

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

USO DA CIÊNCIA CIDADÃ PARA IDENTIFICAÇÃO DE PRECIPITAÇÕES POTENCIALMENTE CAUSADORAS DE INUNDAÇÕES: ESTUDO DE CASO NA BACIA DO ALTO PARANAPANEMA

Gabriela Gonçalves Cilto¹; Pedro Ramos Galvão¹; Anai Floriano Vasconcelos¹; Maria Clara Fava²; Frederico Carlos Martins de Menezes Filho²; Hélio Rodrigues Bassanelli³; Jaqueline Carolino Santos³ & Javier Tomasella⁴

Abstract: Campina do Monte Alegre-SP is a city located in the southeast of Brazil and constantly suffers from flooding events, a common situation throughout the country. Despite that, there is a deficit of systematized data for risk management, which potentializes the damage caused by hydrological disasters. Aiming to contribute to the availability of data on the region, this study surveyed the local community to collect their reports about past events to identify which rainfall events caused fluvial floods. By relating the population's reports with the representative average precipitation volumes for the contribution basin, important data for managing flood risks were obtained. Furthermore, by comparing this information, it was possible to validate the data collected by the interviews, which can be a precious source of knowledge about hydrological events in places lacking data availability, a common situation at flood risk areas in the country.

Resumo: Assim como grande parte do Brasil, o município de Campina do Monte Alegre-SP sofre constantemente com eventos de inundações. Apesar da frequência, há um déficit de dados sistematizados para o gerenciamento de riscos, o que potencializa os danos causados por desastres hidrológicos. Com o objetivo de contribuir para a disponibilização de dados sobre a região, este estudo realizou um levantamento de dados através da ciência cidadã, que permitiu, a partir dos relatos da população local, identificar as chuvas capazes de causar inundações. Ao relacionar os relatos da população com os volumes precipitados médios representativos para a bacia de contribuição, foi possível obter dados importantes para o gerenciamento de riscos de inundações na bacia. Ademais, ao compará-los, foi possível verificar a validade das informações obtidas por meio das entrevistas, o que pode ser uma fonte preciosa de conhecimento sobre eventos hidrológicos em locais com dados escassos, como é o caso em grande parte das áreas sob risco de inundações no país.

¹ Universidade Federal de São Carlos, Rodovia Lauri Simões de Barros, km 12, SP-189, Bairro Aracaçu, Buri/SP, gabrielacilto@estudante.ufscar.br, pedrorog@estudante.ufscar.br, anai.vasconcelos@ufscar.br

² Universidade Federal de Viçosa, Rodovia BR 230, km 7, Rio Paranaíba /MG, maria.fava@ufv.br, frederico.menezes@ufv.br

³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Avenida Engenheiro Francisco José Longo, 777, São José dos Campos/SP, helio.bassanelli@unesp.br, jaqueline.carolino@unesp.br

⁴ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Rodovia Presidente Dutra, km 39, Cachoeira Paulista/SP, javier.tomasella@inpe.br

Palavras Chave - Ciência Cidadã; Histórico de Inundações; Extremos Hidrológicos.

1. INTRODUÇÃO

O ciclo hidrológico compreende a movimentação da água nas camadas próximas à superfície do planeta, passando por diversas mudanças de estados físicos (Feitosa *et al.*, 2008). Com o desenvolvimento da sociedade e o crescimento populacional, as atividades antrópicas foram se intensificando, alterando significativamente o ciclo hidrológico. O aumento do desmatamento interfere na evapotranspiração e também na percolação e escoamento do solo, deixando-o mais exposto e vulnerável à erosão.

Devido à crescente urbanização e expansão de atividades agropecuárias e industriais, o uso e ocupação do solo também foram alterados, passando-se a ocupar terrenos próximos à margem dos rios, modificando a dinâmica de proteção e manutenção de sua morfologia, evidenciando processos como erosão e assoreamento (Canholi, 2015). As planícies de inundação ou várzeas de inundação constituem parte da área do rio, sendo ocupadas sazonalmente pelo seu leito, em períodos de cheias extremas. A ocupação dessa área faz com que ela se torne perigosa, podendo resultar em desastres hidrológicos (Tucci, 2001).

