

Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Especialização em Automação Industrial

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC): Artigo Científico

IDENTIFICAÇÃO
Ministério da Educação - Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina
Especialização em Automação Industrial
Campus: Lages
Professor orientador: Rogerio da Silva
Autor: Fernando Fiuza Filho
Título e Subtítulo: Gerenciamento de Resíduos com Módulos IoT: Uma Solução para o Planejamento Otimizado de Coleta

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas temas relacionados à poluição e ao modo como o comportamento humano impacta o meio ambiente têm ganhado destaque nos debates da vida social. Uma fatia importante deste tema, relaciona-se com a geração e manejo dos resíduos sólidos em grandes cidades. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), por ano cerca de 2 bilhões de toneladas de lixo são produzidas no mundo e aproximadamente 99% dos produtos comprados por um cidadão, terão seu descarte em até 6 meses (ONU, 2018).

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente, 80 milhões de toneladas de resíduos são produzidas ao ano, cerca de 382 quilos por pessoa (G1, 2024). Porém, tão importante quanto compreender a geração do lixo, é aprimorar a capacidade das cidades na coleta e manejo destes rejeitos. O descarte incorreto de resíduos pode provocar efeitos negativos para a saúde humana, meio ambiente e paisagem urbana (SILVA; MELLO, 2011). Em outra esfera, num olhar mais qualitativo, moradores de periferias de grandes centros atribuem ao lixo, quando acumulado pela falta de coleta, a capacidade de produzir odor desagradável, contribuir com desastres como enchentes e alagamentos, atrair animais como gatos, cães, ratos e insetos e provocar doenças (RÊGO, BARRETO; KILLINGER, 2002).

Diante destes e outros desafios urbanos, a aplicação de tecnologias emergentes e inovadoras como IoTs (*Internet of Things*) vem se destacando, havendo grande diversidade de aplicações e crescente escalada de publicações sobre o tema (PACHECOA, KLEIN; RIGHI, 2016). A aplicação destas soluções justifica-se ainda mais, considerando a miniaturização dos *hardwares* e o grande avanço nos produtos com conectividade mecânica, elétrica/eletrônica e de dados exponencialmente oferecidos (PORTER; HEPPELMANN, 2014).

Assim como em outros temas, os desafios logísticos relacionados ao manejo de resíduos em áreas urbanas têm encontrado soluções promissoras por meio da integração de tecnologias IoT. Protótipos desenvolvidos por (DE ALMEIDA; BORIN, 2020) e (BABY, SINGH, *et al.*, 2017) exemplificam sistemas capazes de medir o nível

de preenchimento de lixeiras utilizando sensores ultrassônicos e que possibilitam o gerenciamento destas informações via plataformas digitais ou enviando mensagens de alerta via e-mail e SMS.

Em propostas alternativas, como a de (SOUSA; COSTA, 2019), sensores adicionais para a medição de temperatura, humidade, peso e abertura da tampa dos reservatórios foram implementados. Enquanto em outros sistemas, como o de (BAKHSI; AHMED, 2018) além da solução de monitoramento, foi também desenvolvida a capacidade de planejamento de rotas otimizadas de coleta das lixeiras. Funcionalidades complementares, como o bloqueio automático da tampa da lixeira e notificações predefinidas, baseadas no nível de preenchimento ou atraso na coleta, também são destacadas no estudo de (KEERTHANA B, RAGHAVENDRAN, *et al.*, 2017). Exemplos como estes trazem à tona a capacidade notável da aplicação destas soluções e grande gama de artifícios que contribuem para a viabilidade de um sistema gerencial prático e rentável.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente artigo tem como objetivo desenvolver um sistema modular de monitoramento e gestão de resíduos sólidos, inspirado em boas práticas descritas na literatura e propondo novas abordagens para o tema. O sistema será projetado para facilitar a implementação e contará com conectividade centralizada por meio de um aplicativo *mobile*, visando maior eficiência e acessibilidade no gerenciamento de resíduos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Projetar um sistema modular equipado com sensores, *hardware* e conectividade sem fio;
- Desenvolver e monitorar uma base de dados sobre a geração de resíduos;
- Apresentar os dados capturados de forma acessível ao usuário final por meio de um aplicativo *mobile*;

- Permitir a geração de rotas otimizadas com base no monitoramento do nível de preenchimento dos reservatórios;
- Avaliar a viabilidade econômica e prática da aplicação do sistema.

2 DESENVOLVIMENTO

O presente estudo propõe o desenvolvimento de um sistema para monitorar o nível de preenchimento de lixeiras e disponibilizar essas informações em uma plataforma gerencial de fácil uso, incluindo registros históricos e dados em tempo real. Além disso, o sistema é projetado para gerar rotas otimizadas de coleta com base em critérios definidos pelo gestor. Para garantir sua viabilidade, prioriza-se a implementação de baixo custo e a simplicidade no manejo dos componentes físicos.

2.1 ESTRUTURA E FERRAMENTAS

Para atender aos requisitos mínimos do sistema proposto e garantir a integração entre a medição no meio físico e a apresentação dos dados ao usuário em uma plataforma digital, identificou-se a necessidade de um sistema embarcado equipado com sensores para coleta de dados, uma ferramenta para criação e gestão de bases de dados e uma plataforma que permita a visualização e a tomada de decisão com base nas informações obtidas.

Como solução para essas demandas, optou-se pela utilização de plataformas de desenvolvimento de aplicações *low-code* e de inteligência empresarial, devido à sua facilidade de implementação e adaptação. Entre as opções disponíveis, destacaram-se as soluções da Microsoft e da Google, sendo a última escolhida por oferecer diversas ferramentas gratuitas. Em complemento, foi utilizada uma placa de sistema embarcado ESP-32 para viabilizar a coleta e o envio de dados.

