

# Desenvolvimento de uma Plataforma Inteligente para a Gestão Integrada de Sustentabilidade Urbana

## Development of an Intelligent Platform for Integrated Urban Sustainability Management

Mariana Keiske de Mendonça Moreira <sup>1, i</sup>  
Giovana Nenoki Albano <sup>2, ii</sup>

### RESUMO

O projeto EcoAdapt visa desenvolver uma plataforma de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar, enfrentando os desafios impostos pelas mudanças climáticas em contextos urbanos. O objetivo principal é oferecer dados em tempo real para otimizar a resposta a eventos climáticos adversos e conscientizar a população sobre os impactos da poluição. A metodologia envolve a integração de sensores de Internet das Coisas (IoT), especificamente o microcontrolador ESP32 e o sensor de gases MQ-2, para coletar dados ambientais de forma contínua. As informações são processadas e armazenadas na plataforma em nuvem Directus, com visualização em um dashboard interativo. Os resultados da validação demonstraram a eficácia do protótipo, alcançando uma alta correlação ( $r = 0,85$ ) com os dados de estações de monitoramento oficiais. A análise dos dados coletados identificou um aumento nos níveis de poluição durante horários de pico de tráfego, exacerbado por condições de ventos fracos e alta umidade. Conclui-se que o EcoAdapt é uma ferramenta viável e replicável para o monitoramento comunitário, contribuindo para a formulação de políticas públicas e para a construção de um desenvolvimento urbano mais resiliente e sustentável.

**Palavras-chave:** Adaptação ambiental, mudanças climáticas, IoT, monitoramento em tempo real, sustentabilidade

### ABSTRACT

The EcoAdapt project aims to develop a low-cost platform for air quality monitoring, addressing the challenges posed by climate change in urban contexts. The main goal is to provide real-time data to optimize responses to adverse climate events and raise public awareness about the impacts of pollution.

The methodology involves the integration of Internet of Things (IoT) sensors, specifically the ESP32 microcontroller and the MQ-2 gas sensor, to

---

<sup>1</sup> Cursando a graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Faculdade Senai Félix Guisard. E-mail: giovanalbano2022@gmail.com

<sup>2</sup> Cursando a graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas na Faculdade Senai Félix Guisard. E-mail: marikeiske@gmail.com

continuously collect environmental data. The information is processed and stored on the Directus cloud platform, with visualization through an interactive dashboard.

Validation results demonstrated the effectiveness of the prototype, achieving a high correlation ( $r = 0.85$ ) with data from official monitoring stations. Analysis of the collected data identified an increase in pollution levels during peak traffic hours, exacerbated by weak wind conditions and high humidity.

It is concluded that EcoAdapt is a viable and replicable tool for community monitoring, contributing to the formulation of public policies and to the development of a more resilient and sustainable urban environment.

**Keywords: Environmental adaptation, climate change, IoT, real-time monitoring, sustainability**

## 1 INTRODUÇÃO

A qualidade do ar nas áreas urbanas continua sendo uma preocupação crescente, impactando diretamente a saúde pública e o meio ambiente (Brasil, 2020; Ministério do Meio Ambiente, 2022). A poluição atmosférica, originada principalmente de emissões veiculares e industriais, está relacionada a problemas respiratórios e cardiovasculares, além de efeitos negativos sobre o ecossistema (Ministério da Saúde, 2024). Em face da urbanização acelerada, soluções tecnológicas tornam-se cruciais para monitorar a qualidade do ar e permitir ações corretivas ágeis e baseadas em dados (Ibama, 2023). Apesar de iniciativas globais para abordar essa questão, os sistemas de monitoramento existentes ainda apresentam limitações em cobertura geográfica e frequência de atualização (IEMA, 2022). Métodos tradicionais fornecem dados esporádicos e de baixa resolução, dificultando a identificação de padrões e a conscientização da população (IPEA, 2023). Para preencher essa lacuna, o projeto EcoAdapt propõe uma solução inovadora baseada na Internet das Coisas (IoT). Utilizando o microcontrolador ESP32 e o sensor MQ-2, os dados são enviados em tempo real para uma base em nuvem no Directus, promovendo acessibilidade e análise contínua. O objetivo principal deste estudo é o desenvolvimento da plataforma EcoAdapt, oferecendo monitoramento contínuo da qualidade do ar e dados em tempo real para decisões mais eficazes. Busca-se também conscientizar a sociedade sobre os impactos da poluição e auxiliar na formulação de políticas públicas.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

