

RESSALVA

Atendendo a solicitação do(a) autor(a), o texto completo desse trabalho será disponibilizado no repositório a partir de 06/03/2028.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia



Ministério da **Ciência,**
Tecnologia e Inovações



HÉLIO RODRIGUES BASSANELLI

**Aplicação de sistemas VANT e ciência cidadã para estudos de áreas suscetíveis a
inundação.**

HÉLIO RODRIGUES BASSANELLI

**APLICAÇÃO DE SISTEMAS VANT E CIÊNCIA CIDADÃ PARA ESTUDOS DE
ÁREAS SUSCETÍVEIS A INUNDAÇÃO**

Tese apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), como parte dos requisitos para obtenção do título de DOUTOR pelo Programa de Pós-Graduação em DESASTRES NATURAIS.

Área: Desastres. Linha de pesquisa: Desastres associados a eventos extremos, inundações e movimentos de massa.

Orientador: Prof. Dr. Javier Tomasella

São José dos Campos

2026

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2026]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Bassanelli, Hélio Rodrigues

Aplicação de sistemas VANT e ciência cidadã para estudos de áreas suscetíveis a inundação / Hélio Rodrigues Bassanelli. - São José dos Campos : [s.n.], 2026.
88 f. : il.

Tese (doutorado) - Pós-graduação em Desastres Naturais - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2026.

Orientador: Javier Tomasella.

1. VANT'S. 2. Modelo Digital de Elevação. 3. Sensoriamento remoto. 4. Dados participativos. 5. Ciência cidadã. I. Tomasella, Javier, orient. II. Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. III. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - UNESP. IV. Universidade Estadual Paulista (UNESP). V. Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden). VI. Título.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A presente pesquisa propõe uma abordagem metodológica inovadora baseada na integração entre geotecnologias de baixo custo, especialmente veículos aéreos não tripulados (VANTs), e dados provenientes de iniciativas de ciência cidadã, aplicada ao mapeamento de áreas suscetíveis a inundações. Essa integração contribui para suprir lacunas históricas relacionadas à disponibilidade de dados topográficos de alta resolução, particularmente em municípios de pequeno e médio porte, que frequentemente apresentam limitações técnicas, operacionais e financeiras para o monitoramento sistemático de riscos hidrológicos. Do ponto de vista científico, o estudo avança ao avaliar, de forma empírica, a acurácia altimétrica de Modelos Digitais de Elevação (MDEs) derivados de levantamentos com VANTs, comparando-os com modelos orbitais e dados geodésicos de referência. Tal análise contribui para o aprimoramento de metodologias em sensoriamento remoto aplicado à hidrologia, bem como para a consolidação de práticas integradas entre dados instrumentais e observações participativas. Sob a perspectiva tecnológica, a pesquisa propõe um modelo operacional caracterizado por baixo custo, elevada eficiência e alta reprodutibilidade, passível de incorporação em rotinas institucionais de órgãos municipais, especialmente nas áreas de planejamento urbano, defesa civil e gestão ambiental. Essa abordagem amplia a capacidade de produção de informações espaciais qualificadas, essenciais para o planejamento territorial e a mitigação de riscos. No âmbito social, destaca-se o fortalecimento da participação comunitária na produção e validação de dados geoespaciais, promovendo maior percepção de risco e incentivando práticas associadas à cultura de prevenção. A integração entre conhecimento técnico-científico e saber local contribui para o fortalecimento da governança territorial e para a construção de estratégias mais inclusivas e eficazes de gestão de desastres. Dessa forma, os resultados desta pesquisa transcendem o escopo acadêmico, oferecendo uma estrutura metodológica aplicável em diferentes contextos territoriais e contribuindo para o desenvolvimento de cidades mais resilientes, sustentáveis e adaptadas aos desafios impostos por eventos hidrológicos extremos.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

This research proposes an innovative methodological approach based on the integration of low-cost geotechnologies, particularly unmanned aerial vehicles (UAVs), with data derived from citizen science initiatives, applied to the mapping of flood-prone areas. This integration helps to address longstanding gaps in the availability of high-resolution topographic data, especially in small and medium-sized municipalities that often face technical, operational, and financial limitations for systematic hydrological risk monitoring. From a scientific perspective, the study advances by empirically evaluating the altimetric accuracy of Digital Elevation Models (DEMs) derived from UAV surveys, comparing them with orbital models and geodetic reference data. This analysis contributes to the improvement of remote sensing methodologies applied to hydrology, as well as to the consolidation of integrated practices combining instrumental data and participatory observations. From a technological standpoint, the research proposes an operational model characterized by low cost, high efficiency, and strong reproducibility, which can be incorporated into institutional routines of municipal agencies, particularly in the fields of urban planning, civil defense, and environmental management. This approach enhances the capacity to produce qualified spatial information, which is essential for territorial planning and risk mitigation. From a social perspective, the study highlights the strengthening of community participation in the production and validation of geospatial data, promoting greater risk awareness and encouraging practices associated with a culture of prevention. The integration of scientific-technical knowledge with local knowledge contributes to strengthening territorial governance and to the development of more inclusive and effective disaster management strategies. Thus, the results of this research go beyond the academic scope, providing a methodological framework applicable to different territorial contexts and contributing to the development of more resilient, sustainable cities better adapted to the challenges posed by extreme hydrological events.

BANCA EXAMINADORA

Dr Javier Tomasella (Orientador)

UNESP - Universidade Estadual Paulista
Instituto de Ciência e Tecnologia -
Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento
e Alertas de Desastres Naturais
São José dos Campos - SP

Dr^a. Tatiana Sussel Gonçalves Mendes

UNESP - Universidade Estadual Paulista
Campus de São José dos Campos.
Departamento de Engenharia Ambiental
São José dos Campos – SP

Dr^a. Luciana de Resende Londe

Cemaden - Centro Nacional de Monitoramento
e Alertas de Desastres Naturais
São José dos Campos - SP

Dr^a. Maria Clara Fava

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
São Paulo - SP

Dr^a. Anaí Vasconcelos Floriano

UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil
São Paulo - SP

São José dos Campos, 06 de março de 2026.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha esposa e à minha filha,

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à minha família, pelo amor incondicional, paciência e apoio constante em todos os momentos desta jornada. Em especial, à minha esposa Helaine e à minha filha Isabela, cuja presença, compreensão e carinho foram fundamentais para que eu pudesse concluir este trabalho. Estendo meus agradecimentos aos meus pais e irmãos, pelo incentivo permanente e por acreditarem no meu caminho acadêmico e profissional.

