

METODOLOGIAS PARA MAPEAMENTO DE INUNDAÇÕES: FERRAMENTAS, TÉCNICAS E APLICAÇÕES.

Olavo Camargo de Sá ¹; Denise Balestrero Menezes ²; Fabio Leandro da Silva ³

Resumo – O artigo aborda a importância e os desafios do mapeamento de áreas suscetíveis a inundações em cidades de médio porte, enfatizando os impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes dessas inundações. A intensificação de eventos climáticos extremos, provocada pelas mudanças climáticas e o crescimento urbano desordenado, que leva à impermeabilização do solo, aumentam expressivamente os riscos de inundações e exigem o desenvolvimento de metodologias precisas para a identificação de áreas com maior risco. Dentre as abordagens existentes, destacam-se a modelagem hidrológica e hidrodinâmica, o uso de sensoriamento remoto, dados de radar e ferramentas como o HEC-RAS, que, apesar de eficazes, enfrentam limitações devido à necessidade de dados extremamente precisos e à complexidade dos ambientes urbanos. Para superar esses desafios, o presente estudo propõe abordagem integrada que combina métodos quantitativos e qualitativos, incluindo revisão bibliográfica abrangente, coleta de dados geoespaciais por meio de drone e utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para processar e analisar tais dados. Além disso, utiliza entrevistas com moradores residentes nas áreas afetadas para validar as informações técnicas e incorporar o conhecimento empírico sobre os eventos de inundação. Essa integração entre tecnologias modernas e o conhecimento local possibilitará uma identificação mais precisa das áreas vulneráveis, contribuindo para o desenvolvimento de políticas eficazes de prevenção e mitigação, bem como favorece um planejamento urbano pautado na resiliência das cidades.

Abstract – *The article discusses the importance and challenges of mapping flood-prone areas in medium-sized cities, emphasizing the socioeconomic and environmental impacts of flooding events. The intensification of extreme weather events, caused by climate change, and disorderly urban growth, which leads to soil sealing, significantly increase the risk of flooding and require the development of precise methodologies to identify areas at greater risk. Among the existing approaches, hydrological and hydrodynamic modeling, remote sensing, radar data, and tools such as HEC-RAS are highlighted; although effective, these methods face limitations due to the need for accurate data and the complexity of urban environments. Aiming to overcome these challenges, the study proposes an integrated approach that combines both quantitative and qualitative methods, including a comprehensive literature review, the collection of geospatial data using drones, and the use of Geographic Information Systems (GIS) to process and analyze this data. Additionally, use interviews with residents of affected areas to validate the technical information and incorporate empirical knowledge about flood events. This integration of modern technology and local insights enables a more accurate identification of vulnerable areas, supporting the development of effective prevention and mitigation policies and promoting urban planning focused on resilience.*

Palavras chave – Cartografia de suscetibilidade; análise metodológica; histórico de inundações.

¹ Téc. Log., Mestrando em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Paulo, (16) 3351-8295, olavo.camargo@estudante.ufscar.br

² Geóloga, Professora Dr^a., Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Paulo, (16) 3306-6442, denisebm@ufscar.br

³ Gestor e Analista Ambiental, Dr., Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Paulo, (16) 3351-8295, fabioleandro@alumni.usp.br

1. INTRODUÇÃO

Fenômenos como inundações, deslizamentos, fluxos de detritos e períodos de seca estão diretamente relacionados às características naturais das regiões, incluindo fatores como vegetação, clima, topografia e tipo de solo. Apesar de serem processos naturais, tornam-se desastres quando impactam áreas ocupadas por populações humanas, resultando em danos significativos (Zambrano *et al.*, 2020). Nesse cenário, a identificação de áreas vulneráveis a inundações é essencial para minimizar riscos e contribuir para um planejamento urbano eficiente.

No Brasil ainda há um descompasso entre o crescimento das cidades, seu planejamento e a gestão de riscos hidrológicos, fazendo com que haja recorrentemente muitas perdas e população afetada. A falta de compatibilidade entre planejamento da urbanização e a dinâmica hidrológica das cidades fez com que tenhamos muitas áreas de risco nas cidades. Compreender a complexidade das áreas fisicamente vulneráveis, a sua forma de ocupação e avaliar a vulnerabilidade social é muito importante para a redução de desastres. (Castro, 2020; Oliveira *et al.*, 2020; Castro & Alvim, 2022).