As alterações climáticas também são consequência de ações antrópicas, que são cada vez mais intensificadas, alterando a dinâmica do ciclo hidrológico e ocasionando eventos extremos, como secas e inundações (Debortoli *et al.*, 2017). O processo de inundação está relacionado ao extravasamento do rio, passando a ocupar sua planície de inundação, afetando as ocupações próximas à margem e a população ribeirinha local. Este é o caso dos eventos registrados no município de Campina do Monte Alegre - SP, em que as chuvas extremas causam inundações que atingem diversas residências e áreas agricultáveis. Apesar da constância destes acontecimentos, tal área não possui dados sistematizados, como medição de nível e vazão do rio, os quais são necessários para o desenvolvimento de estudos hidrológicos. Esta situação é comum em várias regiões do Brasil.

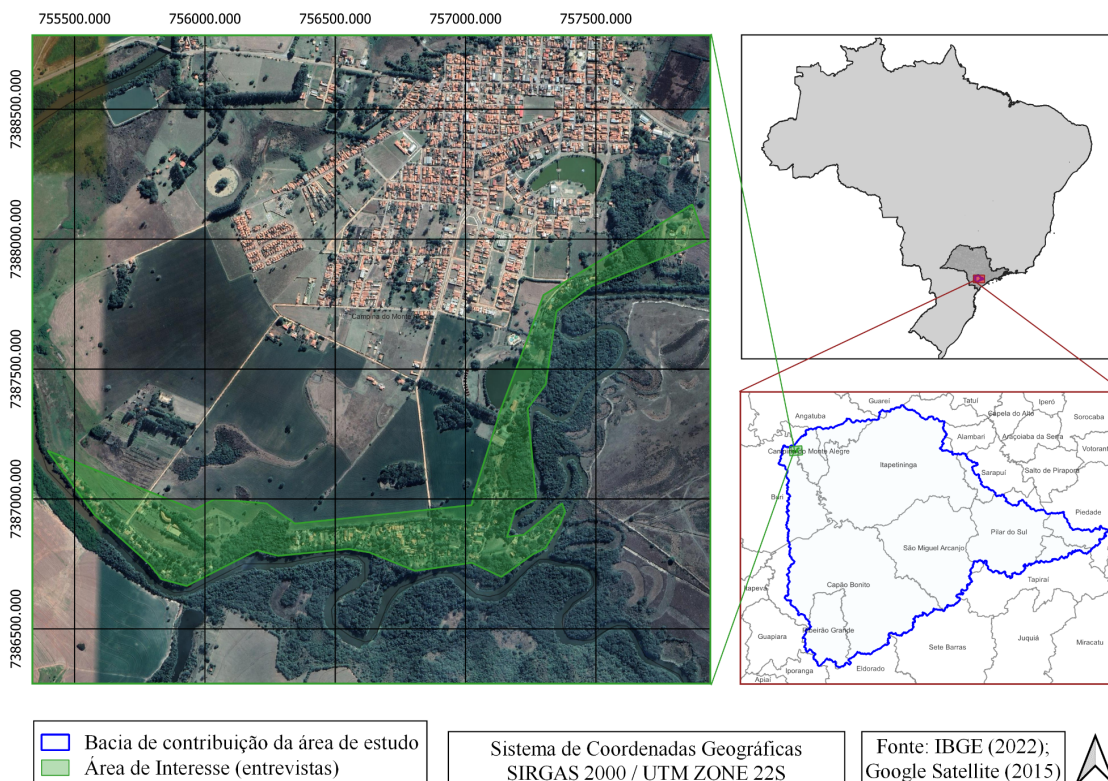
Com vistas a colaborar com a geração de dados para os estudos hidrológicos em locais com dados escassos, este estudo avaliou a representatividade dos relatos da população atingida por inundações na bacia do Alto Paranapanema, no município de Campina do Monte Alegre - SP, para identificação dos eventos de precipitação mais impactantes em termos de geração de inundações.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

O município de Campina do Monte Alegre está localizado na região sudoeste do Estado de São Paulo, integrando a Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. A área de interesse deste estudo fica próxima ao perímetro urbano do município, junto à confluência dos rios Paranapanema e Itapetininga, importantes rios da bacia. A área apresentada na Figura 1 corresponde às construções atingidas pelas inundações, onde reside a população consultada nesta pesquisa.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo e região onde foram realizadas as entrevistas.



