

## **Análise da distribuição espacial e temporal das chuvas aplicada ao estudo de cheias na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS**

Thiago Dias Luerce  
Guilherme Garcia de Oliveira  
Laurindo Antonio Guasselli

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)  
Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM)  
Av. Bento Gonçalves, 9.500 – 91.501-970. Caixa Postal 15.044 - Porto Alegre, RS/Brasil.  
thiago.luerce@hotmail.com; g.g.oliveira10@gmail.com; laurindo.guasselli@ufrgs.br

**Abstract.** Many times, the same volume of precipitation causes different answers from the river, possibly associate to the irregular distribution of the rains in time and space. This study investigates the hypothesis that a detailed characterization of the precipitation in flood events can help to obtain more accurately a hydrological response of the rivers. The objective of this research is to examine the influence of spatial and temporal distribution of rains on floods recorded at a fluviometric station, located on the downstream portion of the watershed of the Sinos river, RS, through the use of geoprocessing tools available in GIS. Hydrological data of ANA and SRTM data, elevation model provided by NASA, were used. Fifteen extreme flood events presented at Campo Bom's fluviometric station (station with the historical data series more complete) were selected. From this selection, rainfall levels were recorded in six of these events, those that presented the most complete rainfall data for analysis. Then, rain surfaces for each one of these events in the watershed were generated. The analysis to characterize the rains was performed based on generated rainfall surfaces (spatial distribution) and on extracted variables, among them daily statistics of average rainfall (rain volume comparison between the events) and standard deviation (comparison of the rains temporal distribution). From the spatial and temporal analysis of rain were identified areas of the watershed and temporal distribution patterns that contribute most to the flooding in the downstream portion of the watershed.

**Palavras-chave:** precipitation; flow discharge; interpolation; precipitação; vazão; interpolação.

### **1. Introdução**

As cheias ocorrem naturalmente em todos os ambientes fluviais e se caracterizam pela elevação do nível de água de um rio acima de sua capacidade de escoamento (Castro, 1998). A bacia hidrográfica do rio dos Sinos é constantemente atingida por inundações decorrentes das cheias, o que ocasiona grandes prejuízos à população ribeirinha (Oliveira et al., 2009).

Tendo em vista esse cenário, torna-se necessário caracterizar os eventos pluviométricos que ocasionam as cheias, visando compreender como se dá a influência da distribuição espacial e temporal das chuvas e do volume precipitado na vazão registrada no rio dos Sinos. A compreensão da resposta de um rio a uma determinada precipitação é um elemento de grande importância para estudos de previsão de disponibilidade hídrica e para o controle das inundações ribeirinhas (Tucci, 1997; Tucci, 2004).

Dados com relação à precipitação, cota e vazão são utilizados por diferentes áreas de pesquisa e com diversos enfoques no Brasil. O portal HIDROWEB da Agência Nacional de Águas (ANA) disponibiliza estes dados pontuais com base na coleta de diversas estações fluviométricas e pluviométricas espalhadas pelo país. A análise desses dados, disponibilizados pelo portal da ANA, permite o monitoramento de períodos chuvosos nas bacias hidrográficas do país, além de auxiliar na manutenção e aperfeiçoamento de modelos de previsão de cheias.

Usualmente, a maioria dos modelos hidrológicos utiliza dados pontuais de chuva (sem interpolação espacial, isto é, com chuva concentrada) para a previsão da vazão nos rios. Porém, com a ampliação da rede de monitoramento de chuvas e com o advento de novas ferramentas de análise espacial, disponíveis nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), a espacialização das chuvas através da interpolação espacial pode ser considerada nesses modelos, de modo a aperfeiçoar o desempenho das previsões de cheias.

Muitas vezes, semelhantes volumes de precipitação ocasionam respostas muito diferentes nos rios, possivelmente associadas à distribuição irregular das chuvas no tempo e no espaço. Nesse contexto, este estudo investiga a hipótese de que uma caracterização mais detalhada da precipitação em eventos de cheias pode auxiliar na obtenção de uma resposta hidrológica dos rios (vazão) mais precisa. Assim, o objetivo desta pesquisa é verificar a influência da distribuição espacial e temporal das chuvas em cheias registradas em uma estação fluviométrica, localizada na porção a jusante da bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS, através da utilização de ferramentas de geoprocessamento disponíveis em um SIG.