Minha sincera gratidão ao Prof. Javier Tomasella, pela orientação dedicada, pelo bom humor sempre presente e por sua disponibilidade em todas as etapas deste projeto. Seu apoio constante — inclusive nos momentos em que eu mesmo duvidava — foi determinante para que este trabalho se concretizasse.

Agradeço à Prof.^a Minella Martins, pela ajuda no meu ingresso no programa e pelo período de convivência em docência conjunta, do qual guardo aprendizados valiosos.

Meus agradecimentos à Prof.^a Maria Clara Fava, pela amizade, pelo apoio, pelas contribuições acadêmicas e pelos ensinamentos que enriqueceram o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos amigos e pesquisadores Prof.^a Anaí Floriano Vasconcelos, Jaqueline Carolino Santos, Gabriela Gonçalves Cilito, Pedro Ramos Galvão e Carlos Eugênio Pereira, agradeço a amizade, parceria nas campanhas de campo, na coleta de dados e na elaboração dos trabalhos que compõem esta trajetória.

Estendo ainda meus agradecimentos aos colegas do Programa e a todos os professores pelas discussões, sugestões e conhecimentos compartilhados ao longo do curso, que ampliaram minha formação científica e profissional.

Gostaria de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento desta pesquisa (Processos nº 409527/2021-1 e 440016/2024-0).

Agradeço, por fim, ao Programa de Pós-Graduação em Desastres Naturais da Universidade Estadual Paulista (UNESP) pelo suporte institucional e pelas oportunidades de crescimento acadêmico proporcionadas ao longo do doutorado.

RESUMO

BASSANELLI, Hélio Rodrigues. Aplicação de sistemas VANT e ciência cidadã para estudos de áreas suscetíveis a inundação. **2026**. Tese (Doutorado em Desastres Naturais) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden), São José dos Campos, 2026.

Desastres naturais, como as inundações, são cada vez mais frequentes e demandam estratégias eficazes de prevenção. A legislação brasileira exige o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, destacando a necessidade de métodos acessíveis e replicáveis. Este estudo avaliou a precisão de modelos digitais de elevação (MDEs) obtidos por drones em áreas propensas a inundações na Bacia do Alto Paranapanema (SP), município de Campina do Monte Alegre e no Vale do Paraíba, município de Lorena. Em Lorena o local de estudo foi o Ribeirão do Mandi e em Campina do Monte Alegre o entorno da confluência dos rios Paranapanema e Itapetininga, cursos d'água com históricos de cheias e impactos sociais. Em Lorena foi realizado um levantamento geodésico e aerofotogramétrico com Phantom 4 PRO de parte do curso d'água. Em Campina do Monte Alegre foram realizados levantamentos em duas áreas—rural e urbana—utilizando drones comerciais (Phantom 4 Pro e Mavic 3E RTK), com apoio de dados geodésicos GNSS RTK como superfície de referência. Os MDEs derivados de drones e de dados de satélite (SRTM e ANADEM) foram avaliados com base em métricas como RMSE, MAE e PBIAS. Dados de ciência cidadã, como marcas de inundações em postes de energia, foram integrados aos produtos derivados de MDEs para reconstruir eventos históricos de inundação. Entrevistas com moradores locais foram utilizadas para validar a extensão das áreas alagadas. Os resultados demonstraram a influência da altitude de voo e do uso de pontos de controle no solo, revelando os drones como ferramentas de baixo custo e alta confiabilidade para o mapeamento de risco de inundação.

Palavras-chave: VANTs; Modelo Digital de Elevação; sensoriamento remoto; dados participativos; ciência cidadã.

ABSTRACT

BASSANELLI, Hédio Rodrigues. Application of UAV Systems and Citizen Science for Studies of Flood-Prone Areas. 2026. Doctoral Thesis (PhD in Natural Disasters) – São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; National Center for Monitoring and Early Warning of Natural Disasters (Cemaden), São José dos Campos, 2026.