De acordo com Enomoto (2004), os mapas de risco de inundação são ferramentas valiosas para prevenir e controlar esses desastres. Friebecke (2004) destaca que esses mapas devem ser considerados como referência central em iniciativas voltadas à redução de impactos, especialmente em termos de zoneamento e estratégias não estruturais. A aplicação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permite análises mais detalhadas e eficazes, contribuindo para a elaboração de planos de contingência (Ferreira, 2023). Para cidades em expansão, o mapeamento de áreas suscetíveis a fenômenos naturais é essencial para evitar o crescimento urbano em locais de risco (Goerl, 2010). Além disso, o uso de modelos hidrológicos nas decisões governamentais é uma abordagem que fortalece a resiliência urbana em face de eventos extremos (Momo *et al.*, 2016).

Embora a Lei nº 12.608 (Brasil, 2012) defina que municípios com áreas suscetíveis à ocorrência de desastres devam ter plano de contingência e mapeamentos, a delimitação de áreas atingidas por inundações em áreas urbanas é complexa diante das características naturais e da ocupação.

Diversas pesquisas têm desenvolvido métodos para mapear regiões propensas a inundações, como a modelagem hidrológica e hidráulica e mapeamento de manchas de inundação. A cartografia de inundações desempenha um papel crucial na formulação de estratégias de mitigação e no reconhecimento de áreas prioritárias, sendo um instrumento essencial para políticas públicas voltadas à segurança e resiliência das cidades. As áreas mais antropizadas, com cursos hídricos canalizados e tamponados, apresentam dificuldades nos mapeamentos que utilizam modelos hidrológicos e hidrodinâmicos. Segundo Monteiro e Kobiyama (2013), o mapeamento de inundação pode ser realizado pela criação de uma mancha de inundação baseada em dados observados durante eventos de alagamento ou dados de filmagens e reportagens, que oferece maior precisão, mas é difícil de obter, ou pela modelagem hidrodinâmica, que utiliza modelos físicos ou matemáticos.

Há diferenças entre mapas de inundação (delimitação da área atingida em um evento), mapa de perigo de inundação (considera a probabilidade ou magnitude) e mapa de risco de inundação (considera perdas ou danos a pessoas e bens) e cada metodologia trabalha com diferentes níveis de ação (Monteiro e Kobiyama, 2013; Zuquette, 2018).

Em São Carlos (SP), cidade de médio porte localizada no estado de São Paulo, o rápido processo de urbanização reforça a necessidade de um mapeamento detalhado das áreas sujeitas a inundações. Tal medida é fundamental para melhorar a gestão dos riscos associados a esses fenômenos, que causam impactos adversos anualmente nas áreas mais centrais da cidade.

Este estudo procurou comparar diferentes métodos de cartografia aplicados ao mapeamento de regiões suscetíveis a enchentes e inundações, com o objetivo de identificar as abordagens mais eficientes para a elaboração de mapeamento de áreas de atingimento por inundação para São Carlos (SP), utilizando variadas ferramentas tecnológicas e metodologias disponíveis.

2. METODOLOGIA

Este artigo apresenta quatro etapas principais (Figura 1). Inicialmente, foi conduzida uma revisão bibliográfica abrangente em bases de dados como o portal de Periódicos CAPES, Scopus e Web of Science (WoS), com foco em metodologias consolidadas para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações em especial para cidades brasileiras. O objetivo foi identificar as abordagens mais utilizadas e suas respectivas aplicações, considerando estudos desenvolvidos por grupos de pesquisa e órgãos governamentais especializados nesse tema.

Em seguida, foi realizada uma análise crítica das metodologias selecionadas, enfocando seus objetivos, métodos empregados e resultados alcançados, permitindo uma avaliação comparativa. Já a terceira etapa baseou-se na proposição de uma nova metodologia para o mapeamento de inundações, voltada para calibração de modelos e gestão urbana, levando em consideração especificidades do projeto de pesquisa e as características locais. Por fim, foi conduzida uma comparação entre a metodologia proposta e as metodologias previamente analisadas, visando avaliar sua eficácia e aplicabilidade no contexto específico de São Carlos.

