

**UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ-REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CÂMPUS DE ERECHIM
ÁREA DE ENGENHARIAS E CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

JOSUÉ VITOR PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA E SUPERVISÓRIO
APLICADO AO PROJETO URI RALLY CAR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ERECHIM - RS
2025**

JOSUÉ VITOR PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA E SUPERVISÓRIO
APLICADO AO PROJETO URI RALLY CAR**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica, Área de
Engenharias e Ciência da Computação da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.**

Orientador: Prof. Cássio Luciano Baratieri

**ERECHIM - RS
2025**

JOSUÉ VITOR PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE TELEMETRIA E SUPERVISÓRIO
APLICADO AO PROJETO URI RALLY CAR**

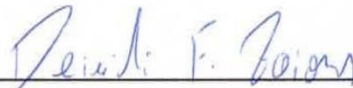
**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Elétrica como
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Elétrica, Área de
Engenharias e Ciência da Computação da
Universidade Regional Integrada do Alto
Uruguai e das Missões – Campus de Erechim.**

Erechim, 05 de dezembro de 2025.

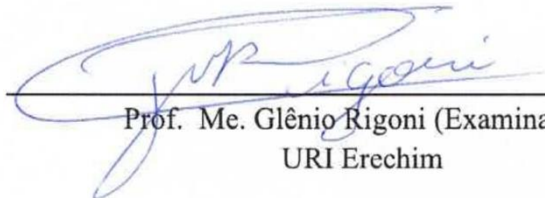
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri (Orientador)
URI Erechim



Prof. Me. Deividi Felipe Zaions (Examinador)
URI Erechim



Prof. Me. Glênio Rigoni (Examinador)
URI Erechim

Seja quem você for, seja qualquer posição que você tenha na vida, do nível altíssimo ao mais baixo social, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.

(Ayrton Senna da Silva)

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus e a minha família, que sempre estiveram ao meu lado me protegendo e cuidando de mim, agradecer aos meus pais, Luiz Antônio Padilha e Maria Neusa Padilha que sempre me deram forças a continuar seguindo em frente e nunca desistir dos meus sonhos, a minha namorada Gabriela Portela Sperotto pelo carinho, amor e companheirismo, me motivando a não desistir e a enfrentar todas as dificuldades, ao meu irmão Audyeres Marlon Padilha que esteve ao meu lado me orientando sobre a vida e compartilhando suas experiências comigo.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Cássio Luciano Baratieri pelos conhecimentos compartilhados, pelo apoio constante durante o desenvolvimento deste Trabalho de Conclusão de Curso, proporcionando um direcionamento seguro em cada etapa deste projeto. Agradecer também ao Prof. Me. Oséias Matias De Oliveira Esmelindro que acreditou no meu potencial e me deixou fazer parte da equipe Uri Rally Car e agradecer também a todos os integrantes do projeto. Estendo meus agradecimentos aos demais professores do curso, que contribuíram de forma significativa para minha formação acadêmica e profissional.

Gostaria de agradecer também a Marciele Schwanke pelo auxílio nas atividades laboratoriais e a todos os demais colegas e amigos que tornaram essa trajetória mais tranquila por meio da parceria, apoio e convivência diária fazendo com que o caminho ficasse mais leve e enriquecedor.

RESUMO

A crescente demanda por soluções inteligentes de monitoramento automotivo tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas embarcados capazes de coletar, transmitir e interpretar dados em tempo real, especialmente em veículos de competição, onde a confiabilidade operacional é determinante para o desempenho e a segurança. Nesse contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema de telemetria veicular aplicado ao URI Rally Car, protótipo *off-road* (fora da estrada) construído por acadêmicos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI). A relevância científica deste estudo está na implementação de uma solução de baixo custo e alta acessibilidade, contribuindo para o avanço de tecnologias aplicadas ao setor acadêmico e esportivo, além de fomentar pesquisas na área de eletrônica embarcada. O sistema desenvolvido possibilita o monitoramento em tempo real de variáveis críticas do motor, como temperatura e pressão do óleo, utilizando sensores automotivos integrados a um microcontrolador ESP32. A comunicação com o usuário ocorre via Bluetooth, por meio de um aplicativo criado no MIT App Inventor, que apresenta os dados em uma Interface Homem-Máquina (IHM) intuitiva e incorpora alertas visuais para situações de risco. A validação da solução incluiu simulações na plataforma Wokwi e testes práticos em bancada, os quais demonstraram viabilidade técnica e estabilidade na leitura e transmissão das informações. Contudo, foi realizada a adaptação física dos sensores ao protótipo, a montagem definitiva da placa eletrônica e a integração do sistema a plataformas web para análise remota dos dados. O sistema de telemetria desenvolvido apresentou desempenho satisfatório durante os testes, realizando a coleta contínua das variáveis de temperatura e pressão e transmitindo-as de forma estável ao aplicativo móvel via Bluetooth. Os sensores demonstraram boa precisão, e o ESP32 respondeu de maneira consistente às leituras, garantindo atualização em tempo real. Além disso, foi implementado o envio dos dados para a nuvem, permitindo armazenamento remoto e acompanhamento das informações por meio de plataformas web. O protótipo também operou com baixo consumo de energia e manteve um custo total reduzido, reforçando sua viabilidade para projetos acadêmicos e ambientes de teste. Apesar das limitações o sistema comprovou ser funcional, acessível e adequado para monitoramento básico em veículos experimentais como o URI Rally Car.

Palavras-chave: Telemetria veicular; ESP32; Sensores automotivos; IHM; Monitoramento embarcado.

ABSTRACT

The growing demand for smart automotive monitoring solutions has driven the development of embedded systems capable of collecting, transmitting, and interpreting data in real-time, especially in competition vehicles, where operational reliability is crucial for performance and safety. In this context, the present work proposes the development of a vehicular telemetry system applied to the URI Rally Car, an off-road prototype built by academics from the Integrated Regional University of Alto Uruguai and Missões (URI). The scientific relevance of this study lies in the implementation of a low-cost, highly accessible solution, contributing to the advancement of technologies applied to the academic and sports sectors, in addition to fostering research in the field of embedded electronics. The developed system enables the real-time monitoring of critical engine variables, such as oil temperature and pressure, utilizing automotive sensors integrated with an ESP32 microcontroller. Communication with the user occurs via Bluetooth, through an application created using MIT App Inventor, which presents the data on an intuitive Human-Machine Interface (HMI) and incorporates visual alerts for risk situations. The solution's validation included simulations on the Wokwi platform and practical bench tests, which demonstrated technical feasibility and stability in data reading and transmission. Furthermore, the physical adaptation of the sensors to the prototype, the definitive assembly of the electronic board, and the integration of the system with web platforms for remote data analysis were carried out. The developed telemetry system demonstrated satisfactory performance during testing, carrying out continuous collection of temperature and pressure variables and transmitting them stably to the mobile application via Bluetooth. The sensors showed good accuracy, and the ESP32 responded consistently to the readings, ensuring real-time updates. Additionally, cloud data transmission was implemented, enabling remote storage and monitoring through web platforms. The prototype also operated with low energy consumption and maintained a reduced overall cost, reinforcing its feasibility for academic projects and testing environments. Despite its limitations, the system proved to be functional, accessible, and suitable for basic monitoring in experimental vehicles such as the URI Rally Car.

Keywords: Vehicle telemetry; ESP32; Automotive sensors; HMI; Embedded monitoring.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sistema de telemetria embarcado FT700Plus aplicado na Stock Car.....	17
Figura 2 – Diagrama de blocos utilizado para mapear as funções e o fluxo de execução da (ECU).	18
Figura 3 – Módulo XBee®.....	22
Figura 4 –IHM com displays de sete segmentos no painel do veículo.	24
Figura 5 – Representação do sistema de telemetria.....	25
Figura 6 – Sensor de temperatura DS18B20.	26
Figura 7 – Sensor de pressão PS10.....	28
Figura 8 – Pinos de conexão DEVKIT V1.....	30
Figura 9 – Regulador <i>buck</i> LM2596 para rebaixamento da tensão de entrada.	30
Figura 10 – Regulador L7805 fornecendo 5 V para o ESP32.....	30
Figura 11 – Layout da placa desenvolvido no EasyEDA.....	31
Figura 12 – Modelagem 3D da placa desenvolvido no EasyEDA.	31
Figura 13 – Blocos de conexão Bluetooth.....	34
Figura 14 – Bloco de alerta por temperatura e pressão.	34
Figura 15 – Bloco do temporizador.....	35
Figura 16 – Inclusão de bibliotecas.	36
Figura 17 –Definição dos pinos do ESP32.....	36
Figura 18 – Inicialização das bibliotecas.	36
Figura 19 – Configuração da comunicação serial e Bluetooth.....	37
Figura 20 – Leitura do sensor DS18B20.	37
Figura 21 – Condicionamento do sinal do sensor de pressão.....	37
Figura 22 – Envio de dados para o dispositivo móvel.	38
Figura 23 – Dados a serem exibidos no monitor serial.	38
Figura 24 – Montagem do sistema no Wokwi com ESP32, sensor DS18B20 e potenciômetro simulando o sensor PS10.....	38
Figura 25 – Posicionamento dos sensores e da interface de condicionamento de sinal no veículo.	40
Figura 26 – Etapas da emenda direta.....	42
Figura 27 – Chicote elétrico finalizado.	42
Figura 28 – Instalação do sensor PS10 junto do adaptador.....	43
Figura 29 – Adaptação sensor DS18B20.....	44
Figura 30 – PCB projetada no software EasyEDA.	46
Figura 31 – Modulo ADS1115.....	46
Figura 32 – Conversor DC/DC com saída fixa em 5 V.....	46
Figura 33 – Processo de impressão da PCB.	47
Figura 34 – Modelo 3D pronto para impressão.....	49
Figura 35 – Modelo 3D impresso.....	50
Figura 36 – Alertas visuais no painel do veículo.	52
Figura 37 – Diagrama de blocos das melhorias implementadas no aplicativo Android.....	54
Figura 38 – Dados recebidos no Google Planilhas atras do MIT App Inventor 2.	54
Figura 39 – Fluxograma do website.	55

Figura 40 – Simulação do sistema no Wokwi.	58
Figura 41 – Montagem física do circuito em bancada com ESP32, sensor de temperatura e potenciômetro.	59
Figura 42 – Interface da IHM no aplicativo Android com exibição de temperatura e pressão.	60
Figura 43 – Tela de alerta de temperatura acima de 30 °C no aplicativo.	60
Figura 44 – Tela de alerta de pressão de óleo abaixo de 1 bar no aplicativo.	61
Figura 45 – IHM dispositivo Android.	62
Figura 46 – Teste do protótipo em bancada.	63
Figura 47 – Instalações dos sensores e alojamento da caixa.	64
Figura 48 – Circuito embarcado no veículo.	65
Figura 49 – Validação da leitura do sensor DS18B20.	66
Figura 50 – Perda momentânea de sinal do DS18B20.	67
Figura 51 – Evolução temporal da pressão de óleo e temperatura do motor em regime de marcha lenta.	69
Figura 52 – Interface Web de supervisão remota.	71
Quadro 1 – Características técnicas do DS18B20.	27
Quadro 2 – Pinagem típica do DS18B20.	27
Quadro 3 – Características técnicas do sensor PS10.	29
Quadro 4 – Medições para validação do sensor PS10.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativa de custos dos componentes do sistema de telemetria embarcado. 73

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

4G	<i>Fourth Generation</i> (Quarta Geração de Tecnologia de Comunicação Móvel)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i> (Conversor Analógico-Digital)
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicação)
CAN	<i>Controller Area Network</i> (Rede de Área do Controlador)
CSS	<i>Cascading Style Sheets</i> (Folhas de Estilo em Cascata)
DC	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
ECU	<i>Electronic Control Unit</i> (Unidade de Controle Eletrônico)
EMI	<i>Electromagnetic Interference</i> (Interferência Eletromagnética)
ESP32	Microcontrolador desenvolvido pela Espressif Systems
GND	<i>Ground</i> (Terra/Referência)
GPIO	<i>General Purpose Input/Output</i> (Entrada/Saída de Propósito Geral)
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
HTML	<i>HyperText Markup Language</i> (Linguagem de Marcação de Hipertexto)
IA	Inteligência Artificial
IC	<i>Inter-Integrated Circuit</i> (Circuito Inter-Integrado)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos)
IHM	Interface Homem-Máquina
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Padronização)
LED	<i>Light Emitting Diode</i> (Diodo Emissor de Luz)
LoRa	<i>Long Range</i> (Longo Alcance)
MOSFET	<i>Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor</i> (Transistor de Efeito de Campo de Metal-Óxido-Semicondutor)
NBR	Norma Brasileira
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> (Coeficiente de Temperatura Negativo)
PCB	<i>Printed Circuit Board</i> (Placa de Circuito Impresso)
PETG	Polietileno Tereftalato Glicol
PGA	<i>Programmable Gain Amplifier</i> (Amplificador de Ganho Programável)
RPM	Rotações Por Minuto
RTC	<i>Real Time Clock</i> (Relógio em Tempo Real)
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i> (Sociedade de Engenheiros da Mobilidade)
UFERSA	Universidade Federal Rural do Semi-Árido
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
URI	Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
URL	Uniform Resource Locator (Localizador uniforme de recursos)
Vcc	Voltage Common Collector (Tensão de Alimentação)
Wi-Fi	<i>Wireless Fidelity</i> (Fidelidade Sem Fio)

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Ampere
bar	Bar (unidade de pressão)
°C	Graus Celsius
dBm	Decibel-milliwatt
Hz	Hertz
m	Metro
R_1	Resistor 1
R_2	Resistor 2
V	Volt
V_{DD}	Tensão de alimentação positiva
V_{IN}	Tensão de entrada
V_{leitura}	Tensão de leitura
V_{OUT}	Tensão de saída
V_{ref}	Tensão de referência
Ω	Ohm
%	Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Justificativa	14
1.2 Objetivos	14
1.2.1 Objetivo geral	14
1.2.2 Objetivos específicos	15
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Sistemas de telemetria e supervisorio aplicados na área veicular	16
2.2 Sensores utilizados em sistemas de telemetria veicular	19
2.3 Sistemas de comunicação	21
2.4 Interface homem máquina (IHM)	23
3 METODOLOGIA	25
3.1 Especificação dos sensores	26
3.2 Projeto da interface de condicionamento dos sensores	29
3.3 IHM integrada ao ESP32	32
3.4 Validação do sistema proposto	35
3.5 Testes experimentais	39
3.6 Adaptação do chicote elétrico no veículo	40
3.7 Adaptação mecânica dos sensores	43
3.8 Montagem e impressão da PCB	45
3.9 Correção de níveis lógicos	47
3.9.1 Adequação da alimentação e correção de níveis lógicos	48
3.10 Suporte mecânico e fixação	49
3.11 Implementação de alertas visuais	50
3.12 Aprimoramento da interface Android e coleta de dados	52
3.13 Desenvolvimento do Website de análise	55
3.13.1 Arquitetura do <i>backend</i> e acesso à API	55
3.13.2 Desenvolvimento do <i>frontend</i> e visualização (index.html)	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 Resultados da validação entre IHM e ESP32	58
4.1.1 Validação posterior às melhorias do sistema	61
4.2 Robustez e confiabilidade da instalação	63
4.3 Desempenho do hardware	64
4.3.1 Validação do monitoramento térmico	65
4.3.2 Validação do monitoramento de pressão de óleo	67
4.4 Segurança e redundância	69
4.5 Usabilidade do software e análise de dados	70
4.6 Limitações técnicas do sistema desenvolvido	71
4.7 Avaliação de custos do projeto	73
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
REFERÊNCIAS	78
APÊNDICE	82

1 INTRODUÇÃO

A telemetria é uma tecnologia que permite a medição e a transmissão remota de dados, sem a necessidade de contato físico direto entre o ponto de coleta e o ponto de análise (MENEZES, 2023). Originalmente empregada em áreas como a aviação, a medicina e a exploração espacial, essa tecnologia foi progressivamente incorporada a outras áreas da engenharia, incluindo o setor automotivo (SANTIAGO, 2021). Desta forma, a crescente demanda por sistemas embarcados inteligentes e a disponibilidade de microcontroladores com conectividade sem fio tornaram a telemetria uma ferramenta acessível, eficiente e essencial para monitoramento em tempo real de sistemas complexos. Menezes (2023) demonstra a viabilidade de uso do microcontrolador ESP32 com tecnologia de longo alcance (*Long Range*) LoRa, em veículos Baja, destacando a aplicabilidade da telemetria em ambientes acadêmicos, com baixo custo e alta confiabilidade na transmissão de dados.

