

Sistema IoT de Monitoramento Inteligente de Enchentes em Áreas Urbanas Críticas da Cidade de São Paulo

Arthur de Sousa, Paulo Henrique Luiz do Monte e Raphael Francisco

Resumo: As enchentes recorrentes na cidade de São Paulo representam um desafio urbano que afeta drasticamente a mobilidade, segurança e a infraestrutura pública. A cidade sofre com a combinação de urbanização acelerada, alta impermeabilização do solo e a insuficiência no monitoramento de pontos críticos, como bueiros e galerias, onde os alagamentos se iniciam. Este artigo apresenta a proposta de um sistema IoT para monitoramento inteligente de enchentes em áreas críticas. O sistema utiliza uma rede de sensores de nível (ultrassônicos), vazão, chuva e obstrução, instalados diretamente nos bueiros, que coletam dados de forma contínua.

Os dados são transmitidos para plataformas em nuvem via tecnologia de baixo consumo LoRaWAN e redes móveis, onde são processados por um algoritmo preditivo baseado em análise de tendência. Este algoritmo calcula a taxa de subida da água para acionar alertas de risco iminente com antecedência. A metodologia incluiu a análise crítica de soluções existentes, o desenvolvimento da arquitetura de hardware de baixo custo (utilizando microcontroladores como ESP32) e a definição do modelo de alertas. O objetivo é fornecer detecção precoce e alertas **acionáveis** para moradores e órgãos públicos, como a Defesa Civil. Os resultados indicam que a solução é **tecnicamente viável**, economicamente mais acessível que métodos tradicionais e altamente escalável para aplicação em larga escala em ambientes urbanos.

Palavras-chave: IoT; enchentes urbanas; cidades inteligentes; monitoramento ambiental; sensores.

1. Introdução

As enchentes recorrentes na cidade de São Paulo representam um dos maiores desafios urbanos enfrentados pela população e pelo poder público. A combinação entre urbanização acelerada, impermeabilização do solo, infraestrutura insuficiente e bueiros frequentemente obstruídos resulta em alagamentos que prejudicam mobilidade, segurança e bem-estar dos cidadãos. Embora existam

sistemas de monitoramento de grandes rios, a cidade ainda carece de mecanismos eficazes de detecção precoce de enchentes em ruas, cruzamentos e galerias, locais onde os problemas geralmente começam.

Nesse contexto, tecnologias de Internet das Coisas (IoT) têm se destacado como soluções inovadoras para cidades inteligentes, permitindo monitoramento em tempo real, coleta automatizada de dados e tomada de decisão baseada em evidências. Assim, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema IoT voltado para o monitoramento inteligente de enchentes, com sensores instalados em pontos críticos capazes de detectar nível da água, vazão e obstruções.

A presente pesquisa justifica-se pela necessidade de soluções acessíveis, escaláveis e eficientes que reduzam prejuízos financeiros, evitem acidentes e aprimorem a resposta da Defesa Civil. Além disso, um sistema desse tipo pode contribuir para o planejamento urbano e a prevenção de riscos.

Objetivo Geral: Desenvolver a proposta de um sistema IoT para o monitoramento inteligente de enchentes em pontos críticos da cidade de São Paulo.

Objetivos	Específicos:
Identificar tecnologias IoT aplicáveis à detecção de enchentes.	
Analisar soluções existentes e suas limitações.	
Projetar a arquitetura de hardware, comunicação e plataforma de dados.	
Definir um modelo de detecção e alerta em tempo real.	

2. Referencial Teórico

2.1 Internet das Coisas (IoT)

A Internet das Coisas consiste na conexão de objetos físicos à internet, permitindo comunicação autônoma entre dispositivos e plataformas. Sensores, atuadores e redes de comunicação formam ecossistemas capazes de coletar dados em tempo real, analisar informações e executar ações automáticas. Em ambientes urbanos, essas tecnologias possibilitam o desenvolvimento de soluções mais eficientes e sustentáveis.

2.2 IoT em Cidades Inteligentes

Soluções IoT têm sido amplamente utilizadas no contexto de cidades inteligentes, abrangendo monitoramento ambiental, segurança pública, transporte e saneamento. Cidades como Barcelona, Singapura e Amsterdam já utilizam sensores para medir qualidade do ar, otimizar trânsito e detectar enchentes.

2.3 Monitoramento de Enchentes

O monitoramento tradicional concentra-se em rios e estações meteorológicas. Entretanto, pesquisas recentes mostram que sensores instalados diretamente em bueiros e ruas são capazes de prever alagamentos em estágios iniciais, permitindo respostas mais rápidas. Sistemas com sensores ultrassônicos, sensores de vazão e pluviômetros são amplamente estudados para essa finalidade.

