



## **PROGRAMA DE RESIDÊNCIA EM SISTEMAS EMBARCADOS - EMBARCATECH**

Jorge Wilker

Mauricio Gonçales

Roger De Lima Araújo De Melo

**Projeto Integrado de IoT com Monitoramento e Atualização OTA**

**CAMPINAS**

**2025**

## RESUMO

O projeto tem como objetivo implementar dispositivos inteligentes de monitoramento em pontos estratégicos da rede de distribuição de água urbana. Esses dispositivos serão capazes de medir em tempo real o fluxo e a pressão da água, permitindo a detecção automática de vazamentos e outras anomalias na rede. A iniciativa visa reduzir perdas, melhorar a eficiência operacional das concessionárias e garantir maior confiabilidade no abastecimento, utilizando tecnologias como comunicação LoRa, análise em nuvem e atualizações remotas via OTA para garantir flexibilidade, segurança e escalabilidade do sistema.

## **INTRODUÇÃO**

O desperdício de água no Brasil é um desafio crítico para a sustentabilidade das cidades. De acordo com o Instituto Trata Brasil, mais de 40% da água potável produzida no país foi perdida em 2021, principalmente por vazamentos invisíveis nas redes de distribuição. Para mitigar esse problema, propõe-se o desenvolvimento e a implantação de uma solução tecnológica voltada para o monitoramento remoto das redes pluviais.

## SOLUÇÃO PROPOSTA

O projeto consiste na instalação de dispositivos inteligentes de monitoramento em pontos estratégicos da rede de distribuição de água urbana. Esses dispositivos serão responsáveis por monitorar, em tempo real, o fluxo e a pressão da água em diferentes trechos da rede, detectar automaticamente vazamentos ou anomalias na rede de distribuição de água. Abaixo um diagrama, mostrando como pensamos em implementar essa solução:

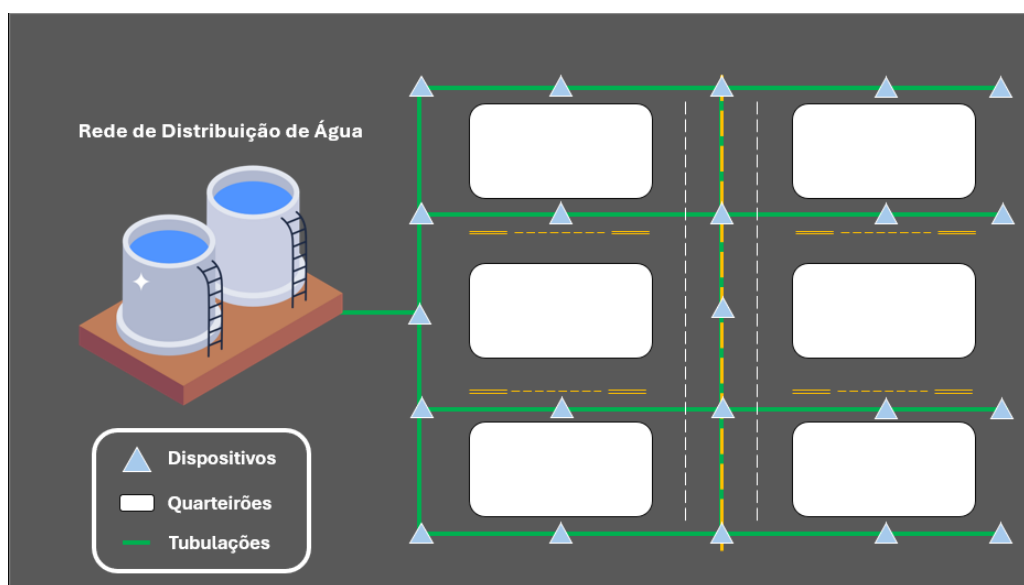


Figura 1 - Diagrama da solução proposta.

A rede é composta por tubulações (linhas verdes) que conectam reservatórios de água aos quarteirões da cidade. Em pontos estratégicos das tubulações, serão instalados os dispositivos responsáveis pela medição contínua do fluxo.