A interação entre os elementos que compõe o projeto está representada na Figura 1, e as funções específicas de cada etapa serão detalhadas nos tópicos seguintes.

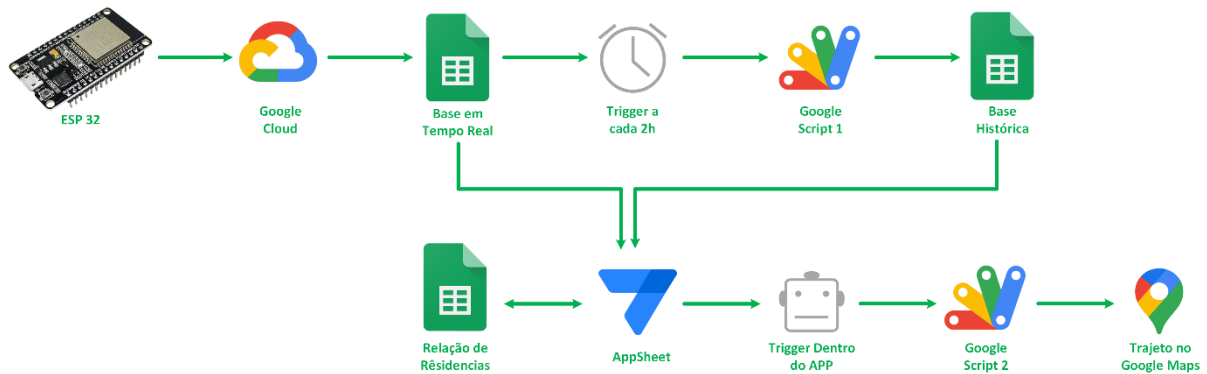


Figura 1 - Fluxo de Coleta e Processamento de Dados
Fonte: Autor

Conforme ilustrado na Figura 1, o processo inicia-se com a coleta de dados realizada pela ESP32, que posteriormente transmite as informações via *Google Cloud*, registrando-as em uma planilha no *Google Sheets*. Por meio de interações automáticas, a cada duas horas, os dados da planilha principal são agregados à uma “Base histórica” via *Google Script*. Essas tabelas são integradas ao *AppSheet*, onde uma terceira tabela, com informações das residências em que se localizam os módulos, é alimentada e também, por meio de gatilho interno, um *Google Script* pode ser acionado para gerar rotas no *Google Maps*.

2.2 COLETA DE DADOS

Para a função de coleta de dados, foi utilizada uma placa ESP32, equipada com três elementos que permitem a interação com o ambiente externo e a medição de variáveis físicas essenciais para determinar o nível de preenchimento do reservatório de resíduos. Esses elementos incluem: um sensor ultrassônico, que mede a distância até uma barreira física à sua frente; um sensor magnético, que funciona como uma chave alternando entre os estados aberto e fechado ao ser exposto a um ímã; e um botão simples, sem retenção de estado. A disposição desses componentes está ilustrada na Figura 2.

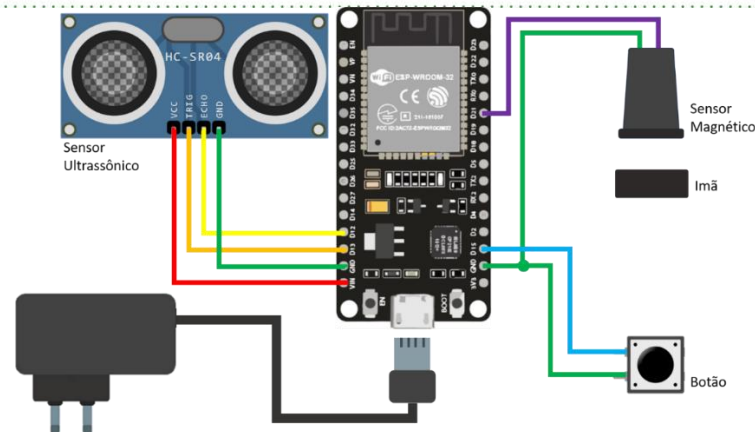


Figura 2 - Circuito Elétrico
Fonte: Autor

O sensor ultrassônico mede a distância até o lixo ou o limite do reservatório. Para calibrar a distância máxima quando o reservatório está vazio, utiliza-se o botão. Já o sensor magnético garante que as leituras sejam feitas apenas quando a tampa da lixeira estiver fechada, sendo fixado na tampa, enquanto o ímã é posicionado no corpo da lixeira.

Para contribuir com a robustez do produto, a placa eletrônica e os sensores foram organizados dentro de uma caixa, feita em protótipo por meio de impressão 3D. Essa caixa, ilustrada nas Figura 3 e 4, protege os componentes eletrônicos e compacta a solução em um módulo único, podendo ser facilmente implementada em reservatórios variados para rejeitos, como por exemplo uma lixeira (Figura 5).

