# MONITORAMENTO AMBIENTAL DE GASES POLUENTES EM AMBIENTE EXTERNO POR INTERMÉDIO DE SENSORES BAIXO CUSTO E MICROCONTROLADOR

**Guilherme Faustino Boelter[1], Jaqueline Ineu Golombieski[2], Pedro Daniel da Cunha Kemerich[3]**

*[1]Discente de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Ambiental (PPGCTA) pela Universidade Federal de Santa Maria-Campus da UFSM em Frederico Westphalen, Frederico Westphalen-RS, Brasil (boelterguilherme@gmail.com)*
*[2] Docente da Universidade Federal de Santa Maria-Campus da UFSM em Frederico Westphalen, Frederico Westphalen- RS, Brasil*
*[3]Docente da Universidade Federal de Santa Maria-Campus da UFSM em Santa Maria, Santa Maria- RS, Brasil*

*Resumo:* O presente estudo teve como objetivo desenvolver e avaliar um sistema de monitoramento ambiental utilizando sensores meteorológicos em quatro áreas distintas. Utilizou-se sensores para detecção relativa de gases atmosféricos, temperatura, umidade, pressão atmosférica e altitude relativa. Os resultados demonstraram diferenças entre áreas e períodos amostrais e o sistema desenvolvido com potencial para aplicações ambientais de baixo custo, permitindo monitoramento contínuo da qualidade do ar.

*Palavras-chave*: Qualidade do ar; monitoramento ambiental; sensores MQ; Microcontrolador ESP; Sensoriamento.

## INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é considerada um importante fator de risco à saúde humana, estando associada ao aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares decorrentes da exposição contínua aos poluentes presentes no ar (GBD 2019 Risk factors collaborators, 2020; Jiang et al., 2022). Em áreas urbanas, o tráfego veicular destaca-se entre as principais fontes emissoras de poluentes atmosféricos, como dióxido de nitrogênio ($NO_2$), monóxido de carbono (CO) e material particulado fino ($PM_{2.5}$), contribuindo para a degradação da qualidade do ar (Zhang et al., 2022).

Diante dessa problemática, observa-se crescente interesse na utilização de sensores de baixo custo voltados ao monitoramento ambiental, principalmente pela possibilidade de obtenção de dados em tempo real de maneira acessível e contínua (Chojer et al., 2020; Castell et al., 2013). Esses dispositivos apresentam vantagens relacionadas ao baixo custo, à portabilidade e à facilidade de aplicação em diferentes ambientes.

Além do avanço dos sensores de baixo custo, o desenvolvimento das plataformas integradas à Internet das Coisas (IoT) ampliou as possibilidades de monitoramento remoto e armazenamento contínuo de dados ambientais. Segundo Chojer et al. (2020), a IoT possibilita a integração entre sensores, microcontroladores e sistemas de transmissão de dados, favorecendo monitoramentos ambientais de longa duração. Essas plataformas também permitem maior abrangência espacial das análises ambientais (Dai et al., 2023).

Dessa forma, o presente estudo propõe a construção de um sistema de monitoramento utilizando sensores de baixo custo integrados ao ESP32, IoT e anemômetro, visando avaliar a viabilidade de utilização desse sistema em ambiente externo e mensurar a presença de gases poluentes em diferentes áreas de um município do interior do Rio Grande do Sul.

## MATERIAL E MÉTODOS

O monitoramento eletrônico da qualidade do ar foi realizado no município de Frederico Westphalen-RS, localizado na região norte do Rio Grande do Sul (Brasil). A escolha da área de estudo considerou a inexistência de estações oficiais de monitoramento atmosférico contínuo no município, além da presença de tráfego urbano, circulação intermunicipal e concentração de atividades comerciais na região central. O município possui aproximadamente 30 mil habitantes (IBGE, 2022), apresentando relevo com áreas elevadas e ventos predominantes dos quadrantes Leste e Norte.

Os pontos de monitoramento foram definidos com base na influência antrópica e na circulação de veículos, sendo distribuídos em quatro áreas distintas: região central urbana, rodovia BR-386, Campus da Universidade Federal de Santa Maria – Frederico Westphalen e Parque Municipal Vila Faguense, utilizado como área de referência devido à menor influência direta de fontes emissoras. Em cada área foram selecionados cinco pontos de coleta, com coletas quinzenais.

