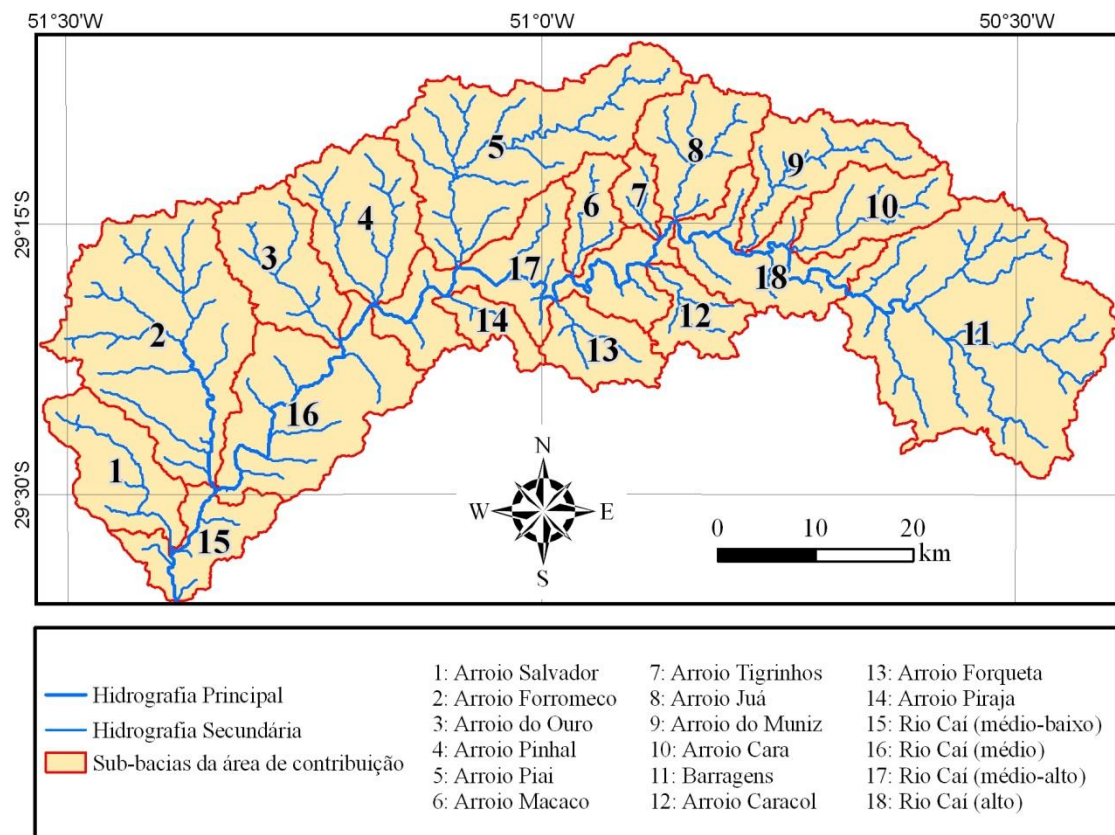


Figura 4. Sub-bacias da área de contribuição de São Sebastião do Caí.

Conforme o fluxograma (Fig. 3), foram extraídas sete variáveis morfométricas para cada sub-bacia da área de contribuição. São elas: área (A); amplitude altimétrica (Δa); distância (D); densidade de drenagem (Dd); circularidade (Ic); relação do relevo (Rr); e sinuosidade (Is).

A amplitude altimétrica é obtida pela diferença entre as altitudes máxima e mínima. A distância entre o exutório de cada sub-bacia a São Sebastião do Caí (D) foi calculada considerando a drenagem, isto é, o percurso sinuoso do rio Caí.

A densidade de drenagem foi definida por Horton (1945). Esse índice relaciona o comprimento da drenagem e a área da bacia (Eq. 2). O índice de circularidade, proposto por Müller (1953), relaciona a área da sub-bacia com a área de um círculo de mesmo perímetro (Eq. 3). A relação do relevo foi concebida por Schumm (1956), e utiliza a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal da sub-bacia (Eq. 4). O índice de sinuosidade, proposto por Schumm (1963), relaciona o comprimento do canal principal com a distância vetorial entre os extremos do canal (Eq. 5).

$$Dd = \frac{C}{A} \quad \text{(Eq. 2)}$$

Onde: C é o comprimento total da drenagem; A é a área da sub-bacia.

$$Ic = \frac{A}{Ac} \quad \text{(Eq. 3)}$$

Onde: A é a área da sub-bacia; Ac é a área de um círculo de perímetro igual à sub-bacia.

$$Rr = \frac{\Delta a}{L} \quad \text{(Eq. 4)}$$

Onde: Δa é a amplitude altimétrica da sub-bacia; L é o comprimento do canal principal da sub-bacia.

$$Is = \frac{L}{dv} \quad \text{(Eq. 5)}$$

Onde: L é o comprimento do canal principal; dv é a distância vetorial entre os pontos extremos do canal.