## **FUNCIONAMENTO DO SISTEMA**

O sistema de monitoramento inicia com a medição de vazão no ponto em que o dispositivo está instalado, registrando em tempo real o volume de água que atravessa aquele trecho. Esses dados são confrontados simultaneamente com as leituras dos sensores distribuídos pela rede e com os registros de consumo dos clientes atendidos a jusante, já que o volume que percorre o cano deve, em última análise, deve corresponder à soma do consumo mais as perdas naturais aceitáveis. Em seguida, o sistema executa o cálculo do balanço hídrico, verificando se a diferença entre a água medida em um ponto, a que chega ao sensor seguinte e a efetivamente consumida pelos clientes mantém-se dentro do limite de tolerância. Caso o sistema detecte maior vazão do que consumo — indicando que parte da água não está sendo contabilizada por nenhum hidrômetro — o trecho é sinalizado para inspeção de maior precisão, mas permanece em operação normalmente. Todas as informações são atualizadas em tempo real no sistema central, que envia alertas aos operadores e destaca o segmento suspeito no mapa da rede para que equipes de campo possam planejar uma verificação detalhada.

Para maximizar a eficácia desse monitoramento contínuo — e evitar deslocamentos caros até sensores enterrados, o firmware do dispositivo será projetado para receber atualizações OTA (Over-the-Air). Assim, sempre que o algoritmo de balanço hídrico precisar incorporar novas regras de correlação entre vazão e consumo, ajustar limites de tolerância ou adicionar suporte a sensores recém-instalados, é possível enviar o novo firmware remotamente pela rede do sistema. Em minutos, cada nó recebe a versão mais recente, reinicia com os ajustes aplicados e retoma as medições sem interrupção do serviço, suportando que o conjunto de sensores evolua tão rapidamente quanto as demandas da rede de distribuição.

## ORGANIZAÇÃO NAS 6 CAMADAS DO MODELO DE REFERÊNCIA IOT

### Camada de Sensor

O sensor utilizado para monitorar o fluxo de água é o WATERFLUX 3070 – Conaut. O princípio de funcionamento do sensor é baseado na Lei de Indução de Faraday, onde um líquido condutor em movimento em um campo magnético gera uma tensão elétrica proporcional à sua velocidade. O sensor converte essa tensão em pulsos elétricos, cuja frequência é proporcional ao volume de água.

### Camada de Conectividade

- Responsável pela transmissão dos dados dos sensores para os níveis superiores da arquitetura.
- Utiliza tecnologia LoRa/LoRaWAN como principal meio de comunicação de longa distância.
- Emprega o transceptor LoRa SX1276, com comunicação SPI entre o microcontrolador e o transceptor.
- A biblioteca lorawan.h é usada para configurar o protocolo LoRaWAN.
- Uma rede mesh é implementada para ampliar o alcance da comunicação e garantir robustez mesmo em áreas subterrâneas.

### Camada de Borda

- Realiza o pré-processamento e análise inicial dos dados próximos à fonte (sensor).
- O microcontrolador STM32L0 recebe os pulsos do sensor, realiza a contagem e estrutura os dados.
- Utiliza constantes (#defines) que descrevem características da tubulação para interpretar os dados e identificar possíveis vazamentos.

## **Camada de Armazenamento**

- Os dados processados na borda são enviados para a nuvem via Google Cloud Platform (GCP).
- Armazenamento primário em Cloud Storage, organização em Cloud SQL, e análise em larga escala via BigQuery.
- A comunicação com a nuvem é feita por API REST autenticada via OAuth 2.0, protegida por HTTPS.
- Garante segurança, escalabilidade e integração com ferramentas analíticas e de machine learning.

## **Camada de Abstração**

Esta camada tem a função de transformar os dados brutos provenientes dos sensores em informações úteis e estruturadas para os sistemas superiores.

A contagem de pulsos feita pelo microcontrolador é convertida em dados de vazão, e esses valores são interpretados em conjunto com as constantes definidas (#defines) que representam características da tubulação.

