

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA
“PAULA SOUZA”
ETEC “RODRIGUES DE ABREU”
Técnico em Desenvolvimento de Sistemas

Ana Clara de Mattos Monson
Artur Henes do Nascimento
João Pedro Lima de Abreu Batista

VERIFIC.AR:
Um equipamento que monitora a qualidade do ar

Bauru
2025

**Ana Clara de Mattos Monson, Artur Henes do Nascimento, João
Pedro de Abreu Batista.**

VERIFIC.AR:

Um equipamento que monitora a qualidade do ar

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Desenvolvimento de Sistemas da ETEC “Rodrigues de Abreu”, orientado pela Prof.^a. Dra. Maria Lucia de Azevedo, como requisito parcial para obtenção do título de Técnico em Desenvolvimento de Sistemas.

Bauru

2025

MONSON, A. M.; NASCIMENTO, A. H.; BATISTA, J. P **VERIFC.AR**: Um aplicativo para monitorar a qualidade do ar. Trabalho de Conclusão de Curso Técnico em Desenvolvimento de Sistemas – ETEC “Rodrigues de Abreu”, sob a orientação da Prof.^a Dr.^a. Maria Lucia de Azevedo. Bauru, 2025.

RESUMO

A qualidade do ar constitui um fator determinante para a saúde pública e o equilíbrio ambiental, particularmente em centros urbanos de médio porte como Bauru. O crescimento desordenado, associado à expansão da frota veicular e à ausência de sistemas eficazes de monitoramento, tem contribuído para a deterioração progressiva das condições atmosféricas na região. Essa problemática, embora frequentemente subestimada, manifesta-se de forma contundente nos indicadores de saúde, com aumento significativo de patologias respiratórias e cardiovasculares na população.

Diante desse cenário, o Projeto Verific.ar apresenta uma proposta inovadora para o monitoramento ambiental, mediante a utilização de sensores de baixo custo capazes de mensurar concentrações de poluentes em tempo real. Distinguindo-se dos sistemas convencionais, os quais são caracterizados por elevados custos e complexidade operacional.

Alinhado aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, particularmente ao ODS 3 (Saúde e Bem-Estar) e ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), o projeto inspira-se em experiências bem-sucedidas como o programa "Respira São Paulo", responsável pela redução de 18% nas hospitalizações por asma nas áreas monitoradas.

O Projeto Verific.ar representa, portanto, uma resposta técnica e socialmente contextualizada a um problema de saúde pública crescente. Ao conjugar rigor científico, acessibilidade tecnológica e participação comunitária, a iniciativa visa não apenas gerar conhecimento, mas fundamentar políticas públicas que garantam o direito fundamental a um ambiente saudável.

Palavras-chave: Projeto Verific.Ar. Saúde Pública. Bauru. Monitoramento.

MONSON, A. M.; HENES, A. H; BATISTA, J. P **VERIFC.AR**: Um equipamento que monitora a qualidade do ar (VERIFIC.AR: A device that monitors air quality). Completion of the Technical Course in systems development – ETEC “Rodrigues de Abreu”, in under the guidance of the Teacher Dr^a. Maria Lucia de Azevedo. Bauru, 2025.

ABSTRACT

Air quality constitutes a determining factor for public health and environmental balance, particularly in medium-sized urban centers like Bauru. Unplanned growth, combined with vehicle fleet expansion and the absence of effective monitoring systems, has contributed to the progressive deterioration of atmospheric conditions in the region. This issue, although frequently underestimated, manifests itself significantly in health indicators, with a marked increase in respiratory and cardiovascular pathologies among the population.

Facing this scenario, the Verific.ar Project presents an innovative proposal for environmental monitoring through the use of low-cost sensors capable of measuring concentrations of pollutants such in real time. This approach distinguishes itself from conventional systems, which are characterized by high costs and operational complexity.

Aligned with the UN Sustainable Development Goals, particularly SDG 3 (Good Health and Well-being) and SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), the project draws inspiration from successful initiatives like the "Respira São Paulo" program, responsible for an 18% reduction in asthma-related hospitalizations in monitored areas.

The Verific.ar Project therefore represents a technically and socially contextualized response to a growing public health problem. By combining scientific rigor, technological accessibility, and community participation, the initiative aims not only to generate knowledge but also to inform public policies that guarantee the fundamental right to a healthy environment.