Quanto à influência das variáveis nas enchentes em São Sebastião do Caí, consideraram-se os seguintes critérios:

- a) Área: está intrinsecamente associada ao volume de água que deságua no curso principal. Assim, quanto maior a área, maior a contribuição às enchentes em São Sebastião do Caí. Constitui-se na variável morfométrica mais importante.
- b) Amplitude altimétrica e relação do relevo: definem, em parte, a velocidade de escoamento. Quanto maiores forem os valores, mais rápido é o fluxo, reduzindo o acúmulo de água na sub-bacia. Isso incrementa o efeito à jusante, contribuição com as enchentes.
- c) Distância: quanto maior a distância do exutório de uma sub-bacia a São Sebastião do Caí, menor a influência que essa exerce nas enchentes no município.
- d) Densidade de drenagem: em sub-bacias com substrato rochoso mais permeável, a capacidade de formação de canais é reduzida, diminuindo a densidade de drenagem. Quanto maior a densidade de drenagem, maior é a velocidade com que a água atinge o rio, incrementando o efeito de enchentes à jusante da sub-bacia.
- e) Índice de circularidade: a forma da sub-bacia influencia na retenção da água das chuvas. Quanto mais circular, maior a retenção de água (acúmulo) na sub-bacia e menor é a contribuição nas enchentes à jusante.
- f) Índice de sinuosidade: a relação entre o comprimento verdadeiro do canal e o seu comprimento vetorial permite identificar a sinuosidade. Quanto maior o índice, menor a velocidade do escoamento e, conseqüentemente, menor a influência nas enchentes à jusante.

Os valores de cada variável calculada foram padronizados (média 0; desvio padrão 1) para fins de comparação de grandeza e para a elaboração de um índice geral que avalie a influência de cada sub-bacia na ocorrência de enchentes em São Sebastião do Caí. Esse índice consiste na soma das variáveis morfométricas que influenciam positivamente (A ; Δa ; Rr ; Dd), subtraídas as variáveis que influenciam negativamente (D ; Ic ; Is). Foi atribuído, de forma empírica, um peso maior para a área (peso 3) e para distância (peso 2), por serem as variáveis que melhor definem, respectivamente, o volume a ser drenado e o tempo de concentração, aspectos essenciais para o entendimento das enchentes (Eq. 6).

$$\text{Influência Enchentes} = \Delta a + Dd + Rr + 3A - Ic - Is - 2D \quad (\text{Eq. 6})$$

A análise da distribuição espacial das chuvas em eventos pluviométricos extremos na área de estudo permite investigar se as sub-bacias que apresentaram um índice maior de

influência morfométrica nas enchentes em São Sebastião do Caí, de fato, interferem nos erros da previsão de cota pelo modelo (hipótese do trabalho).

Os eventos de elevada precipitação foram selecionados de acordo com a disponibilidade de dados das estações pluviométricas e dos registros de cota das estações pluviométricas. Optou-se pelos seguintes eventos: a) Evento I: de 27 a 30 de julho de 1980; b) Evento II: de 30 de novembro a 03 de dezembro de 1980; c) Evento III: de 21 a 26 de setembro de 1988; d) Evento IV: de 01 a 04 de agosto de 1997; e) Evento V: de 13 a 16 de agosto de 1998.

Os valores de precipitação diários foram interpolados pelo método Inverso do Quadrado da Distância para a geração de uma superfície de chuva para cada dia dos cinco eventos. Foram extraídos os valores médios de precipitação na bacia de contribuição e em cada uma das 18 sub-bacias da área de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise Morfométrica – Neste item são apresentados os resultados e as discussões referentes aos aspectos morfométricos e o índice de influência das sub-bacias nas enchentes em São Sebastião do Caí.

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos para cada variável morfométrica nas 18 sub-bacias, ordenadas pelo índice de influência nas enchentes. A sub-bacia do arroio Forromeco (2) apresentou o maior índice de influência (6,84), principalmente, em virtude da significativa área de contribuição (385,74 km²), da elevada amplitude altimétrica (750,43 m) e da proximidade a São Sebastião do Caí (14,47 km). O segundo maior índice (3,89) foi observado na sub-bacia do arroio Piai (5), que possui a maior amplitude altimétrica (861,34 m) e uma grande área de contribuição (330,57 km²).

Tabela 1. Valores das variáveis morfométricas e índice de influência nas enchentes.