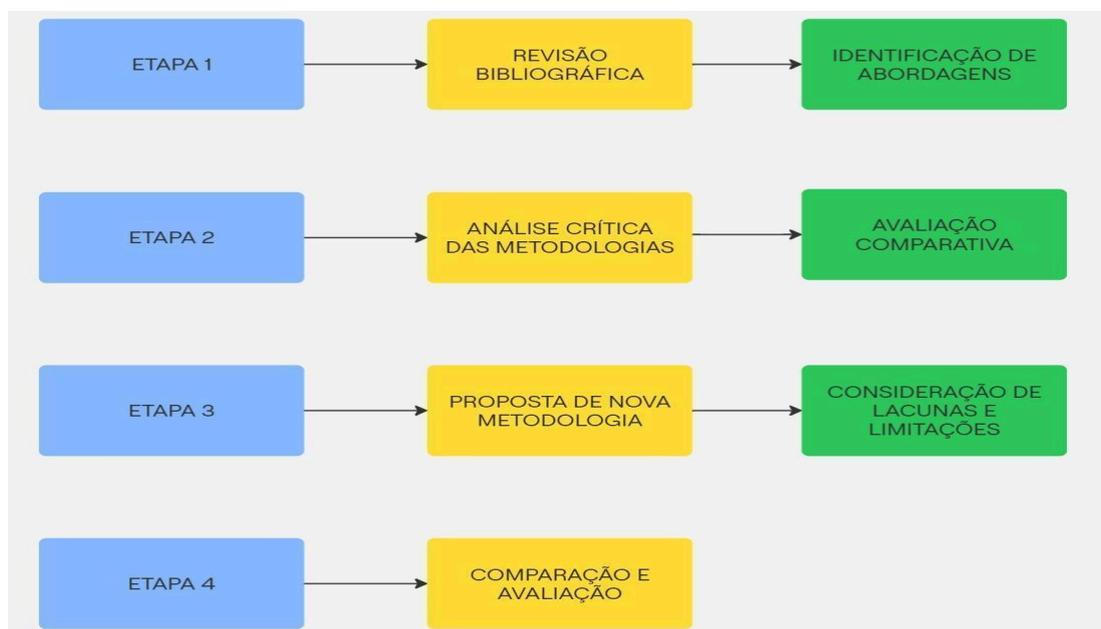


Figura 1 - Fluxograma da metodologia Fonte: Os autores, 2025.

3. ANÁLISE DAS METODOLOGIAS DE MAPEAMENTOS EXISTENTES

Dentre as metodologias para identificar e cartografar riscos de inundação destacam-se as metodologias: de campo para coleta de dados, identificação de áreas propensas a inundações, modelagem hidrodinâmica e hidrológica e modelagem para mapeamento de risco de inundação. Foram selecionadas algumas das metodologias empregadas em diferentes localidades no Brasil, cujos métodos foram desenvolvidos por grupos de pesquisa consolidados que têm realizado contribuições significativas na área.

Monteiro e Kobiyama (2013) desenvolveram uma metodologia específica para o mapeamento do perigo de inundação, aplicada na Bacia do Braço do Baú, em Ilhota, Santa Catarina com base em modelo hidrológico e hidrodinâmico. Essa metodologia é composta por processos que interligam os aspectos físicos aos dados. Abrange a determinação da equação de precipitações intensas, a geração de hidrogramas para estimar a contribuição do escoamento, e a modelagem hidrológica e hidrodinâmica, além da delimitação das áreas suscetíveis a alagamentos. Um dos componentes fundamentais é a estimativa da precipitação de projeto, que

utiliza a equação i-d-f e analisa a distribuição temporal e espacial da precipitação. A equação i-d-f considera períodos de retorno de 5, 20 e 100 anos, focando no tempo de duração crítica que resulta na maior vazão de pico. A análise da distribuição temporal busca identificar o pico tardio.

