

**PROTÓTIPOS DE SENSORES DE EMISSÃO DE GASES POLUENTES PARA
ANÁLISE DE QUALIDADE DO AR
*POLLUTANT GAS EMISSION SENSORS PROTOTYPES FOR AIR QUALITY
ANALYSIS***

Leandra Luciene Carneiro Batista – leandra.batista@fatec.sp.gov.br
Faculdade de Tecnologia de Bebedouro (Fatec) – Bebedouro – São Paulo – Brasil

Renan Guilherme Nespolo – renan.nespolo01@fatec.sp.gov.br
Faculdade de Tecnologia de Bebedouro (Fatec) – Bebedouro – São Paulo – Brasil

Alexandre de Souza Fernandes – alexandre.fernandes7@fatec.sp.gov.br
Faculdade de Tecnologia de Bebedouro (Fatec) – Bebedouro – São Paulo – Brasil

DOI: 10.31510/infa.v22i2.2387

Data de submissão: 26/09/2025

Data do aceite: 30/11/2025

Data da publicação: 20/12/2025

RESUMO

Os efeitos gerados por emissão de poluentes na atmosfera em centros urbanos causam muitos problemas de saúde, e considerando o clima predominantemente seco e com baixa umidade da região de Norte do estado de São Paulo, o monitoramento da qualidade do ar, como emissão de gás CO, deve ser uma prioridade. Deste modo o presente estudo buscou desenvolver dois protótipos a partir de plataformas de microcontroladores, utilizando diferentes módulos de sensoriamento de CO e em diferentes pontos, georreferenciados para analisar as emissões de gases poluentes e analisar os resultados. Os protótipos forneceram importantes informações sobre estabilidade de leitura e emissões geradas em diferentes datas. O estudo é bastante desafiador por envolver muitas variáveis como a construção dos dispositivos de sensoriamento remoto para capturar a emissão de gases poluentes; desenvolver a codificação dos aparelhos para o correto funcionamento como a realização das leituras de horário estando desconectado de qualquer aparelho online; realizar o georreferenciados dos locais e a análise dos resultados. Os resultados apresentados se mostraram estáveis e esclarecedores sobre as condições vividas na região selecionada.

Palavras-chave: Qualidade do ar; IoT; Sensores; Arduino; Monitoramento ambiental.

ABSTRACT

The effects of pollutant emissions into the atmosphere in urban centers cause numerous health problems. Considering the predominantly dry, low-humidity climate of the northern region of São Paulo state, monitoring air quality, such as CO emissions, should be a priority. Therefore, this study sought to develop two prototypes based on microcontroller platforms, using different CO sensing modules at different georeferenced locations to analyze pollutant gas emissions

and analyze the results. The prototypes provided important information on reading stability and emissions generated on different dates. The study is quite challenging because it involves many variables, such as building remote sensing devices to capture pollutant gas emissions; developing the coding for the devices to ensure correct operation, such as taking timed readings while disconnected from any online device; georeferencing the locations and analyzing the results. The results presented proved to be stable and enlightening regarding the conditions experienced in the selected region.

Keywords: *Air quality; IoT; MQ Sensors; Arduino; Environmental monitoring.*

1 INTRODUÇÃO

Indicadores georreferenciados são utilizados para analisar o desempenho de um processo ou fenômeno em um período específico em determinada localidade. Eles servem como indicadores e podem oferecer um aviso antecipado para prevenir problemas econômicos, sociais e ambientais. Além disso, eles podem contribuir para a integração do conhecimento das ciências químicas, físicas e sociais na tomada de decisões e a avaliar e otimizar o desempenho de um processo específico evolutivo (Nespolo, 2025).

A qualidade do ar e medição e poluentes é um dos indicadores descritos na área de Atmosfera, no guia de desenvolvimento sustentável da ONU (Nations, 2007). Esse indicador impacta diretamente a saúde humana, os ecossistemas e o equilíbrio climático. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), a poluição atmosférica é responsável por cerca de 7 milhões de mortes prematuras por ano no mundo, sendo considerada um dos maiores riscos ambientais à saúde pública (OMS, 2021).