A poluição do ar tem se mostrado uma preocupação crescente nas áreas urbanas, principalmente devido aos impactos negativos à saúde pública. A exposição a poluentes atmosféricos, como partículas finas (PM<sub>2.5</sub>), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>) e ozônio (O<sub>3</sub>), está fortemente associada a doenças respiratórias e cardiovasculares, bem como a um aumento na mortalidade precoce (Wang et al., 2021; Jiang et al., 2023). Estudos indicam que

grupos vulneráveis, como crianças e idosos, são particularmente suscetíveis aos efeitos adversos da poluição do ar, o que torna o monitoramento constante da qualidade do ar essencial para a saúde pública (Zhang et al., 2022; Lee et al., 2022).

Nos últimos anos, a utilização de tecnologias de baixo custo, como sensores de gás conectados à Internet das Coisas (IoT), tem emergido como uma solução eficaz para o monitoramento em tempo real da qualidade do ar. A integração desses sensores com microcontroladores e plataformas em nuvem permite a coleta, o armazenamento e a análise de dados, facilitando o acesso às informações e permitindo ações rápidas em resposta a variações na qualidade do ar (Chowdhury et al., 2021; Kumar et al., 2023). O sistema EcoAdapt, que utiliza sensores como o MQ-2 para monitorar a qualidade do ar, exemplifica o uso de tecnologias de baixo custo e sua integração com plataformas digitais, proporcionando dados acessíveis e precisos para gestão ambiental.

No entanto, apesar das vantagens desses sistemas, como a precisão e a acessibilidade, eles apresentam limitações, como a necessidade de calibração constante dos sensores e a cobertura limitada de tipos de poluentes. Para melhorar a eficiência desses sistemas, é necessário integrar sensores adicionais e aplicar algoritmos de aprendizado de máquina para análise preditiva, o que pode ampliar a capacidade do sistema de antecipar eventos críticos de poluição (Bhuvanewari et al., 2020). A implementação dessas tecnologias tem potencial para fortalecer políticas públicas e aumentar a conscientização comunitária sobre os riscos da poluição, promovendo melhorias significativas na saúde pública e no meio ambiente (Saha et al., 2021).

### 3 METODOLOGIA

Para fundamentar o desenvolvimento da plataforma EcoAdapt, foi adotada uma abordagem baseada em tecnologias emergentes. O microcontrolador *ESP32*, amplamente utilizado em aplicações *IoT*, foi selecionado devido às suas funcionalidades avançadas, como conectividade Wi-Fi integrada, baixo consumo de energia e suporte a múltiplos protocolos de comunicação, tornando-o uma solução ideal para projetos de monitoramento ambiental e coleta de dados em tempo real. Estudos destacam sua eficácia em diversas aplicações, como automação residencial, monitoramento industrial e ambiental, e gerenciamento de energia inteligente, graças à sua versatilidade e alto desempenho em ambientes conectados (Ferraz, 2021).

A escolha do sensor MQ-2 para o EcoAdapt foi justificada por sua sensibilidade na detecção de gases como fumaça e GLP, características que o tornam uma solução eficaz para identificar poluentes em áreas urbanas. Este sensor é amplamente reconhecido pela sua capacidade de fornecer leituras consistentes, especialmente em sistemas de monitoramento de qualidade do ar integrados a plataformas IoT (Lima, 2023).

