

# MONITORAMENTO REMOTO DE TEMPERATURA EM MOTORES VEICULARES COM IOT APLICADA À PLACA BITDOGLAB

Hirislayne Batista Ramos dos Santos<sup>1</sup>. Danúbia Soares Pires<sup>2</sup>. Orlando Donato Rocha Filho<sup>3</sup>. Irani de Oliveira Silva<sup>4</sup>. Kesia Laís dos Santos Souza<sup>5</sup>. Joanne Bruna da Silva Santos<sup>6</sup>. Renato da Fonseca Oliveira<sup>7</sup>. Thiago Barreto da Costa<sup>8</sup>. Wilson Roberto Miranda Campos<sup>9</sup>. Diego da Silva Campos Nascimento<sup>10</sup>.

## Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de sistema embarcado para o monitoramento da temperatura em motores veiculares, visando suprir a ausência de informações em veículos populares e antigos. Em primeira instância, foi realizada uma coletânea de pesquisas científicas já desenvolvidas e relacionadas ao monitoramento veicular e sistemas embarcados, a fim de se obter uma base conceitual e maior compreensão do tema proposto. Adicionalmente, abordou-se a pesquisa no contexto geral, apresentando os principais conceitos referentes a sistemas embarcados, Internet das Coisas (IoT), protocolos de comunicação sem fio e manutenção preditiva aplicada ao setor automotivo. Com isso, foi definido o uso do microcontrolador Raspberry Pi Pico W integrado à placa BitDogLab e do sensor digital AHT10 para leitura térmica contínua. A estrutura da metodologia de implementação envolveu a coleta de dados de temperatura, transmissão via protocolo MQTT e visualização remota em Node-RED. Por

---

<sup>1</sup> Residente da EmbarcaTech pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Monte Castelo. E-mail: [hirislaynebatista5@gmail.com](mailto:hirislaynebatista5@gmail.com)

<sup>2</sup> Profa. Dra. em Automação e Controle pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). E-mail: [danubiapires@ifma.edu.br](mailto:danubiapires@ifma.edu.br)

<sup>3</sup> Prof. Dr. em Automação e Controle pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). E-mail: [orlando.rocha@ifma.edu.br](mailto:orlando.rocha@ifma.edu.br)

<sup>4</sup> Residente da EmbarcaTech pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Monte Castelo. E-mail: [iraniosilva@gmail.com](mailto:iraniosilva@gmail.com)

<sup>5</sup> Residente da EmbarcaTech pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Monte Castelo. E-mail: [kesialaissouza@gmail.com](mailto:kesialaissouza@gmail.com)

<sup>6</sup> Residente da EmbarcaTech pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Monte Castelo. E-mail: [brunajoanne@gmail.com](mailto:brunajoanne@gmail.com)

<sup>7</sup> Residente da EmbarcaTech pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Monte Castelo. E-mail: [renatodaoliveira@gmail.com](mailto:renatodaoliveira@gmail.com)

<sup>8</sup> Residente da EmbarcaTech pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Monte Castelo. E-mail: [thiagobarretodacosta@gmail.com](mailto:thiagobarretodacosta@gmail.com)

<sup>9</sup> Residente da EmbarcaTech pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Monte Castelo. E-mail: [wilsonrnc9@gmail.com](mailto:wilsonrnc9@gmail.com)

<sup>10</sup> Residente da EmbarcaTech pelo Instituto Federal do Maranhão (IFMA) - Monte Castelo. E-mail: [diegocamposrj@gmail.com](mailto:diegocamposrj@gmail.com)

fim, a apresentação dos testes e resultados demonstraram a viabilidade da proposta como alternativa de baixo custo e fácil implementação, com contribuição direta para o acompanhamento em tempo real da temperatura de motores, prevenindo falhas por superaquecimento, aumentando sua vida útil e promovendo maior segurança operacional.

**Palavras-chave:** Sistemas embarcados; IoT; MQTT; Motores veiculares; Monitoramento térmico.

**Financiamento:** Este trabalho contou com o apoio do Programa de Residência Profissional em Sistemas Embarcados – EmbarcaTech, desenvolvido pelo IFMA em parceria com a Associação para Promoção da Excelência do Software Brasileiro (SOFTEX).