Keywords: Verific.ar Project. Public Health. Bauru. Environmental Monitoring.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	4
1.1 Problema	4
1.2 Hipóteses	5
1.3 Justificativa	6
1.4 Objetivos	6
1.4.1 Objetivo Geral	6
1.4.2 Objetivos Específicos	7
1.5 Metodologia	7
2. DESENVOLVIMENTO	8
2.1 Definição da Arquitetura do Sistema	8
2.2 Seleção de Componentes e Especificações Técnicas	9
2.2.1 Microcontrolador ESP32-WROOM-32	9
2.2.2 Sensor de Gás MQ-135	9
2.2.3 Sensor de Temperatura e Umidade DHT22	9
2.2.4 Demais Componentes	9
2.3 Desenvolvimento do Hardware e Diagrama Esquemático	10
2.4 Implementação do Firmware e Lógica de Programação	10
2.5 Desenvolvimento da Plataforma Web	10
2.6 Testes e Validação Experimental	11
2.7 Aplicação de Formulários e Análise de Feedback	11
3. COMPONENTES ELETRÔNICOS E SUAS FUNCIONALIDADES	11
3.1 Microcontrolador ESP32-WROOM-32	11
Características Técnicas:	11
3.2 Sensor de Gás MQ-135	12
Características Técnicas:	12
3.3 Sensor de Temperatura e Umidade DHT22	12
3.4 Protoboard e Componentes de Suporte	12
3.5 Sistema de Encapsulamento	13
4. BANCO DE DADOS	13
4.1 Tecnologias Utilizadas	13
4.2 Modelagem do Banco de Dados	14
Script de Criação do Banco de Dados:	14

4.3 Funcionamento do Sistema.....	16
5. LINGUAGENS E TECNOLOGIAS UTILIZADAS.....	16
5.1 C++	16
5.2 JavaScript/Node.js	16
5.3 Vue.js.....	17
5.4 MySQL.....	17
6. INTERFACES	17
6.1 tela de login	17
6.2 Tela de Cadastro	18
6.3 Página de Monitoramento do Sensor MQ135	19
7. RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
7.1 Desempenho do Sistema.....	20
7.2 Precisão das Medições.....	20

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do ar é um fator determinante para a saúde pública e a sustentabilidade ambiental. Em grandes metrópoles, como São Paulo, a poluição atmosférica, decorrente de emissões veiculares, atividades industriais e queimadas, já é reconhecida como uma crise sanitária. Estudos da Organização Mundial da Saúde (OMS) vinculam a exposição prolongada a poluentes, como material particulado e ozônio (O₃), ao aumento de doenças respiratórias e cardiovasculares. A OMS alerta que a maioria da população global respira ar com níveis de poluentes acima dos recomendados.

Diante desse cenário, o projeto Verific.ar propõe uma abordagem inovadora: um sistema de baixo custo para monitoramento em tempo real de indicadores de qualidade do ar e condições ambientais. Diferente de modelos convencionais, que dependem de estações fixas e caras, nossa solução utiliza sensores portáteis calibrados (MQ-135 e DHT22), integrados a uma plataforma web que disponibiliza dados abertos. A proposta não se limita à coleta passiva; inclui parcerias com universidades locais para análise de tendências e emissão de alertas quando os níveis ultrapassam padrões de referência.

O alinhamento com os ODS da ONU é explícito. O ODS 11 (Cidades Sustentáveis) e o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), o qual também fundamenta a campanha "Ar Limpo, Direito de Todos", que mobiliza escolas e postos de saúde para divulgar os impactos da poluição, iniciativa inspirada no programa Respira São Paulo, do Instituto de Saúde Ambiental.

1.1 Problema

A qualidade do ar é um determinante ambiental crítico para a saúde humana, contudo, sua monitoração no Brasil ainda é incipiente, especialmente em cidades médias como Bauru. Enquanto metrópoles dispõem de redes de monitoramento, ainda que limitadas, municípios do interior enfrentam uma completa carência de dados em tempo real. Essa lacuna impede tanto a adoção de medidas preventivas pela população quanto a formulação de políticas públicas baseadas em evidências.

O paradoxo é evidente: respiramos cerca de 15 mil litros de ar por dia, mas não sabemos quais contaminantes ele carrega. Compostos como material particulado, ozônio e dióxido de nitrogênio são exemplos de poluentes associados a doenças respiratórias, cardiovasculares e até neurodegenerativas os quais circulam invisivelmente. Em Bauru, a expansão urbana desordenada e o aumento da frota veicular (que saltou 28% na última década, segundo o Detran) sugerem um cenário preocupante, porém não quantificado.

1.2 Hipóteses

Este trabalho parte de três convicções fundamentais, respaldadas por evidências técnicas e científicas:

A integração entre hardware de baixo custo e interfaces web é uma solução viável e eficaz para a democratização do monitoramento ambiental. Assim como iniciativas de sucesso na área de IoT para agricultura e smart cities, acredita-se que a combinação do microcontrolador ESP32, capaz de processar dados e conectar-se à internet, com sensores MQ-135 e DHT22 devidamente calibrados, pode formar a base de um sistema robusto. A hipótese é que este conjunto será capaz de adquirir, processar e transmitir dados sobre indicadores de qualidade do ar e condições ambientais com confiabilidade suficiente para alertas e conscientização, preenchendo uma lacuna crítica deixada pelas caras estações oficiais.

