

A IMPORTÂNCIA DA REDE PLUVIOMÉTRICA PARA GRANDES CIDADES: SÃO PAULO

João Luiz Godoy¹, Jefferson Nascimento de Oliveira²

RESUMO

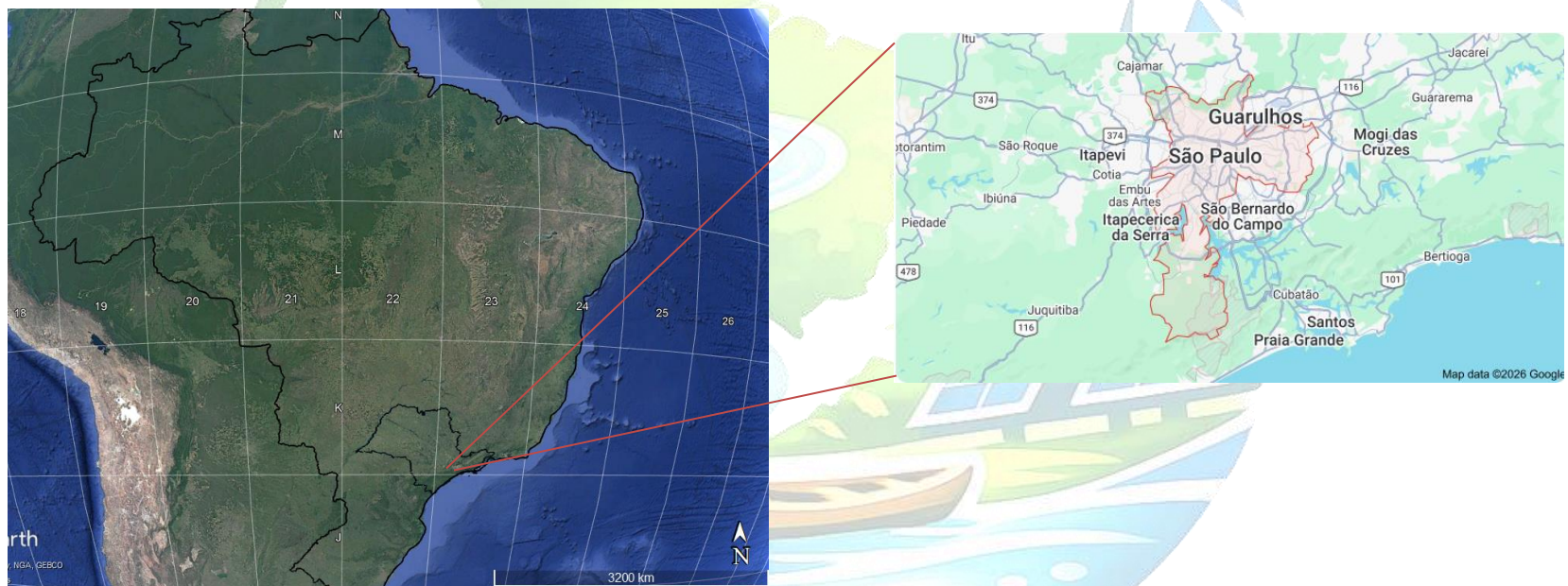
Grandes centros urbanos sofrem constantemente com problemas causados por inundações e alagamentos, incluindo a maior cidade do país: São Paulo, onde pessoas perdem vidas, ficam desabrigadas, causando grandes transtornos e prejuízos para a sociedade. Esses problemas são decorrentes principalmente de chuvas convectivas que afetam as cidades de maneira não uniforme. Com a finalidade de evitar danos socioeconômicos e até mesmo perda de vidas, é fundamental um monitoramento adequado das precipitações; para isso, é fundamental o uso integrado das tecnologias de medição, sendo essencial o uso de medição direta através de pluviômetros. Uma rede de pluviômetros com medição em tempo real, bem distribuídos e de alta densidade, gera uma discretização de dados, os quais podem alimentar os modelos hidrológicos, melhorando significativamente a previsibilidade, reduzindo assim o risco de catástrofes causadas por eventos extremos. Além de gerar dados confiáveis para agricultura, operação dos reservatórios, obras de engenharia e para melhoria da gestão dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Centros urbanos. Chuvas convectivas. Inundações. Monitoramento. Pluviômetro.

INTRODUÇÃO

A cidade de São Paulo, considerada uma das maiores metrópoles mundiais, possui cerca de 11,5 milhões de habitantes e uma extensão territorial aproximada de 1521 km² (IBGE, 2022). Localizada na região sudeste, é a capital do estado, uma das principais economias do país, onde seus principais corpos hídricos são o rio Pinheiros e o rio Tietê. A figura 1 mostra a localização do município.