2.2. Levantamento de dados através de ciência cidadã

O levantamento de dados foi realizado por meio de entrevistas com um questionário semi-estruturado aplicado a população residente ou frequentadora da área apresentada na Figura 1. O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos, através do Centro de Ciências da Natureza (CCN) - UFSCar, realizado pela Plataforma Brasil (processo nº 61253522.3.0000.5504). As entrevistas visaram obter informações sobre as inundações ocorridas na região, compreendendo datas, alturas da água e como a população lida com estes eventos. Os resultados encontrados foram analisados, possibilitando a identificação das datas e a magnitude das inundações relatadas.

2.3. Análise de dados pluviométricos

A partir dos dados disponibilizados através do Portal HidroWeb, operado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que fornece dados coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), foi realizada uma análise nas estações hidrometeorológicas da área de interesse. Primeiramente foram identificadas as estações existentes na área de contribuição analisada neste estudo. Posteriormente, avaliou-se a disponibilidade de dados para o período compreendido nos relatos dos entrevistados. A partir disso, foi possível analisar os dados pluviométricos e identificar as precipitações que causaram as inundações relatadas. Para tanto, as

chuvas diárias disponibilizadas no registro histórico foram agregadas em períodos de 5 e 7 dias, devido ao tempo de concentração da bacia de contribuição (cerca de 36 horas) e conhecimento sobre a dinâmica hidrológica das inundações locais.

2.4. Determinação da chuva representativa da bacia

O método de Thiessen (1911) é utilizado para a determinação da precipitação média em uma bacia para um determinado evento de precipitação. Ele considera a área de influência de diversas estações localizadas na área de interesse e possibilita o cálculo da precipitação média ponderada por meio da Equação 1. O referido método foi adotado devido à baixa variabilidade altimétrica da região de estudo.

$$Pm = \frac{\sum An \cdot Pn...}{N} \quad (1)$$

Onde:

Pm = Precipitação média da bacia

An = Área de influência da estação pluviométrica

Pn = Precipitação registrada na estação pluviométrica

N = Área total da bacia de contribuição do ponto de interesse

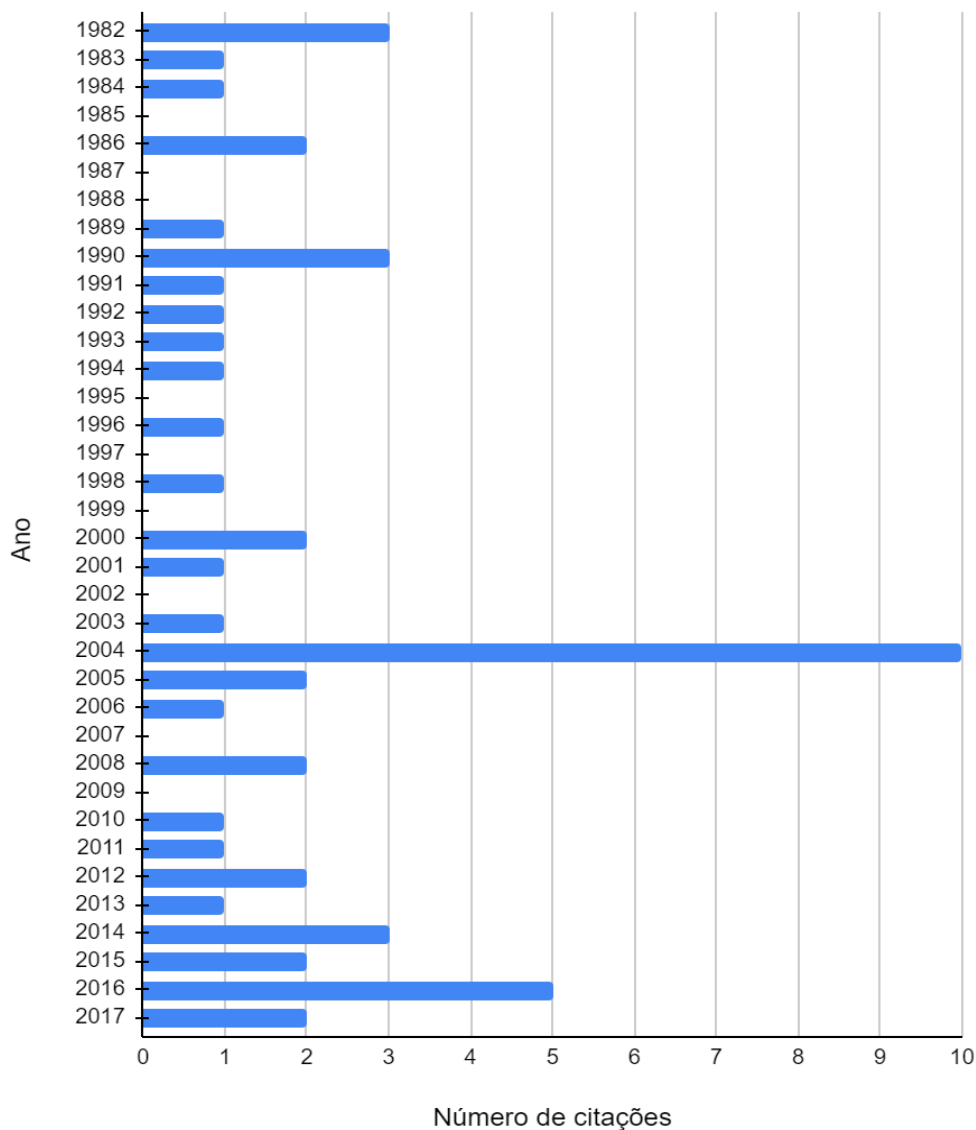
A determinação dos Polígonos de Thiessen foi realizada através do *software* QGis, por meio do complemento Polígonos de Voronoi, que traça automaticamente um polígono com seus vértices em cada estação pluviométrica, determinando um ponto médio em cada diagonal. Dessa forma, é traçada uma reta perpendicular em cada ponto médio, prolongando-as até seu ponto de intersecção, formando as áreas de influência de cada estação pluviométrica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Levantamento de dados através da ciência cidadã

O levantamento foi realizado através do retrospecto histórico das inundações por meio de entrevistas aplicadas à população local, que possui aproximadamente 100 imóveis na área de estudo. Ao final do levantamento, foram realizadas apenas 32 entrevistas, visto que alguns ocupantes das casas não são residentes fixos, não estavam presentes no momento de aplicação do questionário ou se recusaram a participar. Foram coletadas informações sobre as lembranças de inundações e as datas desses eventos, o que permitiu delimitar um intervalo de análise de dados das precipitações, sendo contabilizadas as citações de acordo com o ano da ocorrência, como mostra a Figura 2. Observa-se que os maiores números de citações correspondem aos anos de 2004 e 2016, com dez e cinco citações, respectivamente. As inundações dos anos de 1982, 1990 e 2014 obtiveram a mesma quantidade de citações (três). Os outros anos tiveram menos citações ou não foram citados, de onde se conclui que não ocorreram inundações muito marcantes nestes períodos.