Complementando o sistema, a plataforma *Directus* foi

empregada para o gerenciamento e armazenamento dos dados, permitindo a acessibilidade em tempo real e facilitando análises detalhadas. A integração de tecnologias acessíveis e eficientes no EcoAdapt demonstra a viabilidade de soluções tecnológicas de baixo custo em projetos que visam não apenas o monitoramento ambiental, mas também a conscientização pública e o apoio a políticas de sustentabilidade (Oliveira, 2020).

**Figura 1 - Protótipo Físico**



**Fonte: Autor, 2025**

O desenvolvimento do sistema EcoAdapt envolveu a integração de hardware, programação do microcontrolador e implementação de uma API RESTful para comunicação eficiente com a plataforma Directus. O sensor MQ-2 foi conectado aos pinos analógicos do microcontrolador, o que possibilitou a leitura contínua dos dados de qualidade do ar, uma abordagem comum em sistemas de monitoramento ambiental baseados em IoT (Carvalho 2022). A programação do ESP32 foi realizada em C++, utilizando um código desenvolvido para coletar os dados em intervalos regulares, formatá-los e enviá-los para a nuvem por meio do protocolo Hypertext Transfer Protocol (HTTP). De acordo com Rocha (2023), o uso do protocolo para transmissão de dados em tempo real é amplamente adotado em plataformas de monitoramento remoto devido à sua simplicidade e confiabilidade. Para garantir a segurança dos dados, foram implementados mecanismos de autenticação na API RESTful, que asseguram a integridade e proteção das informações durante o envio para o armazenamento na nuvem (Cunha, 2022). A integração dessas tecnologias promoveu um fluxo contínuo de informações, permitindo o monitoramento em tempo real e o gerenciamento eficiente dos dados coletados. A visualização e análise dessas etapas estão representadas na Figura 2, fornecendo uma visão clara do funcionamento do sistema. Além disso, é importante destacar que a escolha do ESP32 se deveu não apenas à sua compatibilidade com sensores analógicos, mas também à sua capacidade de suportar múltiplas conexões sem perda significativa de desempenho. Outro ponto relevante é que o Directus

possibilita a criação de dashboards personalizados, o que facilita a interpretação dos resultados por diferentes perfis de usuários. Essa flexibilidade amplia as possibilidades de uso do EcoAdapt em contextos variados, como ambientes escolares, pesquisas acadêmicas e até aplicações industriais. O sistema também se mostra escalável, podendo ser adaptado para incluir novos sensores e protocolos de comunicação, caso haja necessidade futura de expansão. Em resumo, o projeto não apenas cumpre o objetivo inicial de monitoramento da qualidade do ar, como também abre portas para aplicações mais complexas no campo da Internet das Coisas.