Figura 1 –Localização da cidade de São Paulo(SP)



Fonte: (Google Earth, 2026).

De acordo com Luz e Rodrigues (2020), as inundações e alagamentos são problemas presentes em São Paulo desde a década de 1930, onde a área urbana avançou sobre as áreas de várzea dos rios Pinheiros e Tietê, sendo que essas ocorrências persistem até os dias atuais, sendo potencializadas pela grande urbanização (impermeabilização do solo) e por chuvas intensas.

As inundações e alagamentos causados por precipitações extremas em grandes centros urbanos causam diversos impactos e prejuízos para a sociedade, tais como: risco à vida, questões de saúde física e mental, redução da atividade produtiva, perda de bens materiais, como casas e carros, problemas na infraestrutura pública, nas ruas e nas redes de água e esgoto, na geração de energia elétrica, entre outros (Haddad; Teixeira, 2015). De acordo com a Defesa Civil de São Paulo (2026), entre dezembro de 2025 e fevereiro de 2026, na região metropolitana, somam-se 17 mortos, 514 desabrigados e 1829 desalojados. Além das mortes registradas, os custos financeiros também são elevados. De acordo com Haddad e Teixeira (2015), o Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil sofreu uma redução estimada de R\$ 218,19 milhões devido às enchentes ocorridas especificamente em São Paulo em 2008, causadas pelas fortes chuvas.

Segundo Lohmann (2011), a maior parte desses eventos é causada por chuvas convectivas, as quais possuem grande intensidade e curta duração, atingindo áreas restritas, ocorrendo uma grande variação da precipitação no espaço de poucos quilômetros, chegando a variações de até 20 mm em apenas 1 hora (20 mm/h) em diferentes pontos de uma mesma bacia hidrográfica urbana.

De acordo com a World Meteorological Organization (2008, atualizada em 2020), as zonas urbanas densamente povoadas exigem uma rede de pluviômetros (equipamentos utilizados para medir chuvas) densa para uma melhor precisão na medição das precipitações, sendo essa densidade de dados vital para o controle em tempo real de sistemas de drenagem de águas pluviais e previsibilidade de eventos extremos. Dessa maneira, para entendermos as dinâmicas

¹Aluno do Mestrado Profissional em rede nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos-ProfÁgua da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -UNESP. São Paulo,SP, Brasil. E-mail: jl.godoy@unesp.br.

²Docente e vice-coordenador no Mestrado Profissional em rede nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos-ProfÁgua da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -UNESP. São Paulo,SP, Brasil. E-mail: jefferson.nascimento@unesp.br.

hidrológicas, ecológicas e os processos climatológicos, é muito importante realizarmos a medição de chuvas (Magliano *et al.*, 2026). Além disso, o monitoramento da chuva e da elevação dos rios nas grandes cidades é de extrema importância para o bem-estar econômico e o desenvolvimento da humanidade, onde os dados coletados sustentam a gestão integrada de recursos hídricos, visando alcançar produtividade econômica e sustentabilidade ambiental, o que pode prevenir acidentes fatais em grandes centros urbanos (World Meteorological Organization, 2008/2020).

Assim, a rede de pluviômetros é fundamental, pois é a base para monitoramento de desastres, sendo essencial para monitorar os impactos causados pelas chuvas intensas, onde versões automáticas permitem a transmissão imediata de dados, tornando-se ferramentas valiosas para a defesa civil na gestão de riscos (Simoyama *et al.*, 2023). Além disso, para Tiwari, Jha e Singh (2020), a densidade da rede pluviométrica ajuda na previsão de chuvas extremas e no estudo de mudanças nos padrões de precipitação, tornando a função dos pluviômetros vital para a proteção da vida e do patrimônio.

MATERIAL E MÉTODOS

Para entender a dinâmica das precipitações extremas em um ambiente urbano, é necessário integrar as técnicas de medição via radares meteorológicos, imagens de satélite e medições diretas através de pluviômetros, além da compreensão da transformação urbana, do uso e ocupação do solo e das alterações geomorfológicas da cidade ao longo dos anos. Ou seja, são necessários modelos multidisciplinares para obter-se uma boa análise.