## 1 Introdução

O avanço tecnológico tem promovido transformações significativas na indústria automotiva, impulsionando a integração entre veículos e sistemas digitais. Nos modelos mais modernos, interfaces sofisticadas já permitem ao condutor acessar dados como temperatura, consumo de combustível e indicadores de falhas, entretanto, tais informações são muitas vezes restritas à Unidade de Controle Eletrônico (ECU) e exibidas de forma limitada no painel. Em veículos antigos, por sua vez, a ausência de sensores embarcados e de conectividade digital representa um desafio ainda maior, limitando o acompanhamento das condições operacionais e comprometendo a adoção de práticas de manutenção preventiva.

O monitoramento da temperatura do motor é um parâmetro crítico nesse contexto, uma vez que o superaquecimento figura entre as principais causas de falhas veiculares, podendo gerar desde desgastes acelerados e danos irreversíveis até riscos de incêndio e panes em trânsito (EVORALUB, 2022). Segundo (MORAD, 2014), motores a combustão interna operam tipicamente entre 90 °C e 115 °C, e temperaturas acima desse intervalo indicam condições anômalas que podem levar a falhas severas. Já motores elétricos, conforme (PREVIATI, 2022), operam em torno de 60 °C, reforçando a importância de sistemas de monitoramento capazes de detectar desvios térmicos e acionar medidas corretivas. Apesar dessa relevância, as soluções disponíveis no mercado são geralmente direcionadas a veículos modernos, apresentam custos elevados ou

requerem infraestrutura eletrônica avançada que inviabilizam sua adoção em veículos populares ou mais antigos (TUROTEST, 2023).

Grandes indústrias já utilizam sensores IoT avançados para monitorar variáveis como temperatura e vibração em motores de grande porte, adotando plataformas como AWS IoT e Azure IoT para manutenção preditiva (TRACTIAN, 2023). Embora eficazes, essas soluções são direcionadas ao setor industrial e dependem de sensores especializados e infraestrutura robusta. Este projeto, por sua vez, adapta tal abordagem ao contexto automotivo, propondo uma solução compacta, de baixo custo e facilmente aplicável em veículos, com potencial de expansão futura também para aplicações industriais.

Diante dessa lacuna, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias acessíveis e adaptáveis que possibilitem ao condutor maior controle sobre as condições térmicas do motor. Nesse sentido, este trabalho propõe um protótipo baseado em hardware de baixo custo e software aberto, utilizando o microcontrolador Raspberry Pi Pico W integrado à placa BitDogLab e ao sensor digital AHT10 para leituras contínuas de temperatura. A comunicação entre dispositivos é realizada via protocolo MQTT, garantindo leveza e escalabilidade, com exibição de alertas local via LEDs e display OLED e monitoramento remoto pela plataforma Node-RED, que permite também notificações ao condutor em tempo real por e-mail e WhatsApp.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um sistema embarcado de monitoramento térmico veicular em tempo real, que auxilie na prevenção de falhas por superaquecimento e contribua para a manutenção preventiva. Como objetivos específicos, destacam-se: i) realizar a prototipagem de um sistema de leitura contínua de temperatura em tempo real; ii) classificar os níveis de risco térmico e emitir alertas locais e remotos; iii) disponibilizar uma interface de visualização e armazenamento de dados em Node-RED; e iv) validar a solução como alternativa viável e aplicável em veículos antigos ou de baixo custo por meio de testes em laboratório.

## **2 Metodologia**

A metodologia adotada neste projeto foi estruturada em três etapas principais: (1) definição da arquitetura de hardware e seleção de componentes; (2) desenvolvimento do firmware em linguagem C utilizando o SDK da Raspberry Pi Pico; e (3) implementação da visualização remota e notificações via Node-RED. O sistema foi validado em bancada, com testes de leitura térmica, classificação de estados e comunicação MQTT.