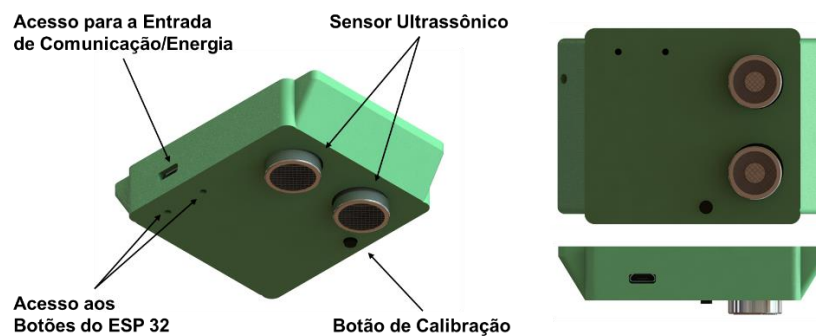


Figura 3 – Vistas Case ESP32
Fonte: Autor

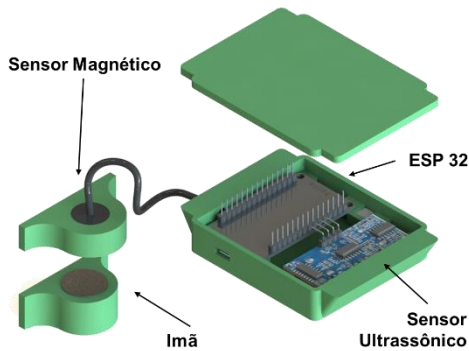


Figura 4 - Case ESP32 Aberto
Fonte: Autor

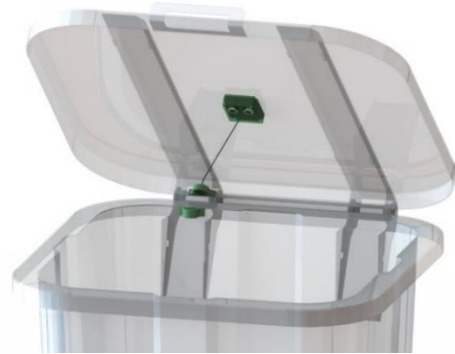


Figura 5 - Módulo em Lixeira
Fonte: Autor

No nível lógico, a placa desempenha ainda mais duas funções importantes, a conexão à rede *Wi-Fi* e a transmissão dos dados coletados para uma planilha no *Google Sheets*. Esse fluxo lógico entre a coleta e o envio de informações é apresentado na Figura 6.

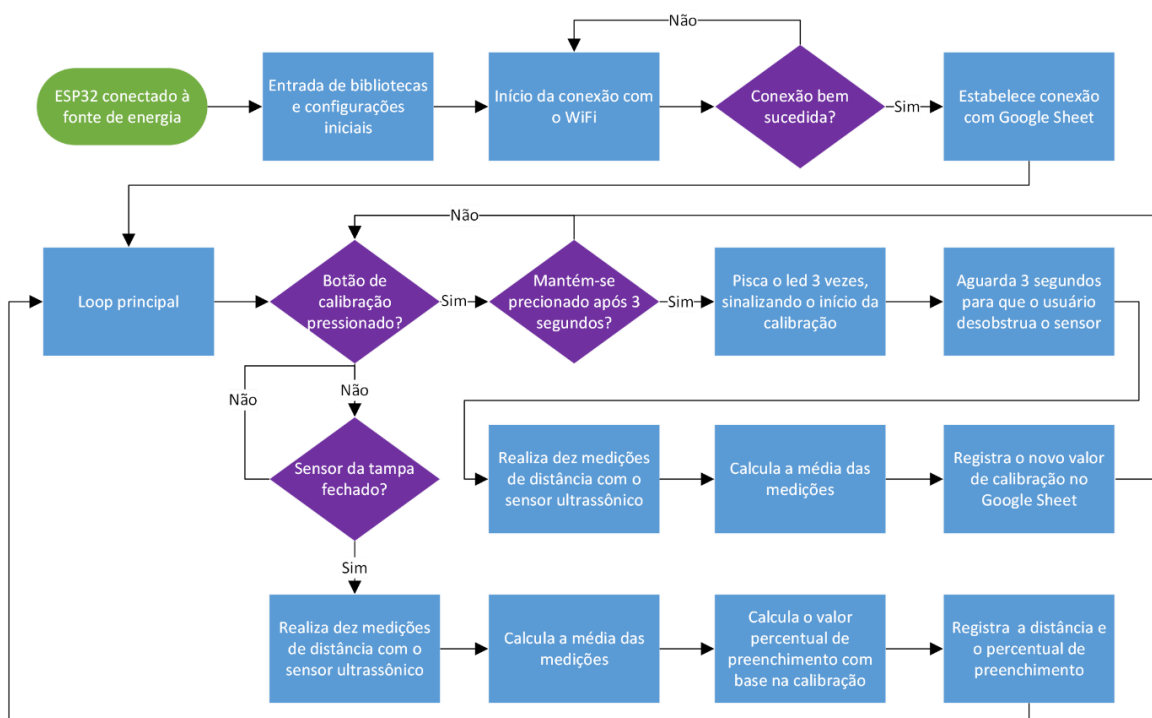


Figura 6 - Fluxo Lógico ESP32
Fonte: Autor

Além da interação com o ambiente, o sistema foi programado para interagir com o técnico responsável pela implementação. Entre suas funções adicionais estão alertas para possíveis falhas de comunicação com a rede *Wi-Fi* ou com a *Google Sheets*.

2.3 FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS

Para registrar as leituras realizadas pelo sistema embarcado nos reservatórios de lixo, optou-se pela utilização da plataforma *Google Sheets*. Essa escolha baseou-se em três fatores principais: a integração simplificada do ESP32 com a planilha, possibilitada pela biblioteca "*ESP-Google-Sheet-Client*" (SUWATCHAI); a facilidade de uso da *Google Sheets*; e a gratuidade das soluções oferecidas.