Segundo Tiwari, Jha e Singh (2020), entender a dinâmica de uma precipitação não se trata apenas de medir o volume total de chuva acumulado, mas sim construir a variabilidade em duas dimensões: a magnitude da chuva e o tempo dos eventos, pois ambos alteram a resposta do ecossistema e do sistema de drenagem. Como a chuva é um fenômeno de alta variabilidade espacial e temporal (principalmente as convectivas), apenas redes de pluviômetros densas e bem configuradas conseguem capturar fielmente dados para análises hidrológicas precisas. De acordo com Magliano *et al.* (2026), os pluviômetros com medição em tempo real são equipamentos de medição direta, sendo considerados indispensáveis para o avanço da compreensão dos processos hidrológicos urbanos, onde a alta variabilidade da chuva faz com que métodos tradicionais, como pluviômetros manuais ou pluviógrafos (apenas registram os dados), sejam frequentemente insuficientes.

Para Simoyama *et al.* (2023), mesmo com o avanço de radares e satélites, os pluviômetros continuam sendo insubstituíveis, pois esses devem ser utilizados para validar e calibrar estimativas de chuva vindas de radares meteorológicos, satélites e modelos numéricos, minimizando erros de medição. Além disso, redes confiáveis são cruciais para reduzir as incertezas nas estimativas de chuva, o que é fundamental para a gestão de recursos hídricos. De acordo com Tiwari, Jha e Singh (2020), esses medidores podem gerar dados precisos em alta resolução temporal e espacial, necessários para simulações hidrológicas, agricultura e operação de reservatórios. A figura 2 mostra esquematicamente os desafios das medições diretas das chuvas convectivas.

Figura 2 –Desafios da medição de chuva em áreas urbanas



Fonte: (Tokay; Roche; Bashor, 2014) e (Lohmann, 2011)

Para a análise das precipitações, é importante e estratégico o posicionamento dos pluviômetros. Para Tiwari, Jha e Singh (2020), os medidores situados nas cabeceiras são considerados fundamentais para registrar a variabilidade da chuva, independentemente da densidade da rede; além disso, estações localizadas na periferia das redes de medição costumam fornecer informações "não repetitivas" (únicas), o que as torna críticas para a integridade dos dados da bacia. Luz e Rodrigues (2020) citam que a dinâmica das precipitações extremas não pode ser analisada separadamente da forma de uma cidade urbana, onde a urbanização agressiva muitas vezes ocupa as planícies de inundação (várzeas), eliminando a capacidade natural de infiltração e armazenamento de água, como no caso do rio Pinheiros, em São Paulo. A substituição de solos permeáveis por asfalto e a construção de avenidas em fundos de vale criam pontos de alagamentos, o que pode acarretar prejuízos econômicos e danos à vida.

A cidade de São Paulo conta com uma rede pluviométrica operada por diversos órgãos distintos, como: SP-ÁGUAS, Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres (CEMADEN), Centro de Monitoramento de Emergências Climáticas (CGE), aeroportos, Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre outros. De acordo com a Prefeitura de São Paulo, o CGE possui dados aferidos pelas 33 estações meteorológicas automáticas espalhadas em diversos pontos da cidade, sendo três delas fora da capital paulista. O SP-ÁGUAS também opera um conjunto de estações que monitora

m tempo real o volume pluviométrico e os níveis dos principais rios e córregos da bacia do Alto Tietê, a qual é composta por aproximadamente 305 postos de medição dentro da Região Metropolitana, sendo cerca de 154 unidades na capital paulista (Prefeitura de São Paulo, 2022).

RESULTADOS

Para Magliano *et al.* (2026), a falta de homogeneidade nos dados coletados por diferentes agências e procedimentos inadequados limita a capacidade de monitorarmos o regime das chuvas. Essa variabilidade é uma das dificuldades para a previsão de eventos extremos, pois a baixa resolução das malhas de registro tradicionais muitas vezes não consegue capturar essas variações bruscas em escalas locais. Dessa forma, existem lacunas em dados confiáveis de precipitação, introduzindo incertezas substanciais nas previsões hidrológicas e na avaliação de riscos de eventos extremos, como inundações. Os dados de chuva são a principal entrada para o desenvolvimento e calibração de modelos hidrológicos; sem eles, a estimativa de escoamento superficial e disponibilidade hídrica torna-se imprecisa (Magliano *et al.*, 2026).

Para a World Meteorological Organization (2008, atualizada em 2020), zonas urbanas necessitam de um pluviômetro entre 10 e 20 km²; já para Tokay, Roche e Bashor (2014), para a representação de chuvas convectivas reais faz-se necessário um pluviômetro entre 8 e 13 km de distância; e para Magliano *et al.* (2026), a densidade ideal de estações deve ser uma a cada 4 km². Dessa maneira, a cidade de São Paulo deveria ter entre 76 e 380 estações pluviométricas com medições em tempo real. Devido ao alto custo do valor unitário dos sensores e da implementação, torna-se inviável a ampliação massiva da rede de monitoramento, com uma malha densa, consequentemente prejudicando a calibração dos modelos hidrológicos.