## 2. Materiais e Métodos

### 2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos está situada na porção leste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). O rio dos Sinos possui uma extensão de aproximadamente 190 km e suas nascentes localizam-se no município de Caraá (em torno de 600 m de altitude). O rio é caracterizado por três trechos distintos: o superior, com extensão de 25 km (entre as cotas de 600 a 60 m), onde suas águas possuem rápido escoamento; o médio, constituído por 125 km (cotas entre 60 e 5 m); e o trecho inferior, com extensão de 50 km, onde a declividade é praticamente nula e o rio apresenta um escoamento muito lento (COMITESINOS, 2009). Os principais contribuintes do rio dos Sinos são os rios Rolante, da Ilha e Paranhana. Normalmente o rio dos Sinos apresenta uma vazão na foz que varia de 84 m<sup>3</sup>/s a 3,1 m<sup>3</sup>/s (estiagem). A precipitação média anual na bacia é de 1.600 mm por ano, relativamente bem distribuídas nas quatro estações, com leve concentração nos meses de inverno.

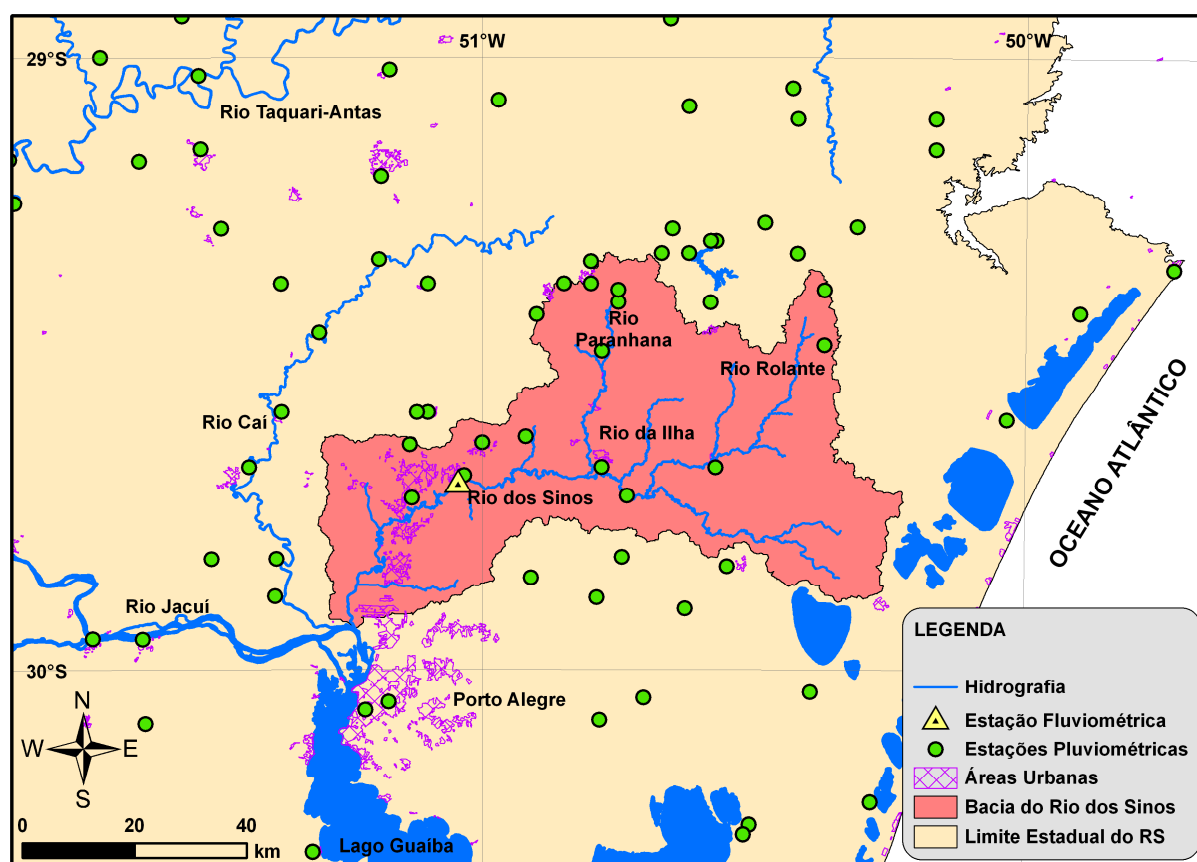


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio dos Sinos e das estações com dados hidrológicos utilizados

## 2.2 Materiais

Foram utilizados dados hidrológicos de séries históricas disponíveis no portal HIDROWEB da ANA, totalizando 73 estações pluviométricas, localizadas próximas ao perímetro da bacia ou inseridas nela, e uma estação fluviométrica, instalada no município de Campo Bom, às margens do rio dos Sinos (Figura 1). Para a delimitação das principais áreas de contribuição no interior da bacia do rio dos Sinos, se utilizou dados de radar da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) - modelo de superfície com 90m de resolução espacial - disponibilizado pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA).

