

# **PROJETO: SISTEMA DE DRENAGEM PLUVIAL INTELIGENTE (SMARTDRAIN)**

Pedro Henrique de Oliveira Gomes - 34090240

Víctor Aurélio da Silva Barros - 43472419

Ricardo Machado de Holanda Vieira - 45467099

Heitor de Queiroz Andrade - 34388095

## Fase I - Diagnóstico: O Desafio da Drenagem Urbana

### 1. Identificação do Autômato Atual

O objeto de modernização é o Sistema de Drenagem Pluvial e Controle de Enchentes.

Atualmente, este "autômato" opera de forma majoritariamente mecânica e passiva, composto por:

- **Bueiros e Galerias:** Estruturas físicas que dependem exclusivamente da gravidade para escoar a água da chuva.
- **Bombas de Sucção (Em áreas críticas):** Equipamentos acionados por chaves manuais (operador local) ou por boias de nível simples (sistemas eletromecânicos analógicos)<sup>3</sup>.
- **Gradeamento:** Barreiras físicas para lixo que exigem limpeza manual periódica, muitas vezes realizada por cronogramas fixos e não por necessidade real.

### 2. Descrição Detalhada do Problema

O modelo tradicional apresenta falhas críticas que o tornam obsoleto para o conceito de uma Cidade Inteligente:

- **Reatividade vs. Proatividade:** O sistema atual é "cego". Ele não sabe que vai chover e não sabe se os bueiros estão entupidos. A ação (ligar bombas ou limpar bueiros) só ocorre após o problema se manifestar (alagamento instalado), gerando prejuízos imediatos à mobilidade e ao comércio.
- **Ineficiência Operacional:** Equipes de limpeza são enviadas para rotas fixas, muitas vezes limpando bueiros que já estão limpos, enquanto outros (bloqueados por descarte irregular de lixo) causam inundações por falta de monitoramento.
- **Desconexão com o Contexto Smart City:** Segundo o relatório "Caminho para as Smart Cities" (BID), uma cidade inteligente utiliza a tecnologia para gestão eficiente de recursos. O sistema atual desperdiça recursos (combustível, horas de trabalho, recuperação de desastres) pela falta de dados. A ausência de indicadores de desempenho impede a aplicação da norma ABNT NBR ISO 37122, que exige métricas claras de segurança e resiliência urbana.

## Fase II - Solução: Sistema de Drenagem Pluvial Inteligente (SmartDrain)

### 1. Proposta da Arquitetura Tecnológica

A solução transforma a infraestrutura passiva de drenagem em um Sistema Ciber-Físico (CPS) conectado. A arquitetura segue o fluxo de dados padrão de IoT, dividido em quatro camadas essenciais para a operação autônoma:

- **Camada 1: Sensoriamento (Percepção)**
  - **Sensores de Nível Ultrassônicos:** Instalados no interior dos bueiros e galerias para medir a altura da água em tempo real, sem contato físico com o líquido.
  - **Sensores de Fluxo e Obstrução:** Detectam a velocidade da água e identificam bloqueios físicos (lixo acumulado) nas grades de proteção.
  - **Estações Meteorológicas Locais:** Coletam dados hiperlocais de pluviosidade (mm de chuva) na região exata do bueiro.
- **Camada 2: Rede (Transmissão)**
  - **Protocolo LoRaWAN:** Utilizado para a transmissão dos dados dos sensores. Essa tecnologia foi escolhida por sua capacidade de longo alcance e baixo consumo de energia, ideal para sensores espalhados pela cidade que funcionam a bateria.
  - **Gateway:** Recebe os sinais dos bueiros e os envia para a nuvem via 4G/5G.
- **Camada 3: Inteligência e Processamento (O "Cérebro")**
  - **Plataforma em Nuvem (Cloud):** Armazena o histórico de dados.
  - **Algoritmos de IA/Machine Learning:** Cruzam a previsão do tempo com o nível atual dos bueiros e a capacidade de vazão. O sistema prevê inundações antes que elas ocorram (análise preditiva)<sup>25</sup>.

- **Gêmeo Digital (Digital Twin):** Uma réplica virtual do sistema de drenagem que simula cenários de chuva forte para testar a resposta do sistema.

- **Camada 4: Atuadores (Ação)**

- **Bombas de Sucção Automatizadas:** Acionadas automaticamente pelo sistema quando o nível de risco sobe, sem necessidade de operador humano.
- **Comportas Eletrônicas:** Desviam o fluxo da água para reservatórios de contenção ("piscinões") para aliviar a pressão nas áreas críticas.