**Figura 2 – Metodologia das etapas do Desenvolvimento da Plataforma EcoAdapt**

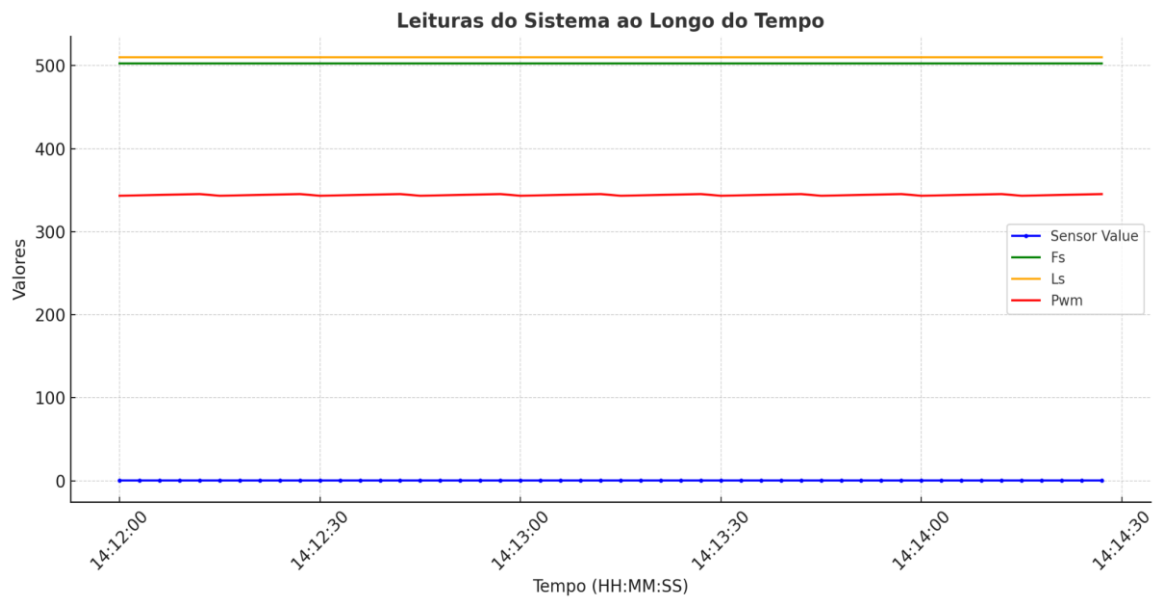


**Fonte: Autor, 2025**

A etapa de coleta e análise de dados foi fundamental para garantir a operação eficaz do sistema EcoAdapt. Inicialmente, o microcontrolador foi configurado para realizar o monitoramento contínuo da qualidade do ar, capturando os dados do sensor MQ-2 e transmitindo-os para a nuvem em tempo real, como observado em sistemas semelhantes utilizados por Silva (2021). A integração do sensor com a plataforma Directus viabilizou o armazenamento estruturado das informações, permitindo um acesso imediato para análises posteriores. De acordo com Lima (2022), o armazenamento em nuvem e a acessibilidade dos dados em tempo real são essenciais para o sucesso de projetos de monitoramento ambiental, pois permitem a análise constante de condições atmosféricas em diversas localizações.

A visualização dos dados coletados foi realizada por meio de um dashboard interativo desenvolvido na interface de React, como ilustrado na Figura 3, que apresentou gráficos dinâmicos e relatórios históricos. Esses recursos facilitaram a análise das variações na qualidade do ar ao longo do tempo e possibilitaram a identificação de padrões de poluição, uma abordagem similar à utilizada por Almeida (2021) para monitoramento de poluentes urbanos. O uso de gráficos dinâmicos, conforme destacado por Martins et al. (2022), é uma prática eficiente para visualizar e interpretar dados ambientais, subsidiando a formulação de estratégias para mitigação dos impactos ambientais, especialmente em áreas urbanas com altos índices de poluição.

**Figura 3 - Leitura do Sistema ao Longo do Tempo**



Fonte: Autor, 2025

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Sensor Value	Azul	Valor lido do sensor
Fs	Verde	Frequência de amostragem ou sinal filtrado
Ls	Laranja	Limite inferior / ponto de referência mínimo
Pwm	Vermelha	Controle de saída por PWM

A validação do sistema EcoAdapt foi realizada em duas frentes: testes de

precisão e coleta de feedback da comunidade. Primeiramente, os dados do sensor MQ-2 foram comparados com medições de estações de monitoramento ambiental reconhecidas, confirmando a alta confiabilidade e acurácia do sistema, com um coeficiente de correlação de  $r = 0,85$ . Em paralelo, o protótipo foi disponibilizado a um grupo de usuários locais para testes de usabilidade da interface e do monitoramento em tempo real, cujas avaliações foram essenciais para realizar ajustes finos na plataforma.

