

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA INTERPOLAÇÃO ESPACIAL DA PRECIPITAÇÃO EM UM MODELO HIDROLÓGICO

Alan de G. Barbosa¹; Daniela S. de Araujo²; Pablo L. de P. Novais³; Deyvid W. B. Rosa⁴ &

Priscilla M. Moura⁵

Abstract: The increasing urbanization in recent decades has intensified problems related to flooding in urban areas, especially in densely populated regions with rugged topography. Predicting these events requires accurate representation of the spatial distribution of precipitation, a challenging task given the limitations of conventional rain gauge networks. In this context, the present study evaluates the performance of two spatial interpolation methods for precipitation – Thiessen Polygons and Inverse Distance Weighting (IDW) – applied to a hydrological model of the Ribeirão Arrudas basin in Belo Horizonte. Fourteen rainfall events between 2011 and 2020 that triggered flood alerts were selected. The modeling was conducted in SWMM. The simulations were evaluated based on metrics such as ME, MAE, RMSE, PBIAS, NSE, and KGE. The results did not indicate a clearly superior interpolation method, varying with each event. The increasing urbanization in recent decades has intensified the observation that the IDW method tends to smooth precipitation peaks, which can impact the hydrological response of the basin. It is concluded that the choice of interpolation method should consider the characteristics of the available monitoring, the topography of the area, and the objectives of the modeling, with a recommendation for the analysis of geostatistical approaches and adjustments to the IDW parameters to improve the representation of precipitation.

Resumo: A crescente urbanização nas últimas décadas intensificou os problemas relacionados às inundações em áreas urbanas, especialmente em regiões densamente ocupadas e com topografia acidentada. A previsão desses eventos requer a representação precisa da distribuição espacial da precipitação, tarefa desafiadora diante da limitação das redes pluviométricas convencionais. Neste contexto, o presente estudo avalia o desempenho de dois métodos de interpolação espacial da precipitação – Polígonos de Thiessen e Inverso da Distância Ponderada (IDW) – aplicados a um modelo hidrológico da bacia do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte. Foram selecionados 14 eventos de chuva entre 2011 e 2020, que geraram alertas de inundação. A modelagem foi realizada no SWMM. As simulações foram avaliadas com base em métricas como ME, MAE, RMSE, PBIAS, NSE e KGE. Os resultados não indicaram um método de interpolação claramente superior, variando conforme o evento. Observou-se que o método IDW tende a suavizar picos de precipitação, o que pode impactar a resposta hidrológica da bacia. Conclui-se que a escolha do método de interpolação deve considerar as características do monitoramento disponível, a topografia da área e os objetivos da modelagem, sendo recomendada a análise de abordagens geoestatísticas e ajustes nos parâmetros do IDW para aprimorar a representação da precipitação.

Palavras-Chave – IDW; Inundações urbanas; Polígonos de Thiessen; SWMM.

1) Pós-doutorando no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. alanbrb@ufmg.br

2) Graduada em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. daniseabra@ufmg.br

3) Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

pablonovais@ufmg.br

4 Pós-doutorando no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. dwbrosa@ufmg.br

5) Professora no Departamento de Hidráulica e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. pmmoura@ufmg.br

INTRODUÇÃO

O processo de urbanização acelerado observado no Brasil a partir da segunda metade do século XX intensificou significativamente os problemas relacionados às inundações urbanas. A impermeabilização do solo, a canalização de cursos d'água, a ocupação irregular de várzeas e a inadequação dos sistemas de drenagem urbana criaram condições propícias para o agravamento dos eventos de inundação em centros urbanos (Tucci, 2005). Dados do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) indicam que as inundações representam um dos tipos de desastres naturais mais frequentes no país, afetando milhões de pessoas anualmente.

Em regiões densamente ocupadas e com topografia acidentada, as inundações ocorrem de forma brusca, originadas por eventos de precipitação com durações de algumas dezenas de minutos a poucas horas. A previsão desses eventos é difícil, dada à sua gênese normalmente convectiva, sendo a predição de seus impactos carregada de fortes incertezas. A distribuição espacial das tormentas que incidem sobre uma bacia hidrográfica tem forte influência em sua resposta hidrológica (Moura, 2020; Mateo-Lazaro et al., 2014). Nesses casos a tomada de decisões a respeito de alertas de eventos extremos depende de uma assertividade do comportamento espacial e temporal da precipitação prevista.

Nesse contexto, a modelagem hidrológica como dado de entrada para o desenvolvimento de ensembles para simulação hidrodinâmica (chuva versus manchas de inundação) se torna ferramenta importante. Ela permite para que seja feita a correlação direta entre os dados de chuva e vazão, de modo que o mapeamento de inundações decorrentes de novas previsões hidrológicas seja diretamente determinado sem a necessidade de realização de modelagens em tempo real.