Para aprimorar a análise e a tomada de decisões, esta camada incorpora modelos de Inteligência Artificial, capazes de classificar automaticamente os vazamentos quanto à severidade (por exemplo: leve, moderado ou crítico).

Essa classificação é feita com base em variáveis como volume de vazão anormal, tempo de duração do vazamento, histórico de eventos semelhantes e localização geográfica.

O uso de IA nessa camada permite priorizar os casos mais críticos para as equipes de manutenção, reduzindo perdas e otimizando recursos.

Dessa forma, a camada de abstração não apenas interpreta os dados, mas também atribui contexto e prioridade, gerando uma visão estratégica da integridade da rede.

## **Camada de Apresentação**

- Interage diretamente com o usuário final, apresentando os dados de maneira acessível.
- A solução disponibiliza uma interface (com dashboard, app web e mobile) que permite: Visualização dos vazamentos detectados.
- Exibição de um mapa dinâmico da rede de encanamentos, constantemente atualizado.



## JUSTIFICATIVA DA CONECTIVIDADE

A escolha da tecnologia LoRa/LoRaWAN para a conectividade é justificada por vários fatores:

- Comunicação de Longa Distância: O transceptor LoRa SX1276 permite alcances de até 3 km em ambientes abertos, o que é crucial para monitorar redes de distribuição de água que cobrem vastas áreas.
- Instalação em Áreas Subterrâneas: O dispositivo será instalado em áreas subterrâneas, onde sinais de tecnologias como WiFi ou Ethernet seriam fracos ou inacessíveis. O LoRa, operando em frequências mais baixas (862 a 930 MHz), tem melhor penetração em ambientes urbanos e subterrâneos.
- Necessidade de Rede Mesh: Devido à instalação subterrânea, a implementação de uma rede mesh é essencial. Esta configuração permite que os dispositivos retransmitam dados, ampliando o alcance da comunicação e garantindo a transferência de dados mesmo em locais remotos onde a comunicação direta seria difícil. LoRaWAN suporta arquiteturas de rede adequadas para essa configuração.
- Eficiência Energética: a solução é projetada para operação contínua e manutenção reduzida, utilizando o microcontrolador STM32L0 que tem baixo consumo. LoRa é uma tecnologia conhecida por seu baixo consumo energético, o que a torna ideal para dispositivos que precisam operar por longos períodos sem necessidade de troca frequente de baterias ou manutenção constante.

Em resumo, a escolha do LoRa/LoRaWAN se alinha perfeitamente com os requisitos de longo alcance, operação em ambientes desafiadores (subterrâneos), capacidade de formar redes mesh para garantir a cobertura e a eficiência energética necessária para uma solução de monitoramento contínuo e de baixa manutenção. Tecnologias como WiFi ou Ethernet seriam inadequadas devido ao seu curto alcance, dificuldade em ambientes subterrâneos e, no caso do Ethernet, necessidade de infraestrutura cabeada.

## FLUXO SIMPLIFICADO DE ATUALIZAÇÃO OTA

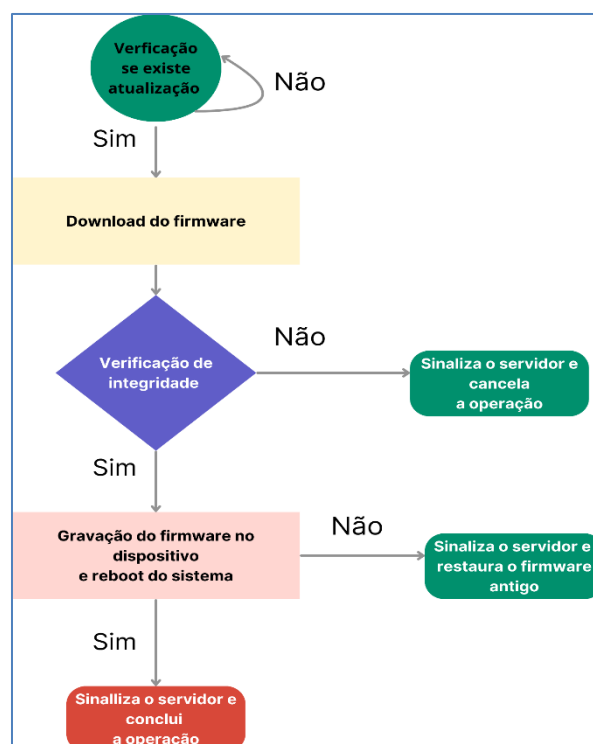
Para garantir a segurança e robustez no processo de atualização de firmware via OTA (Over-The-Air), algumas etapas fundamentais devem ser seguidas.