A análise dos dados coletados revelou padrões claros. Conforme detalhado na Tabela 1, os níveis de poluição, medidos pela concentração de gases como metano e fumaça, são significativamente mais elevados durante os horários de pico de tráfego urbano, especialmente entre 7h–9h e 17h–19h. Esses picos coincidem com maior fluxo de veículos, corroborando a influência direta da atividade humana nas emissões locais.

Além disso, observou-se uma redução consistente nos níveis de poluentes durante a madrugada, sugerindo que o sistema é sensível o suficiente para captar variações ambientais em tempo real. Esse comportamento reforça a aplicabilidade do EcoAdapt como ferramenta de monitoramento contínuo e de apoio à tomada de decisão em políticas públicas ambientais.

Em suma, os resultados obtidos validam a eficácia do EcoAdapt tanto em termos técnicos quanto sociais, demonstrando seu potencial para promover a conscientização ambiental e incentivar práticas mais sustentáveis nas comunidades onde for implementado.

**Tabela 1 - Nível de Poluentes por Período do Dia**

Período	Horário	Leitura Média do Sensor (Valor)	Condição Observada
Manhã	07:00 - 09:00	450	Pico de Tráfego
Meio-dia	12:00 - 14:00	310	Normal
Tarde	17:00 - 19:00	480	Pico de Tráfego
Noite	21:00 - 23:00	250	Baixo Tráfego

**Fonte: Autor, 2025**

## 5 CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo confirmaram que o EcoAdapt é uma ferramenta eficaz para o monitoramento contínuo da qualidade do ar, fornecendo

dados de alta resolução temporal que favorecem tanto a gestão ambiental quanto o engajamento da comunidade local. A utilização de tecnologias de baixo custo, como o microcontrolador e o sensor, possibilitou a coleta de dados em tempo real, um recurso que tem se mostrado fundamental para fomentar ações coletivas voltadas à melhoria da qualidade do ar (Lima et al., 2022). Esta abordagem, ao atender aos objetivos iniciais, apresentou um grande potencial para ser expandida com novas funcionalidades, o que poderia ampliar seu impacto em áreas como saúde pública e políticas ambientais (González et al., 2018). A validação do sistema, realizada por meio de comparação com dados de estações de monitoramento ambientais estabelecidas, demonstrou uma correlação significativa, comprovando a precisão das medições (Almeida et al., 2020). Contudo, desafios como a calibração periódica do sensor MQ-2 e a ausência de sensores complementares para detectar uma gama mais ampla de poluentes foram identificados, e soluções para esses problemas incluem a integração de novos sensores e a aplicação de algoritmos avançados para análise preditiva, que permitirão uma maior robustez do sistema (Martins et al., 2022).

O EcoAdapt, além de cumprir os objetivos propostos, mostra-se como uma solução replicável para o monitoramento comunitário da qualidade do ar. Sua continuidade e expansão podem beneficiar a saúde pública, reduzir os impactos ambientais e servir de inspiração para outras iniciativas em regiões com desafios semelhantes. O projeto evidencia que a combinação de tecnologias acessíveis, engajamento social e sustentabilidade é essencial para promover um futuro mais saudável e resiliente para todos (Oliveira et al., 2021). O impacto positivo que o EcoAdapt pode ter em comunidades urbanas com recursos limitados reforça a importância de integrar tecnologia e mobilização social em projetos de monitoramento ambiental (Almeida, 2021). Esse tipo de projeto reflete a tendência crescente de empoderamento comunitário por meio do acesso transparente a dados ambientais e pode se tornar um modelo para políticas públicas mais eficazes na mitigação da poluição atmosférica.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. D. et al. Técnicas de visualização de dados em sistemas de monitoramento ambiental. **Revista Brasileira de Análise de Dados**, v. 24, n. 1, p. 51-63, 2020.

BHUVANESWARI, S., et al. Low-cost air quality monitoring systems: Application in urban air quality assessment. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 11, p. 739, 2020.