A modelagem matemática é realizada através de simulações hidrológicas e hidrodinâmicas, dividindo a bacia em sub-bacias de contribuição e áreas inundáveis. As simulações hidrológicas são aplicadas nas sub-bacias, enquanto as simulações hidrodinâmicas são focadas nas áreas inundáveis. As simulações hidrológicas devem levar em consideração características de infiltração e escoamento, enquanto as simulações hidrodinâmicas exigem o uso de modelos bidimensionais ou tridimensionais para representar corretamente o escoamento. (Monteiro e Kobiyama,2013).

Os modelos precisam ser calibrados e validados para as condições específicas da região e a qualidade do mapa de inundação está diretamente relacionada à precisão dos procedimentos adotados e à qualidade do modelo digital de terreno utilizado. Para isso, utilizaram dados de campo e obtidos de séries históricas de precipitação, distribuição temporal, dados de infiltração, escoamento de base, séries históricas de vazão, características hidráulicas, informações sobre inundação e modelo digital de terreno (produzido a partir de dados de GPS e carta IBGE). Para completar foram calculadas a equação i-d-f e o hidrograma unitário. Para simular os processos hidrológicos e o comportamento da água em áreas urbanas e naturais, foram utilizados os modelos HEC-HMS e FLO-2D. (Monteiro e Kobiyama,2013).

Como resultado, foram gerados mapas de área de inundação para os diferentes períodos de retorno da precipitação, que embasaram um mapa de perigo de inundação, sendo uma função de frequência de inundação (período de retorno) e intensidade (índice de perigo), acompanhado de tabela que apresenta os diferentes níveis de acordo com a altura da lâmina d'água e velocidade de escoamento. (Monteiro e Kobiyama,2013).

O Serviço Geológico do Brasil (SGB / CPRM) desenvolve cartas de setorização de áreas riscos para municípios brasileiros por meio de "identificação e caracterização das porções urbanizadas do território municipal sujeitas a sofrerem perdas ou danos causados por eventos adversos de natureza geológica", em parceria com as defesas civis municipais (Lana et al, 2021). A metodologia inclui levantamento de dados prévios e contato com a Defesa Civil local, levantamentos de campo em áreas urbanizadas em escala entre 1:1.000 e 1:2.000, delimitação e classificação das áreas de risco em campo e posterior elaboração de produtos.

O levantamento de campo inclui o registro das estações a cada 10 / 20 m, com GPS e máquina fotográfica e onde é possível e necessário, podem ser empregados veículos aéreos não tripulados (VANTs). São registradas características a serem interpoladas no processo de delimitação dos setores de risco, assim como coletados dados históricos de ocorrência (entrevista com moradores locais, arquivos da prefeitura municipal ou da Defesa Civil. Para os eventos hidrometeorológicos as características ambientais específicas são a frequência média de ocorrência dos últimos eventos, morfologia do canal e entorno, largura do curso d'água, relevo, marcas nas edificações que indiquem altura de lâmina d'água. A avaliação da ocupação das áreas é considerada para definição do grau de risco, que é o objetivo final. (Lana et al, 2021).

Na delimitação e classificação de áreas sujeitas a processos utilizam imagens orbitais Google, bases cartográficas e topográficas do Open Street Map, geoserviços de relevo sombreado e de curvas de nível compiladas no plugin MapTiler que são processados em SIG para realce de relevo. Finalmente são hierarquizadas de acordo com o grau de risco de eventos com potencial de causar danos. (Lana et al, 2021).

Buscando melhorar os mapas iniciais de mancha de inundação elaborados pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), Simões & Conceição (2021) propuseram atualização da metodologia de modelagem de inundação utilizada nas Cartas de Suscetibilidade com a combinação de três variáveis: relevo, altitude e distância vertical à drenagem mais próxima, utilizando o modelo HAND (*Height Above the Nearest Drainage*). Essas cartas são elaboradas para a escala de município. Esta metodologia está detalhada em Nota Técnica do SGB / CPRM (Conceição & Simões, 2021).

