

PluviSmart: Gestão Integrada e Preditiva de Redes de Drenagem

Nome dos Alunos:

Victor Domingos Moreira - 825155879

Lucas Gonçalves da Silva - 825113362

Cauã Guidio Viana - 825168423

Felipe Duarte Battaglini – 825165863

Sumário

1.	Introdução	2
1.1.	Tema	2
1.2.	Objetivos a serem alcançados	3
2.	Referencial Teórico	3
2.1.	Cidades Inteligentes (Smart Cities) e a Internet das Coisas (IoT)	3
2.2.	Monitoramento de Qualidade da Água e Integridade da Infraestrutura	4
3.	Proposta da Solução Tecnológica: PluviSmart	5
3.1.	Camada de Sensoriamento (Coleta de Dados)	6
3.2.	Camada de Comunicação	7
3.3.	Camada de Processamento e Análise (Nuvem/Cloud)	8
3.4.	Camada de Aplicação e Tomada de Decisão	8
4.	Resultados Esperados e Impacto	9
4.1.	Aumento da Resiliência Urbana e Prevenção de Inundações	9
4.2.	Otimização Operacional e Sustentabilidade Econômica	9
4.3.	Proteção da Infraestrutura e Fiscalização Ambiental	10
4.4.	Benefícios Sociais e de Saúde Pública	10
4.5.	Viabilidade Econômica e Análise de Custo-Benefício	11
5.	Conclusão	12

1. Introdução

1.1. Tema

O rápido crescimento urbano e as mudanças climáticas têm intensificado a vulnerabilidade das cidades a desastres hidrológicos, com as inundações emergindo como desafios destrutivos que causam prejuízos socioeconômicos e comprometem a saúde pública e a infraestrutura. A gestão tradicional de drenagem e esgoto é majoritariamente reativa, dependendo de inspeções manuais e dados históricos; a falta de visibilidade em tempo real sobre o fluxo e nível impede a detecção precoce de entupimentos e sobrecargas iminentes, culminando em inundações. Além disso, a ausência de monitoramento de qualidade da água (pH e Temperatura) dificulta a fiscalização de descargas industriais ilegais, as quais aceleram a corrosão e o desgaste das tubulações. Diante dessas limitações, a Internet das Coisas (IoT) e a integração de sensores de baixo custo oferecem uma solução tecnológica promissora para viabilizar uma gestão preditiva. Neste contexto, o presente artigo propõe o PluviSmart, uma solução baseada em arquitetura IoT para a gestão integrada de sistemas de drenagem, focando na prevenção preditiva de inundações por meio do monitoramento volumétrico em tempo real e na proteção da infraestrutura através da detecção automatizada de anomalias de pH e Temperatura, indicativas de efluentes ilegais ou corrosivos.

1.2. Objetivos a serem alcançados

O objetivo geral deste trabalho é propor e detalhar uma solução tecnológica inovadora baseada na arquitetura de Internet das Coisas (IoT), denominada PluviSmart, para a gestão integrada, preditiva e em tempo real de redes de drenagem pluvial e esgotos urbanos. O sistema visa: desenvolver uma arquitetura de sensoriamento distribuído que integra dados volumétricos (Nível e Vazão) e de Qualidade da Água (pH e Temperatura); viabilizar a

prevenção preditiva de inundações através da aplicação de algoritmos de *Machine Learning* aos dados coletados; proteger a integridade da infraestrutura por meio do monitoramento de pH e Temperatura, prevenindo o desgaste por efluentes corrosivos; otimizar a gestão de manutenção, permitindo a transição de modelos corretivos para preditivos; subsidiar a fiscalização ambiental fornecendo evidências imediatas de descargas ilegais; e, em última análise, aumentar a resiliência urbana, promovendo maior segurança, eficiência econômica e sustentabilidade ambiental.