Sub-bacia	Δa (m)	A (km ²)	Dd (km/km ²)	Ic	Rr	Is	D (km)	Índice de Influência
2	750,43	385,74	1,13	0,44	24,85	1,29	14,47	6,84
5	861,34	330,57	1,20	0,35	26,27	1,61	65,32	3,89
16	669,87	258,21	1,10	0,40	25,97	1,42	14,47	2,75
1	680,42	129,53	1,20	0,45	33,20	1,32	5,62	2,09
11	287,44	516,36	1,32	0,44	9,64	1,40	137,71	1,48
18	515,60	147,96	1,25	0,20	23,04	1,63	106,61	1,41

4	729,62	160,94	1,20	0,53	42,04	1,28	50,49	1,10
14	750,34	40,48	1,08	0,34	56,49	1,10	61,61	0,60
3	724,19	136,41	1,10	0,47	37,88	1,21	44,81	0,29
6	667,48	53,67	1,29	0,40	50,31	1,23	83,86	-0,16
13	717,65	79,12	1,09	0,47	51,42	1,14	79,88	-1,33
12	550,07	63,63	1,28	0,32	41,43	1,31	100,48	-1,87
15	380,33	93,18	1,30	0,27	20,93	1,23	0,00	-1,95
8	582,00	129,07	1,32	0,51	35,41	1,28	106,61	-2,12
17	777,90	236,59	1,06	0,14	23,62	1,74	50,49	-2,77
7	482,46	31,44	1,16	0,42	47,11	1,18	103,82	-4,30
9	464,65	129,42	1,29	0,30	20,43	1,54	117,70	-4,35
10	350,54	102,89	1,32	0,45	18,94	1,25	125,04	-5,51

A sub-bacia com a menor influência morfométrica nas enchentes em São Sebastião do Caí, de acordo com o índice, é a do arroio Cará (10). O baixo índice nessa sub-bacia (-5,51) se deve, principalmente, à reduzida amplitude altimétrica (350,54 m), ao índice de circularidade acima da média (0,45), à baixa relação do relevo (18,94) e à distância de 125,04 km que a separa de São Sebastião do Caí.

A sub-bacia das barragens (11), embora seja a mais distante, apresentou uma influência acima da média (1,48). Isso se deve principalmente à área de contribuição (516,36 km²), embora a sub-bacia apresente também um índice elevado de densidade de drenagem (1,32 km/km²).

Outro exemplo da influência da área total de contribuição no resultado do índice é o da sub-bacia do arroio Pirajá (14). Embora a mesma apresente elevada amplitude altimétrica (750,34 m), baixo índice de circularidade (0,34), a maior relação do relevo (56,49) e o menor índice de sinuosidade (1,10), a sub-bacia possui um índice mediano de influência nas enchentes em São Sebastião do Caí (0,60). O motivo é a reduzida área de contribuição (40,48 km²). Mesmo que o arroio Pirajá possua uma elevada capacidade de escoamento, o volume reduzido de água drenada pela sub-bacia não aumenta significativamente o nível da enchente na foz da área de estudo.

Análise da Distribuição Espacial das Chuvas nos Eventos – No Evento I, ocorrido no período de 27 a 30 de julho de 1980, a precipitação acumulada média foi de 168,59 mm na bacia de contribuição de São Sebastião do Caí. As sub-bacias dos arroios Pinhal (4), do Ouro (3) e Pirajá (14) foram as que apresentaram mais chuvas durante o evento, com médias

superiores a 180 mm. A sub-bacia do médio-baixo rio Caí (15) e do arroio Salvador (1) apresentaram chuvas médias inferiores a 130 mm (Fig. 5).