Na engenharia automotiva, especialmente no desenvolvimento de veículos experimentais e de competição, a telemetria tornou-se indispensável para acompanhar parâmetros críticos de funcionamento do veículo, como a temperatura e pressão de óleo do motor (NUNES, 2016; PEZZIN, 2023). Essa capacidade de coleta contínua e transmissão de dados durante a operação permite identificar falhas com maior antecedência, ajustar sistemas com base em dados reais e melhorar o desempenho geral do projeto. Segundo Santiago (2021), "a telemetria consiste na transmissão de dados, de forma confiável e segura, partindo de um sistema remoto para uma base, onde os dados poderão ser apresentados em tempo real".

Para permitir essa coleta e transmissão de dados, diversos dispositivos eletrônicos têm sido adotados, entre eles os sistemas embarcados microcontrolados. Com as novas tendências, a utilização de microcontroladores modernos como o ESP32 permite desenvolver sistemas de telemetria com transmissão eficiente, mesmo em ambientes de competição (MENEZES, 2023). Além disso, como exemplificado por Meireles (2017), a telemetria embarcada em veículos de competição permite acompanhar o desempenho em tempo real e visualizar as variáveis críticas em interfaces locais e remotas.

Com base nas oportunidades de desenvolvimento à telemetria veicular, neste trabalho, propõe-se o desenvolvimento de um sistema de telemetria aplicado ao URI Rally Car, um veículo protótipo de competição *off-road* desenvolvido por alunos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (URI). O foco será a coleta e a transmissão de dados em tempo real de dois parâmetros fundamentais para o funcionamento do motor: temperatura e pressão de óleo. O sistema será embarcado, com sensores conectados a um microcontrolador

ESP32, capaz de processar e transmitir os dados, que poderão ser visualizados por meio de uma Interface Homem-Máquina (IHM) durante os testes do veículo.

1.1 Justificativa

A proposta deste trabalho justifica-se pela necessidade de monitorar variáveis críticas do motor durante os testes e operações do URI Rally Car, de modo a ampliar a segurança operacional do veículo e mitigar riscos associados ao uso em condições extremas. Em veículos de competição, o regime severo de funcionamento aumenta significativamente a probabilidade de falhas mecânicas, exigindo sistemas capazes de detectar rapidamente comportamentos anômalos. Entre os parâmetros de maior relevância nesse contexto, destacam-se a temperatura e a pressão do óleo, cuja saída dos limites adequados pode causar danos internos irreversíveis ao motor e comprometer a continuidade da prova.

A implementação de um sistema de telemetria embarcado possibilita o acompanhamento contínuo desses indicadores, permitindo a tomada de decisão imediata pelo piloto ou equipe técnica, reduzindo a chance de que pequenas anomalias evoluam para falhas críticas. Além disso, o registro estruturado dos dados proporciona subsídios para análises pós-teste, contribuindo para ajustes de projeto, melhorias na confiabilidade do conjunto mecânico e maior segurança em futuras operações.

Do ponto de vista acadêmico, o desenvolvimento da solução promove a integração prática de conceitos de instrumentação, eletrônica embarcada e comunicação sem fio, fortalecendo o caráter multidisciplinar do projeto URI Rally Car. O sistema proposto estabelece uma base tecnológica que pode ser aprimorada nas próximas edições do protótipo, resultando em um legado técnico para a equipe e para a instituição, além de incentivar a evolução contínua das práticas de engenharia aplicadas ao veículo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Desenvolver um sistema de telemetria embarcado para o veículo URI Rally Car, capaz de monitorar em tempo real os parâmetros de temperatura e pressão de óleo do motor.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar as tendências sobre sistemas de telemetria automotiva e tecnologias aplicadas;
- Especificar e selecionar sensores adequados para medição de temperatura e pressão de óleo;
- Projetar a interface de condicionamento dos sinais dos sensores;
- Desenvolver um sistema embarcado baseado no ESP32 para aquisição e transmissão dos dados;
- Criar uma interface homem máquina (IHM) para visualização em tempo real das variáveis monitoradas;
- Validar o sistema por meio de simulações no ambiente Wokwi e testes em laboratório;
- Adaptação do sistema completo no veículo;
- Transmissão dos dados coletados através do dispositivo via redes móveis (4G) e armazenados na nuvem de acordo com a preferência do usuário.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Esta seção tem como objetivo apresentar os fundamentos teóricos e aplicações práticas que sustentam o desenvolvimento de sistemas de telemetria automotiva, com ênfase nas abordagens utilizadas em projetos acadêmicos e veículos protótipos. Serão abordados os principais conceitos, tecnologias e soluções encontrados na literatura técnica e em trabalhos de conclusão de curso correlatos, destacando sensores, sistemas de comunicação e interfaces homem-máquina.

2.1 Sistemas de telemetria e supervisorio aplicados na área veicular

A aplicação de sistemas de telemetria no setor automotivo tem crescido consideravelmente, impulsionada pela necessidade de monitorar parâmetros críticos em tempo real e pela evolução dos microcontroladores e protocolos de comunicação.

Segundo a FuelTech (2025), a evolução dos sistemas embarcados em veículos de competição moderna, como os novos carros da Stock Car brasileira equipados com o módulo FT700Plus (Figura 1), demonstra o nível de sofisticação e confiabilidade que a telemetria atingiu. A integração entre os sistemas de aquisição de dados, controle eletrônico e interface de monitoramento em tempo real permite que equipes acompanhem dezenas de parâmetros simultaneamente, como temperatura, pressão, rotação, combustível e rendimento do motor. Esses dados são transmitidos com alta precisão e armazenados para análises técnicas posteriores, promovendo maior segurança e desempenho.

Além disso, observa-se que os princípios empregados no sistema FT700Plus guardam relação direta com a proposta deste trabalho. Embora voltado ao uso profissional em competições de alto rendimento, o módulo da FuelTech utiliza a mesma lógica fundamental adotada no desenvolvimento do sistema aplicado ao URI Rally Car: monitorar variáveis críticas do motor em tempo real, coletar dados por sensores específicos, processá-los em uma unidade eletrônica e disponibilizá-los em uma interface de supervisão para apoio à tomada de decisão. Dessa forma, o FT700Plus serve como referência tecnológica e conceitual, demonstrando como soluções avançadas de telemetria podem orientar o desenvolvimento de alternativas acadêmicas mais acessíveis, porém igualmente voltadas à confiabilidade, segurança e prevenção de falhas.

Além disso, os novos sistemas contam com estratégias de proteção programáveis que atuam automaticamente em situações de risco, preservando o conjunto mecânico e melhorando

a tomada de decisão durante as corridas. Esse avanço reforça a importância da telemetria como ferramenta indispensável no automobilismo profissional, servindo como referência tecnológica para o desenvolvimento de soluções embarcadas em projetos acadêmicos e veículos experimentais.

Figura 1 – Sistema de telemetria embarcado FT700Plus aplicado na Stock Car.



Fonte: Fueltech (2025).

A telemetria permite o monitoramento remoto de variáveis como temperatura, pressão, velocidade e rotação do motor, oferecendo suporte à tomada de decisões durante testes e competições. Santiago (2021) discute a utilização de sistemas de transmissão de dados embarcados em veículos de competição, reforçando a importância da confiabilidade e da apresentação em tempo real.

Aprimorar os processos de monitoramento e de tomada de decisão relacionados ao funcionamento do veículo, permitindo a supervisão contínua de variáveis operacionais em tempo real. Esse recurso contribui para uma condução mais segura, assim como em estudos aprofundados sobre a vida útil do veículo e de seus componentes. Além disso, a telemetria possibilita delinear o perfil de cada condutor por meio da coleta sistemática de dados obtidos durante os trajetos percorridos (GOMES, 2022).

Em veículos de competição, como os protótipos Baja SAE, da Society of Automotive Engineers (Sociedade de Engenheiros da Mobilidade), os sistemas de telemetria embarcada tornaram-se essenciais para garantir confiabilidade e desempenho. Diversos trabalhos evidenciam a utilização de sensores conectados a microcontroladores que captam e processam dados distribuídos em diferentes módulos do veículo. Em um projeto da equipe Car-Kará, por exemplo, foi desenvolvida uma arquitetura de hardware distribuída utilizando a rede CAN (*Controller Area Network*), reduzindo o número de fios e facilitando a integração de sensores

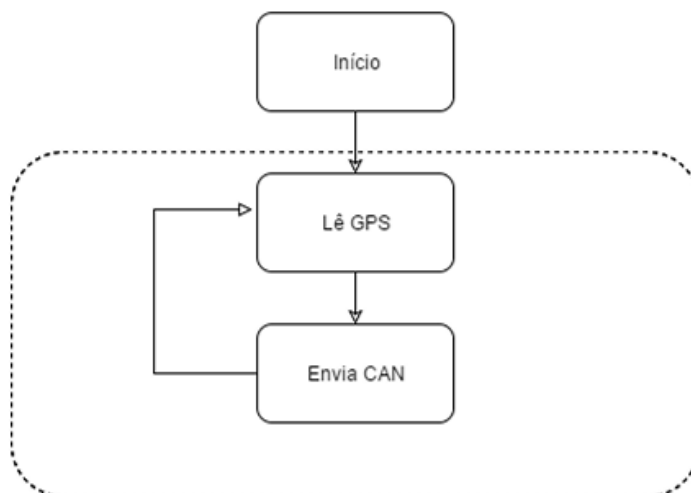
como termômetros, tacômetros e GPS em diferentes pontos do carro (NUNES, 2016). A Figura 2 mostra de maneira sucinta o funcionamento desta ECU (Unidades de Controle Eletrônico).

Essa abordagem distribuída permite que múltiplas ECUs sejam alocadas em diferentes regiões do veículo na traseira para leitura de temperatura e rotação, outra na dianteira para captação de dados via GPS, e uma terceira próxima ao volante, exibindo informações em tempo real para o piloto através de um display. O uso do protocolo CAN foi destacado como uma solução robusta e escalável, proporcionando imunidade à interferência eletromagnética e capacidade de comunicação paralela entre os módulos (NUNES, 2016).

Além da CAN, o uso do ESP32 com tecnologia LoRa tem se mostrado promissor em projetos mais recentes. Savio Menezes (2023) relata a aplicação do ESP32 LoRa em sistemas de telemetria voltados ao monitoramento de veículos Baja, destacando sua eficiência na coleta e transmissão de dados a longa distância, com baixo consumo de energia. O autor ressalta ainda a facilidade de integração com sensores de temperatura e umidade (como o DHT11) e o suporte a linguagens como C++ para programação embarcada.

O desenvolvimento de interfaces supervisórias complementa os sistemas de telemetria, possibilitando a visualização gráfica das variáveis monitoradas. Em projetos como o da UFERSA (Universidade Federal Rural do Semi-Árido), os dados dos sensores foram simulados e exibidos em painéis digitais, reforçando a importância de apresentar a informação de forma acessível e interpretável por usuários técnicos durante a condução ou avaliação do veículo (MENEZES, 2023).

Figura 2 – Diagrama de blocos utilizado para mapear as funções e o fluxo de execução da (ECU).



Fonte: Nunes (2016).

Além disso, o uso de sensores embarcados para aquisição de dados em testes de campo é recorrente. Em um trabalho da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Nunes (2016), sensores de temperatura foram testados no escapamento do veículo, chegando a registrar valores próximos de 110°C, enquanto sensores de rotação indicavam até 5000 RPM em aceleração máxima. A validação dos dados foi feita comparando o desempenho com e sem a rede CAN, confirmando sua eficácia para sincronização e confiabilidade na leitura simultânea dos dados.

Por fim, é importante destacar que muitos desses sistemas buscam reduzir custos e complexidade, utilizando placas como Arduino e ESP32, interfaces SPI e módulos transceptores CAN como o MCP2515. A modularidade e a flexibilidade desses componentes tornam-nos ideais para projetos acadêmicos e protótipos, permitindo reuso, atualização e expansão do sistema conforme as necessidades da equipe de desenvolvimento.

2.2 Sensores utilizados em sistemas de telemetria veicular

Os sensores são componentes fundamentais em sistemas de telemetria, pois são responsáveis pela coleta precisa dos dados físicos que posteriormente serão processados, transmitidos e analisados. O trabalho de Pezzin (2023) aborda testes com sensores de suspensão em ambiente de competição (Baja SAE), lidando com dados coletados sob vibração e esforço mecânico. Embora não trate diretamente de sensores de pressão, a ênfase na confiabilidade de sensoramento é coerente com a aplicação.