Natural disasters such as floods have become increasingly frequent, demanding more effective preventive strategies. Brazilian legislation establishes the obligation to map flood-prone areas, underscoring the need for accessible, reproducible, and scientifically robust methodologies. In this context, the present study evaluated the accuracy of digital elevation models (DEMs) generated from unmanned aerial vehicles (UAVs) in areas susceptible to flooding within the Alto Paranapanema Basin (São Paulo State), particularly in the municipality of Campina do Monte Alegre, as well as in the Paraíba Valley, in the municipality of Lorena. These regions include watercourses with documented histories of recurrent flooding and social impacts—such as the Ribeirão do Mandi in Lorena, and the Paranapanema and Itapetininga rivers in Campina do Monte Alegre. In Lorena, a combined geodetic and UAV-based photogrammetric survey was conducted along a segment of the river using a Phantom 4 Pro. In Campina do Monte Alegre, rural and urban areas were surveyed using commercial UAVs (Phantom 4 Pro and Mavic 3E RTK), supported by GNSS RTK measurements adopted as the reference altimetric surface. The performance of the drone-derived DEMs was compared with satellite-based models (SRTM and ANADEM) using standard accuracy metrics such as RMSE, MAE, and PBIAS. Citizen-science data, including flood marks painted on utility poles, were integrated into the analysis to support the reconstruction of historical flood extents. Interviews with local residents complemented these data, improving the validation of inundation boundaries. The results highlight the combined influence of flight altitude, ground control point configuration, and sensor characteristics on DEM accuracy, demonstrating that commercial drones constitute a low-cost and highly reliable alternative for detailed flood-risk mapping.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV); digital elevation model (DEM); remote sensing accuracy, community-based data.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município de Lorena	37
Figura 2: Enchente no Ribeirão Mandi em Lorena	40
Figura 3: Enchente no Ribeirão do Mandi em Lorena.	41
Figura 4: Mapa de áreas de risco em Lorena, SP.	43
Figura 5: Localização da bacia do Alto Paranapanema e do município de Campina do Monte Alegre.....	45
Figura 6: Localização das áreas de levantamento na Bacia do Alto Paranapanema.	47
Figura 7: Comparação entre o local hoje e uma foto durante a inundação	49
Figura 8: Marcação do nível de água atingido em uma inundação	50
Figura 9: Drone Phantom 4 Pro (a esquerda) e Drone Mavic 3E (a direita)	52
Figura 10: Implantação de pontos de controle em Lorena e Campina do Monte Alegre	54
Figura 11: Marcas nos postes indicando a altura das inundações históricas	57
Figura 12: Pontos de controle e erros estimados.	64
Figura 13: Comparação entre os diferentes produtos analisados.	66
Figura 14: Distribuição estatística dos erros altimétricos.....	67
Figura 15: Comparação entre os Modelos ANADEM e MAVIC3E.....	68
Figura 16: Área inundada projetada utilizando diferentes MDEs a partir da marca d'água do maior evento registrado no sítio urbano. Os pontos indicam a localização das entrevistas referentes a eventos passados, destacando em verde as concordâncias entre a área inundada projetada utilizando diferentes MDEs a partir da marca d'água do maior evento registrado no sítio urbano. Os pontos indicam a localização das entrevistas referentes a eventos passados, destacando em verde as concordâncias entre a área inundada e os relatos, enquanto as omissões são apresentadas em vermelho.	71
Figura 17: Resultados do GEOPEC da planimetria entre o levantamento geodésico e o levantamento do MAVIC3E.....	72
Figura 18: Resultados do GEOPEC da altimetria entre o levantamento geodésico e o levantamento do MAVIC3E	73
Figura 19: Resultados da NBR 13.133 da altimetria entre o levantamento geodésico e o levantamento do MAVIC3E	73
Figura 20: Imagem aérea do sítio urbano, apresentando detalhes das habitações. As cruzes vermelhas indicam a altitude dos pontos do levantamento geodésico.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista de áreas de risco mapeadas no Ribeirão do Mandi.	42
Tabela 2: Detalhes sobre os levantamentos com drone e o MDEs analisados.	59
Tabela 3: Indicação dos erros obtidos pelos pontos de controle.	63
Tabela 4: Estatísticas de desempenho para cada um dos modelos ANADEM e MAVIC3E avaliados no sítio urbano, em comparação ao MDE de referência geodésico.	69
Tabela 5: Comparação entre a área inundada determinada pelos MDEs do levantamento geodésico, do MAVIC3E e do ANADEM, em termos do número de omissões e do grau de concordância com os eventos históricos registrados pela população local no sítio urbano.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANADEM	ANADEM – Modelo Digital de Terreno para a América do Sul
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
DEM	Modelo Digital de Elevação
DCEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
GCP	Ground Point Control (Ponto de controle)
GNSS	Global Navigation Satellite System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LIDAR	Light Detection and Ranging
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
RTK	Real-Time Kinematic (Cinemático em Tempo Real)
SARPAS	Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SRTM	Shuttle Radar Thematic Mapper
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1. Desastres	18
2.2 Geotecnologias	21
2.3 Ciência cidadã	30
3 PROPOSTA DE PESQUISA	33
4 MATERIAIS E MÉTODOS	34
4.1 Sítio experimental 1	36
Lorena.....	36
4.2. Sítio experimental 2	44
Campina do Monte Alegre.....	44
4.2 Produtos de sensoriamento remoto.....	50
4.3 Coleta de dados usando VANT.....	51
4.3.1 Pontos de controle.....	53
4.3.2. Levantamento geodésico	55
4.4. Dados de ciência cidadã	56
4.5 Derivação da Extensão Histórica de Inundação	57
4.6 Avaliação de desempenho	59
5 RESULTADOS	62
5.1. Ribeirão do Mandi – Lorena	62
5.2. Campina do Monte Alegre.....	65
6 DISCUSSÕES	75
7 CONCLUSÕES.....	84
REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

As inundações são um fenômeno natural que afeta periodicamente áreas rurais e urbanas em todo o mundo. Dependendo de sua magnitude e duração, as inundações podem ser consideradas desastres, responsáveis por destruição em larga escala da infraestrutura e do meio ambiente, perdas econômicas significativas, distúrbios sociais e, em muitos casos, perda de vidas humanas (Amirkhani et al., 2022; EM-DAT, 2015).

Nos últimos anos, a incidência de inundações aumentou em magnitude e frequência devido à combinação das mudanças climáticas causadas por ações humanas e à gestão inadequada do uso do solo (Das e Gupta, 2021; Hagos et al., 2022). Devido à rápida urbanização, as inundações urbanas passaram a receber maior atenção da comunidade científica.

O aumento da frequência e da magnitude das inundações urbanas tem sido associado ao crescimento das áreas impermeabilizadas, às alterações na morfologia natural dos cursos d'água devido a intervenções antrópicas, à expansão urbana excessiva, ao planejamento urbano irracional e à má gestão do risco de inundações (Abebe et al., 2018; Miller; Hutchins, 2017; Choubin et al., 2019).

A gestão sustentável do risco de inundações depende do desenvolvimento do conhecimento sobre o risco e a probabilidade de ocorrência desses eventos (Binns, 2022). Nos últimos anos, o mapeamento de áreas potencialmente suscetíveis a inundações tem sido considerado um dos principais componentes estratégicos para gerenciar, reduzir e mitigar os impactos potenciais dos desastres hidrológicos, já que os mapas podem fornecer informações valiosas para moradores e tomadores de decisão sobre áreas com maior risco de alagamento (Abdelkarim et al., 2020; Rahmati et al., 2015; Mohanty ; Simonovic, 2022).

A urbanização acelerada também tem sido uma característica marcante no Brasil. De acordo com o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022), dos mais de 200 milhões de habitantes no país, 87,4% viviam em áreas urbanas, enquanto 12,6% residiam em áreas rurais. Em comparação com 2010, quando o grau de urbanização era de 84,4%, houve um aumento de 16,6 milhões de pessoas nas cidades e uma redução de 4,3 milhões na população rural.

