



Lixeira Inteligente: Otimização da Coleta de Resíduos com Medição de Volume via IoT

Lucas Giovannetti Motta Horn, Thiago de Oliveira Silva, Aaron Nur de Paula Magalhães, Gabriel Nobrega Neri, Wallace Santana

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)
Rua da Consolação, 930 Consolação, São Paulo - SP, 01302-907 - Brasil

{10374691@mackenzista.br, 10427342@mackenzista.br, 10417095@mackenzie.br, 10419208@mackenzie.br, 1165744@mackenzie.br}

Abstract. This article presents the development of a smart trash bin based on Internet of Things (IoT) technologies, designed to optimize the urban solid waste collection process. The prototype uses an HC-SR04 ultrasonic sensor connected to an ESP32 microcontroller to measure the bin's fill level in real time. The measurements are transmitted using the MQTT protocol to a central platform, where they are processed in Node-RED and stored in an InfluxDB database. Consolidated data are visualized on Grafana dashboards, enabling analysis of the bin's occupancy behavior over time. The system also sends automatic notifications when the fill level exceeds a predefined threshold, supporting faster operational decision-making. The goal of this project is to demonstrate the feasibility of a low-cost solution capable of reducing unnecessary truck routes, optimizing waste collection logistics, and contributing to urban sustainability, aligned with the goals of SDG 11 from the United Nations 2030 Agenda.

Resumo. Este artigo apresenta o desenvolvimento de uma lixeira inteligente baseada em Internet das Coisas (IoT), projetada para otimizar o processo de coleta de resíduos sólidos urbanos. O protótipo utiliza um sensor ultrassônico HC-SR04 acoplado a um microcontrolador ESP32 para medir, em tempo real, o nível de preenchimento da lixeira. As medições são transmitidas via protocolo MQTT para uma plataforma central, onde são processadas no Node-RED e armazenadas em um banco de dados InfluxDB. Os dados consolidados são posteriormente visualizados em dashboards no Grafana, possibilitando a análise do comportamento de ocupação da lixeira ao longo do tempo. O sistema também emite notificações automáticas quando o nível ultrapassa um limite pré-definido, permitindo agilizar a tomada de decisão operacional. O objetivo do projeto é demonstrar a viabilidade de uma solução de baixo custo, capaz de reduzir deslocamentos desnecessários, otimizar rotas de coleta e contribuir para a sustentabilidade urbana, alinhando-se às metas do ODS 11 da Agenda 2030 da ONU.

1. Introdução

A gestão de resíduos sólidos é um dos maiores desafios dos centros urbanos modernos. O modelo tradicional de coleta, baseado em rotas e cronogramas fixos, apresenta diversas ineficiências. Frequentemente, caminhões de lixo percorrem longas distâncias para esvaziar

contêineres que estão quase vazios, desperdiçando combustível, tempo e recursos públicos. Em contrapartida, outras lixeiras transbordam antes da coleta, causando poluição visual, mau cheiro e riscos à saúde pública. Nesse cenário, a Internet das Coisas (IoT) surge como uma tecnologia transformadora, capaz de otimizar serviços urbanos por meio de dados em tempo real.

Este projeto propõe o desenvolvimento de um protótipo de lixeira inteligente para otimizar a coleta de resíduos. A solução consiste em um dispositivo que mede o nível de preenchimento do contêiner em tempo real e envia esses dados para uma plataforma central. O objetivo principal é demonstrar a viabilidade de um sistema de baixo custo que forneça informações gerenciais para a equipe de limpeza urbana, permitindo a criação de rotas de coleta dinâmicas e eficientes. A contribuição esperada é a redução de custos operacionais e da pegada de carbono, alinhando-se a metas de desenvolvimento sustentável.

A aplicação de tecnologias para cidades inteligentes se insere no contexto da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), especificamente no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11, que busca tornar as cidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis.