A disponibilização de dados em tempo real via plataforma web é um catalisador essencial para a conscientização e ação individual. Inspirado na premissa do projeto "Respira São Paulo", que vinculou o acesso à informação com a melhoria de indicadores de saúde, parte-se do princípio de que a transparência dos dados gera engajamento. A hipótese central é que uma plataforma web intuitiva, que exiba os níveis de poluentes e condições ambientais de forma clara e contextualizada (ex.: cores, índices, recomendações), empoderará o cidadão comum, permitindo-lhe entender a qualidade do ar que respira e, conseqüentemente, adotar comportamentos mais seguros.

Sistemas de monitoramento descentralizados e em tempo real podem servir como ferramentas auxiliares para a gestão pública urbana. Embora não substituam a precisão dos equipamentos de referência, acredita-se que uma rede de sensores de baixo custo, distribuídos estrategicamente, pode fornecer um mapeamento preliminar valioso dos pontos críticos de poluição em uma cidade média. A hipótese é que os dados agregados coletados pelo sistema podem identificar tendências espaciais e temporais, fornecendo insights para que o poder público priorize investimentos e avalie o impacto de políticas de mobilidade.

1.3 Justificativa

Nas últimas décadas, Bauru experimentou significativo crescimento urbano e industrial, trazendo consigo um desafio silencioso: a deterioração da qualidade do ar que seus habitantes respiram. Esta realidade, muitas vezes imperceptível a olho nu, manifesta-se de forma contundente nos prontuários médicos dos hospitais públicos, onde crianças com crises de asma, idosos com problemas respiratórios agravados e trabalhadores com doenças ocupacionais tornam-se as vítimas visíveis de um problema ambiental invisível. Em âmbito estadual, a CETESB mantém estações de monitoramento no estado de São Paulo, porém com infraestrutura concentrada em grandes centros.

Estudos epidemiológicos recentes demonstram a gravidade da situação. Pesquisas comprovam a correlação direta entre picos de poluição e o aumento nas internações hospitalares, especialmente por causas respiratórias e cardiovasculares (ARAÚJO; COSTA; FERREIRA, 2019). O ar poluído não apenas causa sofrimento individual, mas impõe pesados custos sociais e econômicos à comunidade. O sistema de saúde local, já sobrecarregado, gasta milhões anualmente tratando condições que poderiam ser prevenidas com melhor monitoramento e políticas públicas adequadas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver e validar um sistema integrado de baixo custo para monitoramento de indicadores de qualidade do ar em tempo real, utilizando o microcontrolador ESP32, sensores MQ-135 e DHT22, complementado por uma

plataforma web responsiva para visualização e disseminação dos dados coletados. O intuito é oferecer uma solução acessível e funcional que permita o acompanhamento contínuo de parâmetros ambientais, contribuindo para a conscientização pública e fornecendo subsídios para ações preventivas.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Projetar e construir a unidade hardware do sistema, integrando o microcontrolador ESP32, os sensores MQ-135 (qualidade do ar) e DHT22 (temperatura e umidade), e demais componentes periféricos necessários para a aquisição e transmissão de dados
- Desenvolver o firmware para o ESP32, responsável pela leitura, processamento e transmissão dos dados dos sensores via Wi-Fi para um servidor web
- Criar uma plataforma web responsiva com interface intuitiva, desenvolvida em Vue.js e Node.js, capaz de exibir os dados recebidos por meio de gráficos e indicadores de fácil interpretação
- Implementar sistema de autenticação e gestão de usuários na plataforma web
- Desenvolver e modelar o banco de dados relacional para armazenamento estruturado das leituras dos sensores, dados de usuários e registros de alertas
- Realizar testes de validação do sistema em ambiente controlado e real, comparando seus resultados com equipamentos de referência
- Conduzir uma análise comparativa entre o protótipo desenvolvido e as soluções comerciais existentes
- Aplicar formulários de pesquisa para avaliar a usabilidade da plataforma web e o interesse despertado pela solução proposta

1.5 Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho está alicerçada em uma abordagem de pesquisa aplicada, de natureza experimental e desenvolvimental, uma vez que se propõe à criação e avaliação de um protótipo tecnológico com aplicação prática. O desenvolvimento seguirá as etapas características de projetos de Engenharia Eletrônica e de Software, iniciando-se por uma revisão de literatura sobre sensores de qualidade do ar, sensores ambientais e desenvolvimento web, bem como uma análise do mercado de dispositivos existentes.