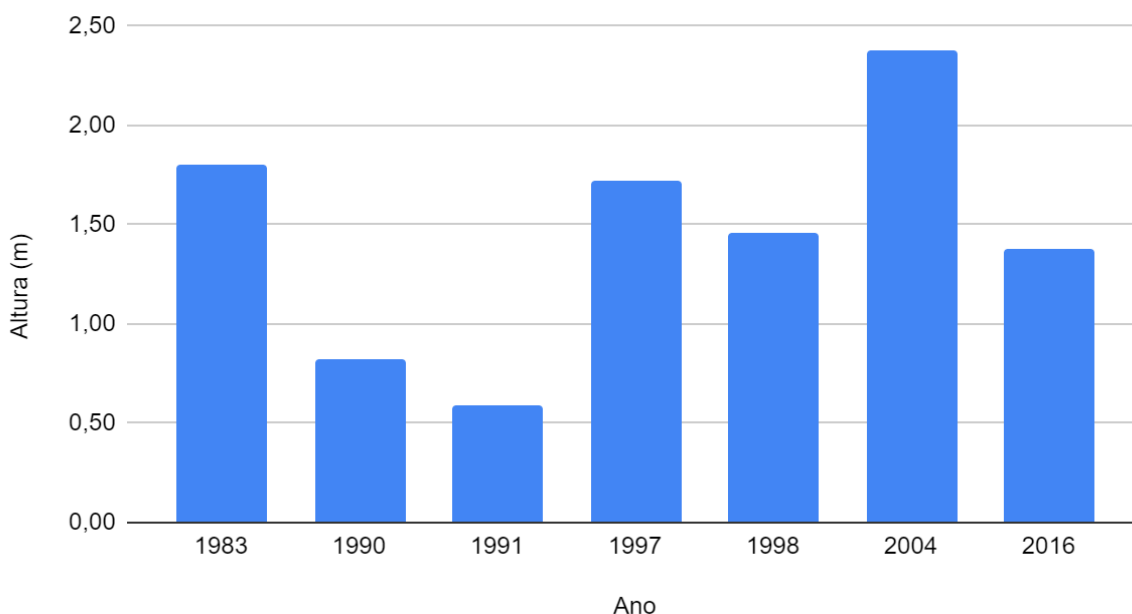
Figura 2 - Citações de ocorrência de inundações por ano



Devemos considerar, ainda, a possível falha de memória da população que resulta na existência de incertezas e aproximações de datas, e conseqüentemente gera dados dispersos como citações em anos próximos à eventos de inundações ou relatos em anos que não ocorreram precipitações extremas. Como exemplo, cita-se o ano de 1983 que possui registro nas séries históricas de um evento extremo da região, porém menos citado que o evento decorrente da chuva de 1982.

Dentre as formas que a população local lida com esses eventos hidrológicos, está a marcação da altura da água em postes de energia juntamente com as datas dos acontecimentos. Essa prática permite a criação de um histórico hidrológico desenvolvido pela ciência cidadã. As alturas da água marcadas nos postes, a partir do nível do solo, são apresentadas na Figura 3. É possível notar que os níveis de água mais elevados ocorreram de forma decrescente nos anos de 2004, 1983 e 1997.

