UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE
– Faculdade de Computação e Informática –

Smart-Aires: Estação Inteligente de Monitoramento Ambiental com IoT para Promoção da Saúde e Bem-Estar

Danilo Herbert Silva Pedrosa, Professor André Luis de Oliveira

Faculdade de Computação e Informática
Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM) – São Paulo, SP – Brazil

10369026@mackenzista.com.br

Abstract. *This article presents the development of Smart-Aires, an Internet of Things (IoT) prototype designed to monitor environmental conditions using an ESP32 microcontroller, DHT22 temperature and humidity sensor, MQ-135 gas sensor, and an RGB LED for visual indication. The system collects environmental data and publishes it over the MQTT protocol in real time, enabling remote monitoring via an MQTT client. The architecture, implementation details, hardware configuration, and performance measurements are described in detail. The results demonstrate consistent behavior in reading, processing, and visual feedback, highlighting the applicability of IoT solutions to environmental monitoring and aligning with Sustainable Development Goal 3 (Good Health and Well-Being).*

Keywords: *IoT; ESP32; MQTT; environmental monitoring; air quality.*

Resumo. *Este artigo apresenta o desenvolvimento do protótipo Smart-Aires, um sistema de monitoramento ambiental baseado em Internet das Coisas (IoT), utilizando o microcontrolador ESP32, o sensor DHT22 para temperatura e umidade, o sensor MQ-135 para qualidade do ar e um LED RGB como indicador visual. O sistema realiza a coleta e o processamento local das variáveis ambientais e publica os dados em tempo real utilizando o protocolo MQTT, permitindo visualização remota em clientes MQTT. O trabalho descreve a arquitetura, metodologia, implementação do hardware, funcionamento do software e análise de desempenho. Os resultados demonstram comportamento consistente e ilustram a aplicabilidade de soluções IoT no monitoramento da qualidade do ar, contribuindo para o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar).*

Palavras-chave: *IoT; ESP32; MQTT; qualidade do ar; monitoramento ambiental.*

1. Introdução

O aumento da urbanização e das atividades industriais tem elevado significativamente os níveis de poluição atmosférica nas cidades. Esse fenômeno impacta diretamente a saúde pública, gerando problemas respiratórios, cardiovasculares e outros agravos associados à má qualidade do ar. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), milhões de pessoas sofrem anualmente com doenças relacionadas à poluição ambiental, o que reforça a necessidade de soluções tecnológicas que permitam um monitoramento mais preciso e acessível do ambiente.

A Internet das Coisas (IoT) surge como uma ferramenta poderosa nesse contexto, possibilitando a integração de sensores de baixo custo e plataformas em nuvem para coleta,

transmissão e análise de dados ambientais em tempo real. Essa abordagem permite não apenas identificar padrões de poluição, mas também, emitir alertas preventivos e orientar políticas públicas mais eficazes.

Projetos semelhantes já vêm sendo aplicados em diferentes países. Redes de sensores urbanos, como os sistemas de monitoramento em cidades inteligentes, têm demonstrado como dados ambientais podem ser utilizados para reduzir riscos à saúde e melhorar a qualidade de vida da população. No Brasil, iniciativas acadêmicas e governamentais começam a explorar o uso de sensores IoT em monitoramento da poluição, embora ainda em caráter experimental e limitado.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta o Smart-Aires, um protótipo IoT voltado ao monitoramento da qualidade do ar. O sistema utiliza o microcontrolador ESP32, conectado aos sensores DHT22 e MQ-135, além de um LED RGB para exibição do status ambiental. As informações são processadas localmente e publicadas por MQTT em formato JSON, permitindo consulta remota em clientes como o HiveMQ WebSocket Client.

O propósito do projeto é demonstrar, de forma didática, a construção de uma solução IoT funcional, abordando os principais conceitos da disciplina Objetos Inteligentes Conectados: sensores, atuadores, microcontroladores, comunicação MQTT, processamento embarcado e medição de desempenho. Tudo isso, em alinhamento com o ODS 3 da ONU.

2. Materiais e Métodos

2.1. Arquitetura geral do sistema

O Smart-Aires foi projetado segundo uma arquitetura IoT dividida em três camadas:

a) camada de percepção, composta pelos sensores DHT22 e MQ-135;

b) camada de processamento, representada pelo ESP32;

c) camada de comunicação, utilizando Wi-Fi e protocolo MQTT.