A modelagem hidrológica e hidráulica em bacias urbanas demanda informações detalhadas sobre as características físicas da bacia, incluindo topografia, uso e ocupação do solo, características dos sistemas de drenagem e propriedades hidráulicas dos cursos d'água. A qualidade e precisão dessas informações influenciam diretamente a confiabilidade dos resultados obtidos e, conseqüentemente, a efetividade das medidas de gestão implementadas. No caso de sistemas de previsão e alerta, há necessidade precisão em relação aos níveis d'água, tempo ao pico e assertividade dos locais aonde vazões superiores à capacidade da infraestrutura de macrodrenagem irão ocorrer.

O monitoramento da precipitação é a base para qualquer estudo hidrológico. Uma rede de pluviômetros, embora vital, raramente é densa o suficiente para capturar a verdadeira complexidade da distribuição da chuva em uma área. As medições em pontos isolados não conseguem, por si só, retratar essa variabilidade espacial. Essa lacuna entre dados pontuais e a necessidade de informações contínuas é onde a interpolação espacial se torna não apenas útil, mas essencial (Liu et al., 2021).

A interpolação espacial é, em sua essência, a arte e a ciência de preencher lacunas. Trata-se de estimar o valor de uma variável em um local onde não há medição direta, utilizando os valores conhecidos de pontos próximos (Tucci, 2005). A escolha do método de interpolação é uma decisão importante, pois diferentes abordagens fazem diferentes suposições sobre a natureza espacial da precipitação e podem levar a resultados variados (Liu et al., 2021).

A variabilidade da precipitação é influenciada por uma série de fatores, como a topografia – montanhas podem forçar o ar úmido a subir e resfriar, levando à condensação e à chuva orográfica – e a proximidade de corpos d'água. Ignorar essa variabilidade ou usar dados pontuais de forma inadequada pode levar a estimativas imprecisas, afetando diretamente a confiabilidade de previsões de inundações (Tucci, 2005).

Além das estações de superfície, o sensoriamento remoto, via satélites e radares meteorológicos, oferece uma visão mais abrangente da distribuição da precipitação. Essas tecnologias fornecem dados em grades, cobrindo vastas áreas e oferecendo maior resolução espacial e temporal em comparação com as estações terrestres isoladas. No entanto, os dados de sensoriamento remoto também possuem suas próprias incertezas e precisam ser validados com as medições de superfície. A combinação dessas fontes de dados, onde possível, é um caminho promissor para uma representação mais precisa da precipitação, mas a essência do problema – a necessidade de inferir a precipitação em locais não medidos – permanece.

Existem três métodos tradicionais para estimar a precipitação em determinada região: método da média aritmética, método de Thiessen e método das isoietas (Chow, Maidment e Mays, 1988). Todavia, com o avanço do Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o desenvolvimento das ferramentas de geoprocessamento vêm contribuindo para a implementação da geoestatística para modelagem de informações espaciais, possibilitando a transformação de dados discretos em contínuos através das técnicas de interpolação matemática de informações pontuais (Lucas *et al.*, 2013).

O método dos Polígonos de Thiessen, também conhecido como Diagrama de Voronoi, é uma abordagem geométrica para a interpolação. Para cada estação pluviométrica, define-se uma área que engloba todos os pontos no espaço que estão mais próximos daquela estação do que de qualquer outra estação. A precipitação em qualquer ponto dentro de um determinado polígono de Thiessen é considerada igual à precipitação medida na estação central daquele polígono (Tucci, 2005). A precipitação de cada estação é ponderada pela área de seu polígono de Thiessen que se sobrepõe à bacia. Este método assume uma uniformidade conceitual da precipitação dentro de cada polígono, sendo uma abordagem direta que não exige complexas suposições estatísticas sobre a distribuição da precipitação (Szcześniak & Piniewski, 2015). A principal desvantagem conceitual dos Polígonos de Thiessen reside em sua rigidez. Ele não considera que a precipitação pode variar gradualmente com a distância de uma estação, nem que a topografia ou outros fatores ambientais podem influenciar a distribuição da chuva de forma não linear (Tucci, 2005). Um ponto logo além da fronteira de um polígono é abruptamente atribuído à estação vizinha, mesmo que esteja muito próximo da estação do polígono original. Apesar de suas limitações conceituais, os Polígonos de Thiessen são frequentemente usados como uma primeira estimativa ou em situações em que a rede de estações é relativamente densa e bem distribuída, e onde as variações topográficas não são extremas.