Para a medição de temperatura, é comum a utilização de termistores do tipo *Negative Temperature Coefficient* (Coeficiente de temperatura negativa) (NTC), que apresentam uma resistência elétrica inversamente proporcional à variação da temperatura. Tais sensores são valorizados por sua alta sensibilidade térmica, baixo custo e facilidade de integração com circuitos eletrônicos simples, sendo amplamente empregados em contextos de engenharia experimental (PAIM, 2005; PEZZIN, 2023). Embora a maioria dos trabalhos analisados foque em sensores de aceleração ou dinâmica veicular, o trabalho de Meireles (2017) menciona diretamente a utilização de sensores de temperatura integrados a sistemas de telemetria para monitoramento de motores a combustão.

O monitoramento da pressão de óleo é uma variável crítica para a proteção do conjunto motriz, utiliza-se transdutores de pressão que convertem a força exercida pelo fluido em sinais elétricos. Esses dispositivos operam, em geral, com base em princípios piezorresistivos ou de deformação, e devem ser escolhidos de acordo com a faixa de operação do sistema

(FUELTECH, 2025). Pezzin (2023), embora centrado na análise de suspensão de um veículo Baja, reforça a importância do sensoriamento preciso em sistemas sujeitos a altas solicitações mecânicas e vibrações constantes, como ocorre em competições *off-road*. Essa condição torna o monitoramento da pressão de óleo especialmente relevante para garantir a confiabilidade e a integridade do motor em uso severo.

A combinação de sensores de temperatura e pressão em sistemas de telemetria embarcada possibilita ao projetista não apenas visualizar o comportamento do veículo em tempo real, mas também registrar tendências e antecipar necessidades de manutenção. Em protótipos como o URI Rally Car, essa integração proporciona maior controle sobre as condições operacionais do motor, garantindo a segurança dos componentes e a eficácia dos testes de desempenho, além de contribuir para o aperfeiçoamento do projeto a partir da análise de dados reais de campo.

Além dos sensores analógicos mencionados, alguns projetos também utilizaram sensores digitais, como o DHT11, para monitoramento de temperatura e umidade. Embora esse sensor não seja originalmente voltado ao ambiente automotivo, ele foi empregado em testes de campo com o ESP32 e módulos LoRa, destacando sua compatibilidade com sistemas embarcados e a facilidade de leitura por meio de bibliotecas padrão em Arduino IDE (MENEZES 2023).

Outro conjunto importante de sensores é voltado à medição de variáveis dinâmicas do veículo, como rotação do motor, aceleração, velocidade e posição angular. Sensores de rotação, por exemplo, foram empregados na UFRN para registrar até 5000 RPM em aceleração máxima, fornecendo dados essenciais sobre o comportamento dinâmico do protótipo durante os testes de bancada e de campo (NUNES, 2016).

Para garantir que os sinais desses sensores estejam dentro dos níveis exigidos pelas entradas dos microcontroladores (geralmente de 0 a 3,3 V no ESP32), a maioria dos projetos conta com circuitos de condicionamento de sinal. Esses circuitos, compostos por resistores, divisores de tensão ou amplificadores, são projetados para adaptar o sinal bruto às condições ideais de leitura, evitando distorções e protegendo as entradas dos sistemas embarcados (Espressif Systems, 2025).

Dessa forma, a correta seleção, posicionamento e condicionamento dos sensores representam uma etapa crítica para a eficácia dos sistemas de telemetria aplicados em veículos protótipos, sendo um elo fundamental entre o mundo físico e o processamento digital de informações que suportam decisões técnicas em tempo real.

2.3 Sistemas de comunicação

A comunicação de dados em sistemas de telemetria embarcada é um dos pilares para o funcionamento eficiente e confiável da arquitetura proposta. O meio pelo qual os dados dos sensores são transmitidos a uma central de supervisão pode variar de acordo com fatores como o ambiente operacional, a distância entre os módulos, o volume de dados e a necessidade de tempo real. Nos projetos veiculares, especialmente em protótipos como veículos Baja universitários, essas decisões afetam diretamente o desempenho da coleta e análise de informações em campo, como discutido por Meireles (2017) e Menezes (2023).

Entre as soluções de comunicação mais empregadas em ambientes automotivos experimentais, destacam-se as tecnologias sem fio baseadas em radiofrequência, como Bluetooth, XBee®, ZigBee® e *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) (PAIM, 2005; MEIRELES, 2017; SOUZA, 2023). A escolha entre essas tecnologias depende do alcance necessário, da taxa de transmissão, do consumo energético e da interferência eletromagnética esperada. No trabalho de Meireles (2017), por exemplo, a escolha dos módulos XBee® visou justamente garantir confiabilidade e flexibilidade na transmissão de dados em tempo real entre o veículo e o box da equipe, durante uma competição Baja SAE. Já Paim (2005) discute a viabilidade técnica do Bluetooth em sistemas móveis, apontando sua boa performance em curtas distâncias com baixo consumo e tolerância a ruídos, sendo útil para aplicações embarcadas ou em ambiente controlado de testes.

No trabalho de Meireles (2017), utilizou-se um sistema baseado em módulos XBee®, operando segundo o padrão IEEE 802.15.4. Essa tecnologia permite comunicação em redes sem fio com topologia em malha, estrela ou árvore, sendo especialmente útil por oferecer boa imunidade a interferências e possibilidade de redes expansíveis. O projeto aplicado ao veículo Baja da equipe Inconfidentes permitiu o monitoramento em tempo real dos dados do painel de instrumentos, com transmissão até a central de análise nos boxes durante a competição.

Além do XBee®, o Bluetooth também é frequentemente utilizado em aplicações de curto alcance. Segundo o trabalho de Paim (2005), os módulos Bluetooth Classe III, que operam em 0 dBm, são apropriados para transmissões em torno de 10 metros, faixa suficiente para aplicações em pequenos veículos ou testes laboratoriais. Essa tecnologia opera na banda ISM de 2,4 GHz, utilizando espalhamento espectral para reduzir interferência e garantir confiabilidade na entrega dos dados.

A comunicação por radiofrequência de forma geral também foi explorada no trabalho de Santiago (2021) na Figura 3, onde ele demonstra o módulo XBee®, que considerou a flexibilidade proporcionada por sistemas sem fio em relação aos cabearmentos físicos. Ele destaca que, em ambientes dinâmicos como testes de pista ou trajetos *off-road*, a ausência de fios representa maior liberdade de movimento e menor risco de falhas físicas na transmissão dos dados.

Figura 3 – Módulo XBee®.



Fonte: Santiago (2021).

Sistemas com comunicação serial com fio, como RS-232, que significa *Recommended Standard* (Padrão Recomendado) onde define como os dados binários são trocados entre dois dispositivos, como um computador e um modem, e I²C *Inter-Integrated Circuit* (Circuito Inter-Integrado), um protocolo de comunicação serial síncrono, inventado pela Philips Semiconductors (NXP, 2017), são úteis em ambientes onde os sensores estão próximos ao microcontrolador ou dentro de carenagens eletrônicas protegidas. Essas interfaces foram mencionadas como base estrutural para integração entre sensores e o módulo transmissor nos projetos de Meireles (2017).

Ainda que os trabalhos analisados não tenham abordado diretamente o protocolo CAN, há indícios em algumas propostas da relevância de redes determinísticas e robustas como essa para futuras expansões (NUNES, 2016; PELISSON, 2023). O protocolo CAN é amplamente adotado na indústria automotiva por seu baixo tempo de latência, alta confiabilidade e capacidade de multiplexação.

Por fim, é importante notar que a tendência dos projetos mais recentes é a utilização de microcontroladores com conectividade integrada, como o ESP32, que oferece Wi-fi e Bluetooth, o que reduz a necessidade de módulos adicionais e facilita o desenvolvimento de

soluções embarcadas econômicas e compactas. Essa abordagem foi aplicada, por exemplo, no trabalho de Menezes (2023), que utilizou o ESP32 com comunicação LoRa, visando longas distâncias com baixo consumo de energia.

Assim, observa-se que os sistemas de comunicação utilizados em telemetria automotiva variam conforme a aplicação, mas todos têm como objetivo garantir a confiável transferência de dados, tanto em tempo real quanto para análise posterior. A integração eficiente entre sensores, unidades de aquisição e transmissão é essencial para o sucesso de qualquer sistema de telemetria embarcada.

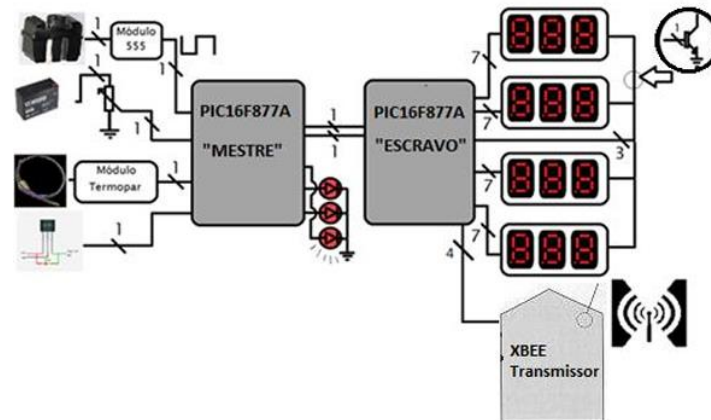
2.4 Interface homem máquina (IHM)

As IHM desempenham papel essencial nos sistemas de telemetria embarcados, uma vez que representam a ponte entre os dados adquiridos e sua interpretação por parte do usuário. Em projetos automotivos experimentais, como veículos Baja ou carros universitários, as IHMs permitem a visualização em tempo real de parâmetros críticos como temperatura, pressão, velocidade e estado da bateria, viabilizando diagnósticos rápidos, ações corretivas durante os testes e melhor tomada de decisão nas competições.

O trabalho de Meireles (2017) destaca a implementação de uma IHM baseada em displays de sete segmentos, instalados diretamente no painel do veículo. Esses displays facilitam o piloto ler informações imediatas sobre velocidade, carga da bateria e nível de combustível (Figura 4). Além da interface local, os dados eram transmitidos via radiofrequência (XBee®) a um sistema supervisorio em um computador no box, que disponibilizava visualizações gráficas e controles por meio de um software desenvolvido no Visual Studio®. Esse modelo de dupla interface (local + remota) proporcionou maior segurança e controle para a equipe, que podia detectar falhas como pane elétrica ou queda de desempenho ainda em tempo de evitar danos ou perda de pontuação.

Além dos elementos gráficos, o projeto mencionado também incluiu funcionalidades interativas no supervisorio, como botões para salvar e carregar dados, além de iniciar e encerrar o monitoramento, elevando o nível de interatividade da interface com a equipe técnica. Essa abordagem reforça a tendência de tornar as IHMs mais do que simples visualizadores: verdadeiras ferramentas de apoio à decisão técnica durante os testes e provas.

Figura 4 –IHM com displays de sete segmentos no painel do veículo.



Fonte: Meireles (2017).

Embora nem todos os trabalhos analisados tenham implementado IHMs complexas, há consenso sobre sua importância. Em alguns projetos, opta-se por visualizações simplificadas em LCDs ou displays segmentados conectados ao microcontrolador, suficientes para exibir temperaturas ou pressões críticas no cockpit, sem distração ao piloto. Já Pezzin (2023), embora centrado na coleta de dados de suspensão, aponta que o armazenamento local dos dados foi priorizado em vez da visualização direta em tempo real, o que limita a capacidade de resposta imediata, mas permite análises pós-teste mais aprofundadas.

A evolução das IHMs também acompanha os avanços em microcontroladores modernos, como o ESP32, que permitem integração com displays OLED, comunicação Bluetooth e até mesmo interfaces gráficas em aplicativos móveis. Embora esse nível de sofisticação ainda não esteja amplamente difundido nos projetos analisados, ele representa uma tendência natural para futuras versões desses sistemas em ambiente acadêmico (MENEZES, 2023).

Portanto, a IHM representa uma camada estratégica dentro do sistema de telemetria, permitindo não apenas o acompanhamento dos dados operacionais, mas também promovendo a interação ativa do piloto ou da equipe técnica com o veículo. Sua presença amplia a segurança, a previsibilidade e a competitividade dos projetos desenvolvidos no âmbito da engenharia automotiva universitária (MEIRELES, 2017).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema de telemetria funcional voltado à aplicação no URI Rally Car, um veículo de competição desenvolvido por alunos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. O trabalho foi dividido em etapas teóricas, projetuais e práticas, com o intuito de integrar diferentes áreas do conhecimento da Engenharia Elétrica, eletrônica embarcada e instrumentação automotiva. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre os fundamentos dos sistemas de telemetria, com foco especial em suas aplicações no setor automotivo.

Foram investigados os principais métodos de aquisição e transmissão de dados, os tipos de sensores utilizados, os protocolos de comunicação e as interfaces de visualização mais empregadas nesse contexto. Essa base teórica foi essencial para compreender as demandas técnicas e funcionais de um sistema embarcado destinado ao monitoramento de veículos de competição. Para contextualizar e ilustrar a aplicação do sistema, foi elaborada uma imagem esquemática representando a arquitetura geral do projeto, indicando o posicionamento dos sensores no veículo, a localização do circuito eletrônico e a IHM desenvolvida no aplicativo App Inventor (Figura 5), destinada à visualização das variáveis monitoradas em um dispositivo móvel (celular).

Figura 5 – Representação do sistema de telemetria.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.1 Especificação dos sensores

Com base nesse estudo preliminar, definiram-se os parâmetros a serem monitorados: a temperatura do motor e a pressão de óleo. Inicialmente, havia sido prevista a utilização de um termistor NTC para a medição de temperatura. Entretanto, ao longo do desenvolvimento optou-se por substituí-lo pelo sensor digital DS18B20, que apresenta maior precisão e foi projetado para operar adequadamente mesmo em ambientes úmidos ou em contato direto com líquidos. Esse sensor transmite os valores de temperatura diretamente em graus Celsius para o microcontrolador, que se mostrou mais adequado ao projeto por apresentar maior precisão, comunicação via protocolo 1-Wire (um fio), um padrão de comunicação digital serial (DALLAS, 2001). Para o monitoramento da pressão de óleo, foi selecionado um transdutor adequado à faixa de operação do motor do protótipo URI Rally Car.

A seguir, foi realizado o projeto do circuito de condicionamento de sinais. Essa etapa envolveu a análise das características elétricas dos sensores, o dimensionamento de resistores para o transdutor de pressão e a garantia de compatibilidade com os níveis lógicos de entrada do microcontrolador. O sensor DS18B20, por ser digital, não necessitou de condicionamento analógico adicional.