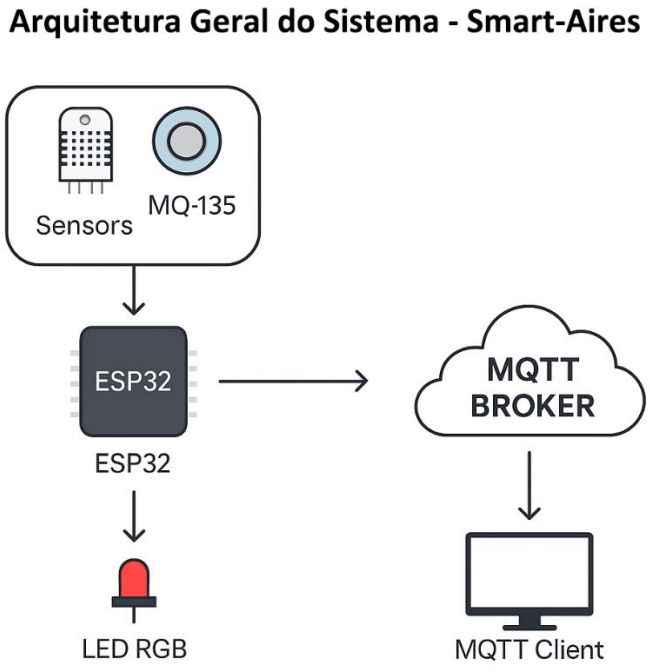

Figura 1 - Arquitetura geral do sistema Smart-Aires. Fonte: Produção própria (2025).

2.2. Hardware utilizado

Os componentes utilizados incluem:

a) Plataforma de prototipagem: ESP32 DevKit V1 – microcontrolador Wi-Fi/Bluetooth responsável por processar leituras dos sensores e enviar dados via MQTT.

Figura 2 - Placa ESP32 DevKit V1 (Plataforma de prototipagem). Fonte: https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/

b) Sensor DHT22 (AM2302) – mede temperatura e umidade, fornecendo parâmetros de conforto térmico e umidade relativa do ar.

Figura 3 - Sensor DHT22 (AM2302). Fonte: https://shre.ink/S2AZ

c) Sensor MQ-135 – detecta gases poluentes (CO_2, NH_3, fumaça) e estima a qualidade do ar.

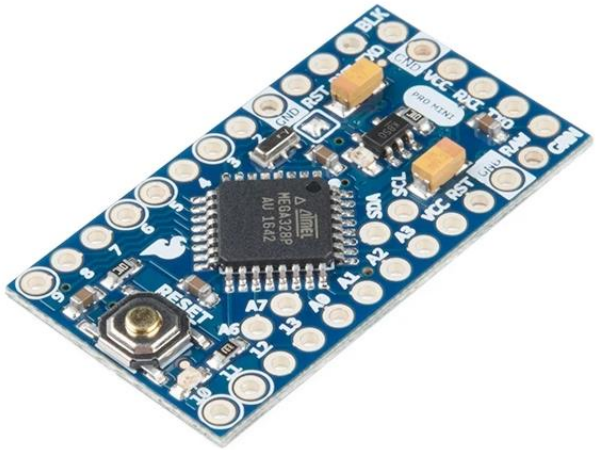

Figura 4 - Sensor MQ-135 (Gás e Qualidade do Ar). Fonte: https://www.sparkfun.com/products/11113

d) Atuador LED RGB – indica a qualidade do ar visualmente: verde (boa), amarela (moderada) e vermelha (ruim).

Figura 5 - LED RGB (Atuador visual). Fonte: https://www.sparkfun.com/products/12986

e) Fonte de energia 5V e componentes auxiliares (protoboard, resistores de 220 Ω e jumpers).

2.3. Diagrama Eletrônico da Montagem

A comunicação é realizada via Wi-Fi, utilizando o protocolo MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). O ESP32 atua como publisher, enviando dados em formato JSON para um broker MQTT (Mosquitto, HiveMQ ou Adafruit IO), permitindo visualização e análise em dashboards online.