Em contraste com os Polígonos de Thiessen, o método do Inverso da Distância Ponderada (IDW) incorpora a ideia de que a influência de uma estação pluviométrica diminui à medida que a distância do ponto a ser estimado aumenta. Ou seja, estações mais próximas a um ponto têm um peso maior na estimativa da precipitação nesse ponto do que estações mais distantes (Tucci, 2005). O método de interpolação espacial IDW é um dos mais aplicados por ser rápido e de fácil interpretação. Trata-se de um método tipicamente determinista, o qual aplica a distância geográfica como parâmetro de interpolação (Lu e Wong, 2008). De acordo com Righi e Basso (2016), nessa metodologia é atribuído um valor para um local não medido, por meio de valores amostrados à sua volta, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto, que diminui na medida que a distância aumenta. Dessa maneira, a influência atribuída a cada ponto torna-se proporcional ao inverso da distância entre

esses pontos. Sendo assim, para aplicação do método IDW, devem ser definidos alguns parâmetros de interpolação. O valor mínimo e máximo dos vizinhos utilizados na interpolação, que definem respectivamente, o número mínimo e máximo de pontos que vão influenciar na estimação dos valores encontrados na interpolação. O valor do coeficiente de potência (α) é um coeficiente de ponderação, utilizado na estimação dos valores a serem interpolados com base em pontos conhecidos (Vargas *et al.*, 2018).

Apesar de sua popularidade, o IDW também possui limitações conceituais. Uma delas é que ele é um interpolador "exato", o que significa que ele sempre atribui o valor medido à própria localização da estação. Isso pode ser uma desvantagem se houver erros de medição significativos. Além disso, o IDW não considera a configuração espacial das estações além de suas distâncias individuais – ele não leva em conta se as estações estão alinhadas ou agrupadas de uma forma que poderia indicar um padrão espacial de precipitação. Outra limitação é que os valores interpolados nunca podem ser maiores que o valor máximo ou menores que o valor mínimo das estações usadas na interpolação, o que pode não ser fisicamente realista em todas as situações (Liu *et al.*, 2021).

A aplicação adequada das técnicas de interpolação requer compreensão de suas características, limitações e adequabilidade às condições específicas da área de estudo. A comparação entre diferentes métodos de interpolação permite identificar a abordagem mais apropriada para cada situação, contribuindo para a melhoria da qualidade das análises hidrológicas (Liu *et al.*, 2021; Cheng *et al.*, 2017). Nesse contexto, esse trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho da interpolação espacial da precipitação em um modelo hidrológico. Como estudo de caso será analisada a bacia do ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte.

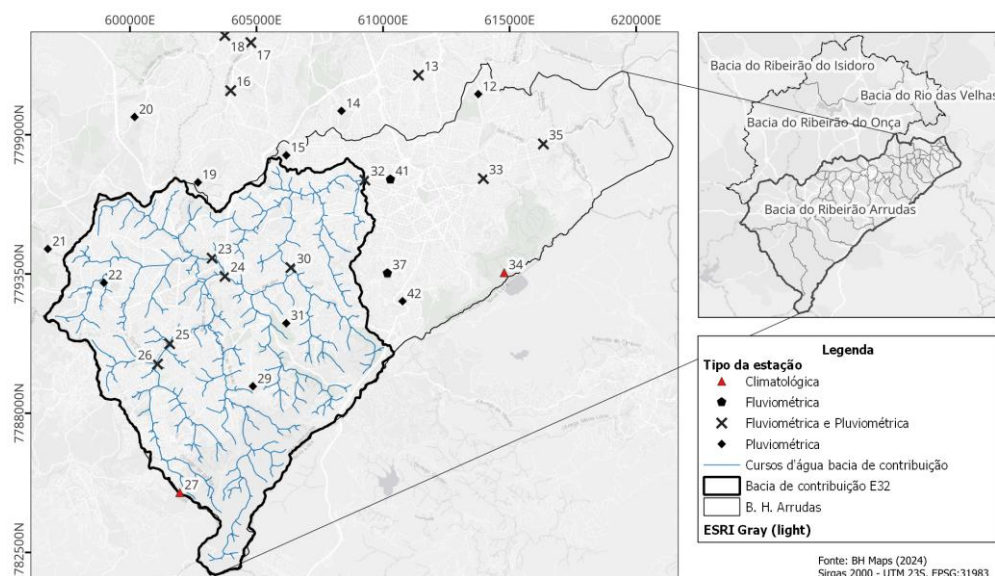
METODOLOGIA

Bacia do Arrudas

A área de estudo consiste na porção de montante da Bacia do Ribeirão Arrudas, que possui área de 125,8 km². Essa área foi selecionada como estudo de caso por ser considerada uma das regiões mais afetadas por inundações bruscas em Belo Horizonte. A área é densamente urbanizada e tem relevo montanhoso. A Figura 1 traz o mapa de localização da área. A bacia em estudo tem forte influência do relevo e ocorrência de chuvas orográficas.