Figura 3 - Marcação do nível d'água por ano

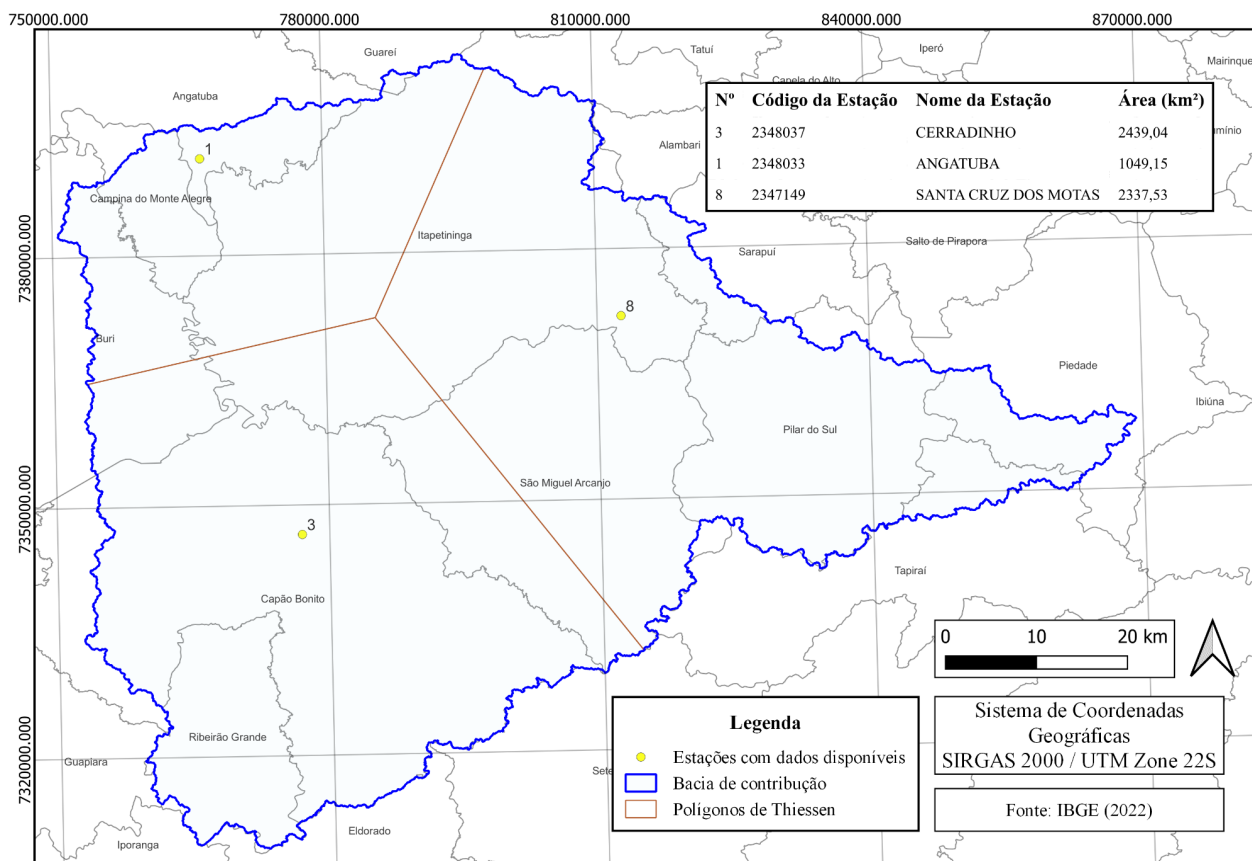


Através da relação entre a Figura 2 e a Figura 3, é possível verificar que as inundações mais citadas estão entre as maiores marcações, exceto para o ano de 2016 que teve um alto número de citações, mas não está entre os maiores níveis de água. Isto pode se dar devido à proximidade temporal da ocorrência desta inundação, que apesar de menor do que as outras, também foi bastante significativa e, portanto, marcou a memória da população. Além disso, por se tratar de um longo período, é possível que as pessoas que vivenciaram as primeiras inundações relatadas já não vivam mais na área onde foram realizadas as entrevistas e, portanto, tais relatos não foram registrados por esta pesquisa.

3.2. Análise dos dados pluviométricos

A partir do intervalo temporal de relatos de inundações obtido no levantamento de dados pela ciência cidadã e das marcações dos níveis de água nos postes, foi possível analisar as séries históricas disponibilizadas no Portal HidroWeb. Balizado pela disponibilidade de dados sem falhas durante o intervalo de interesse, foram utilizados os dados pluviométricos apenas das estações Angatuba, Cerradinho e Santa Cruz dos Motas, identificadas pelos códigos 2348033, 2348037 e 2347149, respectivamente. A localização das estações e suas respectivas áreas de influência, obtidas pelo Método de Thiessen, são apresentadas na Figura 4. As áreas de influência das estações foram de $1.049,15 \text{ km}^2$, $2.439,04 \text{ km}^2$ e $2.337,53 \text{ km}^2$ para os postos 1, 3 e 8, respectivamente.

Figura 4 - Estações pluviométricas e suas áreas de influência determinadas através do Método de Thiessen.