O Projeto MapBiomias (2022) estimou que as áreas urbanizadas totalizavam 37

mil km² (0,4% do território nacional) e que aproximadamente 4,2 mil km² dessas áreas estavam localizadas a menos de 3 metros de altura em relação ao curso d'água mais próximo. Além disso, 68% da ocupação dessas áreas ocorreu nos últimos 38 anos, indicando uma intensificação na ocupação de regiões sujeitas a alagamentos.

O aumento na frequência dos eventos de inundação levou o governo brasileiro a aprovar, em 2012, uma nova legislação, a Lei 12.608 (Brasil, 2012), que instituiu a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil, além de estabelecer normas e diretrizes para reduzir os riscos de desastres. Segundo a lei, os municípios devem identificar e mapear áreas suscetíveis a deslizamentos, enxurradas e inundações graduais, entre outros eventos geológicos e hidrológicos relevantes. Apesar da boa intenção expressa na lei, sua aplicação prática permanece limitada mesmo após mais de 10 anos de sua promulgação, há um descompasso entre o marco legal e a capacidade técnica municipal, especialmente em cidades pequenas e médias, devido, principalmente, à falta de modelos digitais de terreno (MDT) de alta resolução na maior parte dos municípios. Os modelos disponíveis que cobrem todo o território nacional geralmente se baseiam em produtos orbitais de baixa resolução, com erros altimétricos entre 2 e 5 metros, o que é claramente insuficiente para a identificação precisa de áreas suscetíveis a inundações e para o mapeamento de risco de cheias.

Como o levantamento topográfico de áreas sujeitas a inundações é caro, estudos de vulnerabilidade ou mesmo mapeamentos são praticamente inexistentes na maioria dos cerca de 5.000 municípios do país. No Brasil o Serviço Geológico do Brasil (SGB) é o responsável pelo mapeamento de áreas de risco, tem já mapeado 1800 municípios até fevereiro de 2026, sendo um método de mapeamento participativo, elaborado individualmente em cada município, envolvendo a Defesa Civil Municipal e a própria população, se embasa no registro de informações em campo, por meio de entrevistas, observação de imagens de satélite, fotografias aéreas, etc.

As técnicas tradicionais de sensoriamento remoto, bem como a fotogrametria convencional, apresentam custos operacionais elevados, o que limita sua aplicação, sobretudo em municípios de pequeno e médio porte, que frequentemente dispõem de restrições orçamentárias e menor capacidade técnica instalada. Além disso, esses métodos geralmente demandam maior tempo de aquisição e processamento dos dados, dependem de logística mais complexa e, em alguns casos, possuem menor flexibilidade operacional para levantamentos rápidos ou em áreas de difícil acesso. Como consequência, sua

utilização torna-se menos viável em cenários de inundação que exigem alta resolução espacial, detalhamento do terreno e rapidez na obtenção das informações. Por outro lado, o levantamento topográfico convencional com estação total ou teodolitos, ou ainda com receptores GNSS, fornece maior precisão, mas em áreas de difícil acesso pode aumentar significativamente os custos ou até tornar a sua operação inviável.

Embora as áreas urbanizadas tenham triplicado em magnitude no período de 1985 a 2022, apenas 97 dos 5.570 municípios brasileiros possuem áreas urbanizadas superiores a 50 km², o que indica que, apesar do aumento da urbanização no país, uma grande parcela da população ainda vive em centros urbanos de pequeno porte (menos de 100 mil habitantes), que apresentaram as maiores taxas de expansão territorial (MapBiomass, 2022). Além disso, a maioria desses municípios está localizada em áreas remotas, com acesso limitado a recursos financeiros, tecnológicos e humanos, onde o custo e a disponibilidade de levantamentos topográficos detalhados se tornaram o principal entrave para a identificação de áreas suscetíveis a inundações.

Nesse contexto, o uso de plataformas de veículos aéreos não tripulados (VANTs) para o monitoramento ambiental, nos últimos anos, possibilitou a aquisição de informações espaciais do ambiente fluvial com elevada precisão e alta frequência de amostragem (Anderson; Gaston, 2013). O desenvolvimento das tecnologias de VANT cria oportunidades para a aquisição de dados mais rápidos e precisos, a custos significativamente menores, para a avaliação de áreas suscetíveis a inundações (Feng et al., 2015). Além disso, os VANTs podem ser utilizados para a aquisição de dados de alta resolução em ambientes urbanos complexos, bem como em áreas inacessíveis ou perigosas (Boccardo et al., 2015; Feng et al., 2015).

No município de Campina do Monte Alegre, dados disponibilizados por Vasconcelos et al. (2025) mostram que enchentes relacionadas ao Rio Itapetininga e ao Rio Paranapanema afetaram a cidade em pelo menos oito grandes eventos entre 1983 e 2023. A ausência de monitoramento hidrométrico sistemático torna a ciência cidadã e a integração de dados comunitários ainda mais essenciais para a reconstrução histórica e espacial das cheias.

No município de Lorena, o histórico de eventos de inundação também é amplamente documentado, sobretudo nas áreas adjacentes ao Ribeirão do Mandi e ao Ribeirão do Taboão, ambos afluentes do Rio Paraíba do Sul. Registros municipais, documentos de planejamento urbano e compilações produzidas pelo Cemaden (2025)

indicam que enchentes significativas impactaram a zona urbana de Lorena de forma recorrente nas últimas décadas, com episódios expressivos relatados em 1971, 1983, 1996, 2000, 2010, 2013 e 2020, além de eventos de menor magnitude que se repetem anualmente durante períodos de chuvas intensas.

Dessa forma, o objetivo deste estudo é avaliar a acurácia de MDEs obtidos sob diferentes configurações de aquisição com VANTs e compará-los com MDEs gratuitos derivados de satélites, utilizando um referencial geodésico, bem como examinar como a acurácia dos MDEs influenciam a reconstrução topográfica de extensões históricas de inundações quando combinada com relatos contribuídos por cidadãos.