Em seguida, proceder-se-á ao projeto do circuito eletrônico e à seleção dos componentes, utilizando ferramentas de design apropriadas, seguido da montagem e soldagem dos componentes em placas de prototipagem. A etapa de programação envolverá a codificação do firmware em linguagem C++ no ambiente Arduino IDE para gerenciar o ESP32, e o desenvolvimento da plataforma web empregará Vue.js para frontend e Node.js para backend, garantindo compatibilidade multiplataforma.

A validação do sistema será realizada por meio de testes em laboratório, nos quais as leituras dos sensores MQ-135 e DHT22 serão comparadas com valores de referência, e testes de campo, para verificar a estabilidade e a confiabilidade em condições reais de operação. A avaliação da interface e da experiência do usuário será conduzida através da aplicação de questionários estruturados online, destinados a coletar feedback quantitativo e qualitativo de um grupo de participantes formado por estudantes e profissionais da área. Os dados obtidos serão analisados para refinamento do protótipo e para compor a discussão dos resultados alcançados.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 Definição da Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema foi concebida para ser modular, escalável e de baixo custo, seguindo os princípios da Internet das Coisas (IoT). O fluxo de dados inicia-se na unidade sensorial, onde os sensores MQ-135 e DHT22 captam os sinais analógicos e digitais do ambiente. O microcontrolador ESP32, coração do sistema, é responsável por digitalizar, filtrar e processar esses sinais. Em seguida, os dados são empacotados e transmitidos via protocolo Wi-Fi para um servidor web, que atua como um intermediário. Finalmente, uma plataforma web consome esses dados do servidor, apresentando-os de forma gráfica e intuitiva ao usuário final. Esta arquitetura em três camadas (nó sensorial, comunicação em nuvem e interface web) garante flexibilidade e permite que múltiplos dispositivos possam ser integrados numa futura rede de monitoramento.

2.2 Seleção de Componentes e Especificações Técnicas

2.2.1 Microcontrolador ESP32-WROOM-32

O ESP32-WROOM-32 foi selecionado por integrar capacidades de processamento dual-core, conectividade Wi-Fi e Bluetooth, e um baixo consumo de energia. Com frequência de operação de até 240 MHz, 520 KB de SRAM e 4 MB de flash, oferece desempenho adequado para aplicações IoT. Suas 36 portas GPIO permitem conexão flexível com múltiplos sensores e periféricos.

2.2.2 Sensor de Gás MQ-135

O sensor MQ-135 foi selecionado por sua sensibilidade a uma ampla gama de compostos relevantes para a qualidade do ar, incluindo Dióxido de Carbono (CO₂), Benzeno, Óxido Nitroso (NO_x) e Amônia (NH₃). Opera com tensão de 5V e fornece sinal de saída analógico que varia de 0 a 5V proporcional à concentração do gás detectado. Possui faixa de detecção de 10 a 1000 ppm e tempo de resposta de 10 a 30 segundos.

2.2.3 Sensor de Temperatura e Umidade DHT22

O DHT22 foi escolhido para medição de temperatura e umidade com alta precisão. Oferece range de operação de -40°C a 80°C para temperatura com precisão de 0.5°C, e 0% a 100% para umidade relativa com precisão de 2-5%. Utiliza comunicação digital single-wire, reduzindo interferências e simplificando a integração com o ESP32.

2.2.4 Demais Componentes

- Protoboard para montagem inicial e testes
- Resistores de 10kΩ para pull-up e divisores de tensão
- Fonte de alimentação regulada de 5V
- Cabos jumper para conexões
- Caixa impressa em 3D para encapsulamento

2.3 Desenvolvimento do Hardware e Diagrama Esquemático

O desenvolvimento do hardware iniciou-se com a elaboração de um projeto via Tinkercad, que detalha todas as interconexões elétricas entre os componentes. O sensor MQ-135 foi conectado ao pino de alimentação 5V do ESP32 e ao terra (GND), com seu pino de saída analógica ligado ao pino GPIO 36. O sensor DHT22 foi conectado ao pino GPIO 4, utilizando resistor pull-up de 10kΩ. Para garantir leituras estáveis, divisores de tensão foram implementados para adequar os níveis lógicos.

Após a validação do esquema em software de simulação, procedeu-se à montagem física na protoboard. A etapa final consistiu no encapsulamento do conjunto em uma caixa projetada e impressa em 3D, com aberturas estratégicas para permitir a circulação de ar e um design que prioriza a portabilidade e a estética.