O processo de modelagem é dividido em quatro etapas principais. A primeira etapa é a classificação dos padrões de relevo, que é realizada pela equipe de geomorfologia através da

fotointerpretação de imagens de satélite e Modelos Digitais de Elevação (MDE). Essa etapa utiliza uma biblioteca de padrões de relevo, que categoriza diferentes tipos de relevo com pesos que indicam sua suscetibilidade a inundações, onde as planícies recebem peso 3, indicando alta suscetibilidade, e os terraços recebem peso 1, indicando baixa suscetibilidade. A segunda etapa é a classificação da altitude, que é uma variável importante na identificação da suscetibilidade e do risco a inundações. A altitude é classificada em uma escala de 0 a 3, onde áreas mais baixas têm maior suscetibilidade a inundações. Essa classificação é feita usando um algoritmo de Lógica *Fuzzy* e é reclassificada pelo método do Quartil. A terceira etapa é a classificação da distância à drenagem, que utiliza o modelo HAND. Esse modelo calcula a altura acima da drenagem mais próxima, onde as áreas mais baixas em relação à drenagem recebem peso 3, indicando alta suscetibilidade, enquanto áreas mais altas recebem peso 1. A classificação também utiliza o método do Quartil. (Conceição & Simões, 2021).

Na quarta e última etapa, as variáveis reclassificadas (relevo, altitude e HAND) são integradas, resultando em um raster que varia de 3 a 9, onde cada valor representa uma classe de suscetibilidade que vai de baixa a alta. Essa integração melhora a qualidade do modelo ao acumular informações de diferentes fontes e filtrar inconsistências. Após a modelagem, o produto final é validado em campo, e ajustes são feitos conforme necessário para garantir que as classes representem adequadamente a suscetibilidade a inundações na região. (Conceição & Simões, 2021).

Outra metodologia criada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB/CPRM), buscou integrar as necessidades dos estudos de gestão territorial e alertas de enchentes e inundações, abordados por diferentes equipes do SGB, gerando mapas de inundação simplificados para auxiliar na gestão municipal, sob coordenação de Germano *et al.* (2022).

A metodologia para o mapeamento de áreas inundadas em Alegrete/RS foi estruturada em três abordagens principais, utilizando bases de dados públicas e gratuitas. A primeira abordagem consistiu na delimitação das áreas inundadas através de imagens óticas de satélite, como Landsat-8 e Sentinel-2, que foram processadas para destacar regiões com alta concentração de água. Na segunda, foram utilizadas imagens de radar do satélite Sentinel-1, possibilitando o mapeamento em diversas datas de cheia e delimitando as manchas de inundação. A terceira abordagem envolveu a delimitação de áreas inundadas por meio de simulações hidrodinâmicas realizadas com o HEC-RAS; para detalhar o modelo digital de elevação (MDE) obtido do satélite ALOS, foram realizados levantamentos de campo (pontos, topografia e batimetria), que foram processados e interpolados, gerando um MDE híbrido. Por último, a metodologia incluiu a coleta de dados em campo, onde foram levantadas seções batimétricas do rio Ibirapuitã e seus afluentes, a fim de caracterizar adequadamente o escoamento, com medições de profundidade e levantamentos topográficos. (Germano *et al.*, 2022).

Os dados hidrológicos da estação de Alegrete foram utilizados para atualizar as curvas-chave e calcular os tempos de retorno dos eventos de inundação. O modelo hidrodinâmico foi calibrado com informações de um evento significativo ocorrido em 2019, analisando a relação entre as vazões observadas e as simuladas. Os resultados mostraram um desempenho mais eficaz do modelo em vazões elevadas, embora tenham sido observados erros maiores em vazões menores, devido às limitações do modelo digital de terreno, mesmo adotada a inclusão de dados de campo. Na comparação com as manchas de inundação delimitadas nas imagens de satélite e radar, a mancha simulada foi menor. Em suma, a abordagem simplificada demonstrou eficiência, mas indica a necessidade de simulações mais detalhadas para futuros aprimoramentos do modelo. (Germano *et al.*, 2022).

O Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), desenvolveu um manual que reúne métodos e procedimentos consolidados para o planejamento territorial, servindo como base para a gestão de áreas urbanas próximas a cursos d'água (Falchetta, 2023). Os estudos apresentados permitem diagnosticar e mapear as planícies de inundação, áreas naturalmente sujeitas a cheias periódicas, auxiliando na definição de políticas públicas e estratégias de mitigação.