### **Fluxograma de Dados do SmartDrain**

**Entrada (Input):** Sensores ultrassônicos nos bueiros medem o nível da água e a presença de detritos sólidos. (transmissão via protocolo LoRaWAN)

**Transmissão:** Os dados são enviados para o Gateway e retransmitidos para a Nuvem via rede celular. (processamento em tempo real)

**Inteligência:** A plataforma em nuvem (IA) analisa os dados, compara com a previsão meteorológica e decide se há risco de enchente. (comando de ação)

**Saída (Output):** O sistema envia um comando para os Atuadores (Bombas), que ligam automaticamente antes do transbordamento.

## 2. Descrição das Novas Funcionalidades Inteligentes

O autômato modernizado deixará de ser reativo (só funciona quando inunda) para se tornar proativo, com as seguintes funcionalidades:

1. **Limpeza Preditiva e Otimizada (Gestão de Resíduos):** O sistema notifica as equipes de manutenção exatamente quais bueiros estão com as grades obstruídas por lixo ou detritos antes da chuva começar. Isso elimina rotas de inspeção desnecessárias e garante que a drenagem esteja 100% funcional em dias críticos.
2. **Acionamento Antecipado de Bombas:** Diferente do modelo antigo, que liga a bomba apenas quando a boia sobe (muitas vezes tarde demais), o novo autômato utiliza dados meteorológicos. Se a previsão indicar uma tempestade severa em 15 minutos, o sistema pode pré-acionar as bombas ou esvaziar reservatórios de retenção preventivamente para criar "espaço" para a nova água.
3. **Alertas de Risco em Tempo Real para o Cidadão:** Integração com aplicativos de mobilidade e painéis de mensagem variável (PMV) nas ruas. Caso o sistema detecte que uma via vai alagar inevitavelmente, ele emite alertas automáticos desviando o trânsito daquela região, aumentando a segurança e evitando carros ilhados.

## Fase III - Implementação e Resultado

### 1. Roteiro de Ação da Solução (Implementação Gradual)

A modernização do sistema de drenagem seguirá um cronograma escalonável para garantir a segurança operacional e a validação da tecnologia:

- **Curto Prazo (Mapeamento e Piloto):**
  - Identificação dos pontos críticos de alagamento históricos da cidade.
  - Instalação do projeto piloto (sensores de nível e bloqueio) em 10 bueiros e 1 estação de bombeamento em uma área de alto risco.
  - Configuração da rede LoRaWAN local e testes de conectividade com a nuvem.
- **Médio Prazo (Integração e IA):**
  - Integração dos dados dos sensores com o sistema da Defesa Civil e serviços de meteorologia.
  - Treinamento do algoritmo de Inteligência Artificial com os dados coletados no piloto para calibrar os alertas de previsão.
  - Substituição das caixas de controle manuais das bombas por controladores automáticos (PLCs) conectados.
- **Longo Prazo (Expansão e Automação Total):**
  - Expansão dos sensores para toda a malha urbana.
  - Ativação da funcionalidade de "autonomia total", onde o sistema toma decisões de bombeamento sem intervenção humana.
  - Disponibilização dos dados em tempo real para aplicativos de navegação (Waze/Google Maps) para orientar o trânsito.

## 2. Definição dos KPIs (Métricas de Sucesso)

Para medir a eficiência do autômato modernizado, conforme exigido pelas normas de cidades inteligentes (ISO 37122), serão utilizados os seguintes indicadores:

### 1. Tempo Médio de Resposta a Alagamentos (TMR):

- **Meta:** Redução de 60 minutos (modelo reativo atual) para < 5 minutos (acionamento automático preditivo).
- **Justificativa:** Mede a agilidade do sistema em reagir a uma subida crítica do nível da água.

### 2. Eficiência da Manutenção Preventiva (%):

- **Meta:** Atingir 90% de assertividade nas visitas de limpeza.
- **Justificativa:** Garante que as equipes de limpeza sejam enviadas apenas para bueiros que realmente acusam obstrução pelos sensores, reduzindo custos operacionais com deslocamentos desnecessários (economia de combustível e horas-homem).

### 3. Redução de Pontos de Alagamento Críticos:

- **Meta:** Redução de 40% na frequência de transbordamentos em áreas monitoradas no primeiro ano.
- **Justificativa:** Mede o impacto direto na qualidade de vida do cidadão e na mobilidade urbana, validando a capacidade do sistema de gerenciar o fluxo de água antes que ele invada as vias.

## Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 37122**: Cidades e comunidades sustentáveis - Indicadores para cidades inteligentes. Rio de Janeiro, 2020.

BANCO INTERAMERICANO DE DESENVOLVIMENTO (BID). **Caminho para as Smart Cities**: Da Gestão Tradicional para a Cidade Inteligente. Disponível em: <https://publications.iadb.org>. Acesso em: 26 nov. 2025.<sup>56</sup>

BYUN, J. et al. **Smart City Implementation Models Based on IoT Technology**. Advanced Science and Technology Letters, v. 129, p. 209-212, 2016.

CHOURABI, H. et al. **Understanding Smart Cities**: An Integrative Framework. In: 45th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE, 2012.