Os dados coletados foram dispostos em planilhas e foram calculadas as chuvas acumuladas de 5 e 7 dias durante o período de observação definido no levantamento de dados, correspondente aos anos de 1982 a 2016. Assim, foi possível identificar as chuvas com maior potencial de causar inundações nos anos com relatos de ocorrência e que, portanto, devem ter causado as referidas cheias. A partir disso, determinou-se as datas de início e fim de cada precipitação de interesse, o total acumulado de chuva para cada uma das estações e a precipitação média para a área da bacia, calculada por meio da Equação 1. A Tabela 1 apresenta estes resultados.

Com base nas informações apresentadas na Tabela 1 é possível notar que a lâmina total precipitada registrada em cada estação difere bastante em um mesmo evento. Em alguns eventos, a distribuição espacial da chuva é mais uniforme, como é o caso dos anos de 1983, 1989 e 1997. Entretanto, em outros eventos, como os dos anos 1998, 2004 e 2016, o volume de chuva registrado em cada estação pluviométrica variou bastante. Isto também implica que os maiores valores de precipitação total para cada estação não sejam necessariamente do mesmo evento. Por exemplo, nas estações 1 e 3, o maior acúmulo registrado foi durante o ano de 1983, com 370,4 mm e 330,4 mm, respectivamente. Já na estação 8, a maior precipitação acumulada ocorreu durante o ano de 2004,

com 433,7 mm. Esta análise reforça a importância do uso de uma chuva média representativa para a bacia para comparar os eventos de precipitação que causam inundações na área de estudo.

Tabela 1 - Dados das precipitações causadoras das inundações relatadas.

Ano	Data de início	Data de fim	Precipitação acumulada por estação (mm)			Precipitação acumulada média (mm)
			1	3	8	
1983	03/06	12/06	370,4	330,4	381,6	358,2
1989	25/07	31/07	209,4	240,3	232,8	231,7
1990	12/02	15/02	98,6	93,1	136,3	111,4
1991	07/12	28/12	297,8	204,7	189,8	215,5
1997	20/01	29/01	288,6	265,8	273,6	273,0
1998	21/02	03/03	189,5	307,4	281,1	275,6
2004	22/01	29/01	126,7	296,9	433,7	321,1
2016	09/01	14/01	109,3	209,0	217,0	194,3

Com relação à representatividade dos dados levantados pelas entrevistas para a identificação das chuvas que causaram as inundações nas bases de dados e sem outras fontes de informação, foi possível observar que, apesar da divergência de datas nos relatos das inundações, discutida com base na Figura 2, estes dados foram úteis para orientar quais chuvas têm potencial para causar inundações na bacia, descartando chuvas que parecem de grande magnitude, mas que ocorreram em anos que não possuíam nenhum relato de inundação. Ademais, a prática da marcação dos níveis de água das inundações nos postes se mostrou muito útil para refinar esta busca.

Ao se comparar a frequência de citações, o nível de água marcado nos postes e a precipitação média na bacia para cada inundação (Tabela 2), é possível observar que a chuva mais citada corresponde ao maior nível d'água marcado nos postes (evento de 2004), porém não a maior precipitação média da bacia (evento de 1983). Isto também evidencia que o número de citações está diretamente relacionado à data de ocorrência das inundações, sendo lembrados eventos mais recentes, mesmo que de menor magnitude. Existem ainda outros fatores que devem ser analisados, como, por exemplo, o uso e ocupação do solo, que alteram a quantidade de pessoas expostas às inundações ao longo do tempo. Além disso, se faz necessária a contextualização das datas destes eventos, como no ano de 1983, que ficou marcado por um episódio intenso do El Niño, fenômeno

de interação oceano-atmosfera que causa mudança nas temperaturas oceânicas, e, conseqüentemente, afeta o ciclo hidrológico. Esse episódio ficou conhecido como o maior El Nino da história resultando em chuvas intensas no sul do Brasil e regiões próximas, podendo ser considerado como um dos fatores que contribuíram para os eventos extremos citados (Kayano e Moura, 1986).

Tabela 2 - Compilação de dados obtidos por diferentes métodos para os eventos de inundação.