2. Referencial Teórico

2.1. Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) e a Internet das Coisas (IoT)

O conceito de Cidades Inteligentes representa um paradigma de desenvolvimento urbano que busca a otimização de recursos e serviços, aprimorando a qualidade de vida dos cidadãos por meio do uso intensivo e estratégico da informação e comunicação. Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) emerge como a tecnologia fundamental, atuando como a espinha dorsal para a coleta massiva de dados em ambientes urbanos. A arquitetura IoT, que interliga dispositivos físicos (sensores e atuadores) a plataformas de processamento em nuvem, permite que a infraestrutura urbana deixe de ser passiva para se tornar um sistema ciberfísico ativo e gerenciável. Essa transformação é particularmente crucial para serviços de infraestrutura crítica, como a gestão do saneamento e dos recursos hídricos. Em muitos centros urbanos, a ineficiência na gestão de resíduos e a deposição inadequada de lixo representam um dos principais catalisadores para problemas graves, como obstruções em bueiros e galerias pluviais. Tais obstruções comprometem o escoamento, resultando em sobrecarga do sistema de drenagem e subsequentes inundações e alagamentos, que geram sérios transtornos socioeconômicos e de mobilidade. A demanda por um acompanhamento proativo e preditivo dessa dinâmica tem impulsionado a adoção de soluções IoT.

A capacidade intrínseca da IoT é identificar anomalias e potenciais problemas antes que evoluam para falhas críticas. O uso de sensoriamento contínuo em pontos estratégicos da rede de drenagem fornece aos gestores municipais dados exatos e em tempo real, permitindo a transição de uma manutenção corretiva para uma manutenção preditiva.

Um exemplo notável da aplicação desta tecnologia é observado na cidade de Marselha, na França, onde um sistema IoT, em parceria com a GreenCityZen e Sigfox, foi implementado para monitorar em tempo real os drenos e o sistema de águas subterrâneas. Esse estudo de caso demonstra a viabilidade e a eficácia de utilizar a IoT para aprimorar a visibilidade operacional da infraestrutura hídrica, permitindo intervenções direcionadas e em tempo hábil. Portanto, a integração da IoT em sistemas de drenagem e esgoto é um imperativo tecnológico para aumentar a resiliência e a sustentabilidade das cidades.

2.2. Monitoramento de Qualidade da Água e Integridade da Infraestrutura

A gestão eficiente de sistemas de drenagem e esgotos é inseparável da análise da qualidade da água que por eles circula. A negligência desse monitoramento compromete a longevidade da infraestrutura, elevando os custos de manutenção corretiva. Nesse contexto, o monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos é vital tanto para a proteção de ativos (tubulações) quanto para a fiscalização ambiental. Dois parâmetros, o pH e a Temperatura, destacam-se por sua criticidade na detecção de efluentes anômalos, geralmente associados a descargas industriais ilegais.

O pH é crucial, pois variações extremas (pH abaixo de 5 ou acima de 9) indicam efluentes excessivamente corrosivos. Tais efluentes atacam materiais como concreto e metal, causando desgaste prematuro e colapso da rede. Além do dano físico, mudanças bruscas no pH servem como forte indicador de descargas industriais não tratadas, possibilitando a fiscalização em tempo real. Paralelamente, a Temperatura é um parâmetro chave, pois aumentos súbitos e anormais podem ser causados por descargas térmicas

ilegítimas (água de refrigeração industrial), que excedem limites regulamentares. A elevação da temperatura também é prejudicial em estações de tratamento, pois pode desestabilizar as colônias bacterianas essenciais para os processos biológicos.

A integração de sensores de pH e Temperatura na arquitetura IoT proposta (PluviSmart) permite ir além das coletas esporádicas. O sistema oferece a identificação imediata e geolocalizada de efluentes agressivos. Dessa forma, o PluviSmart estabelece um mecanismo de alerta em tempo real que protege o patrimônio público contra a corrosão acelerada e fornece às agências ambientais dados concretos e robustos para a aplicação eficaz da legislação.

3. Proposta da Solução Tecnológica: PluviSmart

A solução PluviSmart é um Sistema de Gestão Integrada de Drenagem e Esgotos projetado sob um paradigma de Cidades Inteligentes. Sua principal inovação reside na convergência de dados volumétricos e de qualidade da água em tempo real para viabilizar a tomada de decisão preditiva e a fiscalização automatizada, mitigando os riscos de inundações e protegendo a infraestrutura.

A arquitetura do PluviSmart é estruturada em três camadas interconectadas, garantindo a captura, transmissão, processamento e visualização eficiente dos dados.