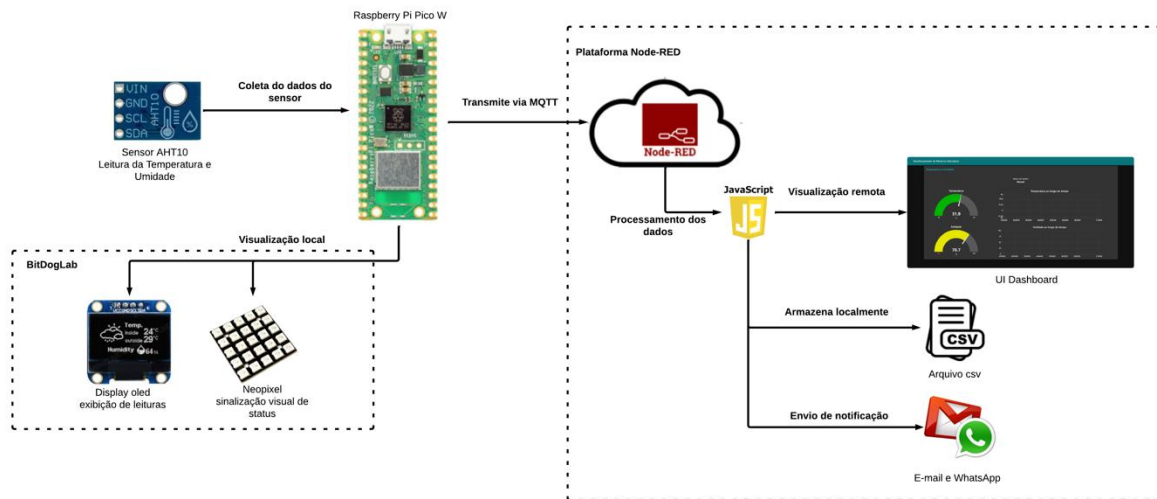
## 2.1. Hardware e arquitetura do sistema

O sistema foi construído com base na placa BitDogLab, que integra o microcontrolador Raspberry Pi Pico W e diversos periféricos embarcados, como display OLED, matriz de LEDs NeoPixel, LED RGB e interfaces de comunicação. O sensor AHT10 foi conectado via barramento I<sup>2</sup>C para leitura contínua de temperatura e umidade. A arquitetura do sistema, ilustrada na Figura 1, inclui:

- Microcontrolador Raspberry Pi Pico W (RP2040): processamento dual-core, conectividade Wi-Fi integrada;
- Sensor AHT10: leitura digital de temperatura (-40°C a +85°C) com precisão de  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$ ;
- Display OLED SSD1306: exibição local de temperatura e status do motor;
- Matriz de LEDs WS2812B (NeoPixel): indicação visual de estado térmico (verde: normal, amarelo: moderado, vermelho: crítico);
- LED RGB: indicação do status de conexão MQTT;
- Protocolo MQTT: comunicação com servidor local para transmissão de dados.

Todos os componentes utilizados no projeto, com exceção do sensor AHT10, estão integrados à placa BitDogLab.

Figura 1: Diagrama da Arquitetura do sistema.



Fonte: Próprio Autor, LucidChart (2025).

A pinagem dos componentes seguiu o padrão da BitDogLab, conforme Tabela 1, utilizando GPIOs específicos para I<sup>2</sup>C, NeoPixel e controle de LEDs.

Tabela 1 - Descrição da função de cada componente.

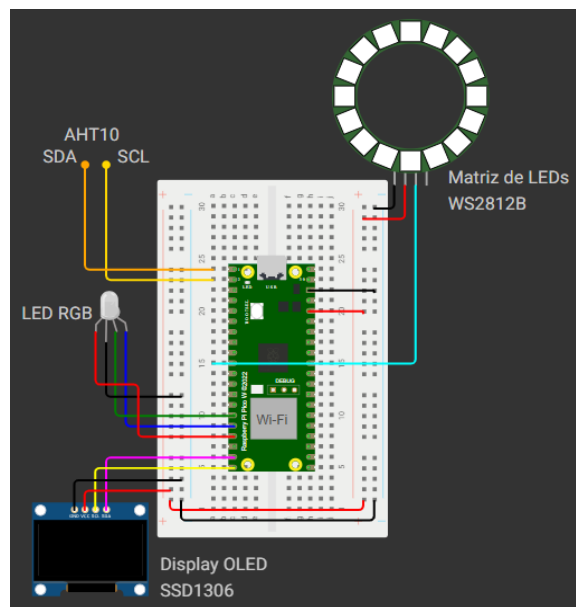
Componente	Terminal - GPIO
------------	-----------------