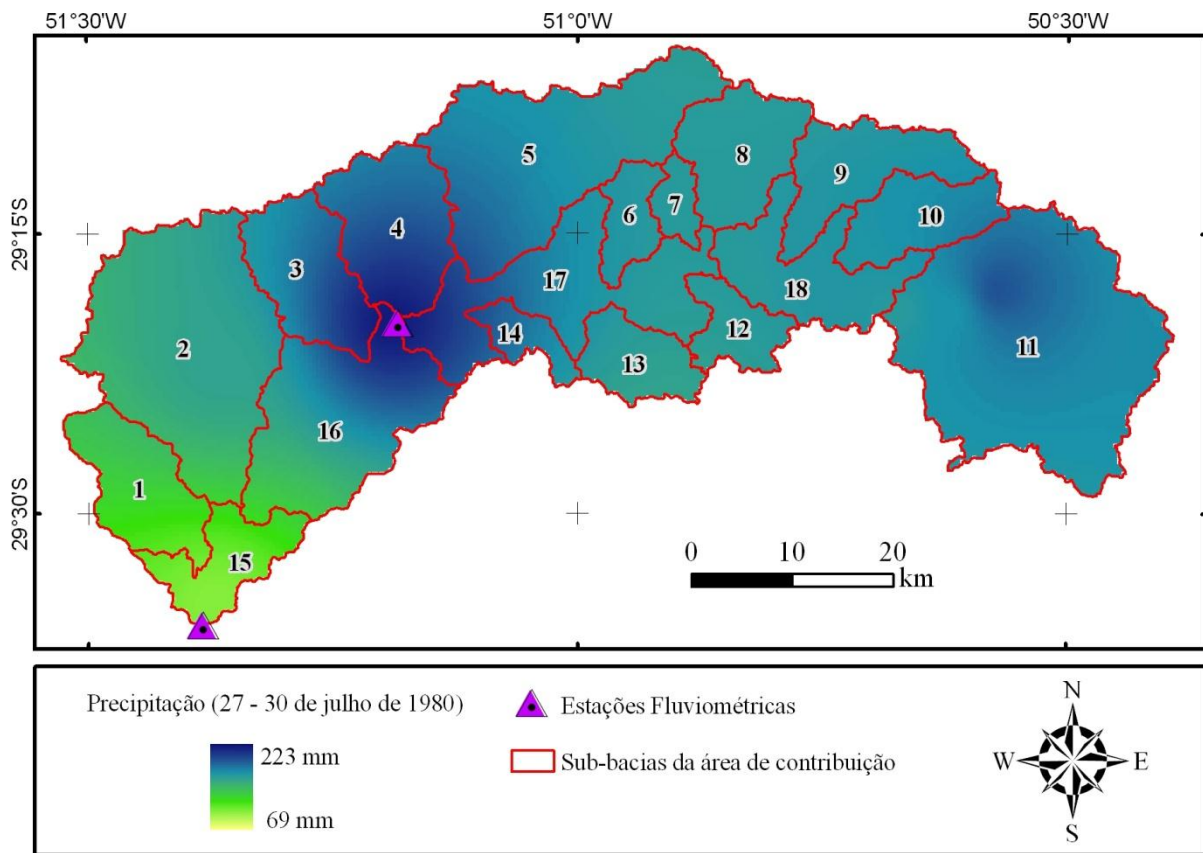


Figura 5. Evento I: precipitação total entre 27 e 30 de julho de 1980.

A cota máxima registrada em Nova Palmira, estação fluviométrica localizada à montante, foi de 7,19 m. Com base nesse valor, o modelo matemático previu que a cota máxima na estação Barca do Caí (São Sebastião do Caí) seria de 13,36 m. No entanto, a cota atingida na ocasião foi de 13,74 m, indicando que o modelo subestimou o nível em 38 cm.

Ainda que não tenha se verificado precipitação acima da média nas sub-bacias de maior influência morfométrica (do arroio Forromeco e Piai), registrou-se uma precipitação muito intensa nas sub-bacias 3, 4, 14 e 16, que contribuem muito pouco no nível de Nova Palmira (referência de cota do modelo de previsão), e apresentam influência mediana em São Sebastião do Caí. Isso fez com que o nível do rio não subisse tanto em Nova Palmira e o modelo subestimasse a enchente em 38 cm no exutório da área de estudo.

No Evento II, entre 30 de novembro e 03 de dezembro de 1980, a precipitação acumulada média foi inferior ao Evento I, com 112,65 mm na área de estudo. As sub-bacias dos arroios Pinhal (4), do Forromeco (2), do Ouro (3), do Piai (5) e do médio rio Caí (16)

foram as que apresentaram mais chuvas durante o evento (mais de 125 mm). A sub-bacia do arroio Cará (10) e das barragens (11) apresentaram chuvas médias inferiores a 80 mm (Fig. 6).