No Brasil, a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) realiza monitoramento contínuo da qualidade do ar em grandes centros urbanos, mas ainda há limitações em cidades de pequeno porte que não possuem sistemas de monitoramento permanentes. Essa ausência de dados compromete a elaboração de políticas públicas efetivas e a conscientização da população sobre os impactos da poluição atmosférica (IBGE, 2022). Com o objetivo de preencher essa lacuna utilizando soluções acessíveis, explorando tecnologias de Internet das Coisas (IoT) para sensoriamento, armazenamento, e análise de dados ambientais em tempo real. O presente estudo buscou construir dois dispositivos de sensoriamento a partir de microcontroladores para realizar o monitoramento da qualidade do ar.

Desse modo os objetivos do presente estudo são:

- Construir dois dispositivos de sensoriamento remoto para capturar a emissão de gases poluentes.
- Registrar as medições de emissões de gases poluentes em diferentes locais georreferenciados.
- Comparar os registros de emissão de poluentes entre os diferentes sensores.

O presente estudo está dividido em: 1 Introdução; 2 Fundamentação Teórica; 3 Materiais e Métodos; 4 Resultados; 5 Conclusões; e Referências.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na presente Seção são apresentados todo conteúdo teórico utilizado no estudo, segmentado da seguinte forma: 2.1 Sensoriamento por Microcontroladores e; 2.2 Qualidade do Ar e Parâmetros Poluentes.

2.1 Sensoriamento por Microcontroladores

A plataforma Arduíno fornece um ambiente para prototipação eletrônica de código aberto, composta por hardware e software, que permite a integração de sensores, atuadores e sistemas de comunicação de forma acessível. Sua popularidade está relacionada à simplicidade de uso e à ampla comunidade de desenvolvedores (Banzi; Shiloh, 2022).

O microcontrolador NodeMCU V3 Lolin ESP8266, utiliza a mesma plataforma, porém a arquitetura de 32 bits e a comunicação Wi-Fi já é integrada a placa, que oferecem capacidade de processamento superior e conectividade sem fio. Esses componentes possibilitam a transmissão de dados em tempo real para armazenamento em servidores ou cartões SD, ampliando a escalabilidade do projeto (Atzori; Iera; Morabito, 2010).

2.1.1 Sensores de emissão de gases

A integração de sensores ambientais a plataformas IoT tem potencial para apoiar a formulação de políticas públicas e alertar comunidades sobre riscos relacionados à poluição atmosférica (Perera *et al.*, 2014).

A família de sensores MQ é amplamente utilizada em aplicações de monitoramento ambiental por sua acessibilidade, sensibilidade e facilidade de integração a plataformas de prototipagem eletrônica. O sensor MQ-9, utilizado neste estudo, é capaz de detectar monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) e gás de petróleo liquefeito (GLP), apresentando boa estabilidade e tempo de resposta rápido (Haoyu, 2022).

O módulo MQ-9 funciona por meio de uma camada sensível composta de dióxido de estanho (SnO₂), que sofre variação de resistência elétrica na presença de gases combustíveis. Essa característica possibilita a conversão da concentração de gases em sinais elétricos, que podem ser processados por microcontroladores, como o Arduino. A utilização desses sensores, embora limitada em termos de precisão absoluta, mostra-se adequada para estudos exploratórios de qualidade do ar, principalmente em cidades que não dispõem de estações oficiais de monitoramento (Haoyu, 2022).

2.2 Qualidade do Ar e Parâmetros Poluentes

A qualidade do ar está diretamente relacionada à presença de poluentes atmosféricos que podem prejudicar a saúde humana e o equilíbrio ambiental. Entre os principais gases monitorados em estudos ambientais destacam-se: dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

O monóxido de carbono (CO), por exemplo, é um gás inodoro e altamente tóxico, proveniente da queima incompleta de combustíveis fósseis. Já o metano (CH₄) é considerado um dos gases de efeito estufa mais impactantes, com potencial de aquecimento global 25 vezes maior que o CO₂ em um período de 100 anos (IPCC, 2021). A análise desses poluentes é essencial para o cumprimento das metas de sustentabilidade estabelecidas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em especial o ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima).

O Índice de Qualidade do Ar (IQA), apresenta um indicador de forma numérica o grau de poluição do ar atmosférico, em uma escala que classificou os principais gases poluentes da atmosfera, assim como uma unidade de medida para quantificar a concentração volumétrica do respectivo gás (neste caso, em ppm – partes por milhão), presente no ar.

Tabela 1 - Tabela estrutural do índice de qualidade do ar (IQA).