A área de estudo é monitorada por meio do Sistema de Monitoramento de Hidrológico da Prefeitura de Belo Horizonte, que possui estações limnimétricas, pluviométricas e meteorológicas que registram os dados a cada 10 minutos. A Prefeitura de Belo Horizonte estabeleceu para cada uma das estações de monitoramento de nível d'água níveis de alerta: i) Alerta Amarelo: 50% da altura do canal fechado ou da restrição, no canal aberto; ii) Alerta Laranja: 80% da altura do canal fechado ou da restrição, no canal aberto, e iii) Alerta Vermelho: extravasamento.

Figura 1 – Localização da área de estudo com as estações de monitoramento utilizadas



Para a análise apresentada, utilizaram-se os dados de nível d'água da Estação 32. Essa estação foi escolhida ser a estação limnimétrica mais a jusante com maior frequência de alertas emitidos no período considerado (entre 2011 e 2020), de acordo com o Relatório Técnico 3 do Plano de Contingência de Inundações do Boulevard Arrudas (FCO, 2022). Os dados de precipitação utilizados foram aqueles provenientes das estações mostradas no mapa da Figura 1. Para a avaliação realizada foram selecionados dados de precipitação de 14 eventos que levaram a alertas na Estação 32.

Modelagem hidrológica

Para a análise foi utilizado um modelo hidrológico desenvolvido, calibrado e validado no SWMM (*Storm Water Manegement Model*). Esse modelo considera as informações de topografia de um levantamento LiDAR realizado pela Prefeitura de Belo Horizonte e pela FGV, na porção da bacia localizada no município de Contagem. As características das seções transversais dos canais de macrodrenagem foram obtidas em Belo Horizonte (2002) e foram consideradas as curvas cota-área-descarga das bacias de detenção existentes. O uso e ocupação do solo foi obtido a partir da classificação de imagens obtidas por meio de um levantamento com resolução de 50 centímetros realizado juntamente com o levantamento LiDAR. O modelo hidrológico-hidráulico desenvolvido possui 104 sub-bacias e para cada uma delas foi representado um pluviômetro virtual. Nesse pluviômetro virtual foram inseridas as respectivas precipitações interpoladas para cada um dos eventos simulados.

Optou-se por utilizar o método de infiltração do SCS e o método da onda dinâmica para propagação do escoamento nas redes. A calibração do modelo foi feita com base nos dados de monitoramento de nível d'água, já que não há curva chave estabelecida para a seção de medição de nível. Esses dados são monitorados a cada 10 minutos.

Interpolação espacial da precipitação

No presente trabalho foram avaliados os métodos de interpolação por polígonos de Thiessen e IDW. Para o IDW foi adotado o valor padrão para o coeficiente de potência: $\alpha = 2$ (Landim, 2000), mostrado na Equação 1.

$$\hat{z}(x) = \frac{\sum_{i=1}^n z(x_i) \frac{1}{d_{ij}^\alpha}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\alpha}} \quad (1)$$

Sendo: \hat{z} = valor interpolado; z = valores estimados; n = quantidade de amostras; x_i = valores conhecidos; d_{ij} = distâncias entre os valores conhecidos e estimados; α = coeficiente de potência.

A interpolação por IDW foi realizada para cada um dos intervalos de 10 minutos de cada um dos eventos simulados.

A comparação dos métodos foi realizada a partir de métricas de eficiência de modelos hidrológicos, comparando-se os resultados das simulações no modelo hidrológico com cada um dos métodos de interpolação, para cada um dos 14 eventos selecionados. As métricas avaliadas foram: o erro médio (ME) (m), o erro médio absoluto (MAE) (m), a raiz do erro quadrático médio (RMSE) (m), o percentual de viés (p -bias) (%), o coeficiente de Nash-Sutcliffe (NSE) e o coeficiente de eficiência de Kling-Gupta (KGE). Essas métricas podem ser avaliadas, respectivamente pelas Equações 2 a 7.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{sim,i} - Q_{obs,i}) \quad (2)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_{sim,i} - Q_{obs,i}| \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})^2} \quad (4)$$

$$pbias = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{sim,i} - Q_{obs,i})}{\sum_{i=1}^N Q_{obs,i}} \quad (5)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad (6)$$

$$KGE = 1 - \sqrt{(\beta - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\rho - 1)^2} \quad (7)$$