## 2.3 Métodos

Neste item, são apresentadas as técnicas e métodos adotados no trabalho, estruturado em quatro etapas: a) manipulação dos dados SRTM; b) coleta de dados e seleção dos eventos de cheia; c) interpolação e geração de mapas pluviométricos (superfícies de chuva); d) caracterização e análise dos eventos (chuva-cheia).

A manipulação dos dados SRTM compreendeu, inicialmente, a aplicação de um filtro para remover anomalias (depressões e picos) que interferem na qualidade do modelo de elevação, garantindo a continuidade do escoamento até a foz. Em seguida, foram extraídas as direções de fluxo, a base de área acumulada de drenagem e as bacias de contribuição do rio dos Sinos, de acordo com a metodologia de Jenson e Domingue (1988). A bacia hidrográfica do rio dos Sinos foi dividida em seis regiões: rio Paranhana, rio da Ilha, rio Rolante, Alto rio dos Sinos, Médio rio dos Sinos e Baixo rio dos Sinos.

Na etapa seguinte, selecionaram-se 15 eventos extremos de enchentes, em que o rio dos Sinos atingiu a cota de 7 m ou ultrapassou tal marca, de acordo com a série da estação fluviométrica de Campo Bom (série histórica mais completa, desde 1939). A partir desta seleção, foram coletados dados pluviométricos das estações próximas ou inseridas na bacia.

Após esta coleta, foram selecionados seis dos quinze eventos coletados, os quais apresentaram maior quantidade de dados para análise, que correspondem às seguintes datas: a) 17-22/julho/1995; b) 01-06/agosto/1997; c) 18-23/julho/2001; d) 09-14/junho/2002; e) 08-13/julho/2007; f) 01-06/maio/2008. Com a finalidade de comparar os volumes de chuva de cada evento e a distribuição temporal da precipitação, foram analisados os seis dias que antecederam o pico da cheia. Foram geradas superfícies de chuva diárias (mapas de precipitação) para cada um destes eventos na bacia hidrográfica, através da interpolação dos valores de chuva de cada estação pluviométrica, no software ArcGIS.

A interpolação foi realizada através do método do Inverso do Quadrado da Distância, o qual permite, segundo Braz et al. (2007), através de um polinômio de 2º grau, a conversão de dados pontuais em uma superfície contínua de observação, estimando valores intermediários com base na distância dos pontos amostrais e no raio de alcance (neste caso, de 20 pontos).

A partir da geração de superfícies de chuva, foi possível extrair variáveis para a caracterização das chuvas em cada evento, através de estatísticas diárias de média pluviométrica (para comparar o volume de chuva entre os eventos) e desvio padrão (para comparar a distribuição temporal das chuvas em cada evento). Essas variáveis foram extraídas tomando como referência três áreas de abrangência: a) bacia hidrográfica do rio dos Sinos; b) regiões delimitadas no interior da bacia; c) área de contribuição da estação de Campo Bom.

A análise dos dados compreendeu a caracterização das chuvas e sua influência nos valores de vazão e cota do rio (resposta hidrológica). Essa caracterização engloba o volume e os padrões de distribuição temporal e espacial das chuvas (concentrado ou distribuído). Foram gerados gráficos e tabelas de precipitação por cota e vazão, com as estatísticas extraídas, que possibilitaram uma melhor visualização do comportamento diário das chuvas durante cada um dos eventos estudados.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1 Análise da Distribuição Espacial das Chuvas nos Eventos

A Figura 2 apresenta a espacialização das chuvas, na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, nas datas correspondentes as ocorrências de cheia observadas em Campo Bom. Os mapas pluviométricos foram padronizados com a mesma palheta de cor, possibilitando a comparação dos volumes precipitados em cada evento.