A conexão do ESP32 com a base de dados requer, inicialmente, acesso a uma rede *Wi-Fi*. Além disso, para que a biblioteca funcione corretamente, é necessário criar uma chave privada dentro de um projeto no *Google Cloud* e ativar as APIs '*Google Sheets*' e '*Google Drive*'. Após atender a esses requisitos, o sistema foi configurado para enviar dados à aba principal da planilha, denominada '*ESP32*'.

ID	Data e hora	Distância	Preenchimento	Status	Máximo
Bin_LG0000000001	31/10/24 22:21	16	84.00%	Vivo	100
Bin_LG0000000002	31/10/24 22:21	50	44.44%	Morto	90
Bin_LG0000000003	31/10/24 22:21	41	51.76%	Vivo	85

Tabela 1 - Modelo da aba *ESP32* da planilha
Fonte: Autor

A aba '*ESP32*' registra informações conforme ilustrado na Tabela 1, incluindo: identificação da lixeira; data e hora da leitura em tempo real; a distância medida pelo sensor ultrassônico; uma referência máxima obtida durante o ciclo de calibração; o percentual de preenchimento em relação à referência; e o status de comunicação do sistema. Além da aba principal, a planilha contém outras três abas importantes:

- **Histórico:** Acumula, por meio de um *script* executado a cada duas horas, os dados registrados na aba ESP32;
- **Residências:** Armazena informações geográficas das residências, como coordenadas, bairro e número, alimentadas manualmente via aplicação desenvolvida no *AppSheet*;
- **Gatilho:** Restrita à criação e organização do roteiro de coleta com base nos dados processados.

2.4 PLATAFORMA PARA O USUÁRIO

A plataforma foi projetada com três funções principais: cadastro de lixeiras, consulta de status e geração de roteiros de coleta. Para isso, foram desenvolvidas duas telas principais.

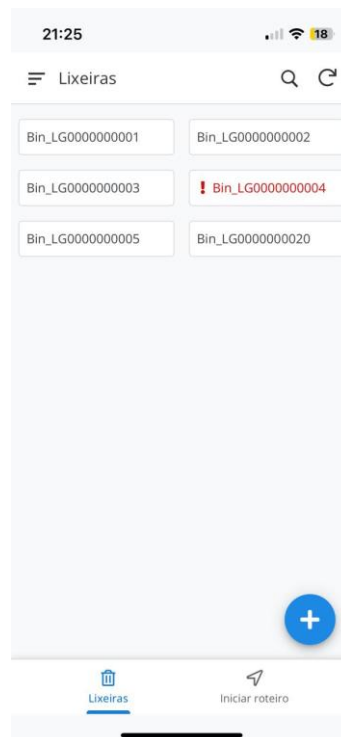


Figura 7 - Tela Lixeiras AppSheet
Fonte: Autor

A primeira das telas chama-se “Lixeiras” e é apresentada acima na Figura 7. Na tela Lixeiras, o usuário visualiza todas as lixeiras cadastradas no sistema. O ícone de lupa permite filtrar uma lixeira específica, enquanto o botão de atualização sincroniza os dados com a base. Lixeiras com falha na comunicação aparecem em vermelho com um ponto de exclamação para destacar o erro.

O botão “+”, localizado no canto inferior direito, direciona para a tela de cadastro de novas lixeiras (Figura 8), onde são inseridos coordenadas, bairro, número da residência e ID. O ID, exclusivo para cada módulo, é previamente configurado durante a programação do ESP32 e vinculado ao dispositivo. Após o cadastro, o mesmo ID não pode ser reutilizado para evitar duplicidade de registros.

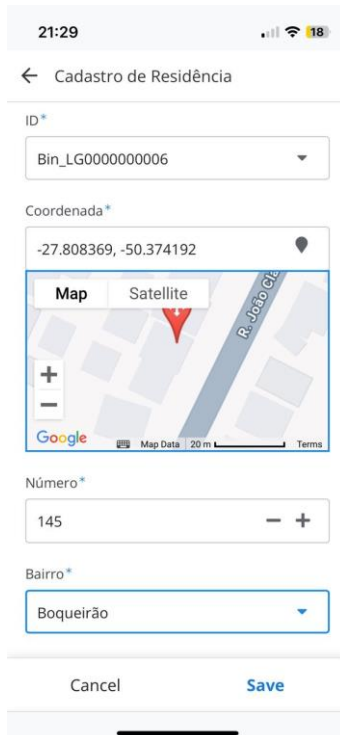


Figura 8 - Tela Cadastro de Residência AppSheet
Fonte: Autor

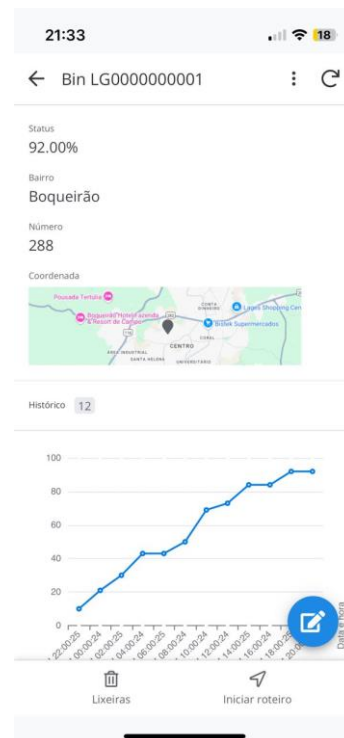


Figura 9 - Tela de Dados da Lixeira AppSheet
Fonte: Autor

Ao clicar em uma lixeira, na Figura 7, o usuário acessa os dados detalhados dessa lixeira (Figura 9), incluindo percentual de preenchimento (status), bairro, número, coordenada e histórico. Caso necessário, ao clicar no botão na direita inferior, as informações de cadastro podem ser editadas, com exceção do ID.