O DS18B20-5 é um sensor digital de temperatura encapsulado em aço inoxidável e com cabo de 5 metros, resistente à água (IP67) mostrado na Figura 6. Com compatibilidade com microcontroladores como ESP32 e Arduino. Ideal para aplicações automotivas ou industriais em ambientes úmidos ou de alta temperatura.

Figura 6 – Sensor de temperatura DS18B20.



Fonte: Usinainfo (2025d).

Quadro 1– Características técnicas do DS18B20.

Parâmetro	Especificação
Tensão de operação	3-5,5 V
Faixa de medição	-55°C a +125°C
Precisão	±0.5°C entre -10°C e +85°C
Material do corpo	Ponta de aço inoxidável com rosca G ½"
Dimensão ponta de aço	6 x 50mm
Dimensão do cabo	90cm
Informação	Interface de 1 fio

Fonte: Maxim Integrated (2008).

Quadro 2 – Pinagem típica do DS18B20.

Fio	Função
Vermelho	VCC (+5 V ou +3.3 V)
Preto	GND (terra)
Amarelo	DADOS (sinal digital)

Fonte: Maxim Integrated (2008).

Observação: É necessário um resistor de *pull-up* (puxar para cima) de 4,7 kΩ entre V_{CC} e o fio de dados para garantir comunicação estável.

O resistor de *pull-up* é um componente passivo utilizado em circuitos digitais para forçar um nível lógico alto (nível lógico "1") em uma linha de sinal quando esta não está sendo ativamente dirigida por outro dispositivo. Sua principal função é evitar que o pino de entrada digital fique em estado de alta impedância ou flutuante, condição que pode levar a comportamentos indesejados ou leituras incorretas pelo microcontrolador.

Esse resistor é tipicamente conectado entre o pino de entrada e a tensão de alimentação do sistema, proporcionando uma corrente mínima suficiente para manter o nível lógico alto quando nenhum outro dispositivo está definindo o estado desse sinal. O valor do resistor deve ser alto o bastante para limitar o consumo de corrente, mas suficientemente baixo para garantir uma resposta rápida às variações de estado.

O uso de resistores de *pull-up* é essencial em interfaces de comunicação bidirecionais como I²C, onde os dispositivos conectados ao barramento apenas puxam a linha para nível

lógico baixo (*LOW*), sendo o retorno ao estado alto feito exclusivamente pelo *pull-up*. Além disso, muitos microcontroladores modernos oferecem resistores de *pull-up* internos, que podem ser ativados via configuração de software, dispensando o uso de componentes externos em diversas aplicações (TREETECH, 2024).

A definição do sensor DS18B20-5 baseou-se nas seguintes vantagens:

- Comunicação digital imune a ruídos;
- Alta precisão e resolução;
- Encapsulamento resistente à água (IP67);
- Pode ser utilizado com vários sensores no mesmo barramento (1-Wire);
- Suporte direto em bibliotecas para ESP32 e Arduino.

O sensor PS10 (Figura 7) é um sensor de pressão de uso geral com saída analógica linear, indicado para aplicações automotivas e industriais. Ele converte a pressão exercida em seu diafragma em um sinal elétrico proporcional, facilitando sua leitura por microcontroladores como ESP32. É amplamente utilizado para monitorar pressão de óleo do motor, combustível ou turbo em projetos embarcados de monitoramento e telemetria.

Figura 7 – Sensor de pressão PS10.



Fonte: Magoniracing (2025).

A escolha do sensor PS10 foi realizada com base nas seguintes vantagens:

- Saída linear analógica compatível com o conversor analógico-digital (ADC) do ESP32;
- Alta faixa de pressão (ideal para óleo, combustível ou turbo);
- Fácil integração com sistemas embarcados;
- Boa resistência mecânica e a vibração.

Quadro 3 – Características técnicas do sensor PS10.

Parâmetro	Especificação
Modelo	PS10
Faixa de medição	0 a 10 bar
Sinal de saída	0.5 V a 4.5 VDC
Alimentação (Vcc)	5 VDC
Precisão	±1 %
Tipo de conexão elétrica	3 fios (Vcc, GND, Sinal)
Material do corpo	Aço inoxidável
Rosca de montagem	1/8" NPT
Proteção	IP65

Fonte: FirstRate (2025).

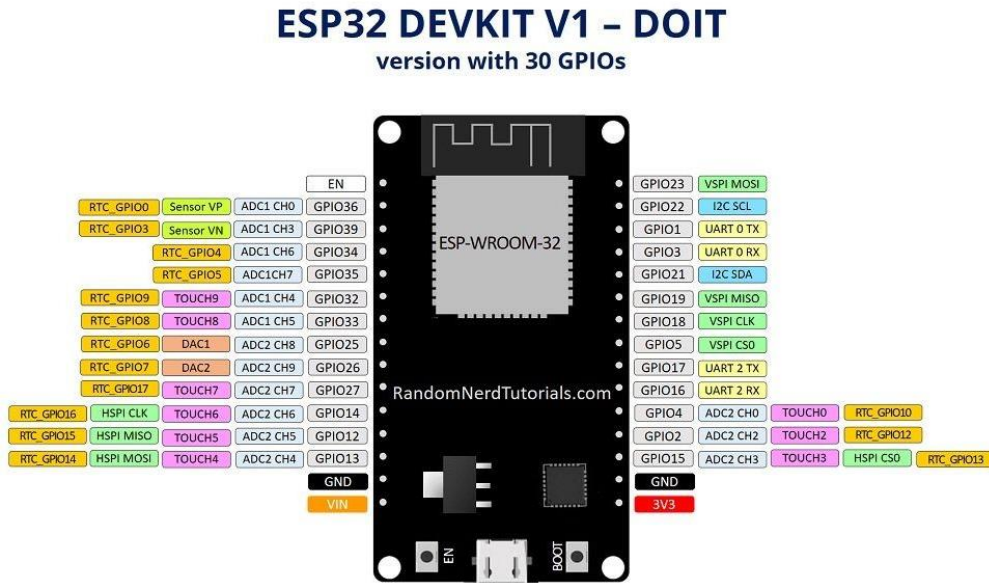
3.2 Projeto da interface de condicionamento dos sensores.

A seguir, foi realizado o projeto do circuito de condicionamento de sinais. Essa etapa envolveu a análise das características elétricas dos sensores, o dimensionamento dos resistores, o cálculo de divisores de tensão e a garantia de compatibilidade com os níveis lógicos de entrada do microcontrolador utilizado. Esse circuito é responsável por preparar os sinais analógicos e digitais dos sensores para que o microcontrolador possa processá-los corretamente, sem riscos de danos ou leituras incorretas.

O microcontrolador utilizado foi o ESP32 (Figura 8), escolhido por suas múltiplas entradas analógicas, conectividade sem fio integrada (Wi-Fi e Bluetooth), suporte ao protocolo 1-Wire e excelente custo-benefício para sistemas embarcados.

Para alimentar o sistema, foi adotada uma arquitetura com dois reguladores de tensão: um LM2596 (Figura 9), *buck converter* (Conversor redutor de tensão), são usados para reduzir a tensão contínua (DC) de forma eficiente. Eles operam com chaveamento controlado e indutores para converter uma tensão de entrada mais alta em uma saída mais baixa, sendo amplamente utilizados em fontes de alimentação de dispositivos eletrônicos ((MONOLITHIC POWER SYSTEMS, [s.d.]), foi utilizado para rebaixar a tensão da fonte principal (como uma bateria de 12 V) para cerca de 9V, enquanto um L7805 (Figura 10) foi empregado para regular a tensão em 5 V, adequada à alimentação do ESP32. Como medida de proteção, foi adicionado um fusível de 2 Amperes (A), na entrada do circuito, com o objetivo de prevenir danos ao sistema em caso de sobrecorrente ou curto-circuito.

Figura 8 – Pinos de conexão DEVKIT V1.



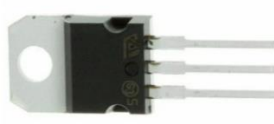
Fonte: Usinainfo (2025b).

Figura 9 – Regulador *buck* LM2596 para rebaixamento da tensão de entrada.



Fonte: Eletrogate (2025a).

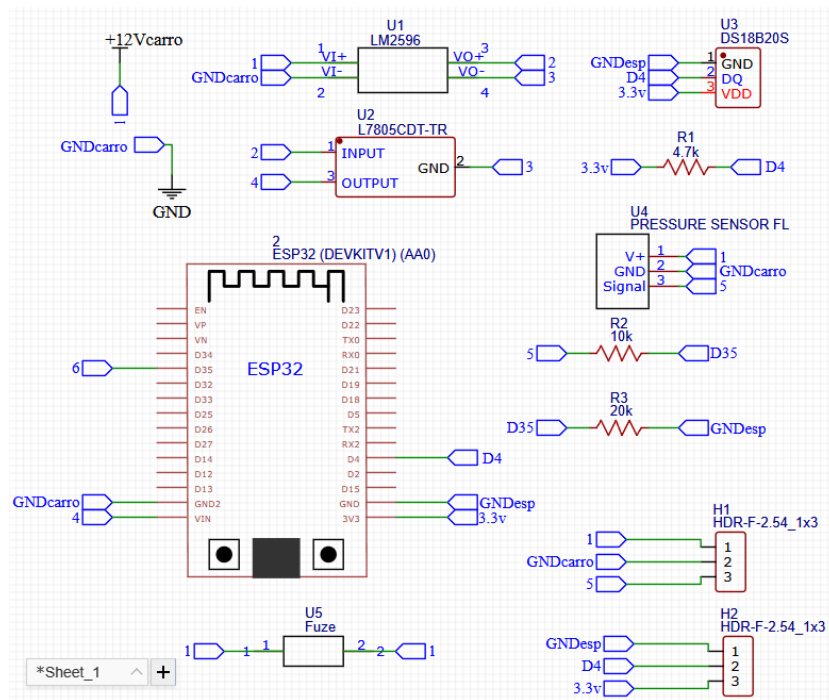
Figura 10 – Regulador L7805 fornecendo 5 V para o ESP32.



Fonte: Eletrogate (2025b).

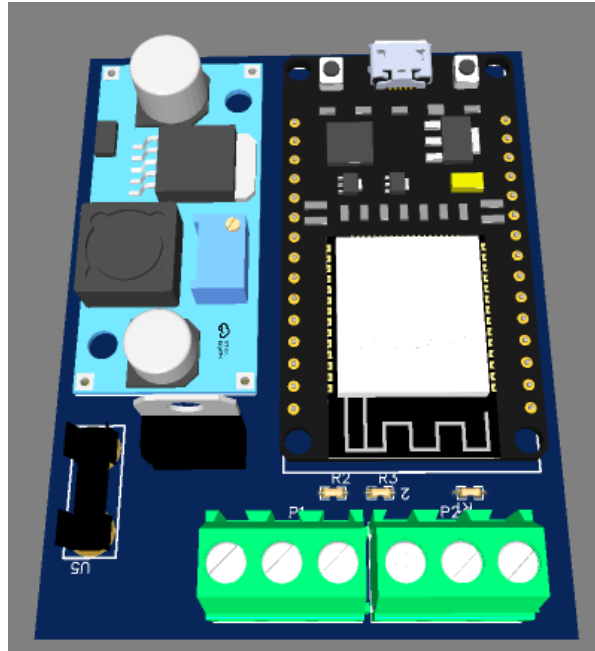
O projeto da placa foi desenvolvido utilizando a plataforma EasyEDA conforme orientações do manual oficial do software (EasyEDA, 2022), como mostrado nas Figura 11 e Figura 12, que permitiu o roteamento dos componentes, a simulação do circuito e a geração dos arquivos Gerber para fabricação. Essa ferramenta possibilitou a organização lógica dos componentes, respeitando as boas práticas de layout e otimização de espaço físico.

Figura 11 – Layout da placa desenvolvido no EasyEDA.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 12 – Modelagem 3D da placa desenvolvido no EasyEDA.



Fonte: Autoria própria (2025).

Para o sensor de pressão PS10, cuja saída analógica varia de 1V a 5 V, foi necessário implementar um divisor de tensão resistivo para adaptar esse sinal à faixa de entrada do ADC do ESP32, que opera até 3,3 V. Para isso, foi adotada uma configuração com dois resistores:

$R1 = 10 \text{ k}\Omega$ conectado ao fio de sinal do sensor e $R2 = 20 \text{ k}\Omega$ ligado do ponto central ao GND. Com essa combinação, o divisor produz uma redução proporcional de aproximadamente 0,66 (3,3/5), garantindo que a tensão máxima de 5 V seja reduzida para cerca de 3,3 V. A relação é dada pela equação (1).

$$V_{OUT} = V_{IN} \times \frac{R2}{R1 + R2} \quad (1)$$

No caso do sensor de temperatura DS18B20, por se tratar de um dispositivo digital com comunicação via protocolo 1-Wire, não foi necessário realizar condicionamento analógico. No entanto, para assegurar a estabilidade da comunicação, foi instalado um resistor de *pull-up* de 4,7 k Ω entre o fio de dados e o V_{CC} (3,3 V), conforme especificado no datasheet do fabricante.

O conjunto completo da interface de condicionamento e aquisição, incluindo alimentação regulada, proteção, adaptação de sinais e conectividade com o microcontrolador, constitui o núcleo funcional do sistema de telemetria embarcado. A correta integração desses componentes foi essencial para garantir a estabilidade elétrica e a confiabilidade da leitura dos dados durante os testes no veículo.

3.3 IHM integrada ao ESP32

A IHM desenvolvida neste trabalho tem como finalidade permitir a visualização clara e em tempo real dos dados coletados pelos sensores de temperatura e pressão de óleo do veículo URI Rally Car. A comunicação entre o sistema embarcado e o dispositivo do usuário foi realizada por meio do módulo Bluetooth do microcontrolador ESP32, o qual envia os dados processados diretamente para um aplicativo Android.

O aplicativo foi desenvolvido na plataforma MIT App Inventor 2, uma ferramenta de programação visual por blocos que possibilita a criação rápida de interfaces gráficas funcionais para dispositivos móveis. A escolha do MIT se deu pela sua compatibilidade com o ESP32, facilidade de integração com sensores e baixo tempo de desenvolvimento. A interface foi projetada com um layout simples, responsivo e de fácil leitura, exibindo os valores de temperatura (em °C) e pressão (em bar) de forma contínua, com atualização automática a cada 3 segundos.