Diversos trabalhos já exploraram o conceito de gestão inteligente de resíduos. Por exemplo, Sousa e Costa (2019) desenvolveram um protótipo similar focado no contexto de Cidades Inteligentes. Pardini et al. (2019) também propuseram um sistema de gerenciamento inteligente de resíduos, reforçando a aplicabilidade da tecnologia em ambientes urbanos. Em uma abordagem similar, Cercheo, Penedo e Rosa (2018) apresentaram um sistema utilizando a plataforma FIWARE, mostrando a importância de arquiteturas de software escaláveis para implementação em larga escala. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 11, parte da Agenda 2030 da ONU, busca tornar as cidades e os assentamentos humanos mais inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. Segundo a Onu, a Agenda 2030 é “um plano de ação para as pessoas, para o planeta e para prosperidade, que busca fortalecer a paz universal com mais liberdade, reconhecendo que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, incluindo a pobreza extrema, é o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável”. Um dos maiores desafios para alcançar essa meta é a gestão eficiente de resíduos sólidos urbanos. O modelo tradicional de coleta, baseado em rotas e horários fixos, frequentemente resulta em ineficiência logística e ambiental. Caminhões de lixo circulam por quilômetros para esvaziar contêineres que estão quase vazios, enquanto outros transbordam, causando problemas de saúde pública e poluição visual. Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) surge como uma tecnologia transformadora, capaz de fornecer dados em tempo real para otimizar os serviços urbanos e criar cidades verdadeiramente inteligentes.

O objetivo principal deste projeto é demonstrar a viabilidade de um sistema de baixo custo que forneça informações gerenciais para a equipe de limpeza urbana. A contribuição esperada é a redução de custos operacionais e da pegada de carbono associada à coleta de lixo, alinhando-se diretamente com as metas do ODS 11.

Diversos trabalhos já exploraram o conceito de gestão inteligente de resíduos. Por

exemplo, Sousa e Costa (2019) que desenvolveram um protótipo de lixeira inteligente focado no contexto de Cidades Inteligentes. Pardini et al (2019) também propuseram um sistema de gerenciamento inteligente de resíduos demonstrando a viabilidade do objeto

como um mediador para a tomada de decisão na gestão urbana. Em uma abordagem similar, Cercheo, Penedo e Rosa (2019) propuseram um sistema de gerenciamento de lixo utilizando a plataforma FIWARE, mostrando a importância de arquiteturas de software escaláveis para a implementação em larga escala.

2. Materiais e Métodos

A coleta inicial de dados foi realizada por dois microcontroladores ESP32 (Figura 1), microcontrolador popular habilitado para WiFi e Bluetooth, amplamente utilizado para projetos de IoT. O projeto utiliza o sensor de distância ultrassônico **HC-SR04** (Figura 2), responsável por medir a altura interna disponível na lixeira, permitindo estimar o seu volume ocupado.

O sensor funciona emitindo pulsos ultrassônicos a 40 kHz através do transmissor (trigger) e medindo o tempo que o sinal leva para retornar ao receptor (echo). A distância é calculada pela fórmula:

Distância é igual ao tempo de ida e volta do pulso multiplicado pela velocidade do som, dividido por dois.

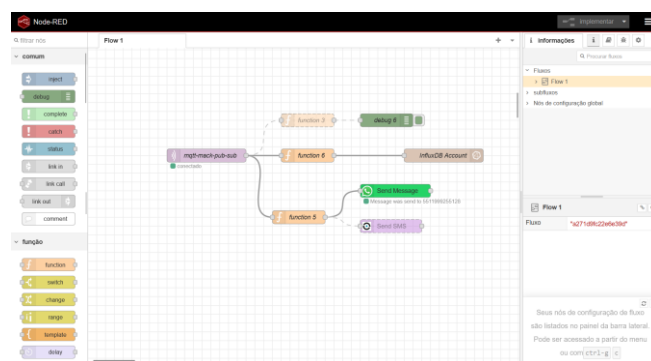
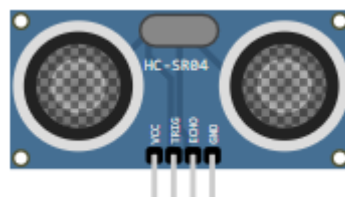
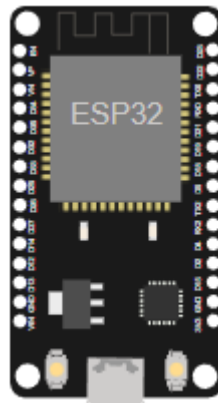
O HC-SR04 apresenta alta precisão para distâncias entre **2 cm e 400 cm**, além de baixo consumo de energia, sendo amplamente utilizado em projetos de IoT e automação. A escolha deste sensor se deu por sua compatibilidade direta com o microcontrolador ESP32, facilidade de integração via GPIO e documentação abundante. Feito no Wokwi um simulador de eletrônica online (WOKWI, 2025).