3. Metodologia

A pesquisa caracteriza-se como descritiva e exploratória, com abordagem qualitativa e caráter aplicado. O estudo foi organizado em três etapas principais.

3.1 Pesquisa e Levantamento de Dados

Realizou-se um estudo de soluções existentes no Brasil e no exterior, incluindo plataformas de cidades inteligentes e projetos de monitoramento hidrológico. Foram analisadas tecnologias utilizadas, limitações e aplicabilidade. Também foram consultados artigos científicos sobre IoT e sistemas de detecção de enchentes.

3.2 Análise Crítica das Soluções Existentes

A partir da revisão da literatura, observaram-se características comuns:

Foco	predominante	em	rios,	não	em	bueiros.
Custo	elevado	da	maioria	das		soluções.
Ausência	de	dados	públicos	em	tempo	real.

Baixa capacidade preditiva.

Essas observações serviram de base para a elaboração da solução proposta.

3.3 Desenvolvimento da Solução

Com base nos estudos realizados, estruturou-se a proposta de um sistema IoT utilizando sensores de baixo custo, conectividade sem fio e análise em nuvem. Foram definidos os componentes, esquemas e formas de comunicação conforme a literatura consultada.

4. Proposta de Solução IoT

O sistema proposto é composto por sensores, módulos de comunicação e uma plataforma em nuvem responsável pelo armazenamento e análise dos dados.

4.1 Sensores Utilizados

- Sensor ultrassônico para medir nível da água.
- Sensor de fluxo ou vazão para medir velocidade de escoamento.
- Sensor de chuva e temperatura.
- Sensor de obstrução baseado em pressão ou redução de fluxo.

4.2 Comunicação

A transmissão de dados será realizada por:

- LoRaWAN.
- 4G ou 5G.
- Wi-Fi local quando disponível.

4.3 Plataforma de Dados

- Armazenamento em banco de dados.

- Dashboard em tempo real.
- Algoritmo de detecção e previsão de enchentes.

4.4 Sistema de Alertas

- Notificações para moradores próximos.
- Sinalização no mapa público.
- Mensagens automáticas para a Defesa Civil.

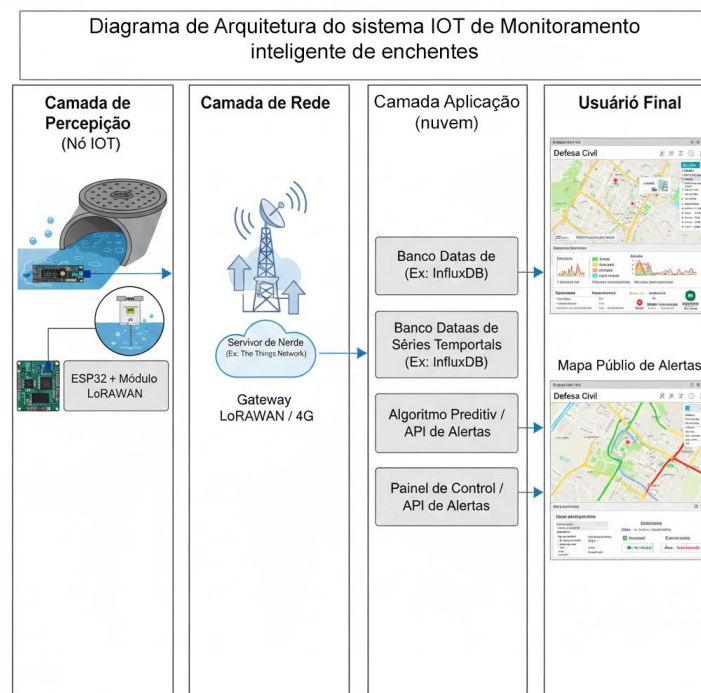
4.5 Diferenciais da Solução

- Monitoramento direto em pontos críticos.
- Previsão baseada em tendências.
- Sistema público e acessível.
- Baixo custo e alta escalabilidade.

4.6 Arquitetura do Sistema

O sistema adota uma arquitetura clássica de IoT composta por Percepção, Rede e Aplicação. Os nós de monitoramento utilizam microcontroladores de baixo consumo e módulos LoRaWAN.

Figura 1 – Diagrama de Arquitetura do Sistema IoT de Monitoramento Inteligente de Enchente.