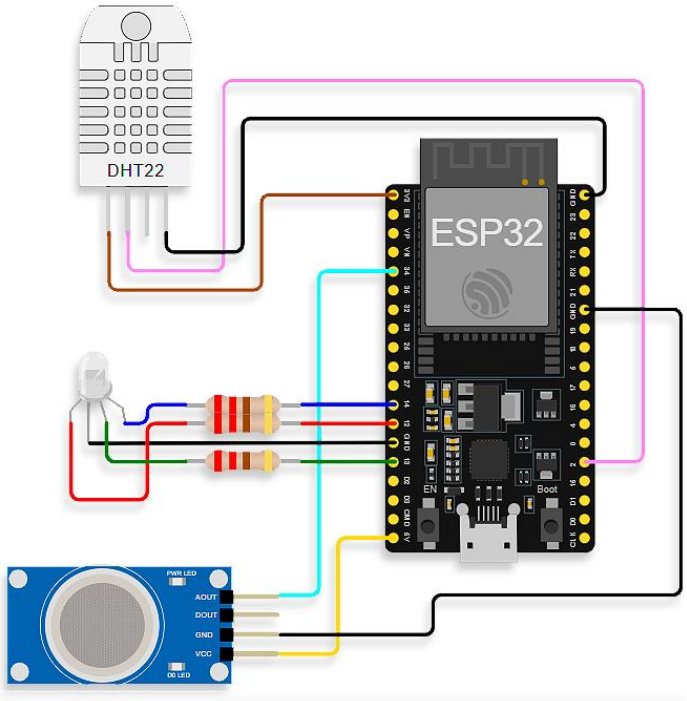

Figura 6 - Placa Protótipo Smart-Aires montado no Wokwi. Fonte: Produção própria (2025).

Nota técnica: No simulador Wokwi, o sensor MQ-135 não gera valores reais em ppm. Embora o slider exiba um valor ilustrativo (até 199 ppm = Qualidade do ar: Boa, até 499 ppm = Qualidade do ar: Moderada, além de 500 ppm = Qualidade do ar: Ruim), o ESP32 recebe apenas a tensão analógica, convertida via ADC (0–4095). O valor *"qualidade_ar"* publicado reflete essa leitura e não concentrações ambientais reais, o que não compromete os objetivos do protótipo.

2.4 Protocolo de comunicação MQTT

O sistema utiliza o *"broker"*: mqtt-dashboard.com e o ESP32 atua como *"Publisher"* no tópico: smartaires/ambiente.

Exemplo de *"payload"* (formato JSON contendo temperatura, umidade, índice de qualidade do ar e status da classificação):

```
{
  "temperatura": 25.7,
  "umidade": 53.2,
  "qualidade_ar": 261.0,
  "status": "Moderada"
}
```

Para validação e observação das mensagens, foi utilizado o HiveMQ WebSocket Client.

2.5. Software e lógica de funcionamento

O *"firmware"* do ESP32 foi desenvolvido em C++ (Arduino), utilizando as bibliotecas:

a) WiFi.h

b) PubSubClient.h

c) DHT.h

Principais etapas:

1. Inicialização de hardware e sensores.
2. Conexão ao Wi-Fi.
3. Conexão ao broker MQTT.
4. Leitura periódica dos sensores.
5. Classificação da qualidade do ar.
6. Acionamento do LED RGB.
7. Publicação dos dados no tópico MQTT.

2.6. Fluxograma operacional

O fluxograma da Figura 7 descreve o funcionamento geral do sistema.

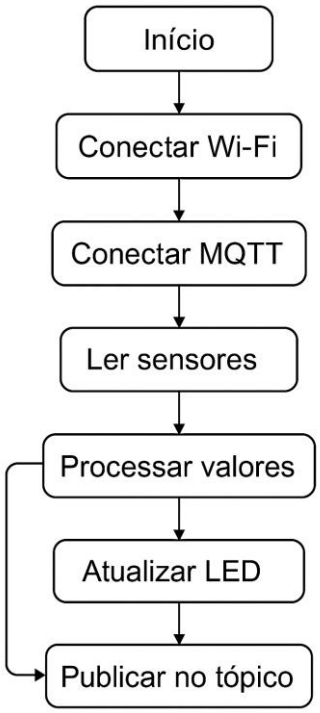

Figura 7 - Fluxograma do funcionamento do Smart-Aires. Fonte: Produção própria (2025).