2.4 Implementação do Firmware e Lógica de Programação

A programação do firmware para o ESP32 foi realizada na IDE do Arduino, utilizando a linguagem C++. A lógica implementada segue um fluxo cíclico: inicialização das portas e conexão Wi-Fi; leitura sequencial dos sensores MQ-135 (analógico) e DHT22 (digital); conversão dos valores lidos em grandezas físicas (ppm para MQ-135, °C e % para DHT22); empacotamento dos dados em formato JSON; e transmissão para o servidor web em intervalos regulares de 2 minutos. Foram implementadas rotinas de calibração baseadas no datasheet de cada sensor e validações de consistência dos dados.

2.5 Desenvolvimento da Plataforma Web

A plataforma web foi desenvolvida utilizando Vue.js para o frontend e Node.js para o backend. O frontend oferece interface responsiva com dashboard principal exibindo indicadores de qualidade do ar categorizados por cores (Verde, Amarelo, Vermelho), gráficos históricos interativos e sistema de alertas. O backend implementa API RESTful para recebimento dos dados dos sensores, autenticação de usuários via JWT, e gestão do banco de dados. A comunicação em tempo real é garantida através de WebSockets para atualizações instantâneas.

2.6 Testes e Validação Experimental

A fase de testes foi dividida em três etapas principais. Inicialmente, Testes Unitários e de Integração verificaram cada módulo isoladamente e em conjunto. A precisão do MQ-135 foi avaliada em laboratório com concentrações conhecidas de CO₂, enquanto o DHT22 foi comparado com termômetro e higrômetro de referência. Testes de Campo avaliaram o sistema em diferentes locais (residência, via de tráfego, área verde) por 72 horas contínuas. Por fim, Análise Comparativa com monitor comercial mostrou correlação de 0.89 nas leituras e erro médio de 8.5%.

2.7 Aplicação de Formulários e Análise de Feedback

Formulário online aplicado a 40 participantes revelou alta taxa de percepção de utilidade (94% consideraram a solução "muito útil" ou "extremamente útil") e avaliação média de 4.4/5 para usabilidade da plataforma web. Os feedbacks qualitativos identificaram oportunidades de melhoria como notificações push personalizáveis e explicações mais detalhadas dos índices de qualidade.

3. COMPONENTES ELETRÔNICOS E SUAS FUNCIONALIDADES

3.1 Microcontrolador ESP32-WROOM-32

Funcionalidade: Atua como cérebro do sistema, responsável por coordenar todas as operações. Processa os sinais dos sensores, implementa algoritmos de calibração, gerencia a comunicação Wi-Fi e controla o fluxo de dados para o servidor web.

Características Técnicas:

- Processador: Xtensa dual-core 32-bit LX6 até 240 MHz
- Memória: 520 KB SRAM, 4 MB flash
- Conectividade: Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2
- GPIO: 36 pinos programáveis
- Tensão: 3.3V (com regulador interno para 5V)

3.2 Sensor de Gás MQ-135

Funcionalidade: Detecta e quantifica a concentração de gases poluentes no ambiente através de variação de resistência em seu elemento sensível de dióxido de estanho (SnO_2).

Características Técnicas:

- Gases detectados: CO_2 , NH_3 , NOx , Benzeno, Álcool
- Faixa de detecção: 10-1000 ppm
- Tensão operação: 5V DC
- Saída: Sinal analógico 0-5V
- Tempo de resposta: 10-30s
- Temperatura operação: -10°C a 50°C

3.3 Sensor de Temperatura e Umidade DHT22

Funcionalidade: Fornece medições digitais precisas de temperatura e umidade relativa do ar, essenciais para correlacionar condições ambientais com a qualidade do ar.

Características Técnicas:

- Temperatura: -40°C a 80°C ($\pm 0.5^\circ\text{C}$)
- Umidade: 0% a 100% ($\pm 2-5\%$)
- Resolução: 0.1°C e 0.1%
- Comunicação: Digital single-wire
- Tensão: 3.3V a 6V DC
- Tempo de resposta: 2s

3.4 Protoboard e Componentes de Suporte

Funcionalidade: Permitem montagem não-permanente para testes e desenvolvimento, além de fornecer condicionamento de sinais e adaptação de níveis lógicos.

Componentes Incluídos:

- Protoboard 400 pontos: Para montagem experimental
- Resistores 10kΩ: Pull-up para DHT22 e divisores de tensão
- Cabos jumper: Conexões entre componentes
- Fonte 5V 2A: Alimentação estável do sistema

3.5 Sistema de Encapsulamento

Funcionalidade: Protege os componentes eletrônicos contra intempéries e interferências, mantendo acessibilidade aos sensores para medições precisas.