Em que: Q_{obs} é o nível d'água observado no exutório da bacia em análise e Q_{sim} é o nível d'água simulado pelo modelo; i refere-se a cada intervalo de tempo, no caso do modelo SWMM desenvolvido, definiu-se i como 10 minutos, i.e., o modelo funciona em passo sub-diário sendo N é o número total de intervalos de tempo; $\beta = \bar{Q}_{sim}/\bar{Q}_{obs}$, $\alpha = SD_{Q_{sim}}/SD_{Q_{obs}}$, SD é o desvio padrão e ρ é o coeficiente de correlação de Pearson entre Q_{sim} e Q_{obs} .

As métricas ME, MAE e RMSE representam o erro do modelo em relação ao valor monitorado, quanto menores seus valores, melhor o desempenho do modelo, seus valores são dados em metros. A métrica $pbias$ reflete o nível de viés entre as saídas do modelo e as observações, ou seja, quanto menores seus valores, pode-se inferir que melhor foi o desempenho do modelo, seu valor é em percentual. Já o NSE é uma métrica adimensional que mede o nível de correlação entre as observações e as saídas do modelo, quanto mais próximo da unidade, pode-se afirmar que melhor foi o desempenho do modelo. Por fim, o KGE é um índice proposto com intuito de agregar métricas de

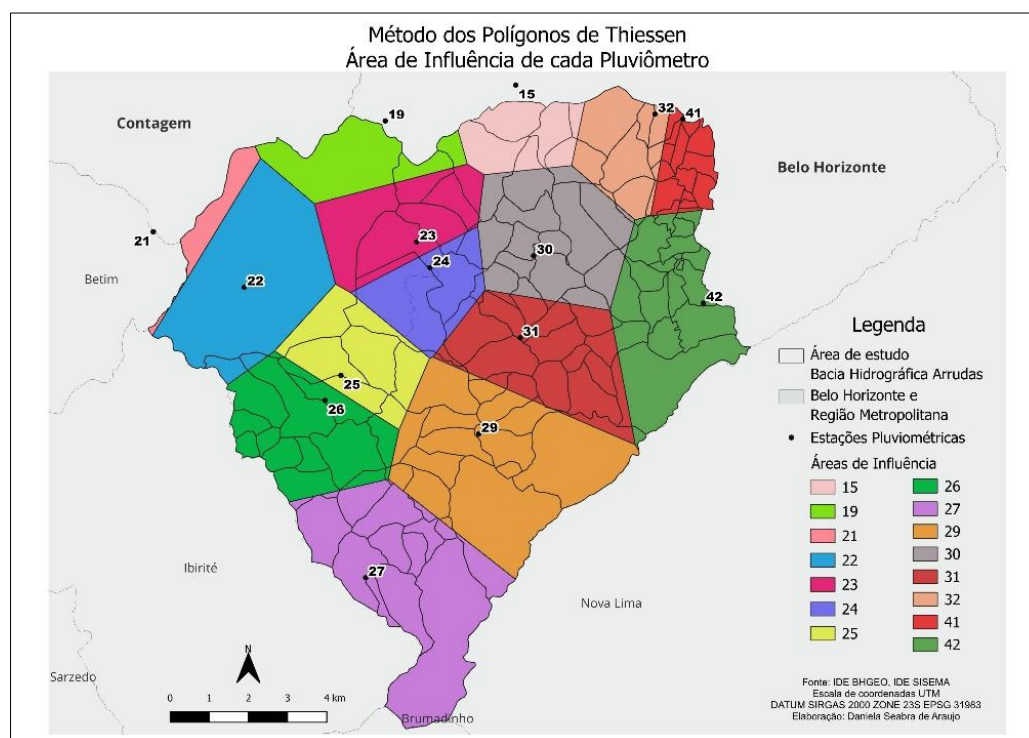
erro e métricas de correlação, quanto mais próximo da unidade, melhor o desempenho do modelo, o KGE é adimensional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total 15 estações pluviométricas tiveram influência sobre a área de estudo. A Figura 2 mostra os polígonos de Thiessen para a área. A Figura 3 mostra, a título de exemplo, a interpolação obtida pelo IDW para um momento selecionado correspondente a 20 minutos antes do momento do pico de nível d'água para o Evento 16.

As métricas calculadas para cada um dos eventos são exibidas na Tabela 1. Comparando-se as métricas entre os resultados dos modelos para os dois métodos de interpolação destacou-se em verde aqueles que apresentam comparativamente as melhores métricas e os em vermelho aqueles que representam comparativamente as piores métricas.