Após a coleta dos dados pelo sensor ultrassônico, as informações são transmitidas via protocolo MQTT para uma infraestrutura de processamento construída no Node-RED (Figura 3). O Node-RED é uma ferramenta de desenvolvimento baseada em fluxo, amplamente utilizada em sistemas de IoT devido à sua capacidade de integrar diferentes serviços por meio de nós visuais. No contexto deste projeto, o Node-RED foi instalado em uma máquina virtual Linux hospedada na plataforma Amazon Web Services (AWS) (Figura 4), garantindo disponibilidade contínua e capacidade de escalabilidade.

No fluxo desenvolvido, cada mensagem recebida do ESP32 é processada por uma lógica específica responsável por interpretar o valor da distância e classificá-lo como nível de preenchimento da lixeira. Além da análise, o Node-RED desempenha o papel central de roteamento dos dados, enviando-os ao banco de dados InfluxDB (Figura 5). O InfluxDB foi escolhido por ser um sistema especializado em séries temporais, permitindo registrar de forma eficiente medições contínuas realizadas pelo sensor.

Os dados armazenados no InfluxDB alimentam os dashboards construídos no Grafana (Figura 6), ferramenta destinada à visualização avançada de métricas. O Grafana possibilita a criação de painéis em tempo real, permitindo acompanhar a evolução do volume de resíduos ao longo do dia e facilitando a tomada de decisões operacionais. Dessa forma, o conjunto Node-RED, InfluxDB e Grafana forma uma pipeline integrada que

processa, armazena e apresenta os dados coletados no protótipo, garantindo rastreabilidade, visualização analítica e consistência entre as camadas do sistema.

[illegible]

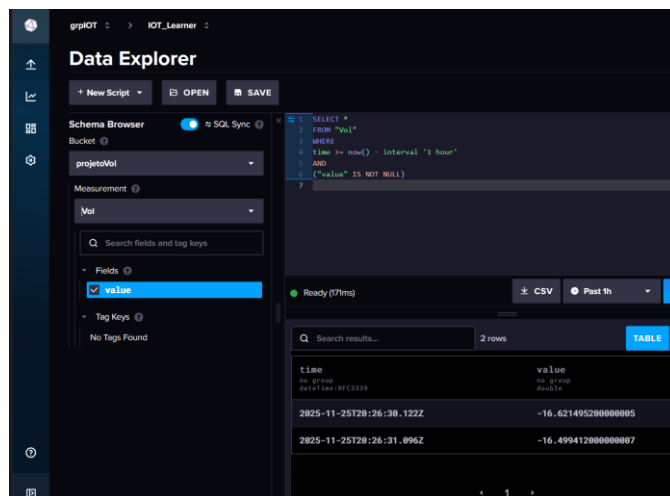


Figura 5. InfluxDB tela de query para o banco de dados

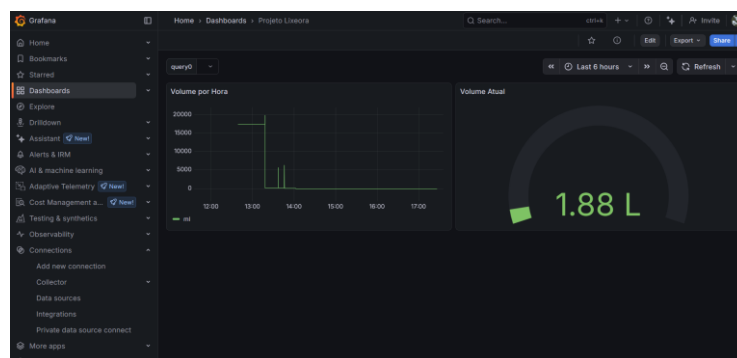


Figura 6. Tela Grafana

3. Resultados

Os dados de preenchimento coletados pelo sensor ultrassônico serão enviados para um banco de dados em nuvem e, posteriormente, visualizados em dashboards criados na plataforma Grafana. O objetivo desta visualização é transformar dados brutos em informações estratégicas para a equipe de gestão de resíduos.

Para a análise dos dados, foram propostos dois painéis principais, conforme ilustrado na Figura 7. O primeiro painel, "Status Atual das Lixeiras", apresentará um medidor do tipo

"gauge" que exibirá o nível médio de preenchimento da lixeira monitorada, O segundo painel, "Histórico de Ocupação" indicará o volume da lixeira durante o dia.