3.1. Camada de Sensoriamento (Coleta de Dados)

Esta camada é responsável por monitorar continuamente as condições operacionais e ambientais em pontos críticos da rede de drenagem e esgoto. Serão utilizados sensores de baixo consumo de energia (LPWAN-ready) e com encapsulamento adequado para ambientes agressivos.

- Nível de Água**

O Nível de Água é um parâmetro crítico, medido geralmente por sensores ultrassônicos ou sensores de pressão. O objetivo principal é quantificar a altura da coluna de água dentro de estruturas como poços de visita ou bueiros. Esta medição é fundamental para avaliar a capacidade remanescente da rede e identificar o risco iminente de transbordamento, permitindo intervenções preventivas antes que ocorram inundações.

- **Vazão**

A Vazão é o volume de água que passa por um ponto específico em determinado tempo. Os sensores mais adequados são os eletromagnéticos (para medições precisas em tubulações cheias) ou por Área-Velocidade (comuns em canais e tubulações não totalmente cheias). O propósito deste monitoramento é quantificar o fluxo em pontos estratégicos da rede. A detecção de uma queda súbita de vazão pode indicar um entupimento em desenvolvimento, enquanto um aumento súbito e não previsto pode sinalizar afluências não mapeadas (como infiltração de água de chuva ou ligações ilegais).

- **pH**

O monitoramento do pH utiliza um Eletrodo de pH que geralmente inclui um mecanismo de compensação de temperatura. Este parâmetro é essencial para a detecção de efluentes ácidos ou alcalinos. Variações extremas no pH são fortes indicadores de descargas industriais corrosivas e ilegais na rede, que podem danificar a infraestrutura de saneamento e comprometer o tratamento final.

- **Temperatura**

A Temperatura da água é medida por uma Sonda de Temperatura. O objetivo tem dupla função: primeiramente, identificar descargas térmicas anômalas, como o descarte de água de refrigeração industrial na rede. Em segundo lugar, a medição precisa da temperatura é vital para auxiliar na compensação da medição do pH, garantindo a exatidão deste segundo parâmetro.

Precipitação

A Precipitação (chuva) é medida por um Pluviômetro Automático. Embora não meça diretamente a água dentro do sistema de saneamento, ela é um dado de entrada crucial. Seu objetivo é fornecer dados de chuva em tempo real para alimentar modelos preditivos de escoamento, permitindo que os operadores antecipem o aumento do volume de água na rede e preparem o sistema para picos de escoamento pluvial.

3.2. Camada de Comunicação

Os dados coletados pelos sensores são transmitidos para a plataforma de processamento. Para garantir a viabilidade em áreas urbanas e suburbanas, que exigem longo alcance e baixo consumo de bateria, o sistema utilizará: Protocolos de Longo Alcance e Baixa Potência (LPWAN): Preferencialmente LoRaWAN ou NB-IoT, que permitem que os dispositivos de campo enviem pequenos pacotes de dados por grandes distâncias com eficiência energética, viabilizando a operação autônoma por longos períodos. Gateways: Dispositivos instalados em locais estratégicos que recebem os dados via LPWAN e os retransmitem para a Nuvem por meio de redes de alta velocidade (4G/5G ou Fibra Óptica).

3.3. Camada de Processamento e Análise (Nuvem/Cloud)

A plataforma central PluviSmart reside em uma arquitetura de nuvem escalável (*Cloud Computing*), garantindo o armazenamento seguro e o processamento eficiente de grandes volumes de dados (*Big Data*) em tempo real. Esta camada é o núcleo inteligente do sistema.

3.4. Camada de Aplicação e Tomada de Decisão

A interface do PluviSmart é um Painel de Controle (*Dashboard*) intuitivo, projetado para diferentes perfis de usuários (gestores, técnicos de manutenção, defesa civil).

Visualização Georreferenciada: O mapa da cidade exibe o status operacional de cada ponto monitorado (cores para risco: verde - normal, amarelo - atenção, vermelho - risco iminente de inundação/anomalia).