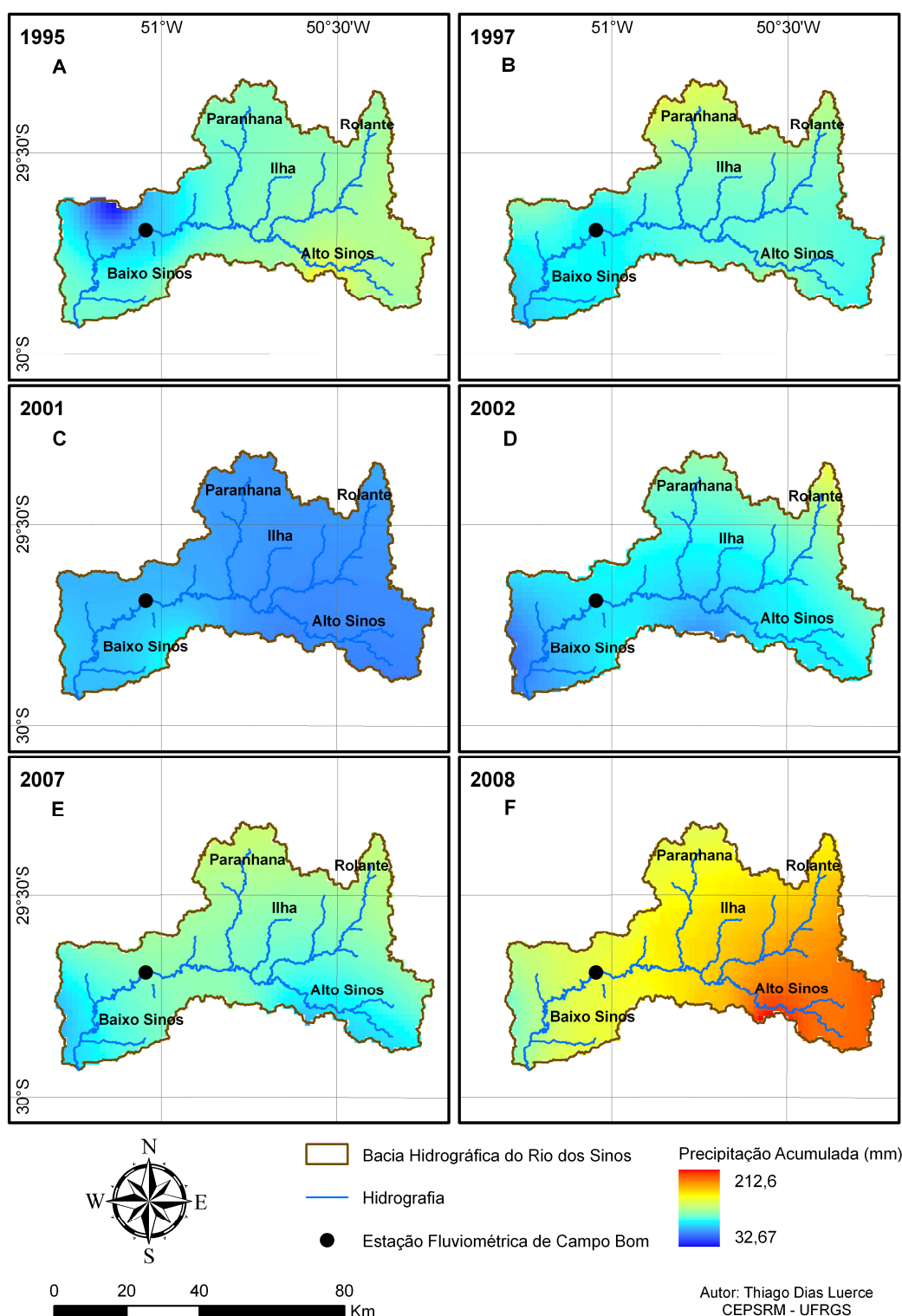


Figura 2. Espacialização das chuvas nos eventos seleccionados bacia do rio dos Sinos/RS

A figura 2A representa o evento ocorrido no período de 17 a 22 de julho de 1995, quando a cota máxima registrada na estação fluviométrica de Campo Bom foi de 7,00 m, no dia 22 de julho. A precipitação acumulada média na bacia foi de 107,01 mm, e a precipitação média à montante de Campo Bom correspondeu a 111,72 mm. As regiões da bacia que apresentaram maiores médias de precipitação foram: a região do Alto Sinos (123,57 mm) e Rolante (116,70 mm).