Cada coleta consistiu em 150 leituras por sensor, com intervalo de 4000 milissegundos entre registros. O delineamento experimental buscou avaliar possíveis oscilações nos gases atmosféricos em função da temperatura e umidade do ar. Os dados obtidos permitiram comparações entre áreas e pontos com a realização de coletas.

O sistema de monitoramento foi desenvolvido utilizando sensores de baixo custo da série MQ integrados ao microcontrolador ESP32 DevKit. A escolha dos sensores considerou a capacidade de detecção de diferentes gases atmosféricos, o baixo custo e a compatibilidade com os microcontroladores testados durante o desenvolvimento do projeto, incluindo Arduino Uno R3 e ESP8266. O ESP32 foi selecionado devido à integração com Wi-Fi e Bluetooth, permitindo transmissão e armazenamento dos dados em tempo real.

Além dos sensores MQ, foram integrados ao sistema os sensores DHT22 e BMP280, responsáveis pela obtenção de dados de temperatura, umidade, pressão atmosférica e altitude relativa. Também foi utilizado um anemômetro para medição da velocidade do vento durante as coletas. O sistema foi alimentado por uma powerbank de 20.000 mAh e montado em protoboard com resistores para adequação de tensão entre sensores e microcontrolador (Figura 1 A e B).

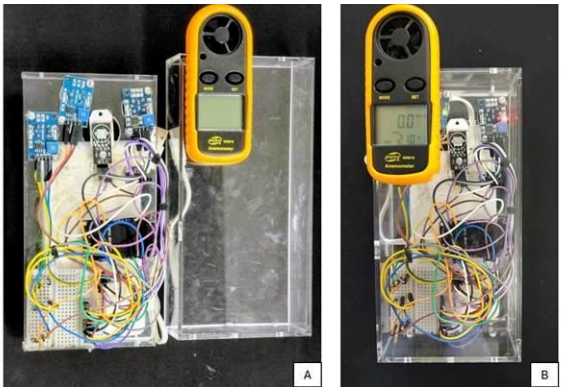


Figura 1. Módulo dos sensores operacional. A: caixa de acrílico aberta, com os sensores dos gases poluentes, temperatura, umidade e pressão integrados ao ESP 32, e anemômetro fixo na tampa; B: módulo operacional com todos os sensores em funcionamento e integrados ao case de acrílico fechado.

O software e a codificação do sistema foram desenvolvido na plataforma Arduino IDE utilizando linguagem C++. Também foi criado um aplicativo na plataforma MIT App Inventor para comunicação via Bluetooth com o ESP32, permitindo iniciar e interromper coletas, visualizar leituras em tempo real e armazenar automaticamente os dados em planilhas online do Google Drive. Posteriormente, as informações foram integradas a um site hospedado na plataforma Netlify, possibilitando a visualização pública das leituras e gráficos atualizados periodicamente.

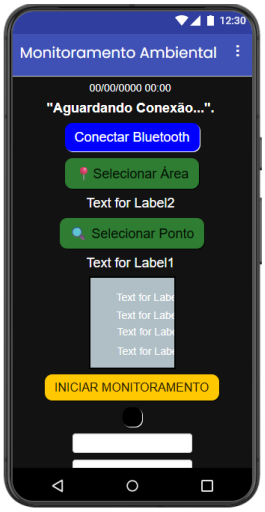


Figura 2. Aplicativo próprio, desenvolvido pelo site MIT APP Inventor.




Figura 3. Site desenvolvido na plataforma Netlify.

A calibração dos sensores foi realizada em ambiente considerado de referência, com a máxima isenção dos gases trabalhados, além de controle de temperatura e entrada de pessoal. Deste modo permitindo a determinação do valor de R0 (Reference Resistance) para cada sensor. As leituras foram expressas pela razão Rs/R0 (Sensor Resistance e Reference Resistance) possibilitando comparações relativas entre diferentes condições ambientais. Os dados finais foram organizados em arquivos CSV contendo informações dos sensores de gases, temperatura,

umidade, pressão atmosférica, altitude relativa e velocidade do vento.