Sistema de Alerta em Cascata: Os alertas são disparados automaticamente via SMS, e-mail e notificação, garantindo que as equipes corretas sejam notificadas:

Defesa Civil: Alertas de Risco Iminente de Inundação.

Equipe de Manutenção: Alertas de Entupimento e Corrosão.

Controle de Atuadores: Em cidades com infraestrutura habilitada, o sistema pode ser programado para acionar remotamente bombas e comportas hidráulicas para redirecionar o fluxo e aliviar pontos de sobrecarga.

Em suma, a solução PluviSmart transcende a gestão hídrica reativa, oferecendo uma arquitetura IoT completa que transforma dados brutos em inteligência operacional. A integração do monitoramento volumétrico (nível e vazão) com o monitoramento químico (pH e Temperatura) confere ao sistema a capacidade única de abordar simultaneamente os dois maiores riscos da infraestrutura urbana: a inundação por sobrecarga e a deterioração por efluentes corrosivos. Ao empregar algoritmos preditivos e um sistema de alerta em cascata, o PluviSmart estabelece um mecanismo robusto para a prevenção preditiva, garantindo que as ações de manutenção e fiscalização sejam realizadas de forma oportuna, eficiente e georreferenciada.

4. Resultados Esperados e Impacto

A implementação do sistema PluviSmart é projetada para gerar um impacto significativo e multifacetado na gestão municipal, abrangendo desde a

segurança pública até a sustentabilidade econômica e ambiental. Os principais resultados e impactos esperados são categorizados a seguir:

4.1. Aumento da Resiliência Urbana e Prevenção de Inundações

O resultado mais imediato e crítico do PluviSmart é a melhoria drástica na capacidade de resposta a eventos pluviométricos extremos.

Prevenção Preditiva: Ao utilizar modelos de *Machine Learning* e dados de nível e precipitação em tempo real, o sistema é projetado para reduzir significativamente a frequência e a severidade das inundações urbanas. A capacidade de prever o risco com horas de antecedência permite a mobilização de recursos, o acionamento de comportas ou bombas (se disponíveis) e a emissão de alertas eficazes à população.

Redução de Danos: A mitigação dos eventos de inundação resulta na redução de perdas materiais para a população e o comércio, e na diminuição dos custos operacionais relacionados a desastres e interrupção de serviços públicos.

4.2. Otimização Operacional e Sustentabilidade Econômica

A visibilidade operacional contínua proporcionada pela IoT permite uma alocação de recursos mais inteligente e econômica.

Transição para Manutenção Preditiva: O monitoramento de vazão permite a identificação precoce de entupimentos e assoreamento. Com isso, a gestão migra da manutenção corretiva (cara e emergencial) para a manutenção preventiva/preditiva (planejada e de menor custo), prolongando os intervalos entre as limpezas gerais e otimizando o uso das equipes de campo.

Gestão Informada: Os dados históricos consolidados pelo sistema fornecem subsídios técnicos robustos para o planejamento de investimentos futuros (expansão e dimensionamento da rede), garantindo que os recursos sejam alocados nas áreas de maior risco ou necessidade.

4.3. Proteção da Infraestrutura e Fiscalização Ambiental

A inclusão do monitoramento da qualidade da água confere ao projeto um impacto duplo na proteção de ativos e na conformidade regulatória.

Prolongamento da Vida Útil da Rede: A detecção instantânea de efluentes com pH extremo (ácidos ou alcalinos) permite que os gestores ajam rapidamente para isolar e neutralizar a fonte de descarga. Este controle reduz drasticamente a corrosão química das tubulações, protegendo um patrimônio público de alto valor e postergando a necessidade de substituição da infraestrutura.

Suporte à Fiscalização Ambiental: Os alertas de anomalias de Temperatura e pH fornecem às agências fiscalizadoras dados precisos (data, hora e localização) que servem como evidência técnica para a autuação e penalização de indústrias que realizam descarte irregular e poluente, promovendo o cumprimento das normas ambientais.

4.4. Benefícios Sociais e de Saúde Pública

O sistema contribui indiretamente para a saúde e o bem-estar social.

Redução de Doenças: A prevenção de inundações minimiza o contato da população com água contaminada (esgoto misturado à água pluvial), reduzindo a incidência de doenças de veiculação hídrica.