Durante a programação do aplicativo, foram configurados campos de entrada e rotinas de leitura serial via Bluetooth, associadas a elementos visuais (*labels* e indicadores numéricos). A lógica de exibição garante a conversão correta dos valores recebidos sejam convertidos corretamente e apresentados ao usuário sem a necessidade de interação adicional. O layout foi

estruturado para proporcionar usabilidade tanto em testes de bancada quanto em condições reais de pista, levando em conta legibilidade sob luz solar e operação com o veículo em movimento, (MIT APP INVENTOR 2, 2025).

Além da visualização contínua dos dados, a IHM foi programada para emitir alertas visuais em duas condições críticas:

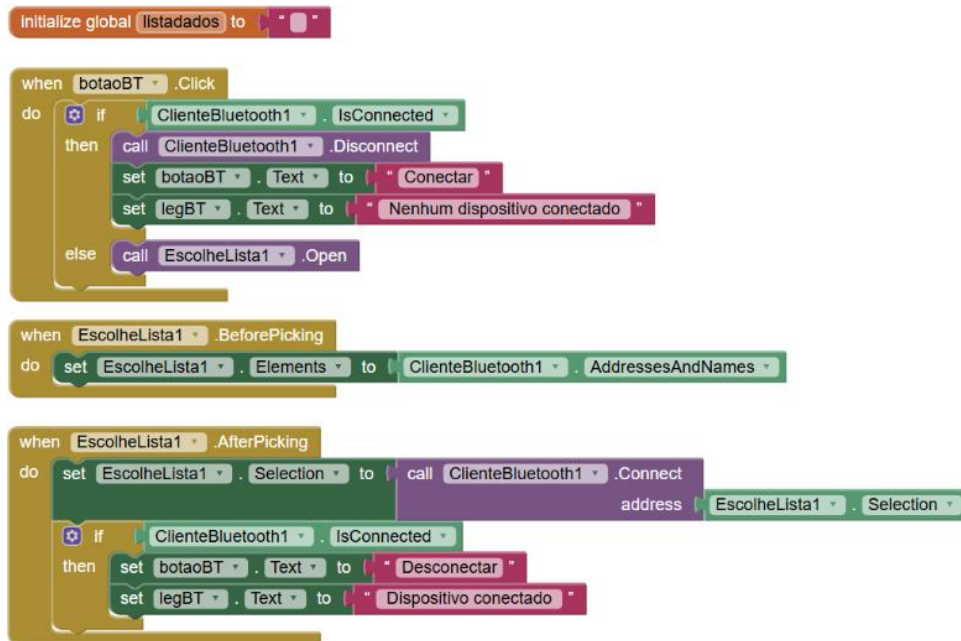
- Quando a temperatura do motor ultrapassa 105 °C, um aviso de superaquecimento é exibido. Esse limite foi definido com base em valores comumente aceitos para motores ciclo Otto operando sob carga elevada, sinalizando a necessidade de parada para resfriamento ou manutenção.
- Quando a pressão do óleo fica abaixo de 1 bar, é exibido um alerta de baixa pressão, considerando que esse é o limite mínimo recomendado para lubrificação segura do motor em operação, conforme orientações técnicas de fabricantes e especificações do sensor PS10 (PABOCAR, [s.d.]).

Esses alertas funcionam como um recurso de segurança preventiva, reforçando o papel da IHM não apenas como interface de monitoramento, mas também como ferramenta de apoio à decisão durante testes e competições. A lógica de alerta foi implementada diretamente no código do aplicativo e é ativada de forma automática conforme os dados recebidos.

Para melhor compreensão do funcionamento interno do aplicativo, seguem as descrições dos principais blocos de programação utilizados:

A Figura 13 apresenta, no primeiro bloco, a inicialização da variável global, utilizado para armazenar os dados recebidos via Bluetooth. No segundo bloco define o comportamento do botão de conexão Bluetooth, quando clicado, ele verifica se já existe uma conexão ativa. Se sim, desconecta o dispositivo e redefine os textos; se não, abre a lista de dispositivos disponíveis para pareamento. Já no terceiro bloco é acionado antes da exibição da lista e popular os itens disponíveis usando os nomes e endereços dos dispositivos pareáveis. E o quarto bloco trata a seleção feita na lista, conectando ao dispositivo selecionado e atualizando os indicadores da interface se a conexão for bem-sucedida.

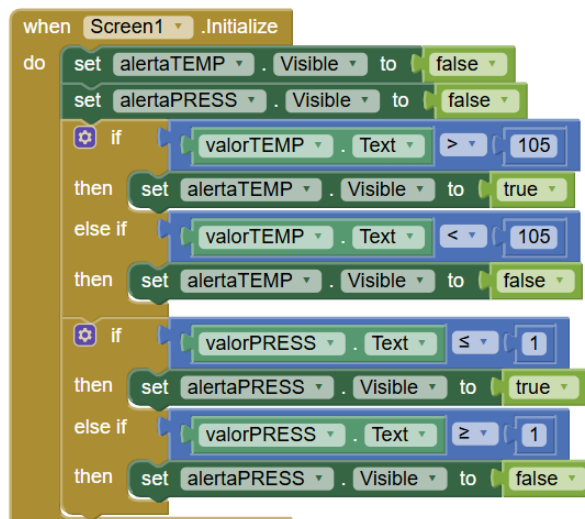
Figura 13 – Blocos de conexão Bluetooth.



Fonte: Autoria própria (2025).

Esse bloco é executado ao iniciar o aplicativo, o sistema inicialmente oculta os alertas de temperatura e pressão. Em seguida, avalia os valores recebidos: se a temperatura for maior ou igual a 105 °C, exibe o alerta de temperatura; se menor, oculta. Para a pressão, se for menor ou igual a 1 bar, exibe o alerta de pressão; caso contrário, oculta-o (Figura 14).

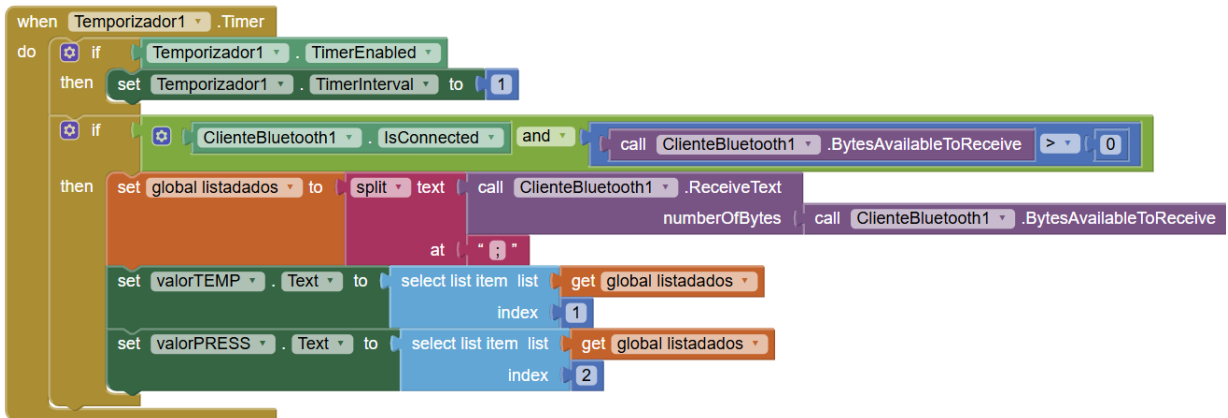
Figura 14 – Bloco de alerta por temperatura e pressão.



Fonte: Autoria própria (2025).

O bloco de temporizador na Figura 15 verifica cada segundo, se há dados disponíveis para leitura via Bluetooth. Caso haja, os dados são recebidos, divididos com base no caractere ";" e atribuídos aos campos correspondentes de temperatura e pressão. Isso garante que a atualização da interface ocorra continuamente e de forma sincronizada com as leituras reais do microcontrolador ESP32.

Figura 15 – Bloco do temporizador.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.4 Validação do sistema proposto

A validação do sistema de telemetria desenvolvido foi conduzida em duas etapas complementares: simulação virtual utilizando a plataforma Wokwi e montagem física em laboratório (Wokwi, 2025). O objetivo foi verificar o funcionamento da aquisição de dados pelos sensores, o processamento das informações pelo ESP32 e a correta transmissão e exibição dos dados na IHM desenvolvida em aplicativo móvel.

Na simulação, realizada na plataforma Wokwi (Figura 24), foi construído um circuito virtual contendo o ESP32, o sensor digital de temperatura DS18B20 e um potenciômetro representando o sensor de pressão PS10. A simulação permitiu verificar a leitura de dados analógicos e digitais, a lógica de conversão dos sinais e a estabilidade do código embarcado. A leitura da temperatura foi feita via protocolo 1-Wire, com comunicação digital estável e correta conversão dos dados para a escala em graus Celsius. A pressão foi simulada com base na variação do potenciômetro, cuja tensão foi mapeada para a faixa de 0 a 10 bar usando um divisor de tensão conforme a equação (2).

$$Press\tilde{a}o_{(bar)} = \left(\frac{V_{leitura} - 0,5}{3,3 - 0,5} \right) \times 10 \quad (2)$$

A seguir, será apresentado o código-fonte utilizado no microcontrolador ESP32, com descries de cada trecho para facilitar o entendimento de seu funcionamento:

Estas bibliotecas da Figura 16 permitem o controle do sensor DS18B20, a leitura da temperatura e o envio dos dados via Bluetooth ao aplicativo Android.

Figura 16 – Inclusão de bibliotecas.

```
#include <OneWire.h>           // Comunicao com sensor 1-Wire (DS18B20)
#include <DallasTemperature.h> // Biblioteca específica para o DS18B20
#include "BluetoothSerial.h"    // Biblioteca para comunicao Bluetooth
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Conforme a Figura 17, os pinos de conexão: o sensor de temperatura está no GPIO4 e o sensor de pressão (simulado por potenciômetro) está no GPIO1.

Figura 17 – Definio dos pinos do ESP32.

```
#define ONE_WIRE_BUS 4           // DS18B20 no GPIO4
#define PRESSURE_SENSOR_PIN 1    // Potenciômetro no GPIO1 (entrada analógica)
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Inicializa os objetos responsáveis pela comunicao com o sensor de temperatura e com o módulo Bluetooth (Figura 18).

Figura 18 – Inicializao das bibliotecas.

```
OneWire onewire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&onewire);
BluetoothSerial SerialBT;
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Na funo *setup* () mostrada na Figura 19, são configuradas as comunicaes serial e Bluetooth, além da inicializao do sensor de temperatura. A resoluo do ADC  ajustada para 12 bits.

Figura 19 – Configuração da comunicação serial e Bluetooth.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);           // Comunicação Serial para debug
  SerialBT.begin("ESP32_BT");  // Inicializa Bluetooth com nome "ESP32_BT"
  Serial.println("Bluetooth iniciado! Emparelhe com ESP32_BT");

  sensors.begin();            // Inicializa o sensor DS18B20
  analogReadResolution(12);   // Define resolução do ADC (0-4095)
}
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Solicita a leitura da temperatura e armazena o valor em graus Celsius (Figura 20).

Figura 20 – Leitura do sensor DS18B20.

```
void loop() {
  // --- Leitura da temperatura ---
  sensors.requestTemperatures();
  float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);
}
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Na Figura 21, o ESP32 faz a leitura do valor analógico do potenciômetro, converte o valor para tensão e em seguida calcula a pressão em bar, assumindo que 0,5 V = 0 bar e 3,3 V = 10 bar. Valores negativos são ajustados para zero.

Figura 21 – Condicionamento do sinal do sensor de pressão.

```
// --- Leitura do sensor de pressão ---
int analogValue = analogRead(PRESSURE_SENSOR_PIN);
float voltage = analogValue * 3.3 / 4095.0;
float pressureBar = (voltage - 0.5) * (10.0 / (3.3 - 0.5));
if (pressureBar < 0) pressureBar = 0;
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Verifica se há um dispositivo Bluetooth conectado e envia os valores de temperatura e pressão, separados por ponto e vírgula, para o aplicativo móvel (Figura 22).

Figura 22 – Envio de dados para o dispositivo móvel.

```
// --- Envia via Bluetooth para App Inventor ---
if (SerialBT.hasClient()) {
  SerialBT.print("");
  SerialBT.print(temperatureC, 1); // Uma casa decimal
  SerialBT.print(";");
  SerialBT.println(pressureBar, 2); // Duas casas decimais
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Os mesmos valores também são exibidos no monitor serial do computador para fins de teste, com um intervalo de três segundos entre as leituras (Figura 23).

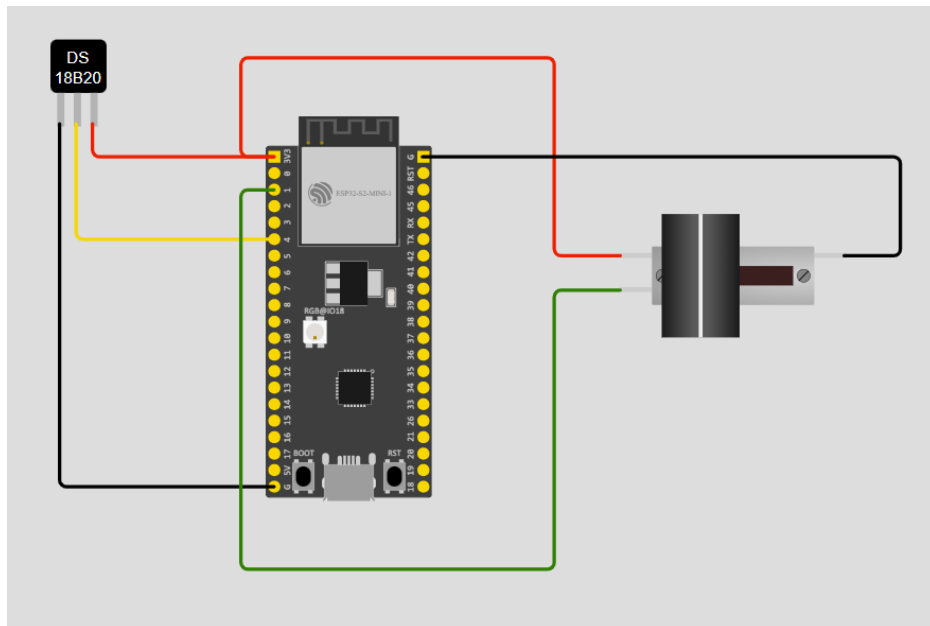
Figura 23 – Dados a serem exibidos no monitor serial.

```
// --- Exibe no monitor serial ---
Serial.print("Temperatura (°C): ");
Serial.println(temperatureC, 1);
Serial.print("Pressão (Bar): ");
Serial.print(pressureBar, 2);
Serial.println(" bar");

delay(3000); // Aguarda 3 segundos
```

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 24 – Montagem do sistema no Wokwi com ESP32, sensor DS18B20 e potenciômetro simulando o sensor PS10.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.5 Testes experimentais

A etapa de testes experimentais visa validar o funcionamento do sistema de telemetria em condições reais de uso no veículo URI Rally Car, um Volkswagen Gol G3 adaptado para competições de Rally. Para isso, foi definido o local de instalação dos sensores, do circuito eletrônico e da interface de leitura, respeitando tanto os aspectos técnicos quanto às restrições físicas do ambiente do carro (Figura 25).