Ano	Nº de citações	Altura D'água (m)	Precipitação média da bacia (mm)
1983	1	1,80	358,15
1989	1	-	231,73
1990	3	0,82	111,42
1991	1	0,59	215,49
1997	0	1,72	273,04
1998	1	1,46	275,61
2004	10	2,38	321,14
2016	5	1,38	194,26

A Tabela 2 também possibilita avaliar que a altura d'água atingida pela inundação não está diretamente relacionada apenas ao volume médio precipitado na área de contribuição, visto que também depende de outras características como distribuição temporal e espacial da chuva e condições hidrológicas da bacia no momento do evento. Neste sentido, o evento de 1990, que possui uma precipitação média bastante inferior aos demais eventos relatados, se destaca. Nele, a lâmina média precipitada é bastante inferior às demais, o que levanta a suspeita de se foi este mesmo o evento de precipitação que causou a inundação. Nestes casos, é importante buscar outras fontes de informações, como reportagens da época ou fotos datadas para validar a data deste evento e certificar que, de fato, o evento identificado neste estudo foi o que causou a referida inundação. Em caso de confirmação, recomenda-se buscar entender o porquê de uma chuva de relativa pequena magnitude ter causado inundação. Estes achados devem compor as buscas de informações e referências para o planejamento da gestão de riscos de inundações.

4. CONCLUSÃO

A análise das séries históricas e o levantamento de dados pela ciência cidadã foram utilizados como metodologias complementares neste estudo para a obtenção de dados de eventos hidrológicos necessários para o gerenciamento de riscos de inundações. Com base nos resultados apresentados, conclui-se que os relatos obtidos através da ciência cidadã colaboraram com o levantamento de dados de chuvas que causaram inundações históricas e podem ser úteis em casos de ausência de registros mais precisos. Entretanto, observa-se a necessidade de levantamentos de dados adicionais em alguns casos e uma melhor compreensão da dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica,

características a serem usadas conjuntamente na seleção de eventos com potencial de causar inundações na bacia. Neste sentido, recomenda-se a realização destes estudos no futuro, para melhor compreensão da dinâmica hidrológica da bacia como um todo.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Iniciação Científica e Tecnológica concedida através do edital PROPQ 001/2022.

Ao projeto de pesquisa intitulado “Avaliação de ferramentas de modelagem hidrológica de diferentes complexidades para mapeamento de áreas de inundação de bacias rurais com dados escassos”, contemplado pelo Edital Universal 2021 CNPq/MCTI/FNDCT N. 18/2021.

6. REFERÊNCIAS

CANHOLI, A. P. (2015) *Drenagem Urbana e Controle de Enchentes* OFICINA DE TEXTOS São Paulo - SP, 384 p.

DEBORTOLI, N. S.; CAMARINHA, P. I. M.; MARENGO, J. A.; RODRIGUES, R. R. (2017). “*An index of Brazil’s vulnerability to expected increases in natural flash flooding and landslide disasters in the context of climate change*”. *Natural Hazards*, 86, pp. 557-582.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (2008). *HIDROGEOLOGIA - Conceitos e Aplicações*. CPRM : LABHID Rio de Janeiro-RJ, 812 p.

Google Satellite - QGis. Campina do Monte Alegre, São Paulo. 2022. 1 imagem de satélite. Satélite Projeção UTM. Datum: 22S.

IBGE (2022). São Paulo: região sudeste do Brasil. Malha Municipal, Esri Shapefile -SHP. Escala 1:250.000. Projeção UTM. Datum: 22S Córrego Alegre, MG.

KAYANO, M. T.; MOURA, A. D. (1986) “*O El Nino de 1982-83 e a precipitação sobre a América do Sul*”. *Revista Brasileira de Geofísica - RBGf*, pp. 201- 214.

THIESSEN, A. H. (1911). “*Precipitation averages for large areas*”. *Monthly Weather Review*, v. 39, n.7, p. 1082-1089.

TUCCI, C. E. M. (2001). *HIDROLOGIA: Ciência e aplicação* UFRGS/ABRH Porto Alegre - RS, 943 p.