<b>Sensor de Temperatura AHT10</b>	Interface I <sup>2</sup> C 0 SDA: GPIO 0 (I2C_SDA_PIN), SCL: GPIO 1 (I2C_SCL_PIN).
<b>Display OLED SSD1306 (integrado à BitDogLab)</b>	Interface I <sup>2</sup> C 1 SDA: GPIO 14 (SDA_PIN), SCL: GPIO 15 (SCL_PIN).
<b>LED RGB (integrado à BitDogLab)</b>	Vermelho: GPIO 12 (LED_R), Verde: GPIO 11 (LED_G), Azul: GPIO 13 (LED_B).
<b>Matriz de LEDs WS2812B (NeoPixels)</b>	GPIO 7 (NEOPIXEL_PIN)

Fonte: Próprio Autor (2025).

O esquema de ligação dos componentes do projeto, para melhor visualização da montagem, é apresentado na Figura 2.

Figura 2: Esquema de ligação dos componentes do sistema.



Fonte: Próprio Autor, Wokwi (2025).

## 2.2. Firmware

O firmware foi desenvolvido em linguagem C utilizando o Pico SDK, com suporte a CMake e Ninja para compilação. A estrutura do código foi organizada de forma modular para gerenciar a inicialização dos periféricos, incluindo os

barramentos I<sup>2</sup>C (I2C0 para o AHT10 e I2C1 para o OLED) e a conexão Wi-Fi. A rotina principal realiza a leitura periódica do sensor a cada 5 segundos, uma tarefa condicionada a uma conexão ativa com o broker MQTT para otimizar o uso de recursos e energia. Com base nos dados coletados, o sistema classifica a temperatura em três níveis de teste — Normal ( $\leq 32^{\circ}\text{C}$ ), Moderado ( $32^{\circ}\text{C} < \text{temperatura} \leq 33^{\circ}\text{C}$ ) e Crítico ( $> 33^{\circ}\text{C}$ ) — e atualiza a sinalização local no display OLED e na matriz de NeoPixels. Por fim, os dados são publicados no tópico *pico/leitura/sensor/aht10* em formato JSON.

Para garantir a responsividade e o desempenho, a arquitetura do firmware explora os dois núcleos do microcontrolador (multicore), dedicando o núcleo 0 às tarefas de controle local (sensores e displays) e o núcleo 1 à gestão da conectividade de rede (Wi-Fi e MQTT). A comunicação segura entre os núcleos é feita por meio de filas FIFO. Adicionalmente, o controle da matriz de LEDs NeoPixel foi implementado via PIO (Programmable I/O), um recurso de hardware do RP2040 que permite a geração de sinais com temporização precisa sem sobrecarregar os núcleos principais do processador.

### 2.3. Visualização e notificação com Node-RED

A plataforma Node-RED, configurada em um servidor local, atua como a interface de backend e visualização remota. O fluxo de dados inicia com um nó *subscriber* MQTT que recebe as informações do microcontrolador. Em seguida, nós de função (*Function*), contendo código em *JavaScript*, são utilizados para processar o payload *JSON*, formatar os dados e extrair as variáveis de interesse. Essas informações são então direcionadas para três saídas principais:

1. Um dashboard web, com gráficos de linha e do tipo medidor (*gauge*) para acompanhamento em tempo real;
2. Um arquivo no formato CSV para armazenamento do histórico de leituras com *timestamp*;
3. Um sistema de notificações automáticas, que utiliza um nó de filtro para disparar alertas por e-mail e WhatsApp sempre que a temperatura atinge o nível crítico ( $> 33^{\circ}\text{C}$ ), reforçando o caráter preventivo da solução.

### 2.4. Validação

A validação do sistema foi realizada em ambiente de laboratório para verificar a funcionalidade de ponta a ponta do protótipo. Os testes envolveram a verificação da leitura contínua do sensor AHT10, a simulação de eventos de superaquecimento através da publicação manual de valores críticos via MQTT, a confirmação da resposta dos alertas locais (OLED e NeoPixel) e remotos (e-mail e WhatsApp), e a validação do armazenamento de dados em CSV. Essa abordagem permitiu confirmar a robustez e a replicabilidade da solução, validando todos os objetivos específicos definidos para o projeto.