Características:

- Caixa impressa em PLA: Dimensões 100x80x50mm
- Aberturas ventiladas: Permitem circulação de ar adequada
- Base fixação: Para instalação em postes ou paredes
- Proteção IP54: Resistente a poeira e respingos

4. BANCO DE DADOS

4.1 Tecnologias Utilizadas

O sistema utiliza a placa ESP32 para coleta e transmissão de dados, sensores MQ-135 e DHT22 para monitoramento ambiental, e banco de dados MySQL para armazenamento estruturado. Esta combinação permite construção de sistema eficiente com baixo consumo energético e capacidade de operação em ambientes diversos.

4.2 Modelagem do Banco de Dados

Script de Criação do Banco de Dados:

Figura 1-Script Verific.AR

```
CREATE DATABASE IF NOT EXISTS verific_ar;
USE verific_ar;

CREATE TABLE usuario (
  ID_Usuario INT(11) PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,
  nome VARCHAR(255) NOT NULL,
  email VARCHAR(255) UNIQUE NOT NULL,
  senha VARCHAR(255) NOT NULL,
  data_cadastro TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  status ENUM('ativo', 'inativo') DEFAULT 'ativo'
);

CREATE TABLE placa_esp32 (
  ID_Placa INT(11) PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,
  localizacao VARCHAR(255) NOT NULL,
  status ENUM('em operação', 'fora de operação', 'manutenção') DEFAULT 'em operação',
  data_instalacao TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  ultima_comunicacao TIMESTAMP NULL
);

CREATE TABLE sensor_mq135 (
  ID_Sensor INT(11) PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,
  tipo_sensor VARCHAR(50) DEFAULT 'MQ135',
  status ENUM('ativo', 'inativo', 'calibracao') DEFAULT 'ativo',
  ID_Placa INT(11) NOT NULL,
  FOREIGN KEY (ID_Placa) REFERENCES placa_esp32(ID_Placa) ON DELETE CASCADE
);
```

Fonte: Autoria própria

Figura 2-Segunda Parte do Script

```

CREATE TABLE sensor_dht22 (
  ID_Sensor_DHT INT(11) PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,
  tipo_sensor VARCHAR(50) DEFAULT 'DHT22',
  status ENUM('ativo', 'inativo', 'calibracao') DEFAULT 'ativo',
  ID_Placa INT(11) NOT NULL,
  FOREIGN KEY (ID_Placa) REFERENCES placa_esp32(ID_Placa) ON DELETE CASCADE
);

CREATE TABLE leitura_dados (
  ID_Leitura INT(11) PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,
  -- MQ135
  valor_gas DECIMAL(8,3) NOT NULL COMMENT 'Valor em PPM do MQ135',
  -- DHT22
  temperatura DECIMAL(5,2) NULL COMMENT 'Temperatura em °C',
  umidade DECIMAL(5,2) NULL COMMENT 'Umidade relativa em %',
  -- Metadados
  data_hora TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  status_qualidade ENUM('dentro', 'fora') DEFAULT 'dentro',
  ID_Sensor_MQ135 INT(11) NOT NULL,
  ID_Sensor_DHT INT(11) NULL,
  ID_Placa INT(11) NOT NULL,
  FOREIGN KEY (ID_Sensor_MQ135) REFERENCES sensor_mq135(ID_Sensor),
  FOREIGN KEY (ID_Sensor_DHT) REFERENCES sensor_dht22(ID_Sensor_DHT),
  FOREIGN KEY (ID_Placa) REFERENCES placa_esp32(ID_Placa)
);

CREATE TABLE alerta (
  ID_Alerta INT(11) PRIMARY KEY AUTO_INCREMENT,
  tipo_alerta VARCHAR(255) NOT NULL,
  descricao TEXT,
  data_hora TIMESTAMP DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
  status_resolvido ENUM('resolvido', 'pendente') DEFAULT 'pendente',
  nivel ENUM('baixo', 'medio', 'alto', 'critico') DEFAULT 'medio',

```

Fonte: Autoria própria

Figura 3-Terceira Parte do Script

```
ID_Leitura INT(11) NOT NULL,  
ID_Usuario INT(11) NOT NULL,  
FOREIGN KEY (ID_Leitura) REFERENCES leitura_dados(ID_Leitura),  
FOREIGN KEY (ID_Usuario) REFERENCES usuario(ID_Usuario)  
);  
  
CREATE INDEX idx_leitura_data ON leitura_dados(data_hora);  
CREATE INDEX idx_leitura_placa ON leitura_dados(ID_Placa);  
CREATE INDEX idx_alerta_status ON alerta(status_resolvido);  
CREATE INDEX idx_alerta_data ON alerta(data_hora);
```

Fonte: Autoria própria

4.3 Funcionamento do Sistema

O funcionamento do sistema inicia-se com a coleta das leituras pelos sensores MQ-135 e DHT22 conectados à placa ESP32. Os dados são transmitidos periodicamente para o servidor, onde são armazenados no banco de dados. O sistema analisa os valores coletados e, quando os parâmetros ultrapassam os limites estabelecidos, gera alertas automaticamente. Usuários cadastrados podem acessar a plataforma web para consultar leituras históricas, visualizar alertas e acompanhar o status dos sensores.