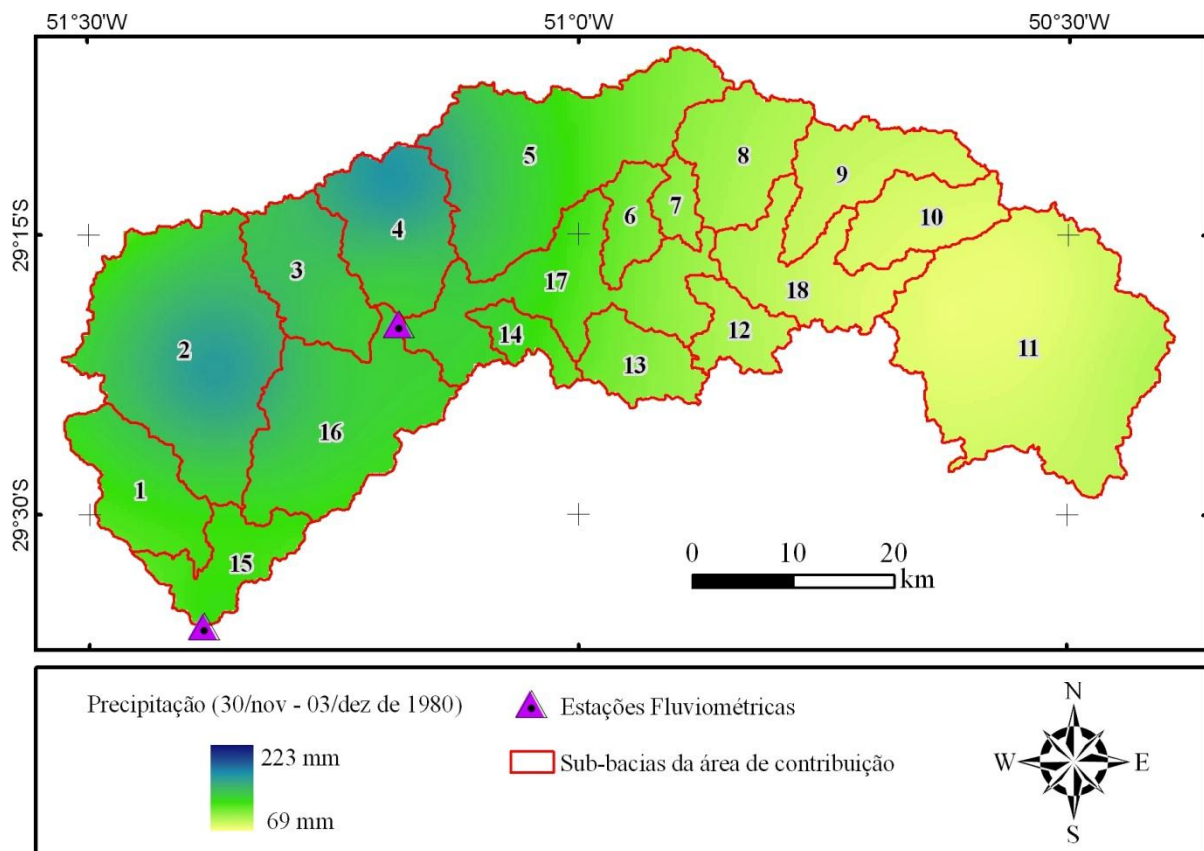


Figura 6. Evento II: precipitação total entre 30 de novembro e 03 de dezembro de 1980.

A cota máxima registrada em Nova Palmira foi de 4,54 m. Com base nesse valor, o modelo matemático previu que a cota máxima em São Sebastião do Caí seria de 11,55 m. No entanto, a cota atingida na ocasião foi de 13,41 m, indicando que o modelo subestimou o nível da enchente em 1,86 m.

Esse resultado condiz com o que era esperado e reforça a hipótese apresentada no trabalho, uma vez que a precipitação foi mais intensa nas sub-bacias que possuem maior influência morfométrica nas enchentes em São Sebastião do Caí. Além disso, o volume de precipitação nas áreas à montante da estação de referência (Nova Palmira) foi consideravelmente inferior à média da bacia de contribuição.

No período entre 21 e 26 de setembro de 1988 (Evento III), a precipitação acumulada média, na bacia de contribuição de São Sebastião do Caí, foi de 186,07 mm. As sub-bacias dos arroios Pinhal (4), do Forromeco (2), do Ouro (3), do Pirajá (14), do médio-alto rio Caí (17) e do médio rio Caí (16) foram as que apresentaram mais chuvas durante o evento,

ultrapassando os 200 mm. A sub-bacia do arroio Cará (10) e das barragens (11) apresentaram chuva média inferior a 160 mm (Fig. 7).