Fonte: Os autores (2025)

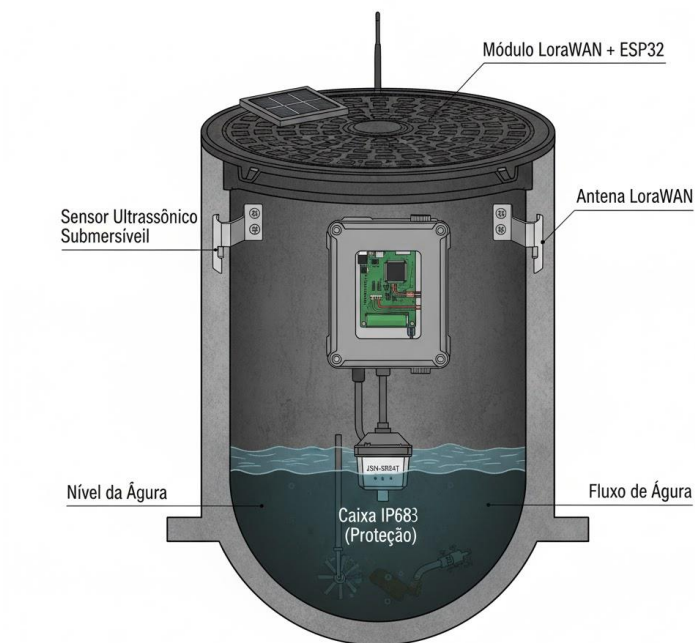
4.6.1 Especificações de Hardware

Microcontroladores: ESP32 ou equivalentes de baixo consumo, com capacidade de *deep sleep* para otimizar a vida útil da bateria.

Sensores de Nível: Sensores ultrassônicos submersíveis, como o JSN-SR04T, escolhidos pela resistência a ambientes úmidos e corrosivos presentes em bueiros.

Alimentação: Baterias de íon de lítio combinadas com pequenos painéis solares para garantir autonomia e sustentabilidade energética dos nós, essenciais para a alta escalabilidade.

Figura 2 – Detalhe do Nó IoT para Monitoramento em Bueiros (Hardware e Proteção).



Fonte: Os autores (2025)

5. Análise de Dados e Modelo Preditivo

A inteligência do sistema é alcançada pela análise de dados em tempo real.

5.1 Engenharia de Dados e Armazenamento

Os dados são tratados como séries temporais e armazenados em bancos otimizados, como InfluxDB. Filtros como Média Móvel Exponencial (EMA) são utilizados para remover ruídos.

5.2 Algoritmo de Detecção de Alerta

O algoritmo combina regras e tendências:

Atenção: nível acima de 50%.
 Risco iminente: nível acima de 90%.
 Tendência de subida: baseada na taxa de elevação crítica.

5.3 Interface do Usuário

Painel de gerenciamento para Defesa Civil.
 Mapa público simplificado para a população.

6. Impacto e Viabilidade

6.1 Impacto Tecnológico

Uso de tecnologias IoT modernas.
 Monitoramento contínuo e automatizado.
 Arquitetura escalável.

6.2 Impacto Econômico

Redução de prejuízos financeiros.
 Menos custos emergenciais de manutenção.
 Sensores de baixo custo.

6.3 Impacto Social

Aumento da segurança.
 Redução de acidentes.
 Acesso público à informação.

6.4 Impacto Ambiental

Menor acúmulo de esgoto.
 Melhor gestão de drenagem urbana.

6.5 Viabilidade Técnica

Sensores acessíveis.
 Rede LoRaWAN disponível em São Paulo.
 Plataformas em nuvem amplamente utilizadas.

7. Desafios de Implementação

7.1 Desafios Operacionais

Vandalismo exige proteção IP68.
 Manutenção periódica.
 Conectividade afetada por barreiras físicas.

7.2 Governança e Ética

Definir responsabilidade sobre alertas.
 Integrar o sistema aos protocolos da Defesa Civil.
 Colaboração entre órgãos públicos.

8. Conclusão

O sistema IoT proposto apresenta uma solução inovadora, acessível e eficaz para o monitoramento e prevenção de enchentes em São Paulo. A proposta se destaca por atuar diretamente nos pontos críticos da cidade, permitindo detecção precoce e respostas rápidas.

Como trabalhos futuros, sugere-se:
 Integrar modelos avançados de previsão.
 Realizar provas de conceito em áreas vulneráveis.
 Expandir o sistema para outras cidades brasileiras.

9. Referências

- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, 2010.
- GUBBI, J. et al. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 2013.
- ONU-HABITAT. *World Cities Report*. 2020.
- KOTAGIRI, R. et al. Urban Flood Monitoring Using IoT and Cloud Computing. *IEEE*, 2022.
- PREFEITURA DE SÃO PAULO. Plano Preventivo de Chuvas – PPC, 2024.