A metodologia proposta para o mapeamento de áreas inundáveis integra modelagens hidrológica e hidráulica em ambiente SIG. O processo começa com a delimitação da bacia hidrográfica de interesse e sua subdivisão em sub-bacias menores, a partir de Modelos Numéricos

de Terreno (MNT) obtidos por levantamentos topográficos, aerofotogrametria ou sensores LIDAR. Esses modelos também são utilizados para caracterizar geometricamente os canais e planícies de inundação. Na etapa seguinte, são elaborados mapas detalhados de uso e ocupação do solo, complementados por dados pedológicos, o que permite uma melhor aplicação do modelo hidrológico. Paralelamente, são coletados dados pluviométricos regionais de longo prazo, utilizados para definir as chuvas de projeto com diferentes probabilidades de retorno. (Falcetta, 2023)

Com esses insumos, calcula-se a vazão de pico por meio da modelagem hidrológica, utilizando parâmetros como tempo de concentração, abstração inicial e coeficiente de escoamento. Essa vazão é então inserida no modelo hidráulico, que simula as manchas de inundação com base nas características físicas da área. Finalmente, as manchas geradas são combinadas em SIG, resultando nos mapas das áreas inundáveis, considerando diferentes cenários de uso do solo e eventos de chuva. Os resultados das modelagens hidrológica e hidráulica destacam a necessidade de atualizações regulares dos estudos, garantindo precisão na identificação das áreas inundáveis. A integração dessas metodologias ao planejamento urbano e à governança climática pode contribuir para o desenvolvimento de cidades mais resilientes e sustentáveis. (Falcetta, 2023).

4. PROPOSTA DE METODOLOGIA DE MAPEAMENTO DE INUNDAÇÕES

A metodologia proposta estabelece um modelo sistemático para o mapeamento de inundações em áreas urbanas, utilizando técnicas de geoprocessamento, levantamento de dados e análise espacial. O objetivo principal é fornecer uma abordagem integrada para identificar e monitorar áreas suscetíveis a inundações, possibilitando estratégias eficazes de mitigação e resposta. A coleta de dados envolve diversas fontes para maior precisão na delimitação das áreas afetadas. A revisão bibliográfica consolida a base teórica. A metodologia integra dados pontuais fornecidos por órgãos públicos e pesquisas prévias para acesso a informações topográficas. Além disso, é feito o levantamento de dados geoespaciais com drone equipado com sensor de alta precisão, permitindo um mapeamento detalhado do relevo urbano, complementando os mapas institucionais e criando uma base cartográfica robusta para a tomada de decisão.

O processamento e análise dos dados envolvem ferramentas como SIG, QGIS, ArcGIS e CAD, que organizam e visualizam os dados geoespaciais, incluindo locais de atingimento, imagens aéreas e Modelos Digitais de Terreno (MDT). A organização e validação das informações em bancos de dados estruturados garantem uma análise eficiente, enquanto a modelagem espacial identifica zonas de risco ao combinar dados históricos e levantamentos geoespaciais, possibilitando a geração de mapas preditivos. A metodologia prevê ainda a análise de padrões de inundação ao longo do tempo, correlacionando variáveis ambientais e urbanísticas para determinar fatores de risco.

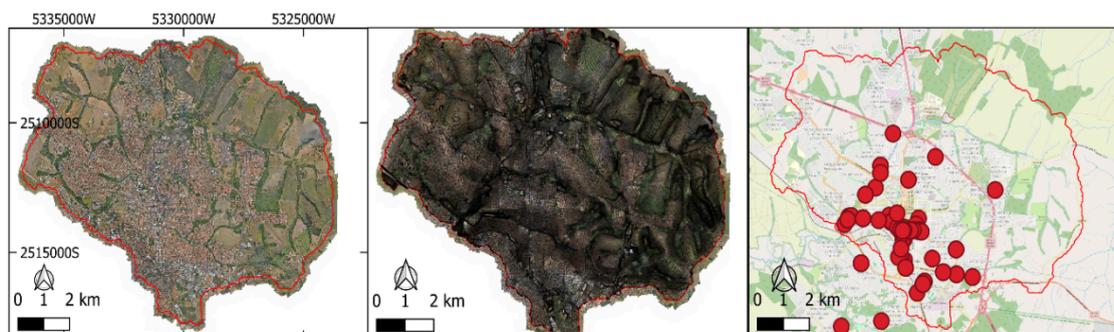


Figura 2: Área em São Carlos: a) imageamento; b) MDT; c) distribuição de pontos de inundação. Fonte: Autores, 2025

Para complementar a análise técnica, a realização de entrevistas semiestruturadas com moradores de áreas suscetíveis a inundações, permite a validação dos dados espaciais e a inclusão da percepção da população no mapeamento de risco. O objetivo dessas entrevistas é obter informações sobre a frequência, impactos e histórico das inundações sob a ótica dos residentes.