Qualidade do ar	CO(ppm) 8h
-----------------	------------

N1 – Boa	0 – 9
N2 – Moderada	>9 – 11
N3 – Ruim	>11 – 13
N4 – Muito Ruim	>13 – 15
N5 – Péssima	>15 – 50

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Brasil, o IQA é regulamentado pela CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), em norma pela Resolução CONAMA nº 491/2018, que irá definir padrões para a qualidade do ar, utilizado por órgãos estaduais e municipais de meio ambiente para monitoramento da poluição urbana e estabelecer requisitos para órgãos ambientais em tais esferas. No presente estudo, será feita a análise e classificação da concentração (em ppm) do gás monóxido de carbono (CO), adotando os critérios utilizados pela resolução, conforme a Tabela 1 (Breder *et al.*, 2020):

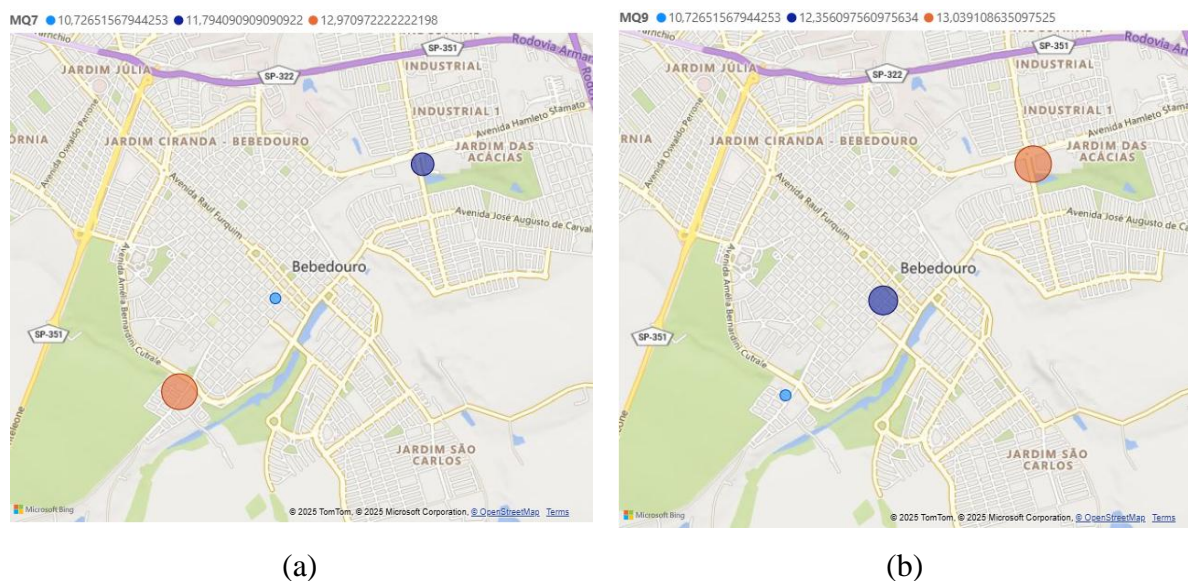
3 MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada neste estudo foi fragmentada em: 3.1 Visualização de Dados e Georreferenciamento; 3.2 Construção do Dispositivo e; 3.3 Metodologia de experimento.

3.1 Visualização de Dados e Georreferenciamento

Foram utilizados dois protótipos de dispositivos de sensoriamento remoto, utilizando os módulos de sensoriamento de CO: MQ7 e MQ9, para coleta de dados sobre a concentração (em ppm) de monóxido de carbono na atmosfera.

Figura 1 - Representação da média de gases emitidos nos pontos selecionados utilizando os diferentes módulos de sensoriamento de gases.



Fonte: Elaborada pelo autor.