2.7. Pseudocódigo da Lógica Principal

```
iniciar_wifi()
conectar_mqtt()

loop:
   temp = ler_dht22()
   umid = ler_dht22()
```

gas = ler_mq135()

status = classificar(gas)

atualizar_led(status)

mensagem = {temp, umid, gas, status}

publicar(mensagem)

aguardar(intervalo)

3. Resultados

3.1 Demonstração e documentação

Repositório GitHub: https://github.com/Dan-hsp/smart-aires

Vídeo demonstrativo: https://www.youtube.com/watch?v=qKS55rGzOxA

3.2 Funcionamento da Indicação Visual

O LED RGB respondeu corretamente às faixas de qualidade do ar estabelecidas, permitindo identificação visual imediata.

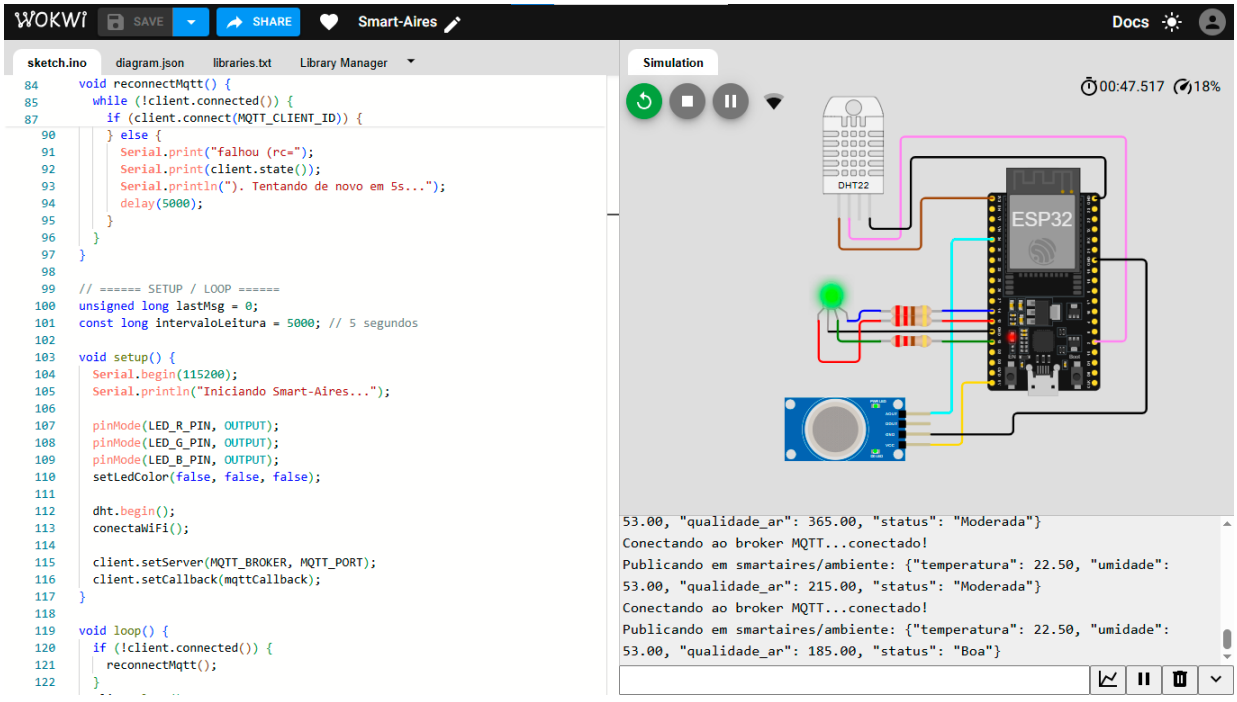

Figura 8 - Indicação de ar bom (LED verde). Fonte: Wokwi - Produção própria (2025).