Figura 2 – Área de influência de cada pluviômetro pelo método dos polígonos de Thiessen



As métricas calculadas para cada um dos eventos são exibidas na Tabela 1. Comparando-se as métricas entre os resultados dos modelos para os dois métodos de interpolação destacou-se em verde aqueles que apresentam comparativamente as melhores métricas e os em vermelho aqueles que representam comparativamente as piores métricas.

A partir do ilustrado na Tabela 1, de maneira geral não há uma definição clara de qual o método de interpolação da precipitação seria o mais conveniente para o modelo e os eventos testados. Avaliou-se de forma qualitativa se haveria alguma característica dos eventos modelados (nível d'água máximo, duração) que poderia explicar alguma preferência pelo método de interpolação, entretanto nenhuma relação foi observada.

Figura 3 – Precipitação interpolada por IDW para o evento 16 – o limite em vermelho representa a área de estudo

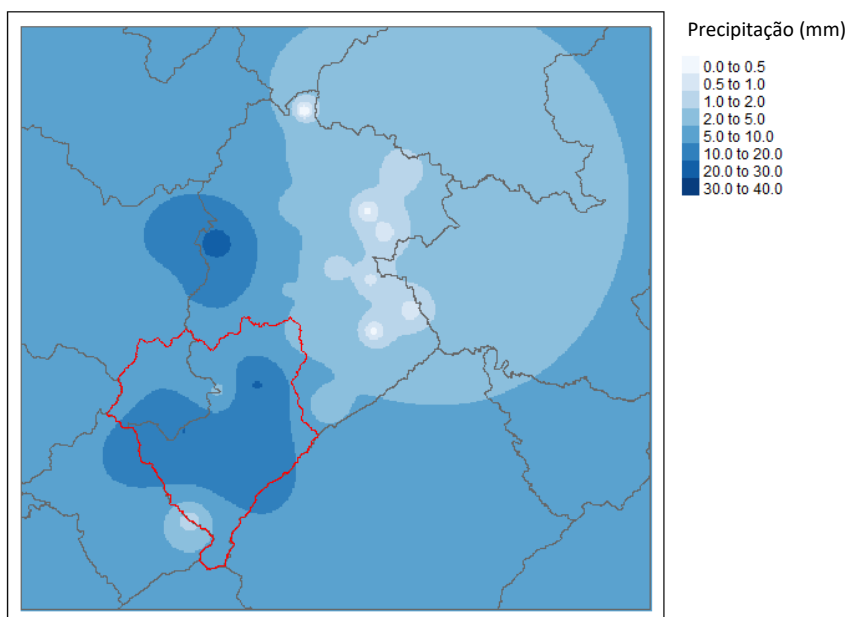


Tabela 1 – Valores calculados para as métricas dos modelos utilizando precipitações interpoladas pelo método de Thiessen e pelo método IDW

Evento	IDW						Thiessen					
	ME	MAE	RMSE	PBIAS	NSE	KGE	ME	MAE	RMSE	PBIAS	NSE	KGE
1	-0,45	0,48	0,69	-17,40	0,87	0,73	-0,35	0,36	0,52	-13,40	0,93	0,81
2	-0,28	0,31	0,54	-23,30	0,72	0,54	-0,29	0,31	0,63	-24,00	0,63	0,54
3	-0,47	0,50	0,90	-20,10	0,68	0,67	-0,35	0,41	0,63	-14,90	0,84	0,80
4	-0,28	0,35	0,58	-13,90	0,85	0,80	-0,19	0,32	0,47	-9,40	0,90	0,85
6	-0,79	0,91	1,27	-45,10	0,13	0,36	-0,08	0,15	0,49	-14,50	-0,59	-0,08
10	-0,20	0,26	0,39	-12,80	0,90	0,76	-0,30	0,34	0,51	-19,30	0,83	0,67
14	-0,27	0,44	0,63	-21,40	0,69	0,73	-0,20	0,30	0,47	-13,20	0,83	0,74
16	-0,11	0,30	0,65	-8,60	0,82	0,79	-0,17	0,26	0,56	-12,90	0,87	0,75
17	-0,22	0,25	0,34	-14,10	0,91	0,80	-0,18	0,23	0,34	-11,50	0,91	0,87
18	-0,05	0,25	0,38	-4,80	0,82	0,84	-0,16	0,23	0,34	-11,90	0,89	0,85
19	-0,47	0,71	1,15	-31,70	0,44	0,48	-0,24	0,36	0,60	-11,50	0,87	0,80
20	-0,81	0,81	1,13	-26,90	0,70	0,64	-1,06	1,09	1,46	-35,30	0,49	0,50
21	-0,63	0,64	1,00	-32,30	0,78	0,55	-0,88	0,88	1,25	-30,70	0,74	0,56
22	-0,32	0,39	0,51	-14,10	0,90	0,85	-0,58	0,58	0,76	-25,50	0,78	0,66