Posteriormente, realizou-se o tratamento estatístico dos dados por meio de análises descritivas, incluindo média, desvio padrão, valores mínimos e máximos. Também foram efetuadas comparações entre áreas de estudo, sensores e períodos amostrais, permitindo avaliar variações temporais e possíveis influências das condições ambientais sobre as medições realizadas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interpretação dos dados obtidos nas duas quinzenas deve considerar que valores mais próximos ou abaixo de 1 indicam maior concentração relativa dos gases detectados pelos sensores MQ, enquanto valores acima de 1 indicam menores concentrações relativas. Dessa forma, a análise dos resultados revela padrões ambientais distintos entre as áreas monitoradas (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1. Valores médios de cada ponto e de cada área na primeira quinzena do mês de abril de 2026.

| Área | Ponto | MQ135 | MQ4 | MQ7 | Temp. °C | Umidade % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Br-386 | Ponto 1 | 1.35 | 1.50 | 1.28 | 35.45 | 33.16 |
| Br-386 | Ponto 2 | 1.07 | 1.07 | 0.99 | 38.81 | 29.93 |
| Br-386 | Ponto 3 | 1.05 | 1.20 | 1.02 | 45.42 | 23.80 |
| Br-386 | Ponto 4 | 1.35 | 1.25 | 1.28 | 38.44 | 31.32 |
| Br-386 | Ponto 5 | 1.57 | 1.48 | 1.47 | 36.57 | 32.78 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 1 | 1.27 | 0.92 | 1.28 | 21.20 | 65.49 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 2 | 0.89 | 1.80 | 1.01 | 31.79 | 46.26 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 3 | 0.78 | 1.84 | 0.89 | 31.50 | 47.63 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 4 | 0.83 | 1.65 | 0.93 | 32.38 | 45.56 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 5 | 0.82 | 1.55 | 1.11 | 33.74 | 48.77 |
| Faguense | Ponto 1 | 0.84 | 1.36 | 0.91 | 24.11 | 66.62 |
| Faguense | Ponto 2 | 0.83 | 1.40 | 0.95 | 22.45 | 68.83 |
| Faguense | Ponto 3 | 0.84 | 1.36 | 0.91 | 23.51 | 67.25 |
| Faguense | Ponto 4 | 0.82 | 1.42 | 1.05 | 24.51 | 65.58 |
| Faguense | Ponto 5 | 0.83 | 1.37 | 0.92 | 24.61 | 67.00 |
| Urbano | Ponto 1 | 1.43 | 1.56 | 1.44 | 29.13 | 46.08 |
| Urbano | Ponto 2 | 1.34 | 1.36 | 1.35 | 34.34 | 38.51 |
| Urbano | Ponto 3 | 0.91 | 0.89 | 0.92 | 24.39 | 56.09 |
| Urbano | Ponto 4 | 1.10 | 1.10 | 1.13 | 31.61 | 42.28 |
| Urbano | Ponto 5 | 0.89 | 0.90 | 0.86 | 30.57 | 40.60 |

Tabela 2. Valores médios de cada ponto e de cada área na segunda quinzena do mês de abril de 2026.

| Área | Ponto | MQ135 | MQ4 | MQ7 | Temp. °C | Umidade % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Br-386 | Ponto 1 | 0.86 | 0.95 | 1.05 | 31.25 | 49.89 |
| Br-386 | Ponto 2 | 0.88 | 0.91 | 1.23 | 36.92 | 39.03 |
| Br-386 | Ponto 3 | 0.85 | 0.85 | 1.07 | 43.02 | 32.78 |
| Br-386 | Ponto 4 | 0.83 | 0.90 | 1.06 | 36.96 | 39.20 |
| Br-386 | Ponto 5 | 0.86 | 1.20 | 1.12 | 32.34 | 47.08 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 1 | 1.28 | 0.93 | 1.26 | 20.97 | 63.73 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 2 | 1.71 | 1.45 | 1.73 | 26.38 | 51.73 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 3 | 1.30 | 1.34 | 1.30 | 25.39 | 53.97 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 4 | 1.34 | 1.02 | 1.36 | 24.46 | 54.73 |
| Campus UFSM-FW | Ponto 5 | 1.40 | 0.91 | 1.41 | 25.24 | 50.00 |
| Faguense | Ponto 1 | 1.08 | 1.44 | 1.64 | 23.19 | 75.57 |
| Faguense | Ponto 2 | 1.09 | 1.45 | 1.65 | 22.55 | 76.57 |
| Faguense | Ponto 3 | 1.09 | 1.43 | 1.64 | 22.79 | 76.29 |
| Faguense | Ponto 4 | 1.08 | 1.44 | 1.64 | 23.15 | 75.90 |
| Faguense | Ponto 5 | 1.09 | 1.43 | 1.63 | 23.17 | 76.31 |
| Urbano | Ponto 1 | 1.16 | 1.09 | 1.45 | 26.56 | 63.89 |
| Urbano | Ponto 2 | 1.08 | 1.02 | 1.32 | 31.43 | 49.51 |
| Urbano | Ponto 3 | 0.82 | 0.74 | 0.88 | 23.07 | 71.61 |
| Urbano | Ponto 4 | 0.73 | 0.72 | 0.89 | 30.09 | 50.55 |
| Urbano | Ponto 5 | 0.66 | 0.66 | 1.05 | 30.92 | 55.54 |