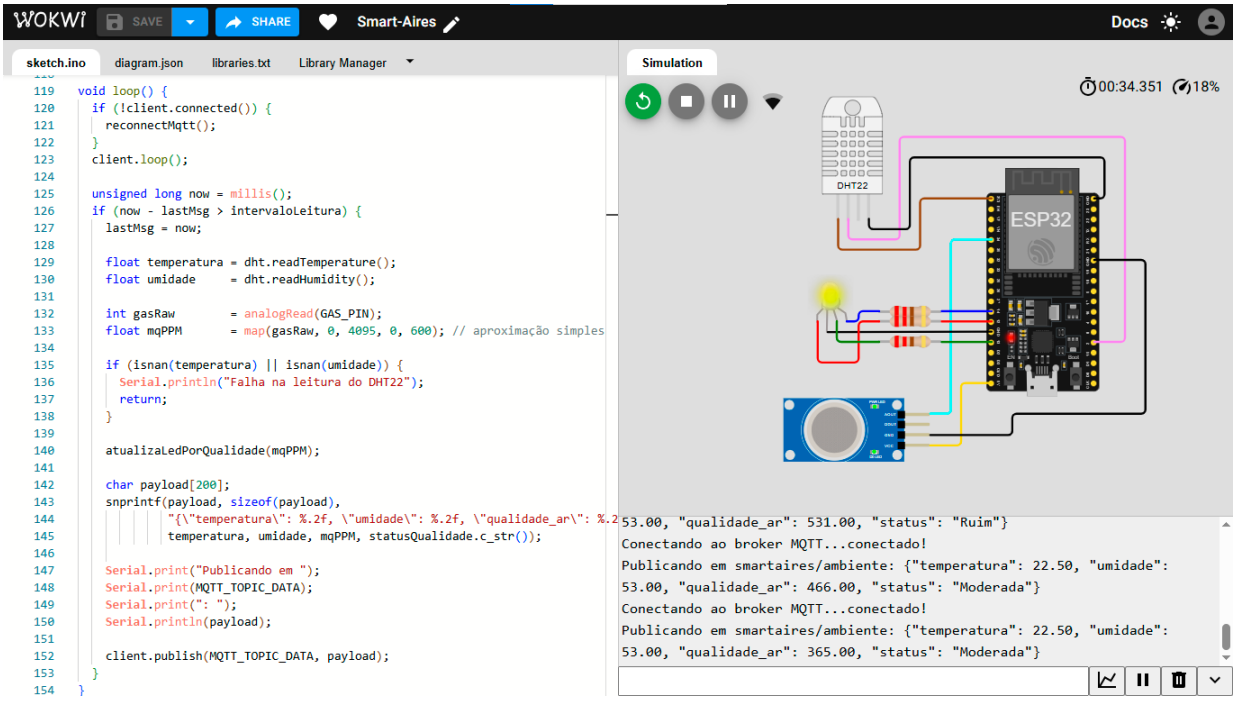

Figura 9 - Indicação de ar moderado (LED amarelo). Fonte: Wokwi - Produção própria (2025).