### **3 Resultados e Discussão**

O sistema embarcado foi testado em ambiente laboratorial, validando suas funcionalidades principais, como a aquisição de temperatura, o processamento local das leituras, a sinalização visual dos estados operacionais e a transmissão dos dados via protocolo MQTT para um servidor remoto.

O sensor AHT10 apresentou desempenho satisfatório na coleta dos dados de temperatura, com bom tempo de resposta e comunicação estável via P2C. A precisão da leitura, combinada com a simplicidade de integração ao Raspberry Pi Pico W, garantiu confiabilidade na amostragem dos dados. Outro ponto de destaque foi a utilização da plataforma BitDogLab, que facilitou o desenvolvimento e a prototipação por integrar diversos periféricos necessários para o projeto, sendo estes o Neopixel, o display OLED e o LED RGB. Conforme a Figura 3, observa-se a indicação do estado crítico no hardware, reforçando a sinalização local ao operador, confirmando, o funcionamento da lógica de controle implementada no firmware.

Figura 3: Estado visual local por LEDs e display OLED.



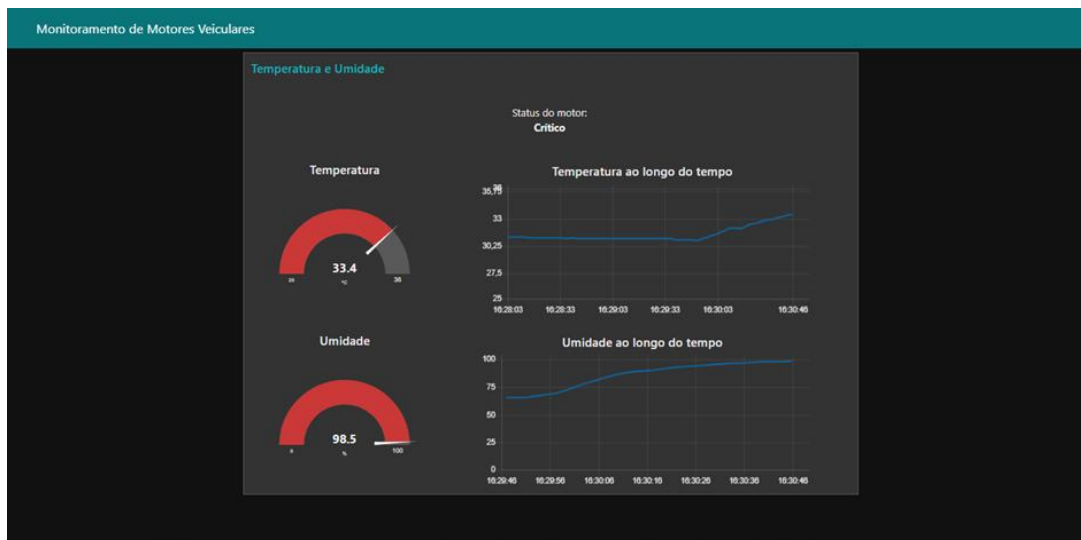
Fonte: Próprio Autor (2025).

A matriz de LEDs RGB WS2812B, indicou três faixas de temperatura (verde para indicar o status térmico normal, amarelo para alerta e vermelho para crítico), permitindo uma visualização imediata e intuitiva do sistema. Este recurso mostrou-se eficaz como mecanismo de alerta local, principalmente para situações em que o monitoramento remoto via dashboard não esteja disponível.

A integração com o protocolo MQTT permitiu o envio contínuo dos dados para o Node-RED. O painel de visualização exibe os dados de temperatura e umidade, com gráficos do tipo gauge e linha. O sistema foi capaz de classificar corretamente os estados térmicos do motor e, ao atingir a faixa crítica de teste ( $>33\text{ °C}$ ), gerou notificações automáticas via e-mail, alertando o usuário sobre a condição de risco. Essa funcionalidade demonstra a eficácia da abordagem preditiva adotada, uma vez que permite uma intervenção antes que ocorra o superaquecimento.