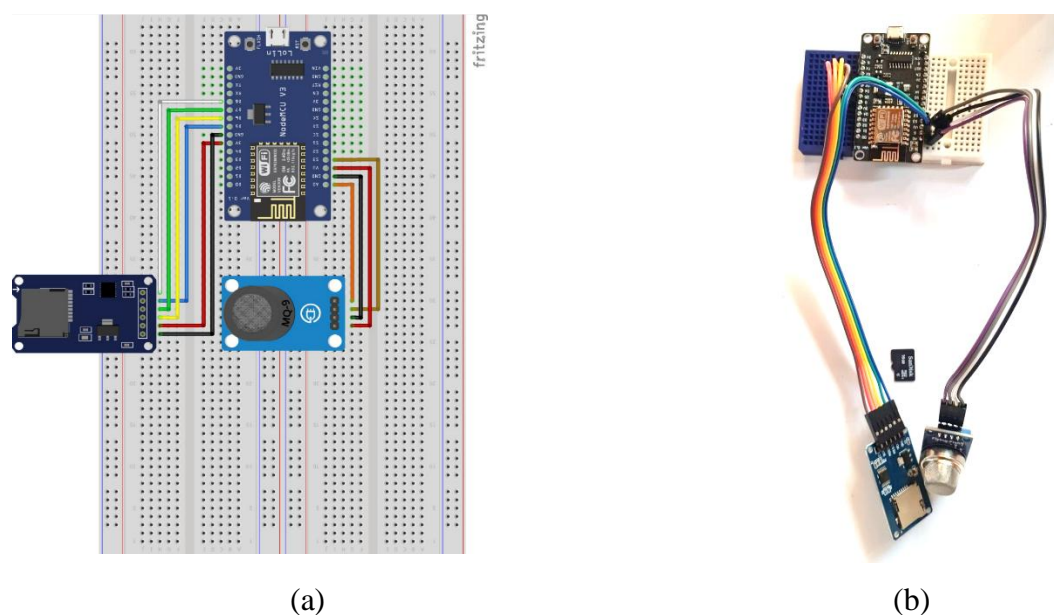
Os locais se deram em pontos estratégicos da cidade para uma análise diversificada da qualidade do ar, onde o registro ocorreu diariamente durante o mês de setembro de 2025. As localizações foram distribuídas na cidade Bebedouro -SP, cidade com pouco menos de 80.000 habitantes.

Os pontos são apresentados na Figura 1(a), medidos pelo módulo MQ7 e 1(b), medidos pelo módulo MQ9; sendo: o Ponto 1 localizado mais ao norte do mapa próximo a um parque ecológico; Ponto 2, posicionado no centro da cidade; e Ponto 3 localizado ao sul das imagens em uma região periférica da cidade. A visualização foi realizada utilizando a representação em bolhas sobre a média das medições de emissões de CO em um intervalo de 24h.

3.2 Construção do Dispositivo

Para a construção do protótipo de monitoramento da qualidade do ar foram considerados o menor recurso orçamentário, maior possibilidade de transporte e utilização em ambientes públicos, sensoriamento de emissão de gases nocivos e armazenagem local das leituras. Desse modo os seguintes componentes foram selecionados: (1) NodeMCU V3 Lolin ESP8266 (Wi-Fi), microcontrolador, arquitetura 32 bits, com conectividade sem fio 80MHz de processamento de dados; (2) Sensor MQ-9: sensor de gás utilizado para detectar monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) e gases combustíveis.

Figura 2 -(a)Representação esquemática do protótipo, e (b)Montagem do protótipo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A documentação indica alta sensibilidade, tempo de resposta rápido e baixo custo, sendo adequado para aplicações acadêmicas e experimentais (HANWEI, 2020); (3) Sensor MQ-7: sensor de gás utilizado para detectar monóxido de carbono (CO); (4) Leitor de Cartão MicroSD: módulo conectado ao Arduino para armazenamento local dos dados coletados durante os testes de campo; (5) Cabo jumper (20 cm): conjunto de fios de conexão utilizado para interligar os componentes do circuito e; (6) Mini protoboard (170 pinos): placa de prototipagem utilizada para montagem do circuito sem necessidade de soldagem