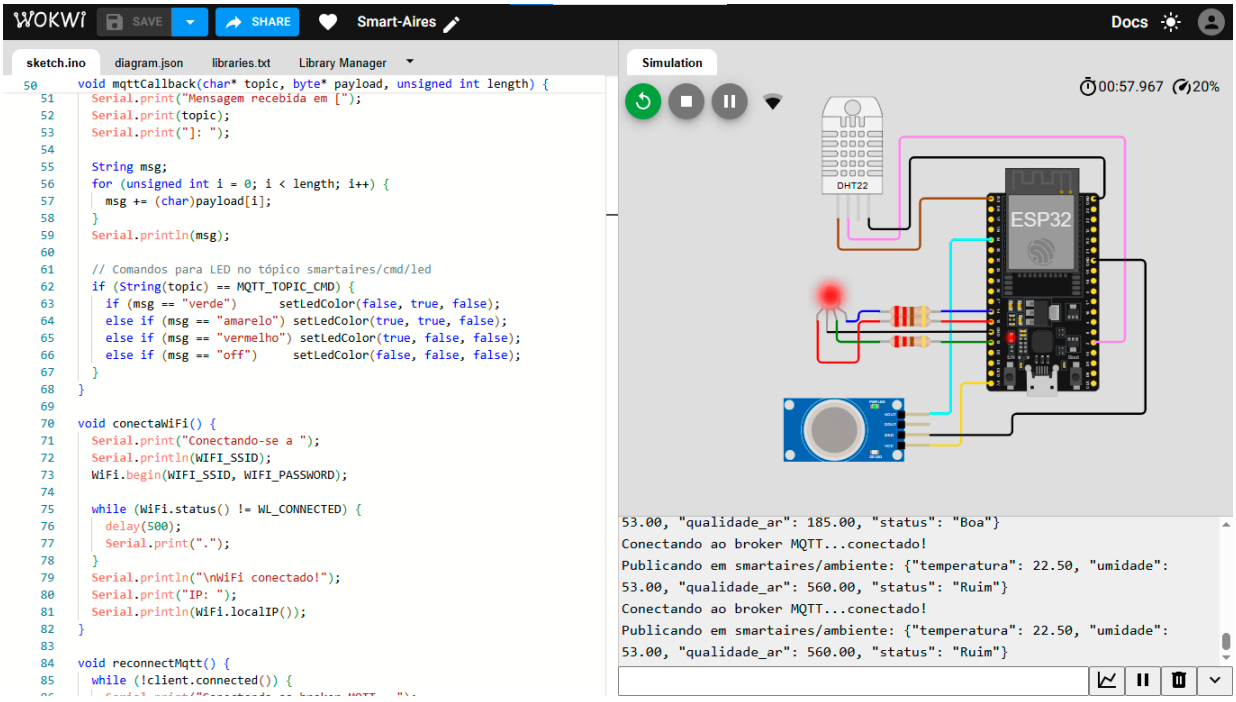

Figura 10 - Indicação de ar ruim (LED vermelho). Fonte: Wokwi - Produção própria (2025).

3.3 Publicação em Tempo Real via MQTT

As mensagens JSON foram publicadas e recebidas corretamente em intervalos regulares, conforme observado no HiveMQ WebSocket Client.

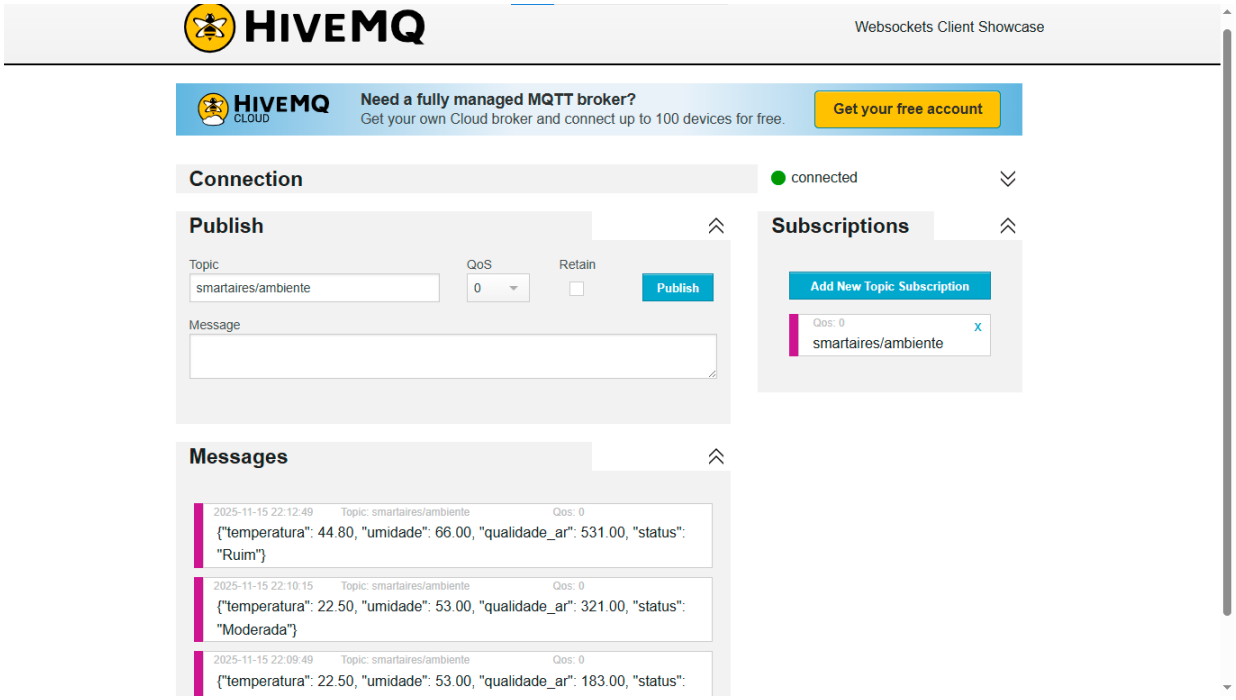

Figura 11 - Recebimento de dados no tópico smartaires/ambiente. Fonte: HiveMQ - Produção própria (2025).