No segundo evento estudado (figura 2B) ocorrido em 1997, foram registradas as chuvas correspondentes ao período de 01 a 06 de agosto. A cota máxima registrada no evento foi de 7,01 m. A precipitação média na bacia foi de 105,25 mm, enquanto a precipitação média registrada a montante de Campo Bom correspondeu aos 108,19 mm. As maiores médias de precipitação ocorreram nas regiões do Paranhana (122,60 mm), Ilha (112,06 mm) e Rolante (109,45 mm).

Na figura 2C, correspondente ao evento de cheia ocorrido em 2001, registrou-se as informações do dia 18 a 23 de julho. A cota máxima atingida foi de 7,12 m no dia 23 de julho em Campo Bom. A precipitação média na bacia foi de 70,56 mm, enquanto a precipitação média a montante de Campo Bom foi de 70,17 mm. Esta particularidade deste evento é explicada pelo alto índice pluviométrico registrado no último dia analisado na região do Baixo Sinos, que foi determinante para que as maiores médias de chuva se encontrem nas regiões do Baixo Sinos (78,76 mm) e Médio Sinos (75,05 mm). Outro fator a ser considerado neste evento é a homogeneidade espacial das chuvas ocorridas nestas datas, caracterizando este evento como o mais bem distribuído espacialmente entre as séries históricas analisadas.

Em 2002 (figura 2D), foram registradas as informações correspondentes ao período de 09 a 14 de junho. A cota máxima atingida foi de 7,10 m em Campo Bom. Neste evento, a precipitação média na bacia foi de 92,46 mm, enquanto a precipitação média registrada a montante de Campo Bom correspondeu aos 87,59 mm. Evidenciando, também, uma maior média de precipitação na totalidade da bacia hidrográfica do que na porção a montante de Campo Bom, fato este que pode ser compreendido pela ocorrência de uma chuva mais intensa no 2º dia do evento, dia em que a precipitação concentrou-se na região do Baixo Sinos. Apesar disto, as maiores médias de precipitação ocorreram nas regiões do Rolante (103,49 mm), Paranhana (101,75 mm) e Ilha (95,82 mm).

Na cheia estudada em 2007, a cota máxima apresentada foi de 7,16 m no dia 13 de julho em Campo Bom. Foram registradas as informações correspondentes ao período de 08 a 13 de julho. A precipitação média na bacia foi de 107,59 mm, enquanto a precipitação média a montante de Campo Bom foi de 109,77 mm. Como mostra a figura 2E, as áreas mais atingidas pelas chuvas foram a região do Paranhana (120,59 mm), Ilha (112,21 mm) e Rolante (111,90 mm).

A maior cota, aqui estudada, ocorreu no dia 06 de maio de 2008, quando o rio atingiu 7,38 m em Campo Bom. Foram registradas as informações correspondentes ao período de 01 a 06 de maio, com relação à distribuição espacial das chuvas, comportamento da cota e de vazão. Neste evento, a precipitação média na bacia foi de 159,49 mm, enquanto a precipitação média registrada a montante de Campo Bom correspondeu aos 166,50 mm. Na figura 2F observam-se as maiores médias de precipitação nas regiões do Alto Sinos (192 mm), Rolante (173,26 mm) e Ilha (161,83 mm).

Após esta verificação da distribuição espacial das chuvas nos seis eventos de cheia distintos, pode-se identificar uma maior frequência de precipitação concentrada nas regiões do rio Paranhana, rio Rolante e alto rio dos Sinos. Essas áreas de contribuição constantemente apresentam altos índices pluviométricos em datas precedentes a grandes cotas registradas na estação fluviométrica de Campo Bom.

### 3.2 Análise dos Padrões de Distribuição Temporal das Chuvas nos Eventos

Nesta etapa foram observados dois diferentes padrões de distribuição espacial das chuvas, os quais influenciam de diferentes maneiras a dinâmica fluvial com relação à cota e à vazão: a) Padrão de distribuição temporal das chuvas caracterizado como distribuído, no qual as chuvas mantêm uma regularidade da média pluviométrica ao longo da série analisada, permitindo um aumento gradual e não abrupto da vazão do rio; b) Padrão de distribuição temporal das chuvas caracterizado como concentrado, onde a influência da precipitação na dinâmica fluvial ocorre sob a influência maior de algum dos dias do evento estudado, no qual houve grande intensidade pluviométrica. Nos eventos identificados com este padrão de precipitação observou-se um aumento abrupto da vazão do rio após o pico de chuva.