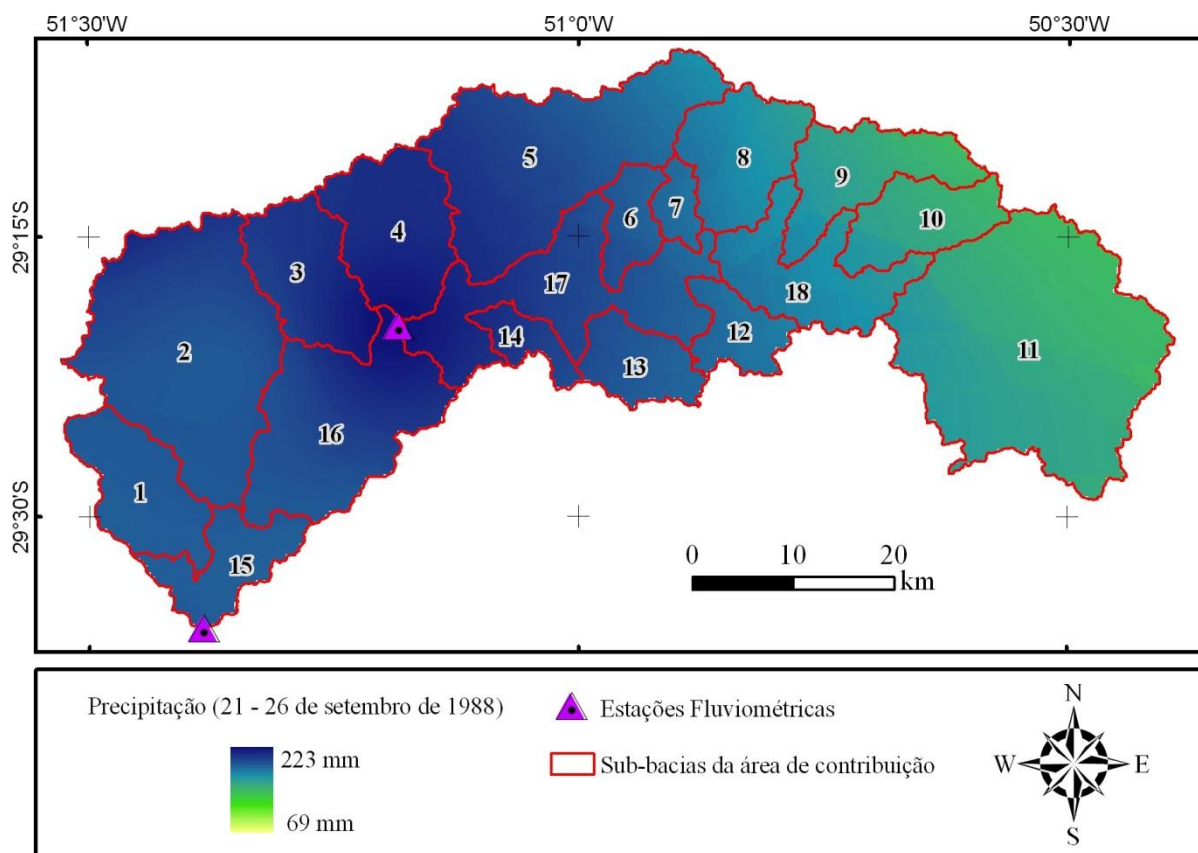


Figura 7. Evento III: precipitao total entre 21 e 26 de setembro de 1988.

A cota máxima registrada em Nova Palmira foi de 5,80 m. O modelo matemático previu que a cota máxima em São Sebastião do Café alcançaria 12,15 m. No entanto, a cota atingida no período foi de 13,33 m, indicando que o modelo subestimou o nível da enchente em 1,18 m. Esse resultado  semelhante ao observado no Evento II, e valida novamente a hipótese apresentada no trabalho, já que o volume de chuvas foi significativamente superior nas sub-bacias que mais contribuem para as enchentes em São Sebastião do Café.

No Evento IV, ocorrido entre 01 e 04 de agosto de 1997, a precipitao acumulada média foi de 184,87 mm na área de estudo. As sub-bacias que apresentaram maior volume de chuva foram as dos arroios do Muniz (9), Cará (10), Ju (8), Forromeco (2), e das barragens (11), com precipitao superior a 190 mm (Fig. 8).