3.4 Publicação em Tempo Real via MQTT

As mensagens JSON foram publicadas corretamente em intervalos regulares, conforme

Tabela 1 – Tempos de Resposta Sensor - MQTT

Nº (aferição)	Tempo(s)
1	3,0
2	3,0
3	4,0
4	3,5
Média:	**3,4 s**

Tabela 2 – Tempos de Resposta Sensor - LED

Nº (aferição)	Tempo(s)
1	4,0
2	6,0
3	4,0
4	5,0
Média:	**4,8 s**

3.5 Gráficos de Desempenho

As mensagens JSON foram publicadas corretamente em intervalos regulares, conforme é mostrado nos gráficos abaixo:

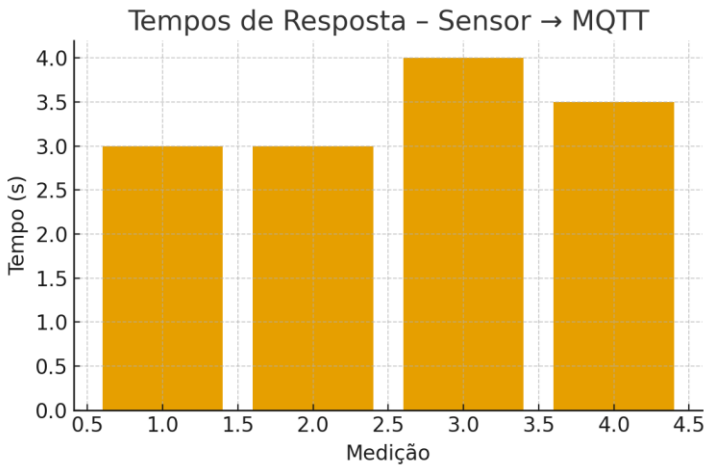

Figura 12 - Tempo de resposta entre variação do sensor e publicação MQTT.

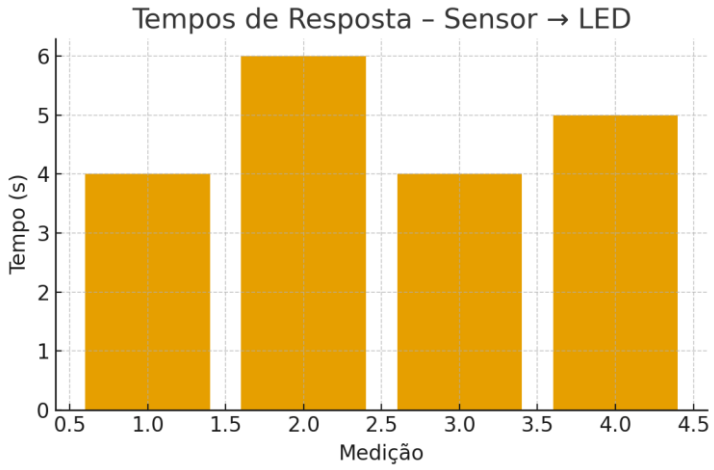

Figura 13 - Tempo de resposta entre variação do sensor e mudança no LED.

3.6 Análise dos Resultados

Os tempos observados refletem o intervalo de leitura configurado no firmware, aliado à latência do ambiente de simulação. Apesar de não operar em tempo real rígido, o sistema apresentou desempenho adequado para aplicações de monitoramento ambiental gradual

Os tempos observados refletem dois fatores principais:

1. O intervalo de leitura configurado no firmware (intervaloLeitura = 2000 ms), que estabelece um ciclo de atualização a cada 2 segundos.
2. A latência de comunicação e renderização, tanto no simulador quanto no cliente MQTT.

A resposta Sensor - MQTT apresentou média de 3,4 segundos, valor adequado para aplicações de monitoramento ambiental em que não há exigência de tempo real rígido.

A resposta Sensor - LED apresentou média de 4,8 segundos, resultado compatível com o ciclo de atualização do firmware e com o fato de que o LED é atualizado apenas durante a execução do bloco condicional responsável pela publicação dos dados.

Em ambos os casos, o comportamento do sistema foi coerente e demonstrou adequadamente o fluxo completo de aquisição de dados, processamento e notificação visual/remota, conforme proposto pelo projeto.