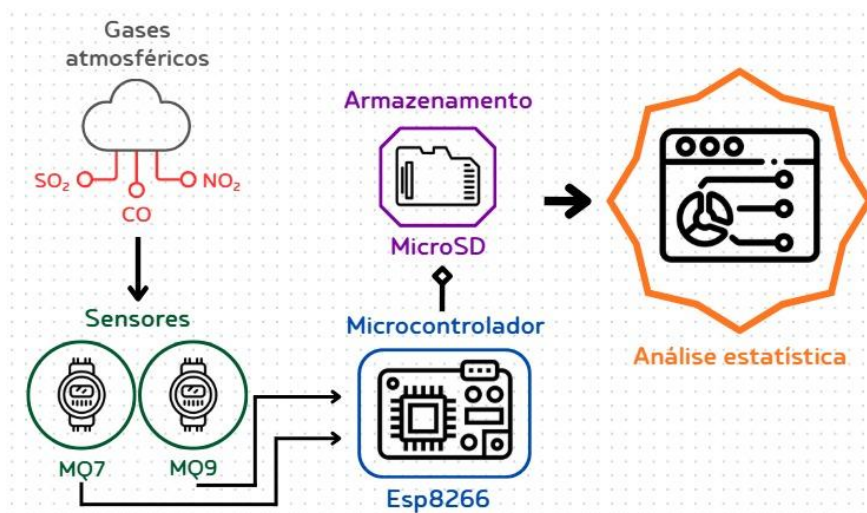
Computador pessoal com software Arduino IDE: ambiente de programação utilizado para codificação e upload dos algoritmos de coleta e transmissão de dados.

Na Figura 2(a) tem o modelo esquemático da montagem, e na Figura 2(b) a montagem do protótipo.

3.3 Metodologia de experimentos

Para o experimento do presente estudo foram considerados os seguintes aspectos: A necessidade de criar um protótipo com baixos recursos financeiros. Para a construção dos protótipos foram utilizados os componentes descritos na Seções 2.1 e 3.2. A codificação para o funcionamento dos protótipos foram realizados em C++ no ambiente Arduino IDE. O armazenamento das leituras foi realizado em cartões SD em arquivos de texto(.txt).

Figura 3 -Fluxograma de funcionamento do experimento.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a construção dos protótipos foram selecionados os locais para a realização das leituras. Foram selecionados 3 Pontos na cidade de Bebedouro – SP, como apresentado na Seção 3.1. O tempo de leitura de cada ponto foi de 24h, com doze (12) leituras registradas por hora, em outros termos, uma leitura de emissão de gases a cada cinco (5) minutos.

Finalizando as leituras nos pontos escolhidos os dados foram recolhidos e armazenados para realização da análise da emissão dos gases gerados no experimento.

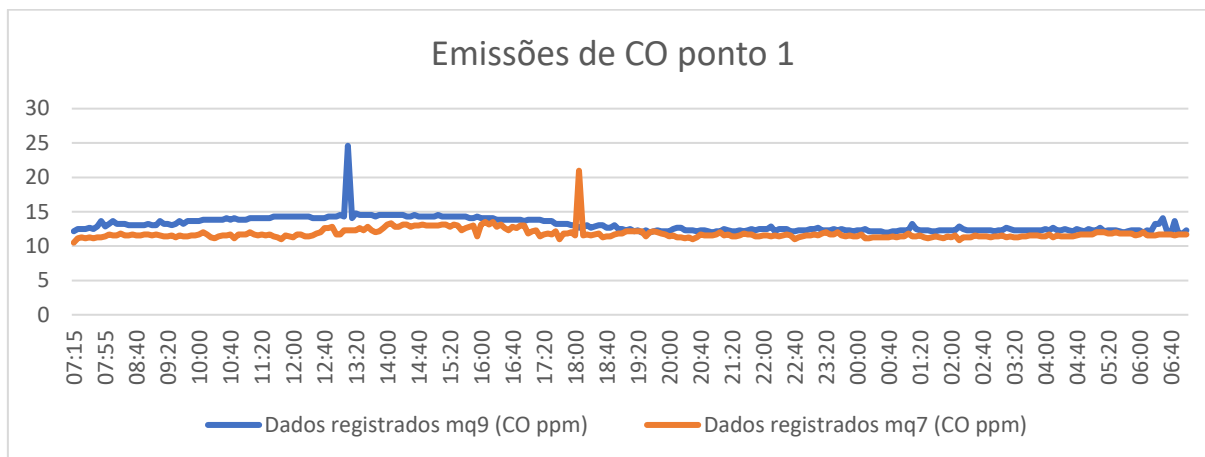
O fluxograma de funcionamento do experimento, apresentado na Figura 3, mostra a trajetória completa dos dados, onde: os gases atmosféricos serão detectados pelos sensores MQ7 e MQ9; a interpretação e processamento recaem para o microcontrolador Esp8266; o registro e armazenamento das informações em um cartão MicroSD; e, posteriormente, a base de dados formada será submetida à uma análise dos resultados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o experimento foram selecionados três (3) locais para a realização das leituras na cidade de Bebedouro – SP, como apresentado na Seções 3.1 e 3.3. As leituras de emissões de CO registradas pelos protótipos foram realizadas em cada ponto por uma duração de 24h, realizando doze (12) leituras por hora. As leituras foram realizadas em dias diferentes devido ao tempo de construção de cada protótipo. As leituras em diferentes módulos foram comparadas com o objetivo de verificar diferenças entre os módulos de sensoriamento. No Gráfico 1, são

apresentadas as leituras no ponto 1, ponto próximo ao parque ecológico, utilizando os dois módulos de sensoriamento para medição da emissão de gases.