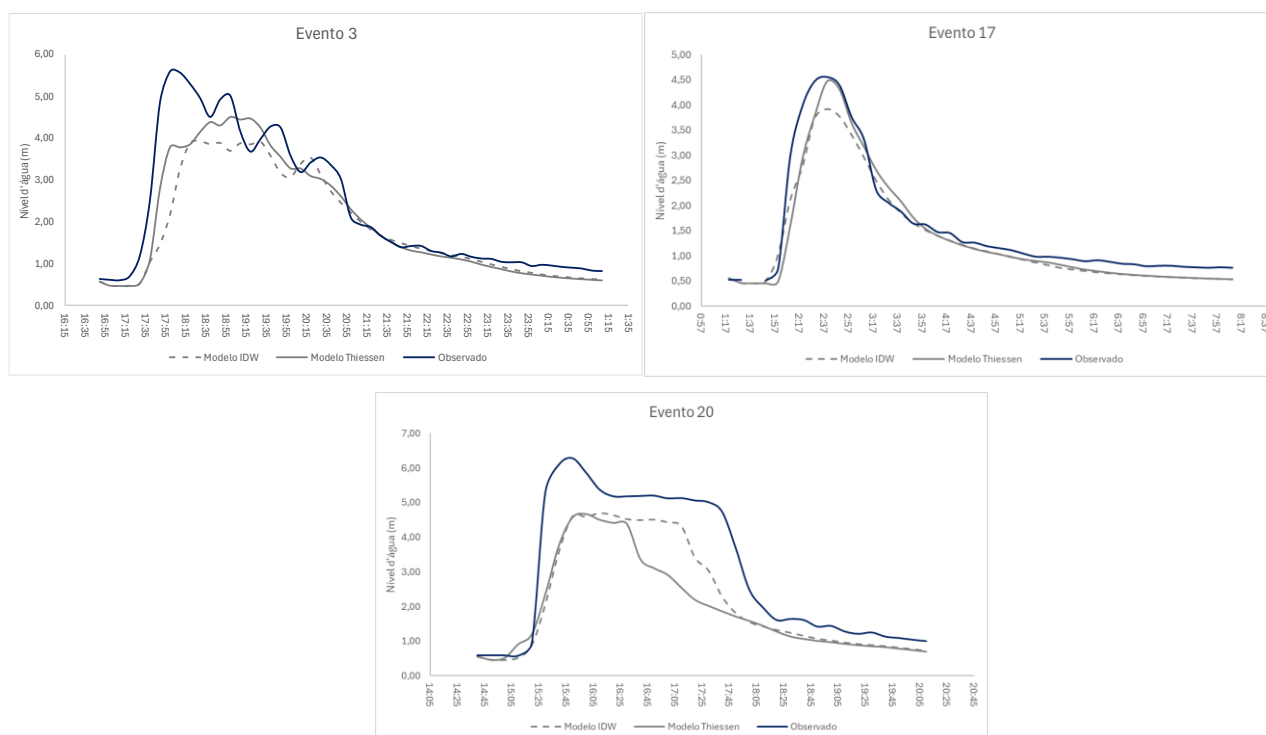
Obs.: As unidades do ME, MAE e RMSE são metros, PBIAS é percentual e o NSE e o KGE são adimensionais.

A título de exemplo, a Figura 4 apresenta os linigramas, respectivamente dos eventos 3, 17 e 20, exibindo os níveis d'água observados e modelados utilizando-se precipitações interpoladas com os dois métodos avaliados. Esses eventos foram selecionados visto que o evento 3 apresenta melhores métricas para o modelo utilizando Thiessen, o evento 17 apresenta métricas bastante semelhantes para os modelos utilizando diferentes formas de interpolação da precipitação e o evento 20 apresenta melhores métricas para o modelo que utiliza o método de interpolação IDW. Para os três eventos pode-se, entretanto, observar o efeito de suavização dos linigramas decorrente da aplicação do método

IDW. Essas constatações são corroboradas por diversos autores que apontam a suavização dos picos de precipitações extremas com o uso do método IDW.

função do método de interpolação da precipitação. Outros autores que avaliaram esse tipo de abordagem obtiveram resultados semelhantes (Cheng et al., 2017 e Szcześniak e Piniewski, 2015), ambos autores concluíram que é importante considerar a variabilidade espacial da precipitação entretanto afirmam que buscar o método de interpolação mais adequado não é tarefa simples e depende fortemente das características do monitoramento existente no local de estudo e nas características da área estudada, sobretudo relacionadas ao relevo, além do objetivo do monitoramento. Os métodos mais adequados de interpolação podem ser diferentes para uma mesma área quando se avalia precipitações em escalas temporais diversas e realiza-se a modelagem em condições sazonais diferentes (Liu et al., 2021).