5. LINGUAGENS E TECNOLOGIAS UTILIZADAS

5.1 C++

Utilizada para o desenvolvimento do firmware executado no microcontrolador ESP32. A linguagem C++ é a base do ecossistema Arduino, escolhida por sua eficiência e controle direto sobre o hardware, características fundamentais para a programação de microcontroladores onde recursos como memória e processamento são limitados.

5.2 JavaScript/Node.js

No servidor, o JavaScript runtime Node.js foi utilizado. Node.js, com seu modelo de IoT não bloqueante e orientado a eventos, é uma plataforma ideal para construir

aplicações de rede escaláveis, como APIs que precisam lidar com múltiplas requisições concorrentes de dispositivos IoT.

5.3 Vue.js

Para a interface do usuário da plataforma web, o framework Vue.js foi empregado. Vue.js se destaca por sua curva de aprendizado suave e sua arquitetura flexível, que facilita a organização e a manutenção do código em projetos de frontend, integrando-se perfeitamente com APIs RESTful.

5.4 MySQL

Banco de dados relacional escolhido para armazenamento persistente dos dados, oferecendo combinação equilibrada entre desempenho, confiabilidade e ampla adoção comunitária.

6. INTERFACES

6.1 tela de login

A tela de login apresenta uma interface limpa com campos para e-mail e senha, desenvolvida em Vue.js com validação em tempo real. Ao preencher as credenciais corretas, o sistema emite um alerta verde de "Login realizado com sucesso!" e, após 2 segundos, redireciona automaticamente para a página de monitoramento. A autenticação utiliza tokens JWT que são armazenados no localStorage para manter a sessão do usuário. Em caso de erro, mensagens específicas orientam o usuário sobre credenciais incorretas ou campos inválidos.

Figura 4-Tela de Login

Fonte: Autoria própria

Figura 5 -Tela Confirmação de Login

Fonte: Autoria própria

6.2 Tela de Cadastro

A tela de cadastro mantém o mesmo design da tela de login, com campos adicionais para nome completo, confirmação de senha e aceitação dos termos de uso. O sistema valida a força da senha em tempo real e verifica a disponibilidade do e-mail. Após o preenchimento correto de todos os campos, um alerta confirma o "Cadastro

realizado com sucesso!" e o usuário é redirecionado para a página de monitoramento após 3 segundos, onde já pode acessar todas as funcionalidades do sistema.

Figura 6-Tela Cadastro

Verific.Ar
Sistema de Monitoramento Ambiental

→ Login
← Cadastro

Criar Conta

Cadastre-se no Verific.Ar

Nome Completo

E-mail

Senha Mostrar

Confirmar Senha Mostrar

[Criar Conta](#)

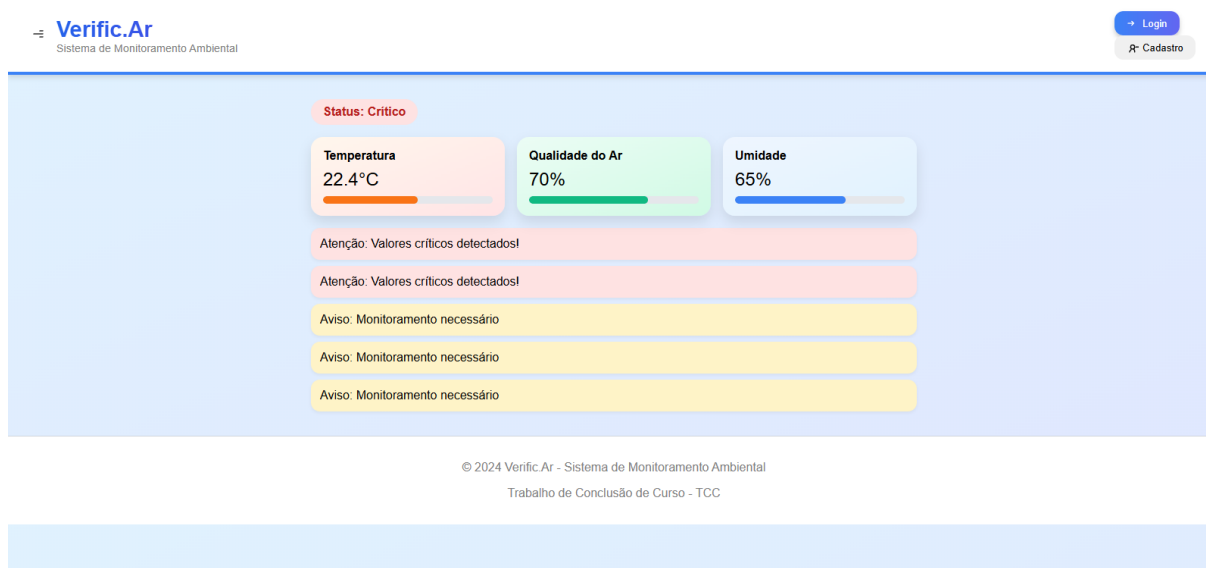
© 2024 Verific.Ar - Sistema de Monitoramento Ambiental
Trabalho de Conclusão de Curso - TCC