Tabela 2. Valores médios de cada ponto e de cada área na segunda quinzena do mês de abril de 2026.

No *Campus* da UFSM em Frederico Westphalen, os resultados foram mais heterogêneos. Na primeira quinzena de abril/2026, os pontos UFSM-FW Campus ponto 2, UFSM-FW Campus ponto 3, UFSM-FW Campus ponto 4 e UFSM-FW Campus ponto 5 apresentaram valores abaixo ou próximos de 1 para MQ135 e MQ7, indicando maiores concentrações relativas desses gases. Já na segunda quinzena houve aumento expressivo dos valores em diversos pontos, principalmente no Ponto UFSM-FW Campus ponto 2, indicando redução relativa das concentrações gasosas.

A área Controle apresentou comportamento mais estável entre os pontos durante a primeira quinzena, com valores de MQ135 e MQ7 consistentemente abaixo ou próximos de 1, associados às menores temperaturas e maiores umidades relativas do estudo. Entretanto, na segunda quinzena observou-se aumento dos valores dos sensores, especialmente para MQ7, sugerindo redução relativa da concentração desses gases.

Na área Urbana, os resultados indicaram grande variação entre os pontos. Durante a primeira quinzena,

os pontos Urbano 3 e Urbano 5 apresentaram valores mais próximos ou inferiores a 1, indicando maiores concentrações relativas dos gases. Esse padrão tornou-se ainda mais evidente na segunda quinzena, principalmente nos pontos Urbano 3, Urbano 4 e Urbano 5, onde os sensores MQ135 e MQ4 apresentaram os menores valores registrados do estudo, chegando a 0,66 no Ponto Urbano 5.

De forma geral, a segunda quinzena do mês de Abril/2026 foi marcada pela redução das temperaturas e aumento da umidade relativa em praticamente todas as áreas, fatores que possivelmente favoreceram maior permanência dos gases próximos aos locais monitorados, refletindo nos menores valores observados pelos sensores MQ em diversos pontos amostrais.

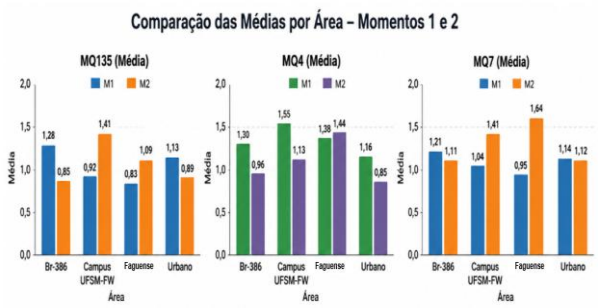


Figura 4. Comparação das médias dos sensores MQ (considere M1 e M2 para primeira quinzena e segunda quinzena de abril/2026, respectivamente)

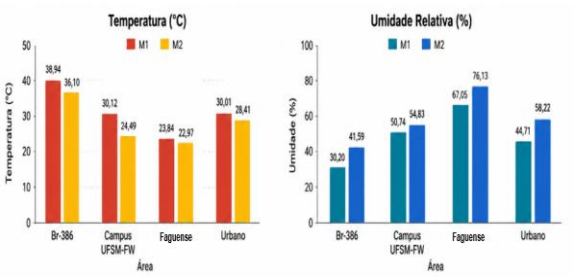


Figura 5. Comparação das médias dos sensores de Temperatura e umidade (considere M1 e M2 para primeira quinzena e segunda quinzena de abril/2025 respectivamente)

Ambas as imagens demonstram as diferenças observadas entre as áreas monitoradas nos dois momentos de coleta, evidenciando variações nos valores médios dos sensores MQ135, MQ4 e MQ7, além das alterações de temperatura e umidade relativa do ar. De modo geral, observa-se redução das temperaturas e aumento da umidade na segunda quinzena, fatores que influenciaram diretamente os valores registrados pelos sensores. A BR-386 apresentou as maiores temperaturas médias, enquanto a área Controle manteve os maiores índices de umidade relativa ao longo do período analisado.