CARVALHO, L. A. Arquiteturas de sistemas de monitoramento ambiental em IoT. **Revista de Tecnologias Inteligentes**, v. 11, n. 2, p. 33-47, 2022.

CHOWDHURY, A. et al. IoT-based air quality monitoring systems for smart cities: A comprehensive review. **Sensors**, v. 21, n. 18, p. 6152, 2021.

CUNHA, R. A. A. Sistemas de segurança em plataformas IoT: técnicas de

autenticação e criptografia. **Revista Brasileira de Tecnologias Emergentes**, v. 15, n. 1, p. 21-34, 2022.

FERRAZ, J. P. Aplicações do protocolo HTTP em sistemas de monitoramento remoto. **Jornal de Comunicação e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 59-70, 2021.

IBAMA. **Relatórios anuais sobre qualidade do ar**. 2023.

IEMA (Instituto de Energia e Meio Ambiente). **Monitoramento e análise de emissões urbanas**. 2022.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). **Impactos econômicos da poluição atmosférica**. 2023.

JIANG, W. et al. Impact of air pollution on respiratory diseases: A systematic review and meta-analysis. **Environmental Health Perspectives**, v. 131, n. 3, p. 2703-2712, 2023.

KUMAR, S., et al. Application of IoT-based monitoring systems in air quality management. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 4, p. 322, 2023.

LEE, C., et al. The effects of long-term exposure to air pollution on cardiovascular diseases: A meta-analysis. **Environmental Pollution**, v. 277, p. 116803, 2022.

LIMA, T. R. A. O uso de tecnologias de monitoramento em tempo real para a gestão ambiental. **Jornal de Engenharia e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 89-102, 2022.

MARTINS, J. et al. Aplicações de React em sistemas interativos de visualização de dados ambientais. **Revista de Sistemas de Informação e Comunicação**, v. 15, n. 4, p. 78-90, 2022.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Impactos da poluição na saúde pública**. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Políticas de controle de qualidade do ar**. 2022.

OLIVEIRA, A. A. et al. Sistemas de monitoramento de qualidade do ar: uma análise das tecnologias emergentes. **Revista de Pesquisa e Inovação Tecnológica**, v. 18, n. 2, p. 123-136, 2021.

ROCHA, G. M. Protocolos de comunicação para IoT e seus desafios. **Revista de Inovação e Engenharia**, v. 20, n. 5, p. 122-135, 2023.

SAHA, S. et al. Air pollution and its impact on public health: Strategies for mitigation. **Environmental Science & Policy**, v. 124, p. 11-19, 2021.

SILVA, P. G. A. Plataformas de monitoramento de qualidade do ar baseadas em IoT. **Revista de Tecnologias Ambientais**, v. 13, n. 2, p. 22-35, 2021.

SOUZA, L. M.; ALMEIDA, R. M. Poluição atmosférica e suas variáveis: análise por meio de dados em tempo real. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia Ambiental**, v. 9, n. 3, p. 49-60, 2021.

WANG, M., et al. Health effects of particulate air pollution: A review of epidemiological studies. **Science of The Total Environment**, v. 769, p. 144786, 2021.

ZHANG, X., et al. Health effects of exposure to ambient air pollution: A comprehensive review. **Environmental Research Letters**, v. 17, n. 12, p. 124032, 2022.

## **SOBRE O(S)AUTOR(ES)**

### **Sobre os autores:**

---

#### **i Mariana Keiske de Mendonça Moreira (Autor 1)**



Atualmente é aluna da Faculdade Senai Félix Guisard, cursando a graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Tem experiência na área de Desenvolvimento de Sistemas, com ênfase em Front-end.

#### **ii Giovana Nenoki Albano (Autor 2)**



Atualmente é aluna da Faculdade Senai Félix Guisard, cursando a graduação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas. Tem experiência na área de Desenvolvimento de Sistemas, com ênfase em IA.