A segunda tela principal, vista na Figura 10, é chamada “Iniciar Roteiro”. Nela são exibidas as informações do último roteiro de coleta criado: localização inicial (de onde parte o caminhão de coleta), percentual mínimo para coleta e um link para o trajeto no Google Maps, representado pela frase “Clique para iniciar trajeto” e o ícone de um carro.

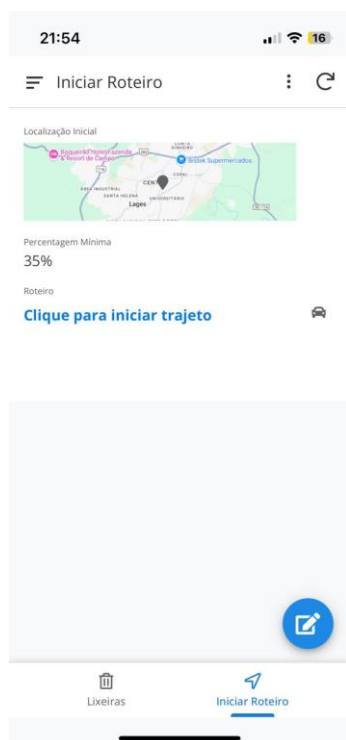


Figura 10 - Tela Iniciar Roteiro
AppSheet
Fonte: Autor

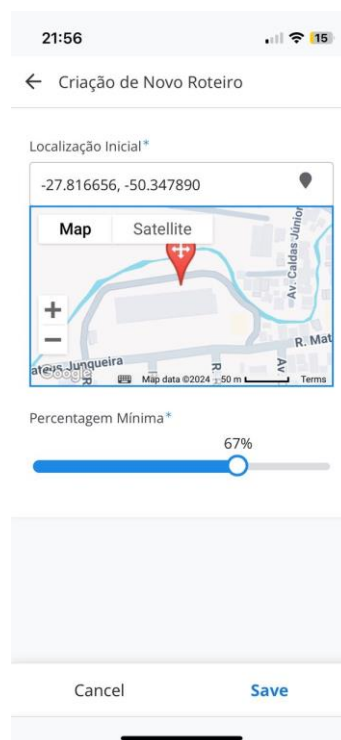


Figura 11 - Tela de Criação de Novo Roteiro AppShee
Fonte: Autor

Clicando no botão azul, no canto inferior direito, o usuário é direcionado para a aba vista na Figura 11, onde poderá criar um novo roteiro, definindo apenas o ponto de partida e o percentual mínimo para coleta. Após salvar, o roteiro é gerado via *Google Script*, e o usuário recebe uma notificação (Figura 12) informando que o trajeto está disponível na tela Iniciar Roteiro.

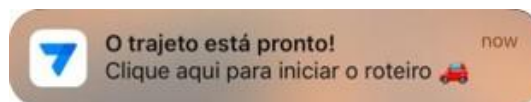


Figura 12 - Notificação AppSheet
Fonte: Autor

2.5 GERAÇÃO DE ROTAS

Como mencionado anteriormente, a criação de um novo trajeto para coleta é iniciada após a edição dos parâmetros na tela de criação de roteiro. Este tópico detalha o processo lógico envolvido nessa geração.

Na plataforma *AppSheet*, há um recurso de automação com gatilhos que permite a execução de funções externas ao aplicativo. Esse mecanismo é utilizado para iniciar o *script* responsável pela geração do roteiro. Sempre que forem alteradas as informações de localização inicial ou porcentagem mínima, começará o *script* e após, uma notificação será enviada.

A lógica implementada no *script* segue uma sequência cíclica de comparações entre as coordenadas dos pontos que compõem o trajeto. O fluxo detalhado está representado na Figura 13. Um aspecto importante é que a definição das distâncias considera a disposição das residências em relação às ruas e estruturas urbanas, ao invés de apenas calcular a distância em linha reta. Essa abordagem garante uma logística mais realista e eficiente para o roteiro final.

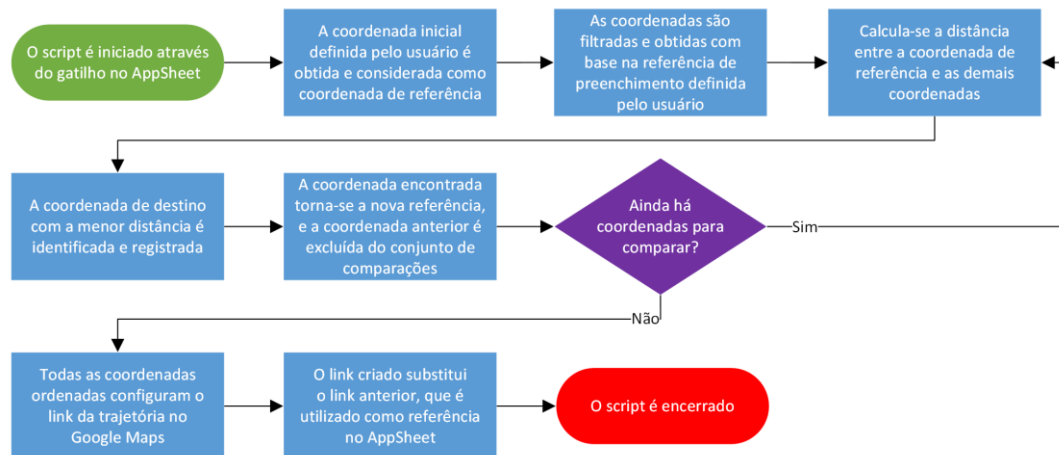


Figura 13 - Fluxo Lógico Script de Roteiro
Fonte: Autor

2.6 MODO DE USO E APLICAÇÃO DA SOLUÇÃO

Para a implementação da tecnologia descrita neste artigo, são necessários dois agentes distintos, um “Técnico de Implementação”, responsável pela instalação, configuração e manutenção dos módulos IoT e um “Operador do Sistema de Gerenciamento”, encarregado do uso diário do aplicativo.