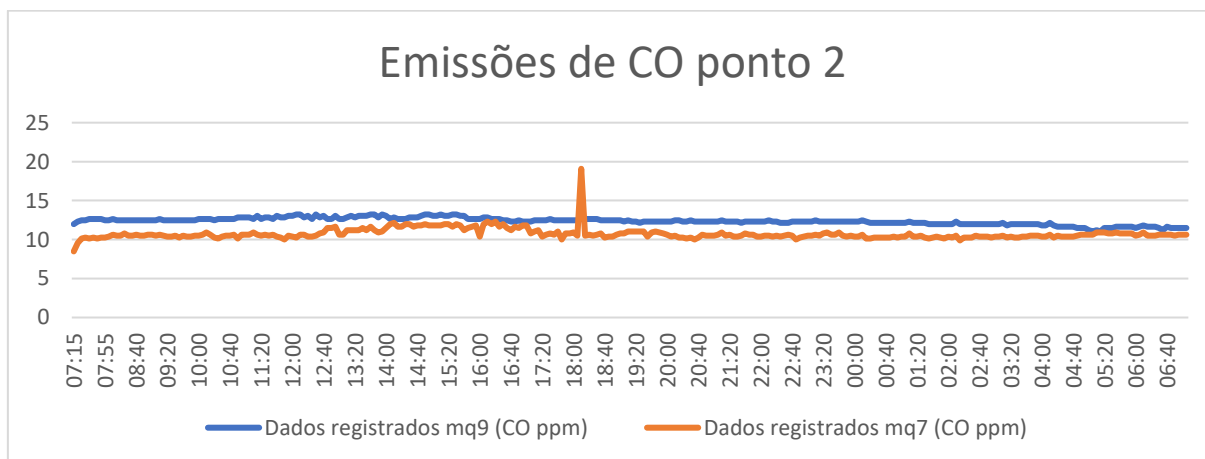
Gráfico 1 - Comparação de sensoriamento entre os módulos MQ7 e MQ9 no Ponto 1.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 2, são apresentadas as leituras no ponto 2, ponto localizado no centro da cidade, utilizando os dois módulos de sensoriamento para medição da emissão de gases.

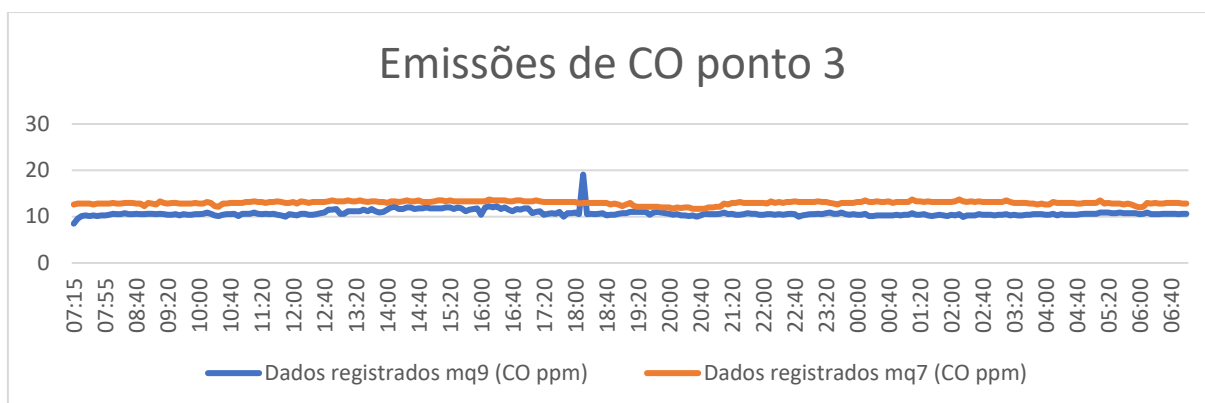
Gráfico 2 - Comparação de sensoriamento entre os módulos MQ7 e MQ9 no Ponto 2.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 3, são apresentadas as leituras no ponto 3, ponto mais periférico da cidade, utilizando os dois módulos de sensoriamento para medição da emissão de gases.