O resultado são mapas de atingimento em diferentes eventos hidrometeorológicos, que servirão tanto para calibrar modelos hidrodinâmicos como para fornecer uma ferramenta precisa para a gestão de riscos urbanos, possibilitando a criação de mapas dinâmicos acessíveis a gestores públicos e planejadores urbanos. Os resultados poderão ser integrados às plataformas geoespaciais municipais, facilitando a gestão e prevenção de desastres, além de viabilizar a formulação de políticas públicas mais eficazes para a mitigação dos impactos das inundações. Com essa abordagem, espera-se reduzir os danos causados por eventos hidrológicos e subsidiar estratégias mais eficientes de planejamento urbano e gestão de riscos.

5. COMPARAÇÃO ENTRE AS METODOLOGIAS E SUAS DIFERENÇAS

A metodologia proposta sugere um modelo integrado de mapeamento de inundações em áreas urbanas com ênfase em geotecnologias e participação comunitária, apresenta um enfoque inovador ao incorporar a dimensão social e a validação participativa no processo de mapeamento de risco. Essa abordagem se diferencia significativamente das demais metodologias analisadas por adotar um modelo híbrido que combina tecnologia de ponta, como o uso de drones com sensores de alta resolução, com o conhecimento local obtido por meio de entrevistas semiestruturadas com moradores afetados.

Enquanto as metodologias como a de Monteiro e Kobiyama (2013) e a do IPT (Falcetta, 2023) se concentram em modelagens hidrológicas e hidráulicas complexas com forte dependência de parâmetros físicos e matemáticos, como vazões de pico, equações i-d-f, e simulações computacionais (ex.: HEC-HMS, HEC-RAS, FLO-2D), a metodologia proposta adota uma perspectiva mais holística e territorializada, que integra aspectos técnicos e sociais.

Do ponto de vista técnico, a metodologia proposta compartilha com o IPT e Germano et al. (2022) o uso de modelos digitais de elevação (MDE) e ferramentas SIG (QGIS, ArcGIS), além da utilização de dados orbitais e aerofotogramétricos. No entanto, ao contrário dessas metodologias que priorizam o rigor da simulação física, a abordagem participativa valoriza a percepção comunitária como dado complementar, conferindo maior legitimidade social e acurácia local aos mapas gerados, especialmente em áreas onde há lacunas de dados ou registros históricos insuficientes.

Em comparação às metodologias da CPRM (Lana et al., 2021; Simões e Conceição, 2021), que se fundamentam principalmente em levantamentos de campo, histórico de eventos e caracterização morfométrica do relevo, a metodologia proposta amplia o escopo da análise ao estruturar um banco de dados geoespacial robusto, com informações coletadas tanto de fontes oficiais quanto locais. A abordagem fuzzy adotada por Simões e Conceição, por exemplo, promove uma modelagem estatística baseada em variáveis derivadas do relevo (HAND), mas não incorpora dados sociais ou participativos na composição final das cartas de suscetibilidade.

Outra diferença importante é a proposta de integração com plataformas municipais. A metodologia proposta sugere que os produtos finais (como mapas de risco, zonas de vulnerabilidade e dados georreferenciados) sejam disponibilizados para gestores públicos e comunidades locais por meio de sistemas acessíveis e atualizáveis. Essa característica a torna particularmente adequada para processos de gestão territorial participativa, planejamento urbano inclusivo e formulação de políticas públicas de adaptação climática.

Contudo, é importante destacar que essa metodologia pode apresentar limitações técnicas no que diz respeito à precisão de modelagem hidráulica em eventos extremos, especialmente se não forem utilizadas simulações com modelos físicos rigorosos. Além disso, a dependência de

envolvimento comunitário pode representar um desafio em contextos onde há pouca articulação social ou resistência institucional à participação pública.