As atribuições do técnico começam com a configuração do cabeçalho do programa do ESP32 (Figura 14), inserindo as informações da rede *Wi-Fi* do local e o número sequencial exclusivo da lixeira, garantindo que este não esteja em uso.

```

8 //-----Informações de Cadastro-----
9 #define WIFI_SSID "WIFI_CLIENTE" //Login Wifi
10 #define WIFI_PASSWORD "12345678" //Senha Wifi
11 int Numerau_Lixeira = 749; //Número sequencial da lixeira
  
```

Figura 14 - Informações de Cadastro ESP32
Fonte: Autor

Após configurar o módulo, o técnico irá:

- Realizar testes de conexão e funcionamento dos sensores;
- Posicionar o módulo no local designado, fixando-o com métodos apropriados, como fita dupla face ou parafusos, e garantindo o fornecimento de energia;
- Ajustar o sensor magnético na posição adequada;

- Calibrar o módulo com a lixeira vazia, pressionando o botão de interação por cerca de 5 segundos, iniciando e finalizando o ciclo de calibração, indicado pelo piscar do LED da placa;
- Cadastrar o módulo no aplicativo por meio da tela de cadastro de residências (Figura 8).

O operador do sistema, por sua vez, deve:

- Utilizar o aplicativo para gerar rotas de coleta baseadas nos parâmetros estabelecidos pela empresa;
- Compartilhar os trajetos com o condutor do caminhão de lixo.
- Monitorar as lixeiras e reportar falhas de comunicação ao técnico responsável.

2.7 CUSTOS E LIMITAÇÕES

A implementação desenvolvida neste artigo busca manter custos acessíveis, viabilizando um modelo sustentável com potencial para aplicação prática. O custo estimado para cada módulo é de R\$106,50, conforme a Tabela 2.

Elemento	Custo
Placa ESP32	R\$50,00
Sensor Ultrassônico	R\$9,00
Sensor Magnético	R\$10,00
Botão	R\$1,50
Elementos impressos em 3D	R\$36,00
Total	R\$106,50

Tabela 2 - Custo médio de componentes com base em consulta na internet realizada em 22/01/25

Fonte: Autor

Esse custo pode ser assumido pela empresa fornecedora da solução ou pelos moradores das residências participantes, como parte da adesão ao programa de coleta diferenciada. No entanto, custos variáveis, como instalação e manutenção, devem ser considerados no orçamento final.

Além disso, custos relacionados ao uso do aplicativo também precisam ser avaliados. A implementação inicial, como modelada, não apresenta custos diretos, mas a Google limita o acesso gratuito a 10 usuários por aplicativo. Para mais usuários, o custo é de 5 dólares por usuário/mês. Outro ponto é que o crescimento no número de residências atendidas também pode impactar no armazenamento de dados históricos no Google *Sheets*, sendo que o plano mais barato de 30 GB tem um custo de R\$4,50/mês.

Contudo, importante ressaltar que esta solução tem caráter prototípico e, portanto, para uma aplicação mais robusta e econômica, algumas decisões logísticas podem ser ajustadas. Isso inclui a fabricação de uma placa de circuito dedicada, o desenvolvimento de um aplicativo sob medida, desenvolvido pelos modelos tradicionais e a produção de cases por molde injetado, que podem reduzir custos em larga escala e garantir maior estabilidade e qualidade no sistema.

2.8 DISCUSSÃO E RESULTADOS

Para validação da proposta, um módulo foi fabricado e instalado em uma lixeira residencial, conforme ilustrado na Figura 15.

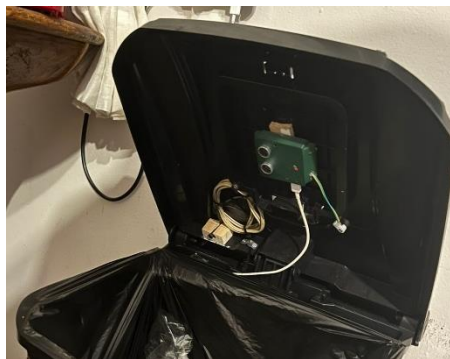


Figura 15 - Módulo em Lixeira Residencial
Fonte: Autor

O módulo operou durante os dias 01 a 30 de dezembro de 2024, registrando dois períodos completos de preenchimento e coleta. Como demonstrado no Gráfico 1 e 2, durante esse período, as leituras apresentaram variações devido à acomodação

dos resíduos e à ação humana, conforme novos rejeitos eram depositados. Apesar dessas flutuações, a linha de tendência (representada em vermelho) indica um padrão de crescimento linear do preenchimento ao longo do tempo.