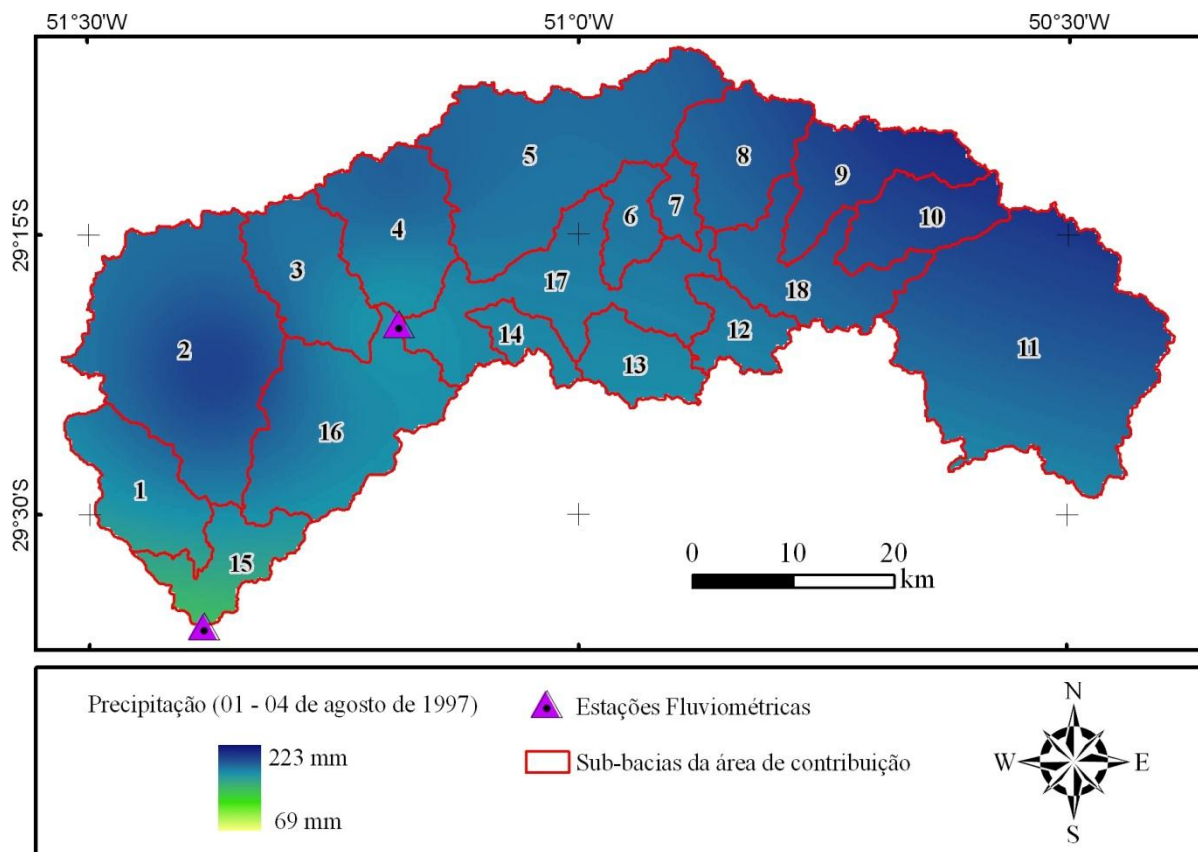


Figura 8. Evento IV: precipitação total entre 01 e 04 de agosto de 1997.

A cota máxima registrada em Nova Palmira foi de 7,50 m. Com base nesse valor, o modelo matemático previu que a cota máxima em São Sebastião do Caí seria de 13,71 m. Ao contrário do verificado nos três eventos anteriores, a cota atingida foi inferior à prevista, atingindo 13,40 m. O modelo superestimou o nível da enchente em 31 cm.

A superestimação se deve ao fato do volume de chuva ter sido superior nas áreas à montante da estação de referência do modelo, justamente onde predominam as sub-bacias com menor influência nas enchentes em São Sebastião do Caí. A superestimação poderia ter sido maior se não tivesse chovido significativamente na área de contribuição do arroio Forromeco (2).

No período entre 13 e 16 de agosto de 1998 (Fig. 9), a precipitação acumulada média foi a menor dos cinco eventos analisados, com 80,19 mm na bacia de contribuição de São Sebastião do Caí. As sub-bacias dos arroios Pinhal (4), Pirajá (14), do Ouro (3) e do médio-alto rio Caí (17) foram as que apresentaram mais chuvas durante o evento (entre 84 e 89 mm). A sub-bacia do médio-baixo rio Caí (15) e do arroio Salvador (1) apresentaram o menor volume de chuvas, aproximadamente 74 mm. Esses valores indicam que o Evento V foi o que

apresentou maior homogeneidade de precipitação, com diferença de apenas 15 mm entre as sub-bacias mais e menos chuvosas.