Em síntese, a metodologia proposta representa uma evolução metodológica que busca superar as limitações tradicionais das abordagens exclusivamente técnicas, promovendo a integração entre dados geoespaciais, tecnologias emergentes e saberes locais. Sua adoção pode ser particularmente estratégica em cidades de médio porte, onde o conhecimento empírico da população e os dados técnicos precisam ser conciliados para a formulação de respostas mais eficazes aos riscos hidrológicos.

6. CONCLUSÕES

A comparação entre as metodologias de mapeamento de áreas sujeitas a inundação demonstra que, embora as abordagens existentes na literatura apresentem contribuições técnicas relevantes (como o uso de modelagem hidrológica, sensoriamento remoto e geoprocessamento), a metodologia proposta destaca-se por sua abrangência, integração de técnicas e aplicabilidade prática. Ao combinar dados geoespaciais obtidos por veículos aéreos não tripulados (VANTs), análise em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), modelagem hidrodinâmica e informações qualitativas oriundas de entrevistas com moradores das áreas afetadas, a proposta configura-se como um modelo mais adaptável à complexidade dos ambientes urbanos.

O principal diferencial da metodologia está na articulação de múltiplas fontes de dados, associando precisão técnica à percepção local sobre os eventos de inundação. Essa integração contribui para a maior confiabilidade dos produtos gerados e amplia a compreensão dos fatores socioambientais que influenciam a vulnerabilidade das áreas urbanas. Além disso, a possibilidade de incorporar os resultados diretamente ao SIG municipal viabiliza uma gestão pública mais eficiente, favorecendo a formulação de políticas e ações voltadas à mitigação de riscos.

A inclusão do conhecimento empírico da população, comumente desconsiderado em abordagens técnicas tradicionais, mostra-se essencial para validar e complementar as análises quantitativas, promovendo um planejamento urbano mais participativo e alinhado às realidades locais.

Dessa forma, conclui-se que a metodologia proposta representa um avanço significativo para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, especialmente em cidades de médio porte, como São Carlos (SP). Sua abordagem integrada contribui para o aprimoramento da capacidade de resposta dos municípios frente a eventos hidrometeorológicos extremos, promovendo a redução de danos, o fortalecimento da resiliência urbana e o desenvolvimento sustentável das cidades.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), chamada pública nº CNPq/MCTI N° 15/2023.

REFERÊNCIAS

BRASIL. *Lei 12.608, de 10 de abril de 2012*. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil – PNP-DEC; dispõe sobre o Sistema Nacional de Proteção e Defesa Civil – SINPDEC e o Conselho Nacional de Proteção e Defesa Civil – CONPDEC; autoriza a criação de sistema de informações e monitoramento de desastres; altera as Leis nos 12.340, de 10 de dezembro de 2010, 10.257, de 10 de julho de 2001, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.239, de 4 de outubro de 1991, e 9.394, de 20 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Diário Oficial da União

OLIVEIRA, S. S.; PORTELLA, S. L. D.; ANTUNES, M. N.; ZEZERE, J. L. Dimensões da vulnerabilidade de populações expostas a inundação: apontamentos da literatura. In: Lourenço Magnoni Junior; Carlos Machado de Freitas; Lopes, Gláucia Rachel Branco Castro; Humberto Alves Barbosa; Luciana Resende Londe; Maria da Graça Mello; Magnoni, Rosicler Sasso Silva; Tabita Teixeira e Wellington dos Santos Figueiredo. (Org.). *Redução do risco de desastres e a resiliência no meio rural e urbano*. 2ed. São Paulo: Centro Paula Souza, 2020, v. 1, p. 1-865.

ZAMBRANO, F.C.; KOBAYAMA, M.; PEREIRA, M. A. F.; MICHEL, G. P.; FAN, F. M. Influence of different sources of topographic data on flood mapping: urban área, São Vendelino municipality, southern Brazil. RBRH, V. 25, e40, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190108>

ZUQUETTE, L. V. Riscos, Desastres e Eventos Naturais Perigosos - Fontes de Eventos Perigosos: Volume 2. GEN LTC; 1ª edição, 2018. 320 p.