Para verificar o funcionamento prático do sistema, foram realizados testes simulando diferentes valores de temperatura crítica publicadas manualmente via MQTT, com acompanhamento da resposta do dashboard e do envio de notificações. A Figura 4 ilustra os resultados de monitoramento obtidos.

Figura 4: Dashboard no Node-RED de monitoramento com exibição da temperatura crítica.



Fonte: Próprio Autor (2025).

## 4 Conclusão

O presente trabalho busca responder a uma necessidade prática e cotidiana de muitos condutores: o monitoramento eficiente e acessível da saúde térmica do motor, uma medida crucial para a segurança e longevidade veicular. Identifica-se uma lacuna notável, especialmente em veículos mais antigos ou populares, onde a ausência de sistemas de monitoramento avançados limita a adoção de práticas de manutenção preventiva e expõe os proprietários a riscos de falhas graves por superaquecimento.

Em resposta a esse desafio, o protótipo desenvolvido — baseado no microcontrolador Raspberry Pi Pico W, placa BitDogLab e sensor AHT10 — cumpre integralmente seus objetivos. O sistema realiza a leitura contínua de temperatura em tempo real, estrutura um mecanismo eficaz de classificação de risco e emite alertas tanto localmente (LEDs e display OLED) quanto remotamente, por meio da plataforma Node-RED com notificações via e-mail e WhatsApp. A interface de visualização e armazenamento de dados no Node-RED oferece ao condutor uma ferramenta intuitiva e prática para o acompanhamento do histórico e das condições operacionais do veículo.

Ao adotar hardware de baixo custo e software aberto, o projeto demonstra que a segurança e a tecnologia de monitoramento de ponta não precisam se restringir a veículos de luxo ou modelos recentes. A solução se estabelece como alternativa viável e democrática, devolvendo ao proprietário de um veículo antigo ou de baixo custo o controle sobre uma informação crítica que pode significar a prevenção de acidentes, a economia com reparos onerosos e, fundamentalmente, a tranquilidade em suas viagens.

O sistema proposto é mais do que um conjunto de componentes eletrônicos: é uma ferramenta que empodera o condutor e contribui ativamente para a cultura da manutenção preditiva, estendendo a vida útil de um bem muitas vezes essencial para o trabalho e a mobilidade familiar.

Como trabalhos futuros, propõe-se a integração de técnicas de machine learning para a detecção de padrões anômalos mais sutis e a inclusão de outros sensores críticos, como o nível de óleo e a pressão do sistema de arrefecimento, consolidando ainda mais o papel do protótipo como um assistente veicular completo e acessível.

### **Agradecimentos**

Agradecemos ao Instituto Federal do Maranhão (IFMA), por meio do Programa de Residência Profissional em Sistemas Embarcados – EmbarcaTech, pela oportunidade de capacitação e desenvolvimento deste trabalho, e à Associação para Promoção da Excelência do Software Brasileiro (SOFTEX) pelo apoio institucional e financeiro que viabilizaram a execução do projeto.

### **Referências**

- [1] EVORALUB. **Superaquecimento no motor: causas, consequências e como evitar**. 2022. Disponível em: <https://evoralub.com.br/blog/superaquecimento-no-motor-causas-consequencias-e-como-evitar>. Acesso em: 10 jul. 2025.
- [2] MORAD, Mukhtar M. A., ALRAJHI, Jasem. **The Effect of High Temperature on Engine Performance in Kuwait Conditions**. Journal of Mechanical Engineering and Automation, Vol. 4 No. 2, 2014, pp. 55-62. doi: 10.5923/j.jmea.20140402.02.
- [3] PREVIATI, G.; MASTINU, G.; GOBBI, M. **Thermal Management of Electrified Vehicles—A Review**. Energies 2022, 15, 1326. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en15041326>. Acesso em: 08 jul. 2025.
- [4] TRACTIAN. **Monitoramento de Temperatura Inteligente com Controle Automático de Sazonalidade**. Disponível em: <https://tractian.com/blog/monitoramento-de-temperatura-inteligente-com-controle-automatico-de-sazonalidade>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- [5] TUROTEST. **Sensor de Temperatura - Turotest**. Disponível em: <https://turotest.com.br/sensor-de-temperatura/>. Acesso em: 15 jul. 2025.