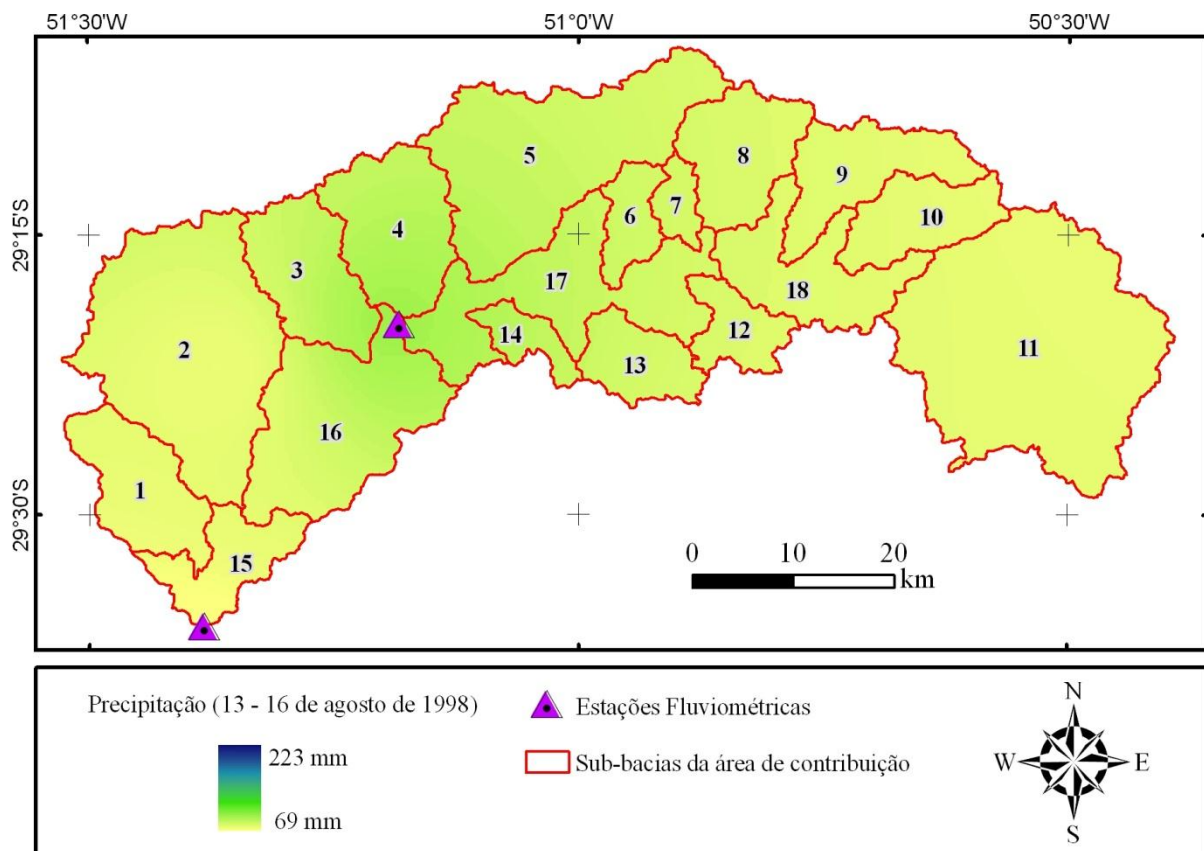


Figura 9. Evento V: precipitação total entre 13 e 16 de agosto de 1998.

A cota máxima registrada em Nova Palmira foi de 5,93 m. A previsão de cota máxima em São Sebastião do Caí foi de 12,23 m. A cota atingida foi a mesma da previsão (12,23m).

Em virtude da leve concentração no volume de precipitação em sub-bacias que contribuem mais para São Sebastião do Caí do que para o aumento do nível em Nova Palmira, esperava-se que o modelo matemático subestimasse a cota de enchente em poucos centímetros. Ainda assim, o resultado não é discrepante, tendo em vista que houve pouca precipitação na sub-bacia do arroio Forromeco.

CONCLUSÕES

1) A extração de variáveis morfométricas das sub-bacias localizadas na área de contribuição de São Sebastião do Caí e a elaboração do índice de influência nas enchentes identificaram satisfatoriamente as áreas que mais contribuem para o aumento de nível do rio

Caí no município. De acordo com o índice proposto, as sub-bacias que mais influenciam nas enchentes em São Sebastião do Caí são a dos arroios Forromeco e Piai;

2) A análise dos cinco eventos pluviométricos validou a hipótese apresentada no trabalho de que uma concentração de chuvas nas sub-bacias com maior índice de influência nas enchentes pode induzir o modelo matemático de previsão ao erro de subestimação de cota em São Sebastião do Caí.

REFERÊNCIAS

ECKHARDT, R. R. Geração de modelo cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas sujeitas às inundações urbanas na cidade de Lajeado/RS. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, v.56, n.3, p. 275-370, 1945.

IBGE. Banco de Dados Agregados – SIDRA: Censo Demográfico e Contagem da População, 2007. <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?z=cd&o=7&i=P&c=2093>>. Acesso em: 08/11/2009.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 54 (11), p. 1593-1600, 1988.

MÜLLER, V. C. A quantitative geomorphology study of drainage basin characteristic in the Clinch Mountain Area. New York: Virginia and Tennessee. Dept. of Geology, n.3, p. 30, 1953.

OLIVEIRA, G. G. Modelos para previsão, espacialização e análise das áreas inundáveis na bacia hidrográfica do rio Caí, RS. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SCHUMM, S. A. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy.** Geological Society of America Bulletin, n.67, p. 597-646, 1956.

SCHUMM, S. A. **Sinuosity of alluvial rivers on the great plains.** Geological Society of America Bulletin, v.74, n.9, p. 1089-1100, 1963.

STRAHLER, A. N. **Dynamic basis of Geomorphology.** Geological Society of America Bulletin, v.63, p. 923-938, 1952.

TARBOTON, D. G.; BRAS, R. L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. **On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data.** Hydrological Processes, nº 5, p. 81–100, 1991.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. (Org). **Inundações urbanas na América do Sul.** Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.