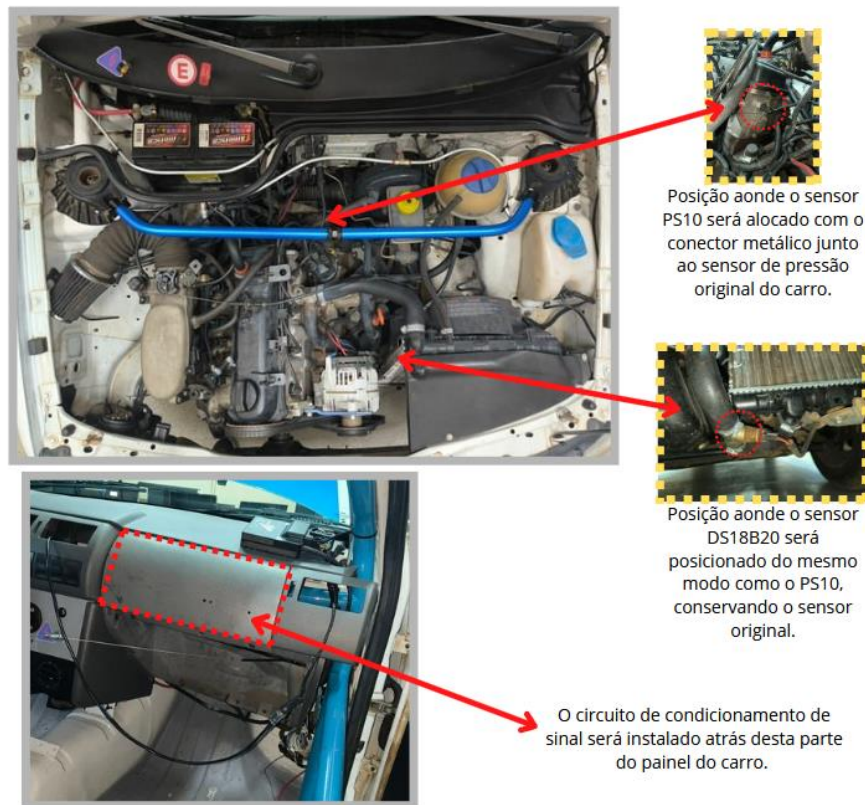
A instalação do sensor de temperatura DS18B20 será realizada na região do radiador, exatamente onde já se encontra o sensor original do veículo. No entanto, devido ao fato de o sensor original estar conectado à injeção eletrônica programável da marca ProTune, não é possível utilizar o mesmo sensor para alimentar simultaneamente o sistema de telemetria, pois isso poderia comprometer a leitura da ECU ou gerar conflitos de sinal. Como alternativa, será confeccionado um adaptador ou uma derivação física que possibilite a instalação de ambos os sensores no mesmo ponto de medição sem interferência mútua, garantindo a leitura precisa da temperatura por ambos os sistemas.

O mesmo critério será aplicado ao sensor de pressão de óleo. O sensor de óleo original funciona como um interruptor, ou seja, é acionado quando a pressão do sistema de lubrificação é nula, e está conectado à ECU da injeção eletrônica, impossibilitando o uso do mesmo sinal. Assim, será necessária uma adaptação no sistema de lubrificação para que o sensor PS10 possa ser instalado no mesmo ponto físico da rosca do sensor original, respeitando a vedação e a segurança do sistema, sem a necessidade de remover o sensor já existente. Essa adaptação poderá ser feita por meio de um adaptador "T" metálico com duas saídas roscadas compatíveis.

Os cabos dos sensores serão roteados até a parte interna do veículo, passando pela parede corta-fogo e sendo organizados de modo a evitar interferências e atritos com partes móveis. O circuito eletrônico do sistema de telemetria será fixado na parte de trás do painel do veículo, na frente do banco do passageiro local onde se posiciona o navegador durante as provas, facilitando a manutenção e permitindo o acesso à IHM móvel durante os testes.

Essa estratégia garante uma instalação discreta, funcional e segura, mantendo a compatibilidade com a injeção eletrônica programável já existente no veículo e possibilitando a análise em tempo real das variáveis críticas do motor. A execução da montagem considerou o uso de conectores confiáveis, proteção dos fios com malhas e fixação adequada contra vibrações, atendendo às exigências típicas de um ambiente de Rally.

Figura 25 – Posicionamento dos sensores e da interface de condicionamento de sinal no veículo.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.6 Adaptação do chicote elétrico no veículo

A instalação dos sensores no veículo demandou a elaboração e adaptação de extensões específicas, de modo a garantir o alcance adequado entre os pontos de medição localizados no motor e a placa de circuito posicionada na região interna do veículo. Esse procedimento foi necessário devido à disposição física dos componentes e à necessidade de preservar a integridade dos sinais coletados durante o funcionamento do sistema. As etapas iniciais do processo compreenderam a preparação e o prolongamento dos cabos originais dos sensores, os quais foram devidamente descascados e unidos por meio de emendas diretas (emendas por torção), técnica que assegura a continuidade elétrica sem recorrer ao uso de solda (Figura 26). Tal escolha fundamenta-se em boas práticas de instalação automotiva, visto que conexões soldadas tendem a apresentar fragilidades mecânicas diante das constantes vibrações, dilatações térmicas e movimentações estruturais do veículo, podendo resultar em falhas intermitentes ou até mesmo na interrupção do sinal.

Com o objetivo de reforçar a fixação mecânica e garantir a durabilidade do conjunto, foi aplicado sobre cada emenda um terminal metálico de crimpagem, procedimento que assegura uma conexão firme, estável e resistente a esforços mecânicos. Além disso, as uniões foram devidamente isoladas com tubo termo retrátil, proporcionando proteção adicional contra umidade, oxidação e curtos-circuitos acidentais. Todo o processo de montagem e conexão elétrica foi conduzido em conformidade com as recomendações da ABNT NBR ISO 8092 (2006), norma que estabelece os requisitos de desempenho, confiabilidade e segurança para sistemas de conectividade elétrica em veículos automotores, assegurando, assim, a qualidade e a integridade do sistema de telemetria desenvolvido.

Na sequência, cada emenda foi cuidadosamente isolada individualmente utilizando tubos termo retráteis, os quais, ao serem submetidos a aquecimento controlado, aderem firmemente à superfície dos condutores, proporcionando vedação eficiente e reforço mecânico à junção. Esse procedimento não apenas previne a ocorrência de curto-circuito, mas também contribui para o aumento da resistência estrutural do conjunto, reduzindo a possibilidade de desprendimentos ou danos causados por vibrações e movimentações constantes do veículo durante sua operação.

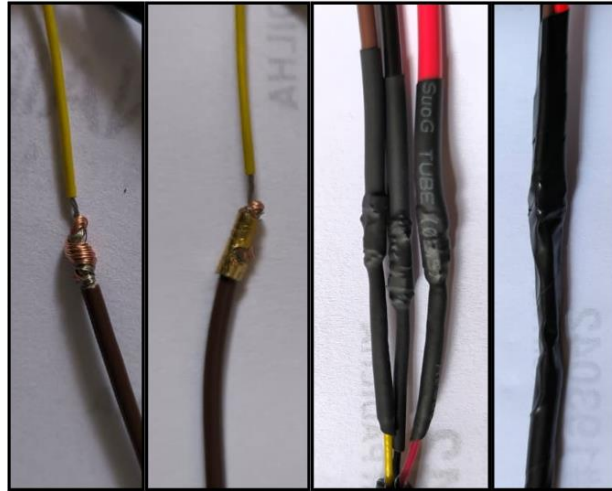
Com o intuito de oferecer proteção adicional contra umidade e agentes externos, foi aplicada uma camada complementar de fita isolante automotiva sobre as áreas já tratadas, garantindo vedação mais eficiente e prevenindo a oxidação dos condutores. Após o isolamento individual de todas as emendas, os cabos foram agrupados de forma organizada e envolvidos por um tubo corrugado automotivo, componente amplamente utilizado em sistemas elétricos veiculares por sua elevada resistência a atrito, variações térmicas e exposição a intempéries.

Esse processo resultou na formação de um chicote elétrico robusto, confiável e tecnicamente adequado às condições adversas do ambiente automotivo, assegurando a integridade física e elétrica das conexões ao longo do tempo. Tal cuidado na confecção do chicote é essencial para garantir a confiabilidade do sistema de telemetria, reduzindo a probabilidade de falhas e assegurando a continuidade na transmissão dos dados coletados pelos sensores.

Na etapa subsequente, foram executados os procedimentos de identificação e terminação dos condutores, etapa essencial para assegurar a correta organização e manutenção do sistema elétrico do veículo. Para tanto, foram aplicadas etiquetas de identificação em cada cabo, indicando de forma clara e legível as respectivas funções, tais como alimentação positiva (+5 V), sinal de leitura e referência de terra (GND). Essa padronização visual facilita a

rastreabilidade dos circuitos e reduz significativamente o risco de equívocos durante processos de montagem, inspeção ou manutenção.

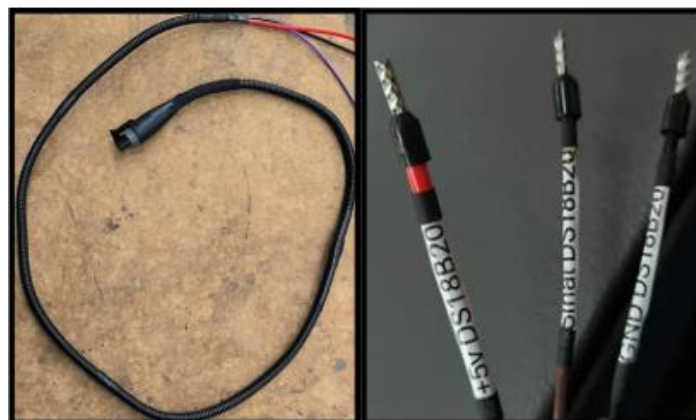
Figura 26 – Etapas da emenda direta.



Fonte: Autoria própria (2025).

Após a etapa de identificação, cada condutor foi terminado com terminais tipo ilhós, adequadamente crimpados às extremidades dos fios. Essa escolha de conector garante maior firmeza, estabilidade elétrica e resistência mecânica nas conexões realizadas aos bornes da *Printed Circuit Board*, em português: placa de circuito impresso (PCB) como mostra na Figura 27. Além de proporcionar um encaixe seguro e confiável, a utilização desse tipo de terminal simplifica intervenções futuras, permitindo substituições ou ajustes sem comprometer a integridade dos cabos.

Figura 27 – Chicote elétrico finalizado.



Fonte: Autoria própria (2025).

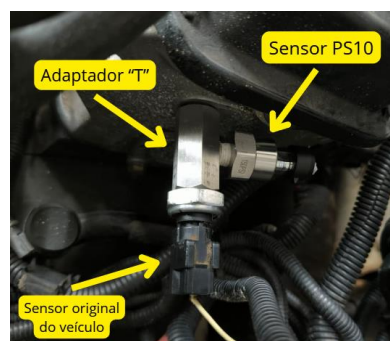
Com essas medidas, assegurou-se não apenas a organização e a confiabilidade do chicote elétrico, mas também o alinhamento do projeto às boas práticas de montagem aplicadas em sistemas automotivos. Isso contribuiu para uma estrutura elétrica mais robusta e segura, aspectos fundamentais para o bom desempenho do sistema de telemetria desenvolvido.

3.7 Adaptação mecânica dos sensores

A instalação do sensor de pressão PS10 demandou a realização de uma adaptação mecânica específica, necessária para integrar o novo componente ao sistema existente do veículo sem comprometer suas funcionalidades originais. Considerando que o motor já possuía um interruptor de pressão de óleo original, optou-se pela utilização de um adaptador metálico em formato de “T”, que possibilitou a conexão simultânea do transdutor PS10 e do sensor original no mesmo ponto de medição.

Essa configuração foi escolhida por garantir compatibilidade mecânica e funcional entre os dispositivos, permitindo que o sistema de monitoramento nativo do veículo continuasse operando normalmente, enquanto o sensor adicional realizava a aquisição contínua e precisa dos dados de pressão para o sistema de telemetria. Além disso, o adaptador metálico proporciona resistência adequada às pressões internas do circuito de óleo, bem como vedação confiável contra vazamentos, garantindo a durabilidade e a integridade do conjunto (Figura 28).

Figura 28 – Instalação do sensor PS10 junto do adaptador.



Fonte: Autoria própria (2025).

Essa solução técnica se mostra eficiente e segura, uma vez que preserva as características originais do sistema de lubrificação do motor, evita modificações invasivas e amplia as capacidades de instrumentação do veículo. Assim, o ponto de leitura obtido a partir dessa adaptação oferece dados consistentes e representativos das condições reais de operação,

contribuindo diretamente para a confiabilidade e precisão do sistema de telemetria desenvolvido.

Por fim, a instalação do sensor de temperatura DS18B20 exigiu uma adaptação mecânica específica para assegurar uma interface térmica adequada entre o sensor e o motor. Com o objetivo de obter medições precisas e estáveis, o sensor foi alojado em uma carcaça metálica confeccionada em bronze, material escolhido por sua elevada condutividade térmica e compatibilidade dimensional com a rosca original do bloco do motor, evitando a necessidade de modificações estruturais.

Durante o processo de instalação, verificou-se a existência de um pequeno espaço interno entre o corpo do sensor e o poço da carcaça metálica, o que poderia comprometer a transferência de calor. Para corrigir essa folga e otimizar a condução térmica, foi aplicada uma camada de fita metálica de alumínio ao redor do sensor, garantindo um encaixe firme e um contato térmico mais eficiente com as paredes internas da carcaça. Esse ajuste contribuiu diretamente para a precisão e a estabilidade das leituras de temperatura, reduzindo atrasos na resposta térmica do sistema.