Figura 4 – Linigrama dos eventos 3, 17 e 20



CONCLUSÕES

Pode-se concluir com base nas análises realizadas que não há tendência de melhor desempenho para os modelos hidrológicos avaliados. Os resultados, entretanto, nos permitem concluir que uma avaliação mais detalhada de métodos de interpolação, seja pela aplicação de métodos geoestatísticos ou o ajuste do expoente de ponderação do método IDW, deve fornecer resultados mais adequados. A consideração da distribuição espacial da precipitação deve ser investigada de forma detalhada visto que ela tem influência na resposta hidrológica da bacia e consequentemente seu tratamento adequado pode auxiliar na melhoria de sistemas de previsão e alerta de cheias.

REFERÊNCIAS

- BELO HORIZONTE. *Atlas dos diagramas dos canais revestidos do sistema de macrodrenagem: Bacia do Ribeirão Arrudas*. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2002.
- Cheng M, Wang Y, Engel B, Zhang W, Peng H, Chen X, Xia H. “Performance Assessment of Spatial Interpolation of Precipitation for Hydrological Process Simulation in the Three Gorges Basin”. *Water*. 2017; 9(11):838. <https://doi.org/10.3390/w9110838>.
- Liu, Y., Zhuo, L., Pregolato, M., & Han, D. “An assessment of statistical interpolation methods suited for gridded rainfall datasets”. *International Journal of Climatology*, 42(5), 2754–2772, 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.7389>.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. *Applied Hydrology*. Estados Unidos: McGraw-Hill International Editions, 1988.
- FCO - Relatório técnico. *Atualização dos Estudos Hidrológicos e Hidráulicos da Bacia do Ribeirão Arrudas Plano de Contingência de Inundações do Boulevard Arrudas*, Relatório Técnico 3: Modelagem hidrológica e hidráulica das inundações na bacia do Ribeirão Arrudas, 2022.
- LANDIM, P. M. B. *Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas*. Geomatemática, Texto Didático02. UNESP/campus de Rio Claro Departamento de Geologia Aplicada, p. 1-18, 2000.
- LU, G. Y.; WONG, D. W. An adaptive inverse-distance weighting spatial interpolation technique. *Computers & Geosciences*, v. 34, p. 1044–1055, 2008.
- LUCAS, T. P. B.; PLEC, D.; ABREU, M. L.; PARIZZI, M. G. Identificação de interpoladores adequados a dados de chuva a partir de parâmetros estatísticos. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 13, p. 7–21, 2013.
- MATEO-LÁZARO, J. M.; NAVARRO, J. A. S.; GIL, A.G.; ROMERO, V.E. Sensitivity analysis of main variables present in flash flood processes. Application in two Spanish catchments: Arás and Aguilón. *Environmental Earth Sciences*, v. 71, n. 6, p. 2925–2939, 2014.
- RIGHI, E.; BASSO, L. A. Aplicação e análise de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas. *Ambiência Guarapuava*, v. 1, p. 101–117, 2016.
- TUCCI, Carlos E. *Modelos Hidrológicos*. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005.
- VARGAS, T.; GOMES, M. G.; BELLADONA, R.; ADAMI, M. V. D. Aplicação do Interpolador IDW para Elaboração de Mapas Hidrogeológicos Paramétricos na Região da Serra Gaúcha. *Scientia cum Industria*, v. 6, n. 3, p. 38-43, 2018.
- Szczęśniak M, Piniewski M. “Improvement of Hydrological Simulations by Applying Daily Precipitation Interpolation Schemes in Meso-Scale Catchments”. *Water*. 2015; 7(2):747-779. <https://doi.org/10.3390/w7020747>.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Prefeitura de Belo Horizonte pela disponibilização dos dados e informações necessárias ao desenvolvimento deste trabalho, ao CNPq pelo financiamento do projeto “Avanços em ferramentas de nowcasting aplicadas a inundações urbanas”, que tem como objetivo o desenvolvimento de ferramentas e métodos para melhoria na previsão de curto e curtíssimo prazos de eventos hidroclimatológicos extremos em áreas urbanas, no qual o presente trabalho se insere.