A Tabela 1 ilustra os padrões de distribuição temporal das chuvas, verificados através da análise das médias diárias de precipitação na bacia hidrográfica, relacionadas com a cota e a vazão registradas na estação fluviométrica de Campo Bom. Para esta classificação também se utilizou o desvio padrão com relação aos valores de chuva coletados em cada série analisada.

**Tabela 1. Valores de precipitação média (mm) da bacia hidrográfica do rio dos Sinos, e de vazão (m<sup>3</sup>/s) e de cota (cm) registrados na estação fluviométrica de Campo Bom**

	1° dia	2° dia	3° dia	4° dia	5° dia	6° dia (pico)	Precipitação Média Diária	Padrão de Chuva – Desvio Padrão
<b>1995</b>								
<b>Chuva</b>	36,40	20,65	15,25	31,45	7,85	0,15	18,63	Distribuído s = 13,81
<b>Vazão</b>	103	191	240	328	461	530		
<b>Cota</b>	446	568	603	649	687	700		
<b>1997</b>								
<b>Chuva</b>	20,50	18,25	30,10	38,85	0,35	0,10	18,03	Distribuído s = 15,62
<b>Vazão</b>	92,20	127	196	307	430	536		
<b>Cota</b>	418	499	572	641	681	701		
<b>2001</b>								
<b>Chuva</b>	13,15	19,70	3,15	20,55	0,03	11,85	11,41	Distribuído s = 11,41
<b>Vazão</b>	112	139	198	328	525	589		
<b>Cota</b>	468	514	575	649	699	710		
<b>2002</b>								
<b>Chuva</b>	13,76	32,6	10,40	20,10	6,09	11,90	15,81	Distribuído s = 9,42
<b>Vazão</b>	-----	318	412	554	589	542		
<b>Cota</b>	597	623	645	676	704	710		
<b>2007</b>								
<b>Chuva</b>	41,14	18,40	40,95	6,85	0,35	3,05	18,46	Concentrado s = 18,55
<b>Vazão</b>	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
<b>Cota</b>	387	509	599	650	695	714		
<b>2008</b>								
<b>Chuva</b>	0,13	21,35	76	40,30	17,30	10,73	27,64	Concentrado s = 27,16
<b>Vazão</b>	53,50	52,60	109	212	330	785		
<b>Cota</b>	286	283	459	588	650	738		

O padrão de distribuição temporal das chuvas na cheia de 1995 caracterizou-se como bem distribuído, apresentando uma regularidade de chuvas ao longo do período analisado o que permite um aumento gradual da vazão. A cota inicial baixa (abaixo de 450 cm) possibilitou que, mesmo com uma maior média pluviométrica, a cota máxima atingida em Campo Bom no dia 22 de julho de 1995 estivesse abaixo da cota atingida nos eventos de 2001 e 2002 onde a média de precipitação foi menor.

Em 1997, as chuvas foram bem distribuídas temporalmente, com precipitação acima da média diária nos quatro primeiros dias do evento. Isso garantiu um aumento regular e gradual da cota do rio dos Sinos. A cota inicial deste evento, assim como o de 1995, foi baixa (416cm) influenciando, de maneira muito semelhante ao anterior, no fato de a cheia de 06 de agosto de 1997 ter magnitude inferior as de 2001 e 2002.

Na cheia de 2001 o padrão de distribuição temporal das chuvas caracterizou-se como distribuído, proporcionando um aumento gradual e não abrupto da vazão registrada em Campo Bom. A cota inicial do evento foi de 468 cm, fator importante para explicar a cota de 710 cm registrada na estação de Campo Bom no último dia do evento. Isso por que, apesar do nível pluviométrico ter sido o menor registrado, entre os seis eventos analisados, a cota correspondente a esta cheia não foi a menor ocorrida.

No ano de 2002 observa-se um padrão temporalmente distribuído das chuvas, com um comportamento regular das chuvas durante os dias deste evento. Apesar de uma maior intensidade de chuva no 2º dia do evento, esta não foi suficiente para afetar a elevação gradual da vazão do rio. Devido à baixa média diária de precipitação, a cota inicial deste evento, 597 cm, possui grande importância na cota final registrada de 710 cm.