4. Discussão e Conclusões

Os resultados obtidos na simulação demonstram que o protótipo Smart-Aires cumpriu satisfatoriamente o objetivo proposto: monitorar variáveis ambientais e disponibilizá-las em tempo real por meio de uma arquitetura IoT baseada em ESP32, sensores de baixo custo e protocolo MQTT. A indicação visual por meio do LED RGB permitiu identificar rapidamente as condições de qualidade do ar, reforçando o caráter didático e acessível da solução.

Os tempos médios observados para atualização das leituras - cerca de 3,4 s para a publicação MQTT e 4,8 s para a alteração do LED - refletem o ciclo de leitura configurado no firmware (2 s), aliado à latência natural do ambiente de simulação. Embora o sistema não opere em tempo real rígido, tais valores são plenamente adequados para aplicações de monitoramento ambiental contínuo, nas quais alterações graduais são mais relevantes do que respostas instantâneas. Em um ambiente físico, com sensores calibrados e comunicação local, esses tempos tenderiam a ser menores.

Também foi possível identificar algumas limitações inerentes à simulação, como a representação simplificada do sensor MQ-135 no Wokwi, que não gera valores reais em ppm, mas uma aproximação baseada em tensão analógica. Ainda assim, isso não compromete a validade do experimento, já que a lógica de classificação e o fluxo completo de aquisição – processamento -publicação permanecem fiéis ao funcionamento de um sistema real.

O protótipo, portanto, demonstra de forma prática como tecnologias IoT podem contribuir para a promoção de ambientes mais saudáveis, alinhando-se ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 3 (Saúde e Bem-Estar), ao oferecer meios acessíveis de monitoramento e alerta. Como trabalhos futuros, sugere-se a integração com plataformas de dashboard para visualização histórica, uso de sensores com calibração real para estimativa precisa de poluentes, e disponibilização de notificações automáticas via MQTT ou serviços em nuvem.

Conclui-se que o Smart-Aires representa uma solução viável, de baixo custo e tecnicamente consistente, capaz de ilustrar os benefícios do uso de IoT em aplicações ambientais e educacionais, oferecendo subsídios para projetos mais avançados em monitoramento da qualidade do ar.

6. Referências

AYAZ, M. et al. *Internet-of-Things (IoT)-Based Smart Agriculture: Toward Making the Fields Talk*. IEEE Access, v. 7, p. 129551–129583, 2019. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/8784034. Acesso em: 15 nov. 2025.

BERTOLETI, P. *Controle e Monitoramento IoT com NodeMCU e MQTT*. FilipeFlop, 30 maio 2016. Disponível em: https://www.filipeflop.com/blog/controle-monitoramento-iot-nodemcu-e-mqtt/. Acesso em: 15 nov. 2025.

BYERS, C. *Sensores e Atuadores IoT*. Embarcados. Disponível em: https://www.embarcados.com.br/sensores-e-atuadores-iot/. Acesso em: 15 nov. 2025.

JONES, M. T. *IoT: passado, presente e futuro*. Embarcados. Disponível em: https://www.embarcados.com.br/iot-passado-presente-e-futuro/. Acesso em: 15 nov. 2025.

OLIVEIRA, C. L. V.; ZANETTI, H. A. P. *Arduino Descomplicado: como elaborar projetos de eletrônica*. São Paulo: Érica, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). *Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 3 – Saúde e Bem-Estar*. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/3. Acesso em: 15 nov. 2025.

SACOMANO, J. B. et al. *Indústria 4.0: conceitos e fundamentos*. São Paulo: Blucher, 2018.

SANTOS, B. P. et al. *Internet das Coisas: da teoria à prática*. SBRC – Minicursos, Salvador: SBC, 2016. Disponível em: https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf. Acesso em: 15 nov. 2025.

SLAMA, D.; PUHLMANN, F.; MORRISH, J.; BHATNAGAR, R. *Enterprise IoT: Strategies and Best Practices for Connected Products and Services*. Sebastopol: O'Reilly, 2015.

STEVAN JR., S. L. *Internet das Coisas: fundamentos e aplicações em Arduino e NodeMCU*. São Paulo: Érica, 2018.

UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE. *Guia Mackenzie de Trabalhos Acadêmicos*. São Paulo: UPM, 2023.