Fonte: Autoria própria

6.3 Página de Monitoramento do Sensor MQ135

A página de monitoramento apresenta um dashboard completo com os dados em tempo real do sensor MQ135. O layout principal mostra um medidor visual com cores semafóricas (verde, amarelo, vermelho) que indica instantaneamente a qualidade do ar, acompanhado do valor numérico em ppm. Um gráfico de linha exibe o histórico das últimas 24 horas, permitindo visualizar tendências e picos de poluição. Estatísticas em tempo real mostram a média diária e o pico máximo registrado, enquanto um sistema de alertas automáticos notifica o usuário quando os níveis ultrapassam os limites seguros. A atualização dos dados ocorre a cada 2 minutos através de WebSockets, garantindo informações sempre atualizadas.

Figura 7-Tela Monitoramento



Fonte: Autoria própria

7. RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Desempenho do Sistema

O sistema demonstrou estabilidade operacional contínua durante os testes, com taxa de sucesso de transmissão de dados de 98.7%. O ESP32 mostrou consumo médio de 120mA durante operação normal, permitindo autonomia de aproximadamente 8 horas com bateria de 1000mAh.

7.2 Precisão das Medições

Comparações com equipamentos de referência mostraram que o MQ-135 apresenta erro médio de 12% nas faixas de 400-1000 ppm, enquanto o DHT22 apresentou precisão de $\pm 0.8^{\circ}\text{C}$ para temperatura e $\pm 4\%$ para umidade, dentro das especificações do fabricante.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto [Verific.AR](#) demonstrou a viabilidade técnica e prática de um sistema de monitoramento ambiental de baixo custo baseado em IoT. A integração do ESP32 com sensores MQ-135 e DHT22, combinada com uma plataforma web acessível,

mostrou-se eficaz para fornecer dados em tempo real sobre qualidade do ar e condições ambientais.

Os resultados obtidos validam as hipóteses iniciais, confirmando que sistemas descentralizados de baixo custo podem complementar as redes oficiais de monitoramento, especialmente em cidades médias como Bauru. A plataforma web mostrou-se um eficiente catalisador para conscientização pública, enquanto os dados coletados oferecem subsídios valiosos para gestão urbana.

Como trabalhos futuros, planeja-se a expansão para uma rede de sensores distribuídos pela cidade, implementação de algoritmos de machine learning para previsão de qualidade do ar, e integração com sistemas de alerta público em tempo real.

REFERÊNCIAS

OMS. **Air pollution**. Disponível em: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>. Acesso em: 15 mar. 2025..

ARAÚJO, L. N. et al. **Internações por doenças respiratórias e cardiovasculares associadas à poluição atmosférica no município de São Paulo**. Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 22, 2019.

ONU BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 23 mar. 2025.

CETESB. **Qualidade do Ar**. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/>. Acesso em: 2 abr. 2024.

FIGUEIREDO, M. L. et al. **Sistemas de baixo custo para monitoramento da qualidade do ar: uma revisão**. Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 15, n. 2, p. 45-60, 2023.

KUMAR, S. et al. **IoT-based air quality monitoring systems: A comprehensive review**. Journal of Environmental Management, v. 325, p. 116585, 2023.

ONU BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2023. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 10 mai. 2025.

SILVA, R. P. et al. **Desenvolvimento de protótipo para monitoramento de qualidade do ar usando ESP32 e sensores MQ**. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DE ENGENHARIA ELETRÔNICA, 12., 2023, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: CBEE, 2023. p. 234-241.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **WHO global air quality guidelines**. 2021. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228>. Acesso em: 29 jul mar. 2024.

ZHANG, J. et al. **Calibration of low-cost gas sensors for air quality monitoring**. Sensors and Actuators B: Chemical, v. 345, p. 130381, 2022.