CONCLUSÃO

Apesar das diversas tecnologias presentes para medição de chuva, como radares e imagens de satélites, os dados de chuvas medidos em tempo real, através de pluviômetros, são fundamentais para alimentar os modelos hidrológicos e assim gerar resultados mais precisos e confiáveis. Além disso, os dados de precipitação auxiliam na prevenção de riscos e mitigação de eventos extremos, podendo salvar vidas e reduzir os impactos econômicos. No caso de precipitações intensas, é importante uma alta densidade de equipamentos, permitindo uma maior discretização dos dados, reduzindo os impactos causados por inundações e alagamentos nos grandes centros urbanos, como em São Paulo. Dessa maneira, os pluviômetros não são apenas coletores de água; eles são peças fundamentais que permitem desde a operação de alertas de emergência em tempo real até a calibração das tecnologias de monitoramento global por satélite.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), através do Convênio CAPES/UNESP Nº 951420/2023. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua pelo apoio técnico científico aportado até o momento.

REFERÊNCIAS

- COORDENADORIA ESTADUAL DE PROTEÇÃO E DEFESA CIVIL DE SÃO PAULO. Relatório Chuvas Operação Sempre Alerta. São Paulo: Defesa Civil do Estado de São Paulo, 2026. Disponível em: https://www.defesacivil.sp.gov.br/sec_defesa_civil/monitoramento. Acesso em: 24 fev. 2026.
- GOOGLE. Google Earth. 2026. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 23 fev. 2026.
- HADDAD, Eduardo Amaral; TEIXEIRA, Eliane. **Economic impacts of natural disasters in megacities: The case of floods in São Paulo, Brazil**. Habitat International, v. 45, p. 106–113, 2015. DOI: 10.1016/j.habitatint.2014.06.023. Acesso em: 18 fev. 2026.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Cidades e Estados: São Paulo. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-paulo.html>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- LOHMANN, Marília. **Regressão logística e redes neurais aplicadas à previsão probabilística de alagamentos no município de Curitiba – PR**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia, Área de Concentração em Análise e Gestão Ambiental) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.
- LUZ, Raquel Azevedo; RODRIGUES, Carlos. **O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais**. Geosp – Espaço e Tempo (On-line), v. 24, n. 2, p. 340–360, ago. 2020. ISSN 2179-0892. DOI: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2020.164499>. Acesso em: 23 fev. 2026.
- MAGLIANO, Pablo Nicolás; NIHORSKI, Matías Julián; MURRAY, Federico; PETIT, María Victoria; AGURÓN, María Alejandra; PÁEZ, Rodrigo Alejandro; ALSINA, Santiago. **The Puntano rain gauge: A robust solution for rainfall data collection in harsh field conditions**. Journal of Arid Environments, v. 232, art. 105520, 2026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-arid-environments/>. Acesso em: 18 fev. 2026.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal de Infraestrutura Urbana e Obras. **Cidade conta com centro especializado para monitoramento das condições meteorológicas**. 2022. Disponível em: <https://prefeitura.sp.gov.br/noticia/cidade-counta-com-centro-especializado-para-monitoramento-das-condicoes-meteorologicas>. Acesso em: 24 fev. 2026.
- SIMOYAMA, Felipe de Oliveira; CROOPE, S.; SALLES NETO, Luiz Leão de; SANTOS, Lucas Barreto Lopes; ABREU, João Augusto de. **Optimization of rain gauge networks — A systematic literature review**. Socio-Economic Planning Sciences, v. 86, art. 101469, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/socio-economic-planning-sciences/>. Acesso em: 20 fev. 2026.

TIWARI, Saurabh; JHA, Suraj Kumar; SINGH, Anurag. **Quantification of node importance in rain gauge network: influence of temporal resolution and rain gauge density**. Scientific Reports, v. 10, art. 9761, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66363-5>. Acesso em: 22 fev. 2026.

TOKAY, Ali; ROCHE, Robert J.; BASHOR, Paul G. **An experimental study of spatial variability of rainfall**. Journal of Hydrometeorology, v. 15, p. 783–798, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-031.1>. Acesso em: 23 fev. 2026.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guide to Hydrological Practice: Volume I – Hydrology: From Measurement to Hydrological Information**. 2008 ed., atualizada em 2020. Geneva: World Meteorological Organization, 2008. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/monitoramento-hidrologico/orientacoes-manuais/entidades/hydrology-2013-from-measurement-to_2020.pdf. Acesso em: 24 fev. 2026.