Após o correto posicionamento do conjunto, procedeu-se à aplicação de um selante de junta automotiva, produto amplamente utilizado em ambientes de alta temperatura por sua excelente aderência a superfícies metálicas e resistência a óleo, vibrações e umidade. O selante foi utilizado tanto para vedação quanto para reforço mecânico do conjunto, assegurando estanqueidade, fixação e proteção adicional ao sensor durante a operação do veículo.

Essa solução de adaptação garantiu que o DS18B20 operasse de forma confiável e protegida, oferecendo medições consistentes mesmo sob as condições severas típicas do ambiente automotivo, consolidando sua integração ao sistema de telemetria veicular desenvolvido (Figura 29).

Figura 29 – Adaptação sensor DS18B20.



Essa etapa de adaptação garantiu que ambos os sensores de temperatura (DS18B20) e de pressão (PS10), fossem instalados de maneira segura, funcional e plenamente compatível com as condições severas do ambiente do motor. O cuidado empregado na escolha dos materiais, na vedação e na fixação mecânica assegurou resistência a vibrações, variações térmicas, contato com óleo e umidade, fatores críticos no contexto automotivo.

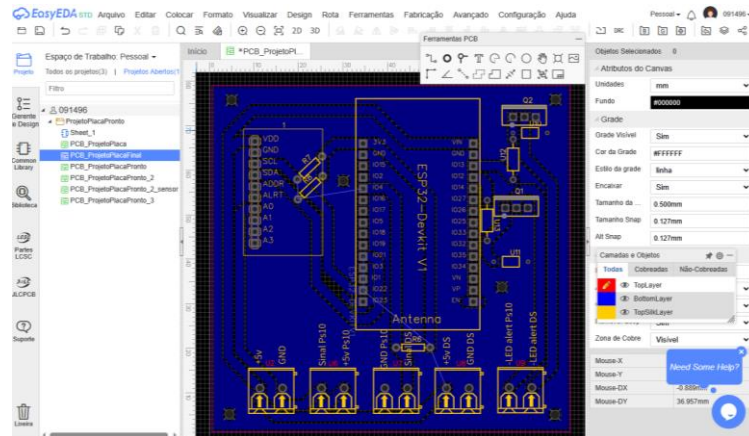
Dessa forma, as soluções adotadas contribuíram para a confiabilidade e estabilidade das medições, permitindo que os dados coletados refletissem com precisão o comportamento real do sistema durante os ensaios. Além disso, o conjunto resultante apresentou robustez e durabilidade adequadas para a aplicação em um veículo de competição, garantindo o desempenho contínuo do sistema de telemetria e a integridade dos sensores ao longo de todo o processo de testes e validação do projeto.

3.8 Montagem e impressão da PCB

A montagem da PCB teve início a partir do projeto eletrônico elaborado no software EasyEDA como mostra a Figura 30, ambiente utilizado para o desenvolvimento do esquema elétrico e do respectivo layout da placa. Durante essa etapa, o layout original foi cuidadosamente revisado e aprimorado, de modo a incorporar o conversor analógico-digital ADS1115 (Figura 31) componente responsável pela aquisição de sinais com alta resolução e precisão, fundamental para a leitura do sensor de pressão PS10. Essa inclusão exigiu ajustes no roteamento das trilhas, na disposição dos componentes e na definição das conexões de alimentação e comunicação com o microcontrolador ESP32, garantindo compatibilidade elétrica e integridade dos sinais medidos. Após a conclusão e validação do projeto eletrônico, foi gerado o arquivo Gerber, padrão utilizado para fabricação de placas de circuito impresso.

O arquivo foi então encaminhado para produção por meio da fresa de PCB (Figura 33) disponível no laboratório da universidade, equipamento que permite a confecção de trilhas, ilhas e furos de forma precisa, conforme o layout especificado no software. Esse processo possibilitou a produção de uma placa personalizada, adequada às necessidades do sistema de telemetria desenvolvido, garantindo uma organização eficiente dos componentes, maior estabilidade no funcionamento do circuito e melhor qualidade nas conexões elétricas, esses aspectos elevaram a confiabilidade do sistema.

Figura 30 – PCB projetada no software EasyEDA.



Fonte: Autoria própria (2025).

Além da PCB principal, o sistema incorporou um módulo conversor buck HCW-P715 (Figura 32) em malha fechada, cuja função é fornecer uma tensão estabilizada de 5 V, descartando o uso dos dois reguladores que foram mencionados anteriormente, o LM2596 e o L7805, para a alimentação dos sensores, do conversor analógico-digital ADS1115 e de parte da lógica de controle do circuito. A adoção desse tipo de conversor se justifica por sua elevada eficiência na conversão de energia, isto é, pela capacidade de transformar a tensão de entrada em tensão de saída útil com perdas mínimas. Além disso, o conversor mantém a tensão de saída estável mesmo diante de variações provenientes da alimentação do veículo, o que é fundamental para garantir a precisão e a estabilidade das medições (Manuals, 2025).

Figura 31 – Módulo ADS1115.



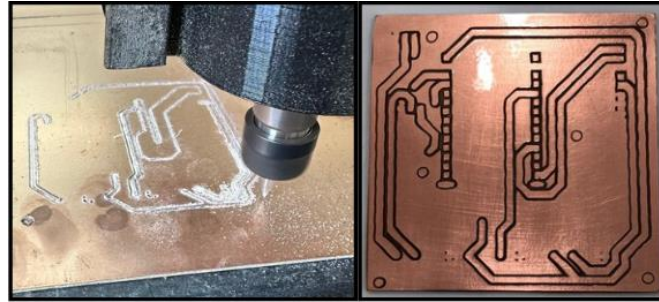
Fonte: Usinainfo (2025a).

Figura 32 – Conversor DC/DC com saída fixa em 5 V.



Fonte: Usinainfo (2025c).

Figura 33 – Processo de impressão da PCB.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.9 Correção de níveis lógicos

A escolha do conversor analógico-digital (ADC) é um fator determinante para a confiabilidade das medições no sistema de telemetria embarcado, especialmente em aplicações severas como o Rally, onde decisões críticas dependem de informações rápidas e precisas sobre o funcionamento do motor. Nesse contexto, o módulo externo ADS1115 apresenta vantagens técnicas significativas quando comparado ao ADC interno presente no microcontrolador ESP32, conforme descrito na documentação oficial da Espressif (ESP-IDF, 2024).

A primeira vantagem relevante refere-se à resolução e precisão das medições. Enquanto o ADC interno do ESP32 oferece resolução máxima de 12 bits (4.096 níveis discretos), o ADS1115 opera com resolução de 16 bits, totalizando 65.536 níveis de conversão. Na prática, isso representa um detalhamento 16 vezes superior, resultando em leituras mais estáveis e capazes de revelar variações sutis na pressão e temperatura do sistema de lubrificação, parâmetros essenciais para evitar falhas catastróficas durante a competição.

Além da resolução, a estabilidade da tensão de referência (V_{ref}) é um ponto crítico. O V_{ref} interno do ESP32 apresenta variações significativas entre chips (1000 mV a 1200 mV) e sofre influência da temperatura e do uso dos módulos Wi-Fi/Bluetooth. Em contraste, o ADS1115 dispõe de uma referência interna altamente estável e de um amplificador de ganho programável (PGA). O PGA permite ajustar a faixa de medição para sensores que operam entre 0,5 V e 4,5 V, garantindo que toda a resolução de 16 bits seja aproveitada e maximizando a precisão dos dados.

A imunidade a *Electromagnetic Interference* (Interferência Eletromagnética) EMI também justifica o uso do componente externo. O ADC interno do ESP32 possui limitações conhecidas relacionadas à sua precisão e estabilidade, especialmente quando utilizado para medições analógicas que exigem maior resolução. Suas leituras podem apresentar variações

perceptíveis devido ao próprio design do microcontrolador, que não é otimizado para aplicações de instrumentação. Já o ADS1115 oferece conversão de alta resolução, possui circuitos internos de condicionamento de sinal e utiliza comunicação digital via I²C, o que garante leituras mais consistentes, precisas e adequadas às exigências do sistema de telemetria.

3.9.1 Adequação da alimentação e correção de níveis lógicos

Para a correta leitura do sensor de pressão de óleo (modelo PS10), que fornece um sinal analógico linear de 0,5 V a 4,5 V, foi necessário definir a estratégia de alimentação do ADC. Como o ADS1115 deve receber sinais de entrada estritamente dentro de sua faixa de alimentação ($V_{IN} \leq V_{DD}$), tornou-se imprescindível alimentá-lo com 5 V (Texas Instruments, 2009). Essa decisão técnica, suportada pela integração de um conversor *buck* no sistema, assegurou que todo o intervalo de saída do sensor fosse lido integralmente, sem riscos de saturação ou perda de dados, garantindo a robustez elétrica do sistema.

Entretanto, essa configuração gerou uma discrepância de níveis lógicos no barramento de comunicação I²C, uma vez que o ESP32 opera internamente a 3,3 V e o ADS1115 precisa ser alimentado com 5 V. Por padrão, os módulos comerciais do ADS1115 possuem resistores de *pull-up* conectados à linha de alimentação do próprio módulo (neste caso, 5 V). Manter essa configuração poderia forçar tensões superiores às suportadas pelos pinos GPIO do ESP32 (Espressif Systems, 2025), resultando em instabilidade na comunicação e risco de danos permanentes ao microcontrolador.

Para solucionar essa incompatibilidade e garantir a integridade elétrica, foi realizada a adequação dos níveis lógicos. A modificação foi viável devido à arquitetura das saídas do ADS1115, que são do tipo *open-drain* (dreno aberto) (TEXAS INSTRUMENTS, 2009). Nesse arranjo, o dispositivo apenas aterriza o sinal (nível lógico baixo), enquanto o nível lógico alto é definido externamente pelos resistores de *pull-up*.

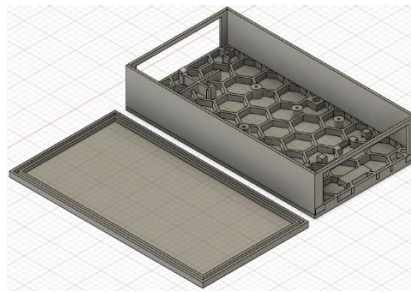
Dessa forma, os resistores de *pull-up* originais do módulo foram removidos e substituídos por resistores de 4,7 k Ω conectados à linha de 3,3 V proveniente do ESP32. Essa alteração garantiu que os sinais das linhas SCL e SDA oscilassem dentro da faixa segura de operação do microcontrolador, preservando a precisão das leituras analógicas do ADS1115 e assegurando uma comunicação digital estável e confiável durante todas as etapas de teste e validação do sistema de telemetria.

3.10 Suporte mecânico e fixação

Para a instalação do sistema no veículo, foi desenvolvido um suporte dedicado para a fixação das placas eletrônicas, assegurando uma montagem estável, protegida e compatível com as condições de operação automotiva. O suporte foi modelado no software Autodesk Fusion 360, ferramenta amplamente utilizada em projetos de engenharia e disponibilizada gratuitamente para uso acadêmico, o que possibilitou a criação de um modelo tridimensional preciso e otimizado para o espaço disponível no interior do veículo.

Durante a modelagem, a base do suporte recebeu um reforço interno em padrão colmeia, uma solução que melhora de forma notável a rigidez mecânica da peça sem acrescentar massa excessiva, proporcionando um equilíbrio eficiente entre leveza e robustez (Figura 34).

Figura 34 – Modelo 3D pronto para impressão



Fonte: Autoria própria (2025).

A estrutura projetada foi fabricada por meio de impressão 3D, utilizando filamento do tipo PETG, material escolhido em razão de sua elevada resistência térmica, boa tenacidade e durabilidade em ambientes sujeitos a vibrações e variações de temperatura, características típicas do compartimento interno do veículo (Voolt3D, 2025). A fixação final do suporte no interior do painel do veículo foi realizada utilizando parafusos e porcas, garantindo um acoplamento mecânico firme e permanente à estrutura interna.

Com essa abordagem, as duas placas, a PCB principal e o módulo conversor *buck*, foram fixadas de forma firme, bem ventilada e protegida contra impactos ou deslocamentos, assegurando confiabilidade estrutural e segurança elétrica durante o funcionamento e os testes do sistema de telemetria veicular (Figura 35). Essa integração entre design digital e manufatura aditiva resultou em uma solução personalizada, eficiente e tecnicamente adequada às exigências do ambiente automotivo.

Figura 35 – Modelo 3D impresso



Fonte: Autoria própria (2025).

3.11 Implementação de alertas visuais

Além dos alertas apresentados na IHM do aplicativo Android, o sistema foi aprimorado com a implementação de alertas visuais físicos no painel do veículo, recurso projetado para aumentar a segurança e a confiabilidade operacional em condições reais de pista. Essa melhoria consistiu na instalação de sinaleiros automotivos de 12 V, estrategicamente posicionados de modo a garantir alta visibilidade para o navegador durante a condução.

Os indicadores luminosos atuam como avisos imediatos em situações críticas, como elevação anormal da temperatura do motor ou variações inesperadas na pressão de óleo. Dessa forma, mesmo que o dispositivo móvel não esteja acoplado, sem visibilidade adequada ou com o aplicativo em segundo plano, o sistema ainda é capaz de alertar o condutor e o navegador de maneira direta e eficaz.

Essa integração entre o sistema eletrônico embarcado e os alertas físicos complementares reforça a redundância das notificações de segurança, aspecto fundamental em ambientes de competição, onde as condições de operação são severas e o tempo de reação é decisivo. Assim, o conjunto de sinalização luminosa contribui de maneira relevante para a confiabilidade do sistema de telemetria, reforçando a robustez operacional e garantindo que o conjunto esteja melhor preparado para as exigências do uso automotivo em pista. Para o acionamento dos sinaleiros automotivos de 12 V, foi empregado o microcontrolador ESP32 como unidade de controle, responsável por gerenciar dois circuitos independentes correspondentes aos alertas de superaquecimento do motor e de baixa pressão de óleo. Cada circuito foi projetado de modo a garantir isolamento elétrico, resposta rápida e operação segura, considerando as diferenças entre os níveis de tensão do sistema de controle e do circuito automotivo.