É importante destacar que, neste estudo, os VANTs não foram utilizados para mapear diretamente superfícies de água. Em vez disso, os MDEs derivados de VANTs foram avaliados como a entrada topográfica estática que controla a delimitação das extensões históricas de inundação, entretanto, em áreas cobertas por água, a acurácia dos Modelos Digitais de Terreno (MDT) pode ser comprometida. Isso ocorre principalmente devido à transparência da lâmina d'água e à dificuldade de obtenção de pontos de controle fotogramétricos consistentes, fatores que afetam a qualidade da reconstrução altimétrica nessas superfícies (Clasing et al., 2023).

Assim, os níveis máximos de água registrados em postes de energia após grandes enchentes forneceram a cota de referência dos eventos passados. As entrevistas de ciência cidadã foram então utilizadas como um conjunto de dados independente de validação, permitindo comparar a concordância entre as lembranças da comunidade e as reconstruções de inundações baseadas em MDEs.

Neste estudo, apresentamos uma estrutura de mapeamento de áreas inundadas que vai além das comparações convencionais entre MDEs e levantamentos topográficos, ao possibilitar o mapeamento realista e operacionalmente robusto da extensão de inundações utilizando dados ópticos de VANTs de baixo custo, validados por observações de inundações oriundas da ciência cidadã. A abordagem metodológica proposta oferece uma alternativa eficaz a levantamentos onerosos com sensor LiDAR ou receptores GNSS e supera levantamentos geodésicos convencionais em áreas urbanas ao imagear e documentar informações relevantes em áreas construídas de difícil acesso e diretamente relacionadas à dinâmica das inundações.

7 CONCLUSÕES

Este estudo demonstrou várias vantagens do uso de VANTs para o mapeamento de áreas suscetíveis a inundações, tanto em termos de custo-benefício em relação aos levantamentos geodésicos tradicionais quanto pela economia de tempo e esforço. No entanto, observou-se que a precisão depende fortemente da altura de voo, o que pode ser um desafio em levantamentos de grandes áreas devido ao grande número de imagens a serem processadas.

Além disso, a validação cruzada com dados de ciência cidadã demonstrou melhor desempenho dos levantamentos com drones, pois permitiram a obtenção de informações em áreas inacessíveis, como os quintais das residências, que não foram contempladas no levantamento geodésico.

Por outro lado, o estudo também mostrou as limitações dos VANTs sem sistema RTK, que exigem alta densidade de GCPs para estimativas precisas. Em áreas com difícil acesso para implantação de GCPs, como zonas com vegetação densa ou construções, essas limitações podem comprometer a qualidade dos dados — justamente onde os drones com RTK se mostram mais vantajosos.

A ciência cidadã contribuiu para elucidar detalhes do relevo não evidentes nos levantamentos geodésicos, mas captados pelo levantamento com drones, evidenciando a importância das informações locais em regiões com escassez de dados. Para o mapeamento preliminar de áreas de risco em regiões rurais isoladas, o presente estudo mostrou que o uso do MDE ANADEM — que teve o melhor desempenho entre os produtos orbitais testados — em combinação com entrevistas locais, pode oferecer uma avaliação inicial eficiente das áreas de risco com recursos mínimos.

Ao comparar dados de terreno derivados de VANTs, MDEs de acesso aberto e informações participativas, este estudo avança na compreensão de como a acurácia topográfica influencia a delimitação de áreas inundadas e oferece uma metodologia prática para regiões com escassez de dados que buscam aprimorar a avaliação do risco de inundações.

Por fim, este estudo evidenciou o potencial dos VANTs como uma solução intermediária entre modelos globais de baixa resolução e levantamentos topográficos tradicionais, preenchendo uma lacuna importante na avaliação preliminar do risco de inundações em áreas urbanas e periurbanas. A capacidade de gerar modelos de elevação

em escala local, aliada à flexibilidade operacional e ao menor custo, torna essa abordagem particularmente relevante em contextos nos quais dados hidráulicos detalhados e séries históricas consistentes são inexistentes ou limitados. Nesse sentido, a integração da topografia derivada de drones com informações de ciência cidadã amplia a robustez interpretativa dos resultados, ao incorporar o conhecimento histórico das populações afetadas como uma fonte complementar de validação espacial.

Do ponto de vista metodológico, os resultados reforçam que o uso de VANTs na estimativa e no mapeamento preliminar de áreas inundadas constitui uma etapa essencial para a priorização de áreas vulneráveis e o apoio às decisões iniciais de planejamento e gestão do risco, ao possibilitar a geração de MDEs com maior resolução espacial e acurácia altimétrica do que os modelos de elevação de acesso livre comumente utilizados. A aplicabilidade do fluxo de trabalho proposto restringe-se a planícies aluviais de baixa declividade, onde a topografia exerce papel dominante na propagação das inundações, devendo ser aplicada com cautela em sistemas geomorfológica ou hidraulicamente mais complexos, nos quais abordagens fisicamente baseadas se fazem necessárias. Nesses casos, recomenda-se a integração da abordagem metodológica apresentada neste estudo com modelos hidrodinâmicos.