O dispositivo, conectado à rede do servidor por meio da tecnologia LoRaWAN, realizará periodicamente uma verificação junto ao servidor para identificar a existência de uma nova versão de firmware. Caso uma versão mais recente seja detectada, o dispositivo iniciará o download do novo firmware.

Após o término do download, será realizada uma verificação de integridade e autenticidade, utilizando algoritmos de hash (como SHA-256), com o objetivo de evitar a instalação de firmwares corrompidos ou maliciosos.

Uma vez validado, o novo firmware é gravado em uma partição separada da memória do dispositivo, permitindo a coexistência com a versão anterior. Em seguida, o dispositivo executa um reboot e tenta inicializar o novo firmware.

Caso o boot seja bem-sucedido, o dispositivo envia uma confirmação ao servidor, informando que a atualização foi concluída com êxito. Se ocorrer qualquer falha durante o processo de inicialização, o sistema realizará um rollback automático, restaurando a versão anterior do firmware para garantir a continuidade segura da operação.



**Figura 2** - Fluxograma atualização OTA.

## Pontos de atenção

O sistema será implantado em ambientes subterrâneos, dentro de tubulações de redes hídricas, com o objetivo de monitorar o fluxo de água, detectar vazamentos e manter o mapeamento dos canos atualizado em tempo real. Dadas as condições de operação e o ambiente hostil, três pilares fundamentais devem guiar o projeto: segurança, eficiência energética e robustez.

A estratégia é começar pelos bairros e condomínios recém-construídos, onde a tubulação ainda está exposta e as vias não foram pavimentadas definitivamente. Instalar o dispositivo logo nessa fase evita custos extras de escavação, garante que a rede já entre em operação com monitoramento de vazão ativo.

Nos bairros antigos, porém, o cenário é mais reativo: só quando surgem vazamentos ou a pavimentação precisa ser aberta é que o sensor é inserido, evitando novas escavações futuras e permitindo que o trecho volte a ser fechado com a rede já monitorada. Dessa forma, a solução equilibra implantação preventiva onde é barato intervir e corretiva onde os custos de quebra de asfalto e transtorno à população seriam maiores.

Por estar inserido em uma rede LoRa local, sem acesso à internet ou a outros dispositivos externos, o sistema deve contar com mecanismos internos de segurança contra-ataques físicos e lógicos, especialmente no processo de atualização de firmware via OTA. Mesmo em ambientes isolados, é essencial garantir que apenas firmware autenticado e verificado criptograficamente seja aceito pelo dispositivo, prevenindo a instalação de código malicioso que possa comprometer a integridade dos dados ou da rede.

Além disso, o dispositivo será instalado em locais de difícil acesso, onde manutenções frequentes são inviáveis. Por isso, o consumo de energia deve ser extremamente otimizado, visando a máxima autonomia da bateria. O sistema deve operar por longos períodos sem intervenção humana, o que exige estratégias eficientes de gerenciamento de energia, como modos de sono profundo e transmissão de dados em intervalos otimizados.

No que diz respeito à robustez, o hardware e o firmware devem ser projetados para garantir resiliência a falhas e confiabilidade contínua, mesmo sob variações de temperatura, umidade e outras condições adversas típicas de ambientes subterrâneos. O sistema deve ser capaz de operar de forma autônoma e estável, com mecanismos de fallback seguros em caso de falha de atualização, e tolerância a erros que garantam a consistência dos dados coletados.