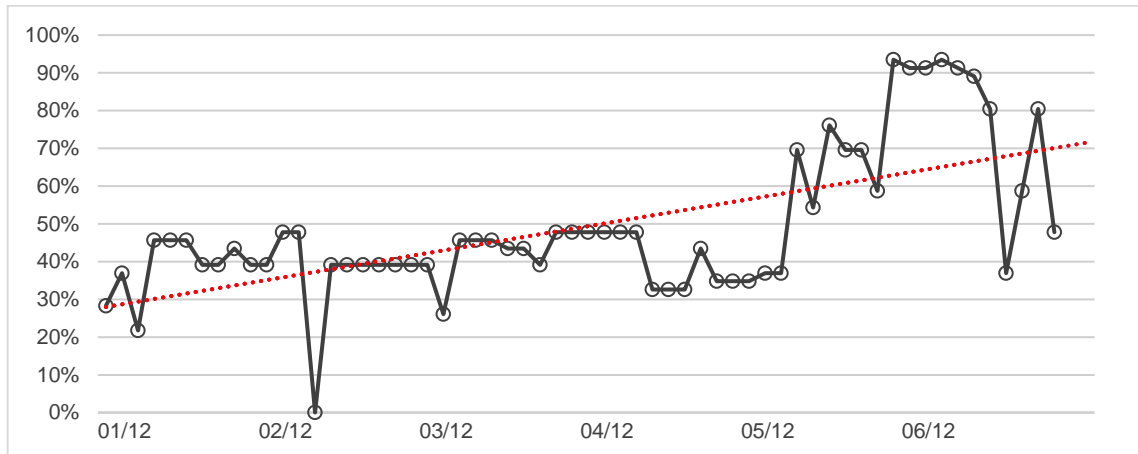


Gráfico 1 - Período de Preenchimento 1
Fonte: Autor

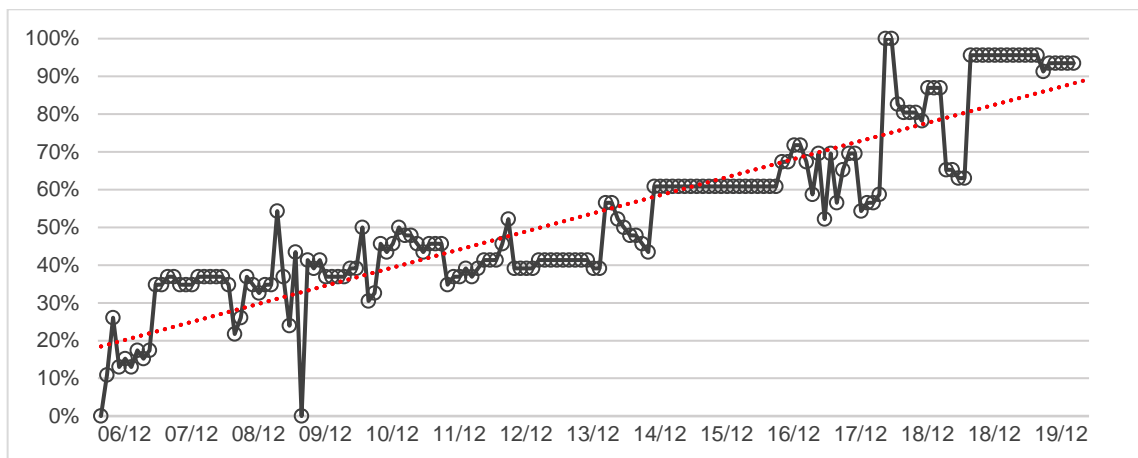


Gráfico 2 - Período de Preenchimento 2
Fonte: Autor

No entanto, em um terceiro período, de 20 à 30 de dezembro o módulo apresentou um comportamento indesejado, com o sensor ultrassônico registrando eventualmente um valor medido de -1, caracterizando uma falha. Esse erro resultou, pela lógica do código, na atribuição de um preenchimento de 100%, conforme evidenciado no Gráfico 3, o que comprometeria a acuracidade da definição de prioridade de coleta, uma vez que a informação não refletia a real ocupação do

A Figura 16 exibe o roteiro gerado pelo aplicativo, enquanto a Figura 17 apresenta uma rota otimizada manualmente. Entre as gerações, há uma redução de 0,9 km na geração ideal, o que ilustra bem a problemática do Caixeiro Viajante, mas que não inviabiliza a abordagem adotada pelo aplicativo. Dado esse cenário, a forma como é gerada a rota equilibra otimização de trajetória e a viabilidade prática.

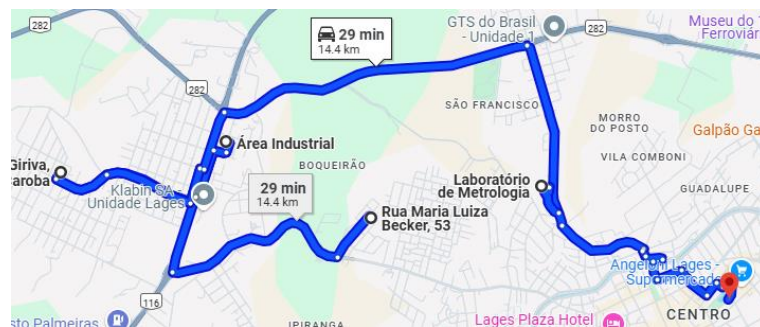


Figura 16 - Trajetória Gerada Pelo App
Fonte: Google Maps



Figura 17 - Trajetória Ideal
Fonte: Google Maps

Em suma, os testes revelam que o conceito estudado tem sim caráter de viabilidade, em se tratando de custos e funcionalidades, porém, em versões mais refinadas e aplicáveis em campo, é recomendável que detalhes estruturais do módulo sejam reforçados para garantir a confiabilidade do equipamento e mitigar a necessidade de manutenção.