REFERÊNCIAS

- ABDELKARIM, A.; AL-ALOLA, S. S.; ALOGAYELL, H. M.; MOHAMED, S. A.; ALKADI, I. I.; ISMAIL, I. Y. Integration of GIS-based multicriteria decision analysis and analytic hierarchy process to assess flood hazard on the Al-shamal train pathway in Al-qurayyat region, Kingdom of Saudi Arabia. *Water*, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12061702>.
- AB'Saber, A. N. **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul**. São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1977.
- ABEBE, Y.; KABIR, G.; TEFAMARIAM, S. Assessing urban areas vulnerability to pluvial flooding using GIS applications and Bayesian Belief Network model. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 1629–1641, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.182>
- AGISOFT L.L.C. Agisoft Photoscan Pro. St. Petersburg, Russia. 2014. Available online: <http://www.agisoft.com> (accessed on 22 June 2025).
- ALSDORF, D.; RODRÍGUEZ, E.; LETTENMAIER, D. Measuring surface water from space. *Reviews of Geophysics*, v. 45, n. 2, 2007.
- ALMEIDA, F. F. M.; CARNEIRO, C. D. R. Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, 1998.
- ALVALÁ, R. C. S.; BARBIERI, A. Desastres naturais. In: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A. (org.). *Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar*. São José dos Campos: Canal6, 2017. v. 1, p. 203–230.
- AMIRKHANI M, GHAEMIMOOD S, VON SCHREEB J, EL-KHATIB Z, YAYA S. Extreme weather events and death based on temperature and CO₂ emission: a global retrospective study in 77 low-, middle- and high-income countries from 1999 to 2018. *Preventive Medicine Reports*, v. 28, 2022. Art. 101846.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Hidrologia do Paranapanema**. Brasília, 2019.
- ANAC. Requisitos Gerais para Aeronaves não Tripuladas de Uso Civil RBAC-E no 94. Agência Nacional de Aviação Civil. RBAC-E no 94/2017. Rio de Janeiro. 2017.
- ANDERSON, K.; GASTON, K. J. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 11, p. 138–146, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1890/120150>.
- ASSUMPÇÃO, T. H.; POPESCU, I.; JONOSKI, A.; SOLOMATINE, D. P. Citizen observations contributing to flood modelling: opportunities and challenges. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 22, p. 1473–1489, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-22-1473-2018>.
- BASSANELI, H. R., FAVA, M. C., TOMASELLA, J., SANTOS, J. C. DOS, VASCONCELOS, A. F., CILTO, G. G., GALVÃO, P. R., BENSO, M. R., & PEREIRA, C.

E. Combining low-cost drone surveys and citizen science to identify flood-prone areas. *Frontiers in Water*, 2026. (Seção: Water and Built Environment).

BATES, P.; DE ROO, A. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, v. 236, p. 54–77, 2000.

BATES, P. D.; NEAL, J. C.; ALSDORF, D.; SCHUMANN, G. J. P. Observing global surface water flood dynamics. In: *The Earth's Hydrological Cycle*. 2014. p. 839–852.

BENSO, M. R. DEM Accuracy Analysis Toolkit. 2025. Software. Disponível em: https://github.com/marcosrbenso/dem_analysis. Acesso em: outubro de 2025.

BINNS, A. D. Sustainable development and flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12807>.

BOANOVA FILHO, J. L. Aeronaves não tripuladas no Brasil e sua regulação. *Revista Brasileira de Direito Aeronáutico e Espacial*, Rio de Janeiro, n. 96, p. 49–51, dez. 2014.

BOCCARDO, P.; CHIABRANDO, F.; DUTTO, F.; TONOLO, F.G.; LINGUA, A. UAV deployment exercise for mapping purposes: evaluation of emergency response applications. *Sensors*, v. 15, p. 15717–15737, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/s150715717>.

BONNEY, R., PHILLIPS, T. B., BALLARD, H. L., & ENCK, J. W. Can citizen science enhance public understanding of science? *Public Understanding of Science*, v. 25, n. 1, p. 2–16, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/0963662515607406>.

BOTZEN, W. J. W.; DESCHENES, O.; SANDERS, M. The economic impacts of natural disasters: a review of models and empirical studies. *Review of Environmental Economics and Policy*, v. 13, n. 2, p. 167–188, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/reep/rez004>.

BRASIL. Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012. Institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112608.htm. Acesso em: abril de 2025.

BRAZIER, R.E.; JONES, L.; DEBELL, L.; KING, N.; ANDERSON, K. Water resource management at catchment scales using lightweight UAVs: current capabilities and future perspectives. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, v. 4, p. 7–30, 2016. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/8/982/htm>. Acesso em: 07 dez. 2020.

BUSCH, A.; AMORIM, S. N. D. A tragédia da região serrana do Rio de Janeiro em 2011: procurando respostas. 2011. Disponível em: <https://repositorio.enap.gov.br/handle/1/328>. Acesso em: 02 fev. 2026.

CARVALHO, G. C.; TOLEDO, A. M. A. Caracterização dos aspectos físicos e uso da terra em áreas de preservação permanente de sub-bacias hidrográficas no município de Campina do Monte Alegre-SP. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 20., 2023, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/caracterizacao-dos-aspectos-fisicos-e-uso-da-terra-em-areas-de-preservacao-perma?lang=pt-br>. Acesso em: 04 out. 2025.

CEMADEN. Setores de risco hidrológico – base 2025. São José dos Campos, 2025.

CEPAGRI – CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. Clima dos municípios paulistas. Campinas: UNICAMP, 2023.

CEPED-UFSC. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991–2020. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

CHEN, J. et al. Evaluating digital elevation model accuracy for hydrological applications. *Hydrological Sciences Journal*, v. 62, n. 9, 2017.

CLASING, R.; MUÑOZ, E.; ARUMÍ, J. L.; PARRA, V. Remote sensing with UAVs for flood modeling: a validation with actual flood records. *Water*, v. 15, n. 21, 2023. Art. 3813.

COLOMINA, I.; MOLINA, P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 92, p. 79–97, 2014.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Mapeamento de riscos em encostas e inundações: classificação e metodologia. Brasília: CPRM, 2014.

CHOUBIN B, MORADI E, GOLSHAN M, ADAMOWSKI J, SAJEDI-HOSSEINI F, MOSAVI A. An ensemble prediction of flood susceptibility using multivariate discriminant analysis, classification and regression trees, and support vector machines. *Science of the Total Environment*, v. 651, p. 2087–2096, 2019.

CORCOVADO, J. M. F.; VALLE, V. C. L. L. Regulação do uso comercial de drones no espaço aéreo urbano e sua logística para transporte de objetos nas smart cities. *International Journal of Digital Law*, v. 2, n. 2, p. 185–200, 2021.

DAS, S.; GUPTA, A. Multi-criteria decision based geospatial mapping of flood susceptibility and temporal hydro-geomorphic changes in the Subarnarekha basin, India. *Geoscience Frontiers*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101206>.

DJI. Phantom 4 Pro. Disponível em: <https://www.dji.com/phantom-4-pro>. Acesso em: 04 dez. 2020.

DCEA – DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/>. Acesso em: 16 jun. 2021.

ELTNER, A., KAISER, A., CASTILLO, C., ROCK, G., NEUGIRG, F., E ABELLÁN, A. Image-based surface reconstruction in geomorphometry: merits, limits and developments. *Earth Surface Dynamics*, v. 4, p. 359–389, 2016. DOI: <https://doi.org/10.5194/esurf-4-359-2016>.