Gráfico 3 - Comparação de sensoriamento entre os módulos MQ7 e MQ9 no Ponto 3.

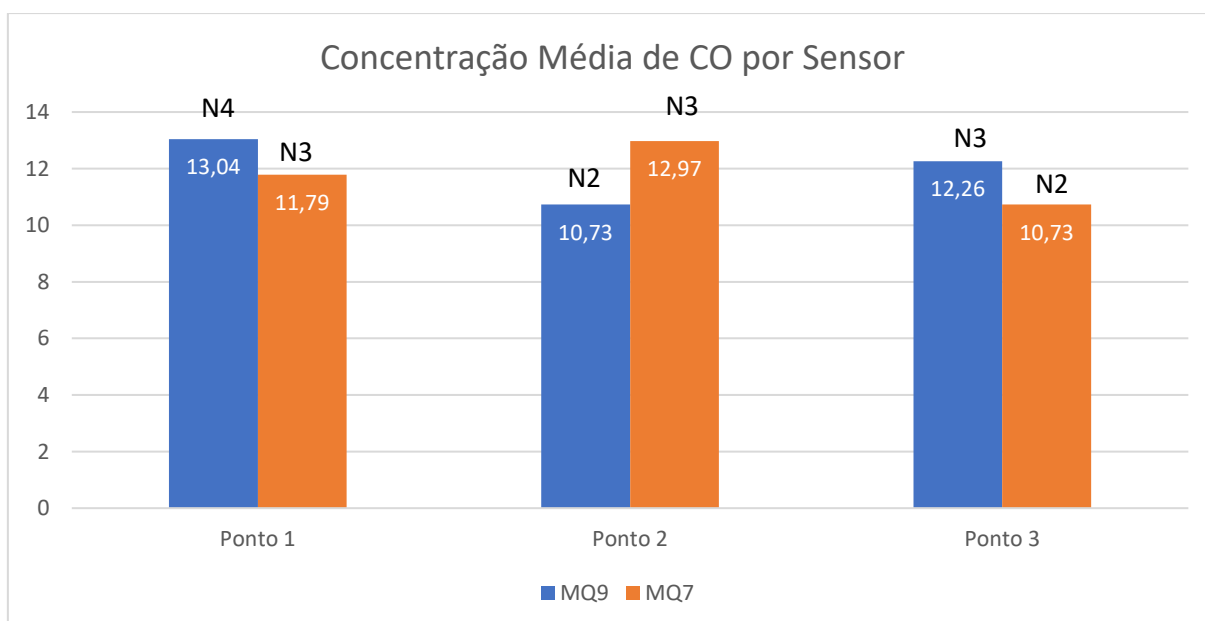


Fonte: Elaborado pelo autor.

4.1 Discussões sobre os Resultados

Os dados registrados nos três pontos apresentados nos Gráficos 1,2 e 3 confirmam uma leitura bastante sólida entre os diferentes módulos. As pequenas mudanças e picos se dão em razão de mudanças climáticas relativa a um período do dia específico. Desta forma uma análise sobre as faixas de qualidade do ar apresentada na seção 2.2, foi realizada e apresentada no Gráfico 4.

Gráfico 4 - Comparação de desempenho de diferentes módulos nos diferentes pontos selecionados na cidade.



Fonte: Elaborado pelo autor.

No Gráfico 4 observa-se variações na concentração de monóxido de carbono entre os locais e os momentos de coleta. No ponto 1, um ambiente residencial, ambos os sensores registraram níveis elevados de CO, classificados como "Ruim" e "Muito Ruim", com o sensor MQ9 apresentando o pico de concentração entre todas as medições (13,04 ppm).

Em contrapartida, no ponto 3, uma área com maior presença de vegetação, o comportamento dos sensores foi divergente. Enquanto o sensor MQ9 indicou uma qualidade do ar "Moderada", o sensor MQ7 registrou um aumento significativo na concentração de CO, classificando-a como "Ruim". Esta variação pode ser atribuída a fatores microclimáticos ou a eventos específicos ocorridos durante o segundo período de coleta.