O primeiro padrão de distribuição temporal de precipitação realmente concentrado observado neste estudo ocorreu no ano de 2007, no qual se pode perceber uma grande intensidade de chuva no 1º e 3º dia do evento, quando a média de chuva registrada esteve acima de 40 mm, enquanto que nos demais dias do evento esta média se manteve abaixo dos 19 mm. É possível observar o aumento abrupto da cota já no segundo dia do evento, passando de 387 cm para 509 cm devido à intensidade de chuva ocorrida no primeiro dia do evento. Pode-se perceber, também, o alto desvio padrão apresentado com relação aos valores de chuva coletados, caracterizando uma maior variação da chuva ao longo do tempo, aumentando o pico do evento (714 cm).

A maior média diária de precipitação (27,64 mm) foi observada no evento ocorrido em 2008. O padrão de distribuição temporal das chuvas caracterizou-se como concentrado, apresentando grande intensidade de chuva no 3º dia do evento (76 mm), enquanto que nos demais dias o nível pluviométrico se manteve abaixo de 41 mm. Este padrão de chuva influenciou no aumento abrupto da vazão do rio, ocasionando um aumento da cota e a inundação na cidade de Campo bom. Durante este evento a cota inicial verificada foi baixa, menor que 300 cm, demonstrando a grande influência da concentração das chuvas no 3º dia do evento na cota registrada no 6º dia na estação fluviométrica de Campo Bom.

#### **4. Conclusões**

Como mencionado no primeiro item deste estudo, a maioria dos modelos hidrológicos não utiliza dados de chuva distribuídos espacialmente para a previsão da vazão nos rios. Porém, com a espacialização das chuvas (interpolação), verificou-se que a vazão no rio dos Sinos pode ser influenciada pela concentração das chuvas em determinadas regiões da bacia, o que poderia comprometer os resultados de modelos hidrológicos com chuva concentrada (sem interpolação espacial da precipitação).

Após a espacialização das maiores médias pluviométricas ocorridas na bacia hidrográfica durante os eventos de chuvas e cheias analisados, foi possível determinar um padrão da dinâmica hidrológica na bacia do rio dos Sinos com relação às regiões que mais contribuem

nas cheias registradas na estação fluviométrica de Campo Bom. A identificação deste comportamento hidrológico da bacia permite a previsão de inundações a partir do monitoramento das chuvas concentradas à montante da cidade, principalmente nas áreas de contribuição dos rios Paranhana e Rolante (mais influentes).

A análise e identificação de dois diferentes padrões distribuição temporal das chuvas permitiram verificar que a dinâmica fluvial comporta-se de diferentes maneiras perante os padrões de distribuição temporal das chuvas observados, sofrendo maior influência do padrão concentrado nas cheias registradas na estação fluviométrica de Campo Bom. Desta maneira, para um planejamento urbano, chama-se a atenção para o monitoramento destes padrões de distribuição temporal de precipitação e para o fato de que as chuvas ocorridas com maior intensidade demoram, aproximadamente, três dias para desaguar e afetarem a cota registrada em Campo Bom. Além desta contestação, pode-se avaliar a importância da cota inicial nas cheias registradas nos eventos em que o padrão de precipitação caracterizou-se como distribuído.

## Referências

Braz R. L.; Ribeiro C. A. D.; Ferreira, D. S.; Cecílio R. A. **Uso de Séries Históricas e Técnicas de SIG no Estudo da Distribuição Temporal e Espacial da Pluviosidade na Bacia Barra Seca Localizada ao Norte do Estado do Espírito Santo.** 2007. Disponível em <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2007/trabalhos/exatas/inic/INICG00377\\_02O.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2007/trabalhos/exatas/inic/INICG00377_02O.pdf)> Acesso em 17.nov.2010.

COMITESINOS – Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, 2009. Disponível em: <[http://www.comitesinos.com.br/site/index.php?option=com\\_content&task=view&id=13&Itemid=27](http://www.comitesinos.com.br/site/index.php?option=com_content&task=view&id=13&Itemid=27)>. Acesso em: 22/09/2010.

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.

Oliveira, G. G.; Saldanha, D. L.; Guasselli, L. A. **Espacialização e Análise das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Caí/RS.** São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 29, n. 3, p. 413-427, 2010.

Tucci, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação.** 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

Tucci, C. E. M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: princípios e concepção.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 2, n. 2, Jul/Dez, 1997, pp. 5-12.