Como o ESP32 opera com lógica de 3,3 V e apresenta corrente de saída limitada nos pinos GPIO, não seria possível acionar diretamente os sinaleiros, que demandam alimentação de 12 V e corrente superior à suportada pelo microcontrolador. Para contornar essa limitação, o comando foi implementado por meio de transistores MOSFET do tipo 2N7000 (Philips, 1995), que atuam como chaves eletrônicas de baixa potência. A escolha desse componente deve-se à sua facilidade de acionamento, alta confiabilidade, baixo consumo e capacidade de chaveamento compatível com a corrente nominal dos sinaleiros, estimada em aproximadamente 20 mA.

O circuito de acionamento foi configurado conforme descrito a seguir:

- *Gate* (porta): conectado ao pino GPIO correspondente do ESP32, através de um resistor limitador (150Ω), que evita picos de corrente na comutação;
- *Source* (fonte): ligado ao terra comum do sistema, compartilhado entre o microcontrolador e o circuito automotivo;
- *Drain* (dreno): conectado ao terminal negativo do sinaleiro.

Terminal positivo do sinaleiro: ligado diretamente à linha de 12 V do veículo, garantindo segurança em caso de curto-circuito ou falha no componente.

Essa configuração permite que o ESP32 atue de forma indireta sobre os sinaleiros, comandando o fluxo de corrente de 12 V apenas quando as condições críticas de temperatura ou pressão são detectadas. Dessa forma, assegura-se um acionamento confiável, com isolamento elétrico adequado e proteção dos componentes eletrônicos, preservando a integridade tanto do sistema de telemetria quanto da instalação elétrica do veículo.

Quando o ESP32 identifica condições críticas de operação, como temperatura do motor superior a 105 °C ou pressão de óleo inferior a 1 bar, o pino GPIO correspondente é automaticamente acionado, aplicando tensão ao *gate* do transistor MOSFET 2N7000. Esse processo faz com que o componente entre em condução, permitindo a passagem de corrente pelo circuito e, conseqüentemente, a alimentação do sinaleiro automotivo de 12 V. O alerta luminoso foi configurado para piscar em uma frequência programada, característica que aumenta a percepção visual do aviso e chama imediatamente a atenção do navegador para a condição anormal detectada.

Essa integração entre os alertas digitais exibidos na IHM e os alertas físicos instalados no painel do veículo representa um avanço significativo em termos de segurança operacional e confiabilidade do sistema. A presença de dois níveis de notificação. Um visual no aplicativo e outro físico no conforme a Figura 36, asseguram redundância no processo de alerta, permitindo

que informações críticas cheguem ao operador mesmo em situações de alta vibração, ruído ou luminosidade variável, típicas de ambientes de competição.

Figura 36 – Alertas visuais no painel do veículo.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.12 Aprimoramento da interface Android e coleta de dados

O aprimoramento da interface Android representou um avanço essencial para garantir maior eficiência e usabilidade do sistema de telemetria durante os testes em campo. A versão inicial da IHM apresentava limitações de legibilidade e organização, que dificultavam a leitura das informações em ambientes externos com alta luminosidade. Diante disso, foi realizado um redesenho completo da interface, priorizando a ergonomia visual e a clareza na disposição dos elementos. Foram ampliados os ícones, reorganizados os indicadores e adotadas paletas de cores de alto contraste, o que possibilitou uma interpretação mais rápida e intuitiva dos parâmetros monitorados pelo usuário durante a condução.

Além das melhorias visuais, foi incorporada uma solução mais prática para o registro temporal das medições. Inicialmente, estava prevista a utilização de um módulo RTC (*Real Time Clock*, em português: relógio em tempo real) externo conectado ao ESP32. No entanto, após avaliação técnica, optou-se por substituir esse componente pelo relógio interno do próprio smartphone, recurso já integrado aos dispositivos Android. Essa alteração simplificou o sistema, eliminando a necessidade de conexões adicionais e reduzindo possíveis pontos de falha, além de garantir maior precisão na marcação temporal das leituras, aproveitando a sincronização automática do horário do celular.

Com essas melhorias, a interface passou a oferecer uma experiência de uso mais confiável e eficiente, fortalecendo o desempenho geral do sistema e tornando a aplicação mais adequada às condições reais de uso em competições e testes veiculares.

Também foi incorporado à interface um campo de identificação da sessão, no qual o usuário pode inserir o nome da especial ou do teste a ser realizado, como por exemplo “SS Campus II”. Após a nomeação, o usuário aciona o botão “Iniciar Gravação”, e a aplicação desenvolvida no MIT App Inventor 2 inicia automaticamente o processo de armazenamento em nuvem por meio do componente Spreadsheet (Figura 37). Nesse instante, o aplicativo cria uma nova aba na planilha Google vinculada ao sistema (Figura 38), utilizando exatamente o nome informado pelo usuário como título da aba, o que facilita a organização e o posterior acesso aos dados salvos na planilha.

A estrutura da planilha foi padronizada conforme o seguinte formato: Coluna A - horário registrado pelo dispositivo móvel. Coluna B - temperatura lida pelo sensor DS18B20 instalado no veículo. Coluna C - pressão de óleo medida pelo sensor PS10 via ADS1115.

O aplicativo Android também recebeu melhorias significativas para garantir maior confiabilidade no registro e gerenciamento das informações coletadas. Foi implementado um mecanismo de armazenamento local automático utilizando o componente TinyDB, permitindo que todos os dados recebidos via Bluetooth sejam salvos temporariamente no dispositivo móvel no formato .txt, é um arquivo de texto simples, significa que ele contém apenas caracteres básicos. Essa estratégia assegura a integridade das informações mesmo na ausência de conexão com a internet, prevenindo perdas decorrentes de falhas de sinal 4G (*Fourth Generation*) Quarta Geração de Tecnologia de Comunicação Móvel/Wi-Fi.

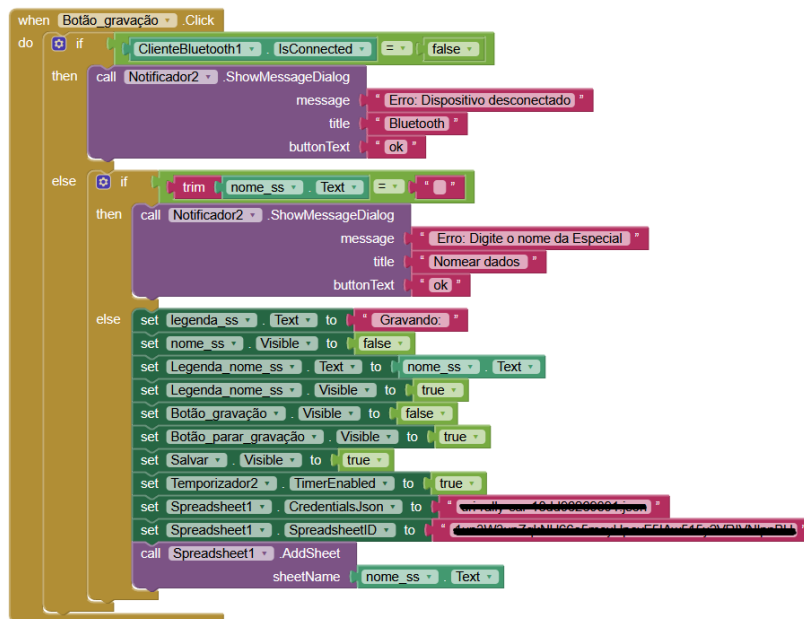
Durante os ensaios, o aplicativo é responsável por encaminhar os dados registrados para a planilha online, que recebe em média quatro amostras por minuto, proporcionando uma resolução adequada para o monitoramento contínuo da operação do motor. Esse fluxo de transmissão possibilita acompanhar em tempo real eventuais variações térmicas e de pressão.

Foi também incorporado ao software o comando “Parar Gravação”, que interrompe imediatamente o envio das amostras, oferecendo ao operador maior controle sobre o início e término de cada sessão de testes. Essa funcionalidade evita o armazenamento de informações fora do período de interesse e garante que apenas dados relevantes sejam mantidos para análise.

Como resultado, o aplicativo tornou-se mais organizado, automatizado e alinhado às exigências do ambiente de competição, favorecendo a rastreabilidade das medições e permitindo que as sessões de teste possam ser analisadas posteriormente diretamente na ferramenta de planilhas.

Essas melhorias tornaram o aplicativo mais amigável, confiável e eficiente, atendendo diretamente às necessidades práticas da equipe durante os testes de desempenho e durabilidade do veículo. A nova interface e as funcionalidades aprimoradas facilitaram a interpretação rápida das informações, reduziram erros operacionais e aumentaram a produtividade nas sessões de telemetria, consolidando o sistema como uma ferramenta eficaz para o monitoramento em tempo real das condições do motor.

Figura 37 – Diagrama de blocos das melhorias implementadas no aplicativo Android



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 38 – Dados recebidos no Google Planilhas a partir do MIT App Inventor 2.

Dados Telemetria				
Arquivo Editar Ver Inserir Formatar Dados F				
M8				
	A	B	C	D
1	Horário	Temperatura	Pressão	
2	21:29:07	26.8	7.71	
3	21:29:17	27.9	7.95	
4	21:29:27	28.9	7.77	
5	21:29:47	30.9	7.81	
6	21:29:57	31.9	7.82	
7	21:30:07	33	7.59	
8	21:30:17	34.1	7.72	
9	21:30:27	35.1	7.45	
10	21:30:47	37.1	7.33	
11	21:31:07	39.2	7.36	

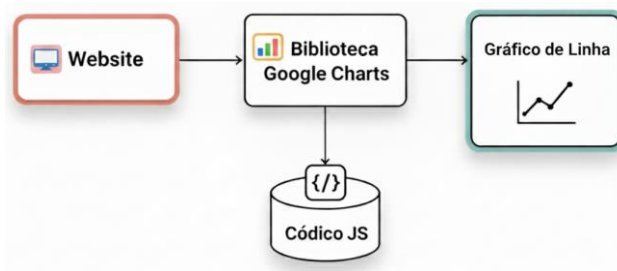
Fonte: Autoria própria (2025).

3.13 Desenvolvimento do Website de análise

O desenvolvimento do website de análise teve como objetivo fornecer uma IHM remota e acessível, capaz de visualizar os dados de temperatura e pressão do óleo coletados e armazenados via Telemetria. A arquitetura do sistema seguiu um modelo cliente-servidor, utilizando Bun como *runtime* (Ambiente de Execução) para o *backend* (Servidor) e as bibliotecas Google Charts para o *frontend* (Interface do Cliente).

Conforme a Figura 39, ilustra de forma concisa como esses componentes se interligam, revelando o fluxo que transforma dados brutos em gráficos de linha claros e informativos, essenciais para a análise do desempenho do motor.

Figura 39 – Fluxograma do website.



Fonte: Autoria própria (2025).

3.13.1 Arquitetura do *backend* e acesso à API

O *backend*, desenvolvido no arquivo `server.js`, é responsável por disponibilizar o *frontend* e realizar a comunicação com a Google Sheets API. O servidor utiliza o *runtime* Bun, escolhido pela sua alta performance, e a biblioteca `googleapis`, que permite acessar os dados armazenados na Planilha Google.

Para garantir segurança no acesso, foi utilizada uma Conta de Serviço configurada no Google Cloud. Suas credenciais, carregadas a partir do arquivo `chave.json`, são gerenciadas pela classe `google.auth.GoogleAuth`, assegurando autenticação segura e acesso em modo somente leitura (`spreadsheets.readonly`), de forma a preservar a integridade da base de dados.

O *endpoint* principal do *backend*, `/data`, cumpre duas funções essenciais:

- **Coleta de Dados:** Utiliza o método `sheets.spreadsheets.values.get` para buscar a matriz de dados (valores) da planilha, permitindo a seleção de diferentes abas (Especiais) através do parâmetro `sheet` na URL.

- Metadados das Abas: Utiliza o método `sheets.spreadsheets.get` para obter a lista de títulos de todas as abas (`allSheetNames`), que é essencial para o seletor de navegação no *frontend*.
- ID da Planilha: Acesso direto à base de dados foi configurado através da constante `SPREADSHEET_ID`, que aponta para a URL específica da planilha de coleta de dados.

3.13.2 Desenvolvimento do *frontend* e visualização (`index.html`)

O *frontend* reúne os dados recebidos e os transforma em informações visuais acessíveis e organizadas. A interface foi desenvolvida em HTML, CSS (arquivo `style.css`) e JavaScript, responsáveis pela estrutura, estilo responsivo e lógica de processamento.

A exibição gráfica utiliza a biblioteca Google Charts, com foco no componente `LineChart`, configurado com eixos múltiplos para representar simultaneamente as variáveis.

Gráfico de Eixos Múltiplos: Para evitar distorções na análise causadas pela diferença de magnitude entre as variáveis, o gráfico foi configurado com:

- Eixo Y Primário (*Target Axis 0*): Dedicado à Temperatura (°C);
- Eixo Y Secundário (*Target Axis 1*): Dedicado à Pressão de Óleo (bar).

Esta separação garante a clareza na leitura e na comparação dos padrões de comportamento dos dados ao longo do tempo (Eixo X).

Um elemento `<select>` é preenchido dinamicamente com os nomes das abas retornados pelo *backend*, permitindo alternar entre diferentes sessões de teste (“Especiais”) e facilitando a análise comparativa dos registros históricos.

Esse website atua como uma extensão natural do sistema de telemetria, permitindo que professores, pilotos e equipes técnicas visualizem o histórico de funcionamento do motor de maneira organizada, intuitiva e acessível em qualquer dispositivo com navegador. Além disso, ele acrescenta uma camada de análise pós-teste, complementando o sistema embarcado e o aplicativo Android ao oferecer uma visão global e detalhada do desempenho do veículo.

O desenvolvimento do website de análise seguiu uma metodologia ágil, com ênfase na implementação rápida de protótipos funcionais. Um fator chave para a eficiência e aceleração deste projeto foi a utilização de ferramentas de Inteligência Artificial (IA) generativa. A IA foi empregada principalmente no desenvolvimento e refinamento dos *prompts* de código, auxiliando na:

Configuração Inicial: Geração de *scripts* base para o servidor Bun e a integração inicial com a biblioteca `google apis`;

Autenticação: Criação do código para carregar e utilizar a Conta de Serviço do Google Cloud de maneira segura;

Visualização (Google Charts): Otimização dos parâmetros de configuração do *LineChart* e dos eixos múltiplos para garantir a melhor representação visual dos dados de Telemetria.

O uso da IA permitiu a superação de desafios técnicos pontuais e contribuiu significativamente para a rapidez na implementação das funcionalidades, como a criação do *endpoint/data* e a lógica de seleção dinâmica de abas, garantindo que o foco do projeto permanecesse na entrega de uma IHM robusta e de alta performance.