3 CONCLUSÃO

A solução desenvolvida demonstrou êxito no cumprimento de suas funções centrais, atendendo aos requisitos de obtenção, gestão de dados e suporte à tomada de decisão. Os resultados foram consistentes com abordagens similares, compartilhando tanto acertos quanto limitações. Um exemplo disso é o trabalho de (SOUSA; COSTA, 2019), que também concluiu que o uso de placas comerciais, como Arduino ou ESP32, é viável para prototipagem, mas pode não ser a melhor opção para uma solução definitiva.

Um diferencial relevante desta pesquisa foi a implementação de um sistema modular, abordagem distinta das soluções analisadas, que geralmente apresentam sensores fixos nos reservatórios. Esse modelo oferece maior flexibilidade para aplicações comerciais e facilita a adoção da tecnologia em larga escala.

Apesar do sucesso alcançado, há oportunidades para aprimoramentos. A inclusão de uma bateria, aliada a uma abordagem de baixo consumo energético do ESP32, pode aumentar a autonomia do sistema. Além disso, a substituição do sensor ultrassônico por alternativas mais precisas e menos suscetíveis a ruídos, bem como o uso de sensores mais baratos para monitoramento da tampa, como *switches* de fim de curso, podem melhorar a eficiência da solução. Outras formas de comunicação, como GPRS (*General Packet Radio Service*) ou Zigbee, também poderiam ser exploradas.

No aspecto operacional, a experiência do usuário pode ser aprimorada para reduzir a necessidade de intervenção técnica. Uma alternativa seria permitir a configuração da rede *Wi-Fi* via aplicativo, utilizando uma conexão inicial via *Bluetooth*, proporcionando maior autonomia ao operador.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A solução proposta foi concebida para aplicação em estruturas de coleta pública, como bairros residenciais e comerciais. No entanto, seu potencial vai além desse cenário.

A tecnologia também pode ser aplicada em ambientes mais controlados, como condomínios, escolas, universidades, supermercados e shopping centers. Nesses casos, o investimento pode ser ainda mais justificável, pois, além dos benefícios operacionais na gestão de resíduos, a solução poderia ser utilizada como um diferencial sustentável, agregando valor à imagem institucional e ao compromisso ambiental dessas organizações.

Além disso, o sistema pode ser adaptado para aplicações mais específicas, como o monitoramento de lixo hospitalar, óleo industrial e resíduos de fabricação, como cavacos metálicos. Nesses contextos, onde o controle e a rastreabilidade são ainda mais críticos, a tecnologia pode oferecer maior segurança e eficiência na gestão de resíduos.

REFERÊNCIAS

- BABY, C. J. et al. Smart Bin: An Intelligent Waste Alert and Prediction System Using Machine Learning Approach. **IEEE WiSPNET 2017 conference**, Vellore, 2017. 4.
- BAKSHI, T.; AHMED, M. IoT - Enabled Smart City Waste Management using Machine Learning Analytics. **2018 International Conference on Energy Conservation Efficiency (ICECE)**, Laore, Outubro 2018. 6.
- DE ALMEIDA, L. G.; BORIN, J. F. Plataforma Inteligente de Coleta de Resíduos Baseada em Internet das Coisas e LPWAN, Campinas, 2020. 15.
- KEERTHANA B et al. INTERNET OF BINS Trash Management in India. **International Conference on Computing and Communications Technologies (ICCCT)**, Chennai, Fevereiro 2017. 4.
- NACIONAL, J. G1. **Produção de lixo por habitante aumenta no Brasil**, 2024. Disponível em: <<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2024/12/10/producao-de-lixo-por-habitante-aumenta-no-brasil.ghml>>. Acesso em: 15 Janeiro 2025.
- ONU. Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano, diz ONU em dia mundial. **Nações Unidas Brasil**, 2018. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/81186-humanidade-produz-mais-de-2-bilh%C3%B5es-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial>>. Acesso em: 15 Janeiro 2025.
- PACHECOA, F. B.; KLEIN, A. Z.; RIGHI, R. D. R. Modelos de negócio para produtos e serviços baseados em internet das coisas: uma revisão da literatura e oportunidades de pesquisas futuras. **REGE - Revista de Gestão**, São Leopoldo, 14 Maio 2016. 11.
- PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E. SPOTLIGHT ON MANAGING THE INTERNET OF THINGS How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. **Harvard Business Review**, Novembro 2014. 23.
- RÊGO, R. D. C. F.; BARRETO, M. L.; KILLINGER, C. L. O que é lixo afinal? Como pensam mulheres residentes na periferia de um grande centro urbano. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, Novembro 2002. 10.
- SILVA, L.; MELLO, S. D. P. LIXO URBANO, POPULAÇÃO E SAÚDE: UM DESAFIO. **Nucleus**, Ituverava, 18 Abril 2011. 12.
- SOUSA, P. V.; COSTA, M. Protótipo de lixeira inteligente no contexto das Smart Cities e da Internet das Coisas. **Revista Sistemas e Mídias Digitais (RSMD)**, Quixadá, 2019. 16.

SUWATCHAI, K. Arduino Google Sheet Client Library for Arduino devices. **GitHub**.
Disponível em: <<https://github.com/mobizt/ESP-Google-Sheet-Client>>. Acesso em:
Dezembro 2024.

VIANA, M. Folha: O Problema do Caixeiro-Viajante. **IMPA**, 2024. Disponível em:
<<https://impa.br/noticias/folha-o-problema-do-caixeiro-viajante/>>. Acesso em: 4
Fevereiro 2025.