ELWOOD, S. Volunteered geographic information: future research directions motivated by critical, participatory, and feminist GIS. *GeoJournal*, v. 72, p. 173–183, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10708-008-9186-0>.

EM-DAT. The human cost of weather-related disasters, 1995–2015. Brussels: Centre for Research on the Epidemiology of Disasters; UNDRR, 2015.

EM-DAT. International disaster database. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2022.

EMLID. Emlid Studio: versão 1.9. [S. l.]: Emlid, 2024. Disponível em: <https://emlid.com/emlid-studio/>. Acesso em: 22 jun. 2025.

FAN, Y.; BRAS, R. Groundwater and streamflow response to climate variability. *Water Resources Research*, v. 54, 2018.

Farr, T.G., E. Caro, R. Crippen, R. Duren, S. Hensley, M. rick, M. Paller, E. Rodriguez, P. Rosen, L. Roth, D. Seal, S. Shaffer, J. Shimada, J. Umland, M. Werner, The Shuttle Radar Topography Mission. *Reviews of Geophysics*, v. 45, RG2004, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>.

FENG, Q.; LIU, J.; GONG, J. UAV remote sensing for urban vegetation mapping using random forest and texture analysis. *Remote Sensing*, v. 7, p. 1074–1094, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70101074>.

Fohringer, J.; Dransch, D.; Kreibich, H.; Schröter, K. Social media as an information source for rapid flood inundation mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 15, p. 2725–2738, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-15-2725-2015>.

FREITAS, A. DE. Notas para a história de Lorena. São Paulo: Instituto Histórico e Geográfico de São Paulo, 1977.

GARROTE, L. High-resolution DEMs for hydrological modelling: strengths and limitations. *Water*, v. 14, 2022.

GARROTE, J. Free global DEMs and flood modelling: a comparison analysis for the January 2015 flooding event in Mocuba City (Mozambique). *Water*, v. 14, p. 176, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14020176>.

GOODCHILD, M. F. Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, v. 69, p. 211–221, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>.

GOODCHILD, M. F.; LI, L. Assuring the quality of volunteered geographic information. *Spatial Statistics*, 2012.

GONÇALVES, J., HENRIQUES, R., ALVES, P., SOUSA-SILVA, R., MONTEIRO, A.T., LOMBA, Â., MARCOS, B. AND HONRADO, J. Evaluating an unmanned aerial vehicle-based approach for assessing habitat extent and condition in fine-scale early successional

mountain mosaics. *Applied Vegetation Science*, v. 19, p. 132–146, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/avsc.12204>.

GRAMANI, M. F., CAVALHIERI, C. P., DE SOUZA SILVA, A. P., DA COSTA MANTOVANI, J., & CAROU, C. B. O uso de drone multirrotor de pequeno porte para diagnóstico e monitoramento de acidentes geológicos. 2018. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Camila_Carou/publication/327546671_O_Uso_de_Drone_Multirrotor_de_Pequeno_Porte_para_Diagnostico_e_Monitoramento_de_Acidentes_Geologicos. Acesso em: 07 dez. 2022.

HAKLAY, M. Citizen science and volunteered geographic information: overview and typology of participation. In: SUI, D. Z.; ELWOOD, S.; GOODCHILD, M. F. (ed.). *Crowdsourcing geographic knowledge: volunteered geographic information (VGI) in theory and practice*. Berlin: Springer, 2013. p. 105–122. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_7.

HAGOS YG, ANDUALEM TG, YIBELTAL M, MENGIE MA. Flood hazard assessment and mapping using GIS integrated with multi-criteria decision analysis in upper Awash River basin, Ethiopia. *Applied Water Science*, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01674-8>.

HAGOS, S. et al. Global precipitation extremes and climate variability. *Nature Climate Science*, 2022.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em maio de 2024.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Divisão de sensoriamento remoto. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/sensores-plataformas/drones>. Acesso em: 14 jun. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844>.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT); COORDENADORIA ESTADUAL DE DEFESA CIVIL (SEDEC-SP). Mapeamento de áreas de risco de inundação e classificação de risco – município de Lorena (SP). Lorena: SEDEC-SP/IPT, 2015. Disponível em: https://www.sidec.sp.gov.br/map_risco/uploads/doc1432908721.pdf. Acesso em: 10 nov. 2026.

LANDT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapeamento de áreas de alto e muito alto risco a deslizamentos e inundações do município de Lorena (SP). Relatório técnico 142.748-205, 09 mar. 2015. Lorena: Casa Militar do Gabinete do Governador, 2015. Disponível em: https://www.sidec.sp.gov.br/map_risco/uploads/doc1432908721.pdf.

LONDE, L. D. R., MOURA, L. G., COUTINHO, M. P., MARCHEZINI, V., SORIANO, E. (2018). Vulnerabilização, saúde e desastres socioambientais no litoral de São Paulo: desafios para o desenvolvimento sustentável. *Ambiente & Sociedade*, 21, e01022.

LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. Geographic information science and systems. 4. ed. Cham: Springer, 2015. Disponível em: <https://archive.org/details/geographicinform0000long>. Acesso em: 30 jan. 2026.

IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Mapa geomorfológico do estado de São Paulo. São Paulo, 1981.

JAKOVSKI, Z. et al. UAV-based DEMs for flood modelling: accuracy and limitations. *Remote Sensing*, v. 14, 2022.

LAIPALT, L. et al. ANADEM: a digital terrain model for South America. *Remote Sensing*, v. 16, p. 2321, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16132321>.

MAGNINI, A. et al. Geomorphic flood hazard mapping: from floodplain delineation to flood hazard characterization. *Hydrological Sciences Journal*, v. 68, n. 16, p. 2388–2403, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2269909>.

MARENGO, J. et al. Extreme rainfall events in South America and their relation to ENSO. *Climate Dynamics*, 2015.

MAZZOLENI, M. et al. Testing UAV-derived topography for hydraulic modelling in a tropical environment. *Natural Hazards*, v. 103, p. 139–163, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03963-4>.