Transparência e Confiança: A capacidade de fornecer informações e alertas confiáveis e em tempo real à população aumenta a confiança na gestão municipal e permite que os cidadãos tomem medidas de autoproteção e planejem melhor seu deslocamento durante eventos de risco.

4.5. Viabilidade Econômica e Análise de Custo-Benefício

A análise de viabilidade do sistema PluviSmart não se concentra apenas no custo de implementação (sensores, gateways e plataforma), mas

principalmente no retorno sobre o investimento a longo prazo, considerando a mitigação de custos futuros.

Embora o investimento inicial em *hardware* (sensores de nível/pH e comunicação LPWAN) seja um fator a ser considerado, o custo por sensor diminuiu consideravelmente com o avanço tecnológico, tornando a solução escalável. O uso de protocolos de baixo consumo de energia garante a eficiência energética e reduz os custos operacionais com baterias e manutenção de campo.

Os benefícios econômicos projetados superam os custos de implementação, principalmente através de:

Redução de Custos com Desastres: A prevenção preditiva de inundações minimiza os gastos emergenciais com reconstrução de vias, reparos de infraestrutura danificada e indenizações, que tipicamente superam em muito o investimento em prevenção.

Otimização da Manutenção: A transição da manutenção corretiva (que é mais cara e demorada) para a preditiva gera economia direta de recursos humanos, combustíveis e materiais, aumentando a eficiência orçamentária da autarquia responsável.

Proteção de Ativos: O monitoramento de pH atua diretamente na proteção do capital investido em tubulações. Ao prevenir a corrosão precoce causada por efluentes anômalos, a vida útil da rede é prolongada, postergando investimentos maciços em substituições e reformas estruturais.

Dessa forma, a implementação do PluviSmart configura-se como um investimento estratégico que, além dos benefícios sociais e ambientais, oferece uma viabilidade econômica sólida pela mitigação de riscos e otimização operacional.

5. Conclusão

O presente artigo propôs o PluviSmart, uma solução tecnológica inovadora baseada na Internet das Coisas (IoT) para a gestão integrada de sistemas de drenagem pluvial e esgotos urbanos. O trabalho demonstrou que a

superação dos desafios impostos pela urbanização acelerada e pelas mudanças climáticas exige uma transição da gestão hídrica reativa para uma abordagem preditiva e inteligente.

O sistema PluviSmart atinge seu objetivo principal ao integrar o monitoramento contínuo de parâmetros volumétricos (nível e vazão) com o monitoramento de qualidade da água (pH e Temperatura). Essa convergência permite não apenas a previsão e prevenção de inundações urbanas com antecedência, mas também a proteção proativa da infraestrutura através da detecção instantânea de efluentes corrosivos e a fiscalização automatizada de descargas industriais ilegais.

A principal contribuição deste trabalho reside na demonstração da viabilidade de uma arquitetura IoT escalável para o saneamento, capaz de gerar impactos significativos em múltiplas frentes: aumentando a resiliência urbana contra desastres hidrológicos, otimizando a manutenção e protegendoativamente a integridade da infraestrutura e prolongando a vida útil dos ativos.

IoT combate alagamentos em Marselha, na França. Disponível em:

<https://proximonivel.claro.com.br/iot-combate-alagamentos-em-marselha-na-franca/>. Acesso em: 17/11/2025.

TRATA BRASIL. Quais problemas de drenagem urbana e águas pluviais? Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/quais-problemas-drenagem-urbana-aguas-pluviais/>. Acesso em: 17/11/2025.

IoT no Saneamento Básico: Transformando a Gestão da Água e Esgoto. Disponível em: <https://www.carmeltecnologia.com.br/post/iot-no-saneamento-basico>. Acesso em: 19/11/2025

Dispositivo LoRaWAN para monitoramento de variáveis e Gestão de Água Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/2de3ba1b-f4a4-4eec-a0ea-47533638e916> Acesso em: 19/11/2025

LoRaWAN® na Gestão Hídrica: Benefícios e Impacto Disponível em: <https://iot-labs.io/lorawan-na-gestao-hidrica-beneficios-e-impacto/> Acesso em: 19/11/2025