Por fim, no ponto 2, caracterizada por ser uma via de tráfego que divide o centro urbano, apresentou os resultados mais estáveis. Em ambos os momentos de coleta, a concentração média de CO foi idêntica (10,73 ppm), resultando em uma classificação consistente de "Moderada". A ocorrência de chuva durante a segunda medição, conforme relatado, parece ter contribuído para manter os níveis de poluição mais baixos, neutralizando possíveis aumentos e mantendo a qualidade do ar em um patamar estável.

Uma representação visual, como apresentada na Figura 1, reforça a complexidade da dinâmica da poluição atmosférica urbana, evidenciando como fatores como localização, características do entorno, condições meteorológicas e a sensibilidade dos equipamentos de medição influenciam diretamente os resultados obtidos.

5 CONCLUSÕES

O presente estudo se mostrou bastante desafiador por envolver muitas variáveis como a construção dos dispositivos de sensoriamento remoto para capturar a emissão de gases poluentes; desenvolver a codificação dos aparelhos para o correto funcionamento como a realização das leituras de horário estando desconectado de qualquer aparelho *online*; realizar o georreferenciados dos locais e a análise dos resultados.

Uma das maiores dificuldades foi em colocar os protótipos para funcionarem em locais externos e ao mesmo tempo serem controlados para que não haver extravio de equipamento. Algumas vezes funcionando fora da rede elétrica, nesse aspecto o microcontrolador ESP8266 facilita o uso de baterias como *power banks*, quando comparado a outros microcontroladores, por não precisar de adaptadores (somente o USB).

Os resultados apresentados constataam uma qualidade ruim na cidade de Bebedouro – SP, devidos a muitos aspectos, como: clima, localização geográfica da cidade. Mas também aspectos humanos como pouca arborização e uma grande frota de automóveis abastecidos por combustíveis fosseis, para uma cidade do porte de 80.000 habitantes.

Para trabalhos futuros os autores esperam melhor o protótipo, transformando o armazenamento via nuvem, adicionando o módulo GSM para utilização de redes GPRS, como também ampliar o estudo para um período maior de observação

REFERÊNCIAS

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. **The internet of things: A survey**. Computer networks, [s. l.], v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. .

BANZI, M.; SHILOH, M. **Getting started with Arduino: the open source electronics prototyping platform**. [S. l.]: Maker Media, Inc., 2022. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=qChfEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT33&dq=Getting+Started+with+Arduino&ots=I0pQD94i8o&sig=rKUzokmEkE5Ues3w6NbNZUmg-Gs>. Acesso em: 26 set. 2025.

BREDER, L. A.; DIAS, P. M.; DE OLIVEIRA MEDEIROS, I.; DA NOBREGA, M. de J. R. **A evolução do monitoramento da qualidade do ar e desafios para atendimento dos padrões da Organização Mundial de Saúde (OMS)**. Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, [s. l.], v. 3, n. 1, p. 128–146, 2020. .

HAOYU. Analog CO/Combustible Gas Sensor(MQ9) [MQ-9] - **Datasheet MQ-9 Gas Sensor**. 2022. Disponível em: https://www.hotmcu.com/analog-cocombustible-gas-sensormq9-p-163.html?cPath=7_37&zenid=gsck1crockjn7fsh1o6v1fd9r5. Acesso em: 26 set. 2025.

IBGE. **Estatísticas do Meio Ambiente e de Mudanças Climáticas** | IBGE. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/41681-estatisticas-do-meio-ambiente-e-de-mudancas-climaticas.html>. Acesso em: 26 set. 2025.

NATIONS, U. (Org.). **Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies**. 3rd ed. New York: United Nations, 2007.

NESPOLO, R. G. **Regressão Transdutiva Baseada em Grafos Aplicada a Previsão de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. 2025. PhD Thesis – Universidade de São Paulo, 2025. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-28042025-134532/en.php>. Acesso em: 25 set. 2025.

OMS. **Air pollution**. 2021. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>. Acesso em: 26 set. 2025.

PERERA, C.; ZASLAVSKY, A.; CHRISTEN, P.; GEORGAKOPOULOS, D. Sensing as a service model for smart cities supported by Internet of Things. **Transactions on Emerging**

Telecommunications Technologies, [s. l.], v. 25, n. 1, p. 81–93, jan. 2014.
<https://doi.org/10.1002/ett.2704>.