MAZZOLENI, M. et al. UAV photogrammetry for flood hazard mapping. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 20, 2020.

MAPBIOMAS. Áreas urbanizadas no Brasil 1985–2022. 2022. Disponível em: https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/FACT_Areas-Urbanas-no-Brasil_31.10_v2.pdf. Acesso em: março de 2024.

MARTINS, M. et al. Acurácia de levantamento aéreo realizado por VANT sem o auxílio de pontos de controle. In: *Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, v. 11, n. 2, 2020.

MILLER, J. D.; HUTCHINS, M. The impacts of urbanisation and climate change on urban flooding and urban water quality: a review of the evidence concerning the United Kingdom. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 12, p. 345–362, 2017.

MOHANTY, M. P.; SIMONOVIC, S. P. A comprehensive approach for floodplain mapping through identification of hazard using publicly available data sets over Canada. *Water*, v. 14, n. 14, p. 2280, 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LORENA. Mapa de localização do município de Lorena. Disponível em: <http://www.lorena.sp.gov.br/wordpress/wp-content/uploads/2024/04/4-Mapa-de-Localiza%C3%A7%C3%A3o-do-Munic%C3%ADpio-de-Lorena-1.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2025.

NARDI, F. et al. Citizens and hydrology (CANDHY): conceptualizing a transdisciplinary framework for citizen science addressing hydrological challenges. *Hydrological Sciences Journal*, v. 67, n. 16, p. 2534–2551, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1849707>.

NEAL, J. et al. How much physical complexity is needed to model flood inundation? *Hydrological Processes*, v. 26, n. 15, p. 2264–2282, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.8339>.

NJUE, N. et al. Citizen science in hydrological monitoring and ecosystem services management: state of the art and future prospects. *Science of the Total Environment*, v. 693, p. 133531, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.337>.

ONIGA, V.-E.; BREABAN, A.-I.; STATESCU, F. Determining the optimum number of ground control points for obtaining high precision results based on UAS images. *Proceedings*, v. 2, p. 352, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/ecrs-2-05165>.

PORTO, R.; TOS, R. Hidrologia para engenharia. 4. ed. São Paulo: ABRH, 2019.
NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. *Applied Geomatics*, v. 6, p. 1–15, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>.

UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION (UNDRR). Global assessment report on disaster risk reduction 2015: making development sustainable. United Nations, 2015. DOI: <https://doi.org/10.18356/919076d9-en>.

PERIÇATO, A. J.; SILVA, V. D.; MARCATTO, F. S. Identificação e mapeamento das áreas de risco no município de Itajaí-SC. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 6, p. 1895–1909, 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE LORENA. Relatório do Ribeirão Mandi: diagnóstico. 2011.

RICCOMINI, C. Tectonismo gerador e deformador da Bacia de Taubaté. São Paulo: USP, 1995.

RICS. Guidelines for the use of Global Navigation Satellite Systems (GNSS) in land surveying and mapping. 3. ed., 2023.

ROGERS, J. S. et al. The role of climate and population change in global flood exposure and vulnerability. *Nature Communications*, v. 16, p. 1287, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-025-56654-8>.

ROSA, M.; SILVA, L. A. A. Desastres naturais ou negligência humana? Disponível em: http://www.observatoriodasmetrolopoles.ufrj.br/artigo_boletim-017.htm. Acesso em: 20 fev. 2026.

ROSI, A. et al. Landslides in the mountain region of Rio de Janeiro. *Geosciences*, v. 9, n. 5, p. 203, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/geosciences9050203>.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. São Paulo: Contexto, 1992.

SAITO, S. M. et al. População urbana exposta aos riscos de deslizamentos, inundações e enxurradas no Brasil. *Sociedade & Natureza*, v. 31, 2019.

SANTOS, J. C. et al. Reconstituting past floods and assessing scenarios by integrating hydraulic modelling and citizen science. *Hydrological Sciences Journal*, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667.2026.2617596>.

SCHUMANN, G. J.-P.; BATES, P. D. The need for a high-accuracy, open-access global DEM. *Frontiers in Earth Science*, v. 6, p. 225, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2018.00225>.

SEE, L. et al. Crowdsourcing, citizen science or volunteered geographic information? *ISPRS*, 2016.

SEGANTINE, P. C. L. Estudo do sinergismo entre os sistemas de informação geográfica e o de posicionamento global. 2001. Tese (Livre-docência) – Universidade de São Paulo.

SILVEIRA, A. L. Hidrologia urbana. São Paulo: Oficina de Textos, 2016.

SMITH, L. S. et al. Assessing the utility of social media as a data source for flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, v. 10, p. 370–380, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfr3.12154>.

SPADOTTO, A. J. Análise jurídica e ambiental do uso de drones em área urbana no Brasil. *Revista de Direito da Cidade*, v. 8, n. 2, 2016.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. Ambientes fluviais e sua dinâmica sedimentar. Curitiba: UFPR, 1990.

TUCCI, C. E. M. Inundações urbanas. Porto Alegre: ABRH, 2007.

VASCONCELOS, A. F. et al. Contribuições da ciência cidadã para o gerenciamento de riscos de inundações. In: SOUTO, R. D. (org.). *Estudos de caso em mapeamento colaborativo*. Rio de Janeiro: IVIDES.

VALJAREVIĆ, A. GIS-based methods for identifying river networks types and changing river basins. *Water Resources Management*, v. 38, n. 13, p. 5323–5341, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03916-7>.

VILES, H. Technology and geomorphology. *Geomorphology*, v. 270, p. 121–133, 2016.

VUJOVIĆ, F. et al. Comparative geomorphometric analysis of drainage basin. *Agriculture & Forestry*, v. 70, n. 1, p. 217–230. DOI: <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.70.1.15>.

UNDRR. Terminology. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2020.

WALKER, D. et al. Filling the observational void. *Journal of Hydrology*, v. 538, p. 713–725, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.062>.

WESTOBY, M. J. et al. Structure-from-motion photogrammetry. *Geomorphology*, v. 179, p. 300–314, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>.

ZANETTI, J.; JUNIOR, J. G.; DOS SANTOS, A. P. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de VANT. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 69, n. 2, 2017. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv69n2-44016>.