Com base nos resultados obtidos e nas comparações realizadas entre áreas, pontos amostrais e períodos de coleta, torna-se possível compreender melhor a influência das condições ambientais sobre a dinâmica dos gases monitorados.

## CONCLUSÃO

O sistema de monitoramento desenvolvido demonstrou potencial para aplicação em análises ambientais de baixo custo, permitindo identificar diferenças entre áreas urbanas, rodoviárias e de referência ambiental no município de Frederico Westphalen-RS.

Os resultados evidenciaram influência direta das condições ambientais, principalmente temperatura e umidade relativa do ar, sobre os valores registrados pelos sensores.

De modo geral, observou-se que áreas com maior circulação de veículos e maior influência antrópica apresentaram variações relevantes nos gases monitorados, enquanto áreas de referência mantiveram condições ambientais mais estáveis.

A integração do sistema com plataformas IoT e armazenamento *online* mostrou-se eficiente para monitoramento contínuo e visualização dos dados em tempo real.

Assim, o estudo demonstra que sensores de baixo custo podem representar uma alternativa viável para monitoramentos ambientais preliminares, auxiliando na obtenção de dados complementares, especialmente em municípios que não possuem estações oficiais de qualidade do ar. É válido ressaltar, que os valores obtidos em um primeiro momento possuem cunho experimental, de tal modo que não devem ser considerados como equivalentes a estações oficiais, servindo como meio complementar de monitoramento de gases poluentes, além de fomento no desenvolvimento a ciência cidadã.

## AGRADECIMENTOS

Agradecimento a instituição CAPES a bolsa de mestrado do discente Guilherme F Boelter.

## REFERÊNCIAS

CASTELL, Nuria et al. Real-world application of new sensor technologies for air quality monitoring. **European Topic Centre on Air Pollution and Climate Change Mitigation (ETC/ACM)**, nov. 2013. ETC/ACM Technical Paper 2013/16. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/260600086_Real-world_application_of_new_sensor_technologies_for_air_quality_monitoring . Acesso em: 19 de mai 2026.

CHOJER, H.; BRANCO, P. T. B. S.; MARTINS, Fernando G.; ALVIM-FERRAZ, Maria Conceição M.; SOUSA, Sofia I. V. Development of low-cost indoor air quality monitoring devices: Recent advancements. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 727, p. 138385, 20 jul. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138385. Acesso em: 19 mai. 2026.

DAI, Xilei; SHANG, Wenzhe; LIU, Junjie; XUE, Min; WANG, Congcong. Achieving better indoor air quality with IoT systems for future buildings: Opportunities and challenges. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 895, p. 164858, 2023. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164858. Acesso em: 19 mai. 2026.

GBD 2019 RISK FACTORS COLLABORATORS. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. **The Lancet**, [s. l.], v. 396, n. 10258, p. 1223-1249, 17 out. 2020. Disponível Em: https://www.thelancet.com/article/S0140-6736(20)30752-2/fulltext . Acesso em: 19 mai. 2026.

JIANG, Xing; HAN, Yiqun; QIU, Xinghua; CHAI, Qianqian; ZHANG, Hanxiyue; CHEN, Xi; CHENG, Zhen; WANG, Yanwen; FAN, Yunfei; XUE, Tao; LI, Weiju; GONG, Jicheng; ZHU, Tong. Organic Components of Personal PM 2.5 Exposure Associated with Inflammation: Evidence from an Untargeted Exposomic Approach. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 56, n. 22, p. 15930–15941, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1021/acs.est.1c02023 . Acesso em: 19 mai. 2026.

ZHANG, Qingli; DU, Xihao; LI, Huichu; JIANG, Yixuan; ZHU, Xinlei; ZHANG, Yang; NIU, Yue; LIU, Cong; JI, John; CHILLRUD, Steven N.; CAI, Jing; CHEN, Renjie; KAN, Haidong. Cardiovascular effects of traffic-related air pollution: A multi-omics analysis from a randomized, crossover trial. **Journal of Hazardous Materials**, [s. l.], v. 435, p. 129031, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2022.129031. Acesso em: 19 mai. 2026.