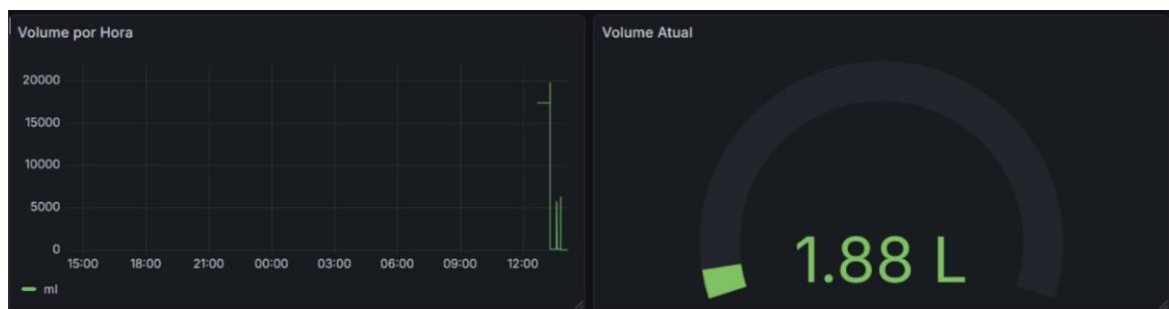


Figura 7. Dashboards de monitoramento no Grafana

A partir desses dashboards, será possível realizar uma análise gerencial para otimizar as rotas de coleta, priorizando as áreas com maior geração de resíduo. Além disso, os dados históricos podem auxiliar no planejamento de distribuição de novas lixeiras pela cidade. O protótipo para este projeto será implementado utilizando dois dispositivos ESP32 simulados na plataforma Wokwi, conforme as diretrizes da disciplina para projetos não físicos. O primeiro dispositivo conterá o sensor ultrassônico para envio de dados, e o segundo conterá um atuador (LED) que acenderá para indicar visualmente quando a lixeira estiver cheia, cumprindo o requisito de múltiplos dispositivos.

4. Conclusões

A implementação do protótipo de lixeira inteligente demonstrou a viabilidade técnica de um sistema baseado em Internet das Coisas (IoT) para monitoramento do nível de resíduos em tempo real. A combinação entre ESP32, sensor ultrassônico HC-SR04 e o protocolo MQTT mostrou-se adequada para transmissões contínuas e confiáveis, oferecendo baixo custo e fácil replicação. A arquitetura de processamento, composta por Node-RED, InfluxDB e Grafana, permitiu não apenas registrar os dados coletados, mas também convertê-los em visualizações analíticas úteis para apoio operacional.

Os resultados obtidos evidenciam o potencial do sistema para otimizar rotas de coleta e reduzir deslocamentos desnecessários, contribuindo para uma gestão de resíduos mais eficiente e sustentável. Além disso, o uso de múltiplos dispositivos ESP32 emulando sensores e atuadores reforça a escalabilidade da solução, que pode ser ampliada para cenários reais com um número maior de contêineres distribuídos pela cidade.

Apesar da eficácia observada, o protótipo pode ser expandido com a integração de novos sensores, algoritmos avançados de análise e conectividade adicional. Assim, este trabalho reforça o papel da IoT como tecnologia central no desenvolvimento de cidades inteligentes e destaca a importância de soluções acessíveis para atender às metas estabelecidas pelo ODS 11 da Agenda 2030.

5. Referências

CERCHEO, M.; PENEDO, F.; ROSA, P. F. (2018). Proposta de um sistema de gerenciamento de lixo inteligente utilizando a plataforma FIWARE. Em anais do Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC), p. 747-760.

PARDINI, K.; et al. (2019). Um Sistema de Gerenciamento Inteligente de Resíduos para Cidades Inteligentes. IEEE Latin America Transactions, v. 17, n. 05, p. 818-826.

SOUSA, P. V.; COSTA, M. (2019). Protótipo de lixeira inteligente no contexto das Smart Cities e da Internet das Coisas. Revista Sistemas e Mídias Digitais (RSMD), v. 4, n. 2.

ONU. Organização das Nações Unidas. Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil.

WOKWI. *Bem-vindo ao Wokwi! | Wokwi Docs*. Disponível em: <https://docs.wokwi.com/pt-BR/>. Acesso em: 25 nov. 2025.

NERI, G. N. (2025). Lixeira-Inteligente. GitHub. Disponível em: <https://github.com/Neri04/Lixeira-Inteligente>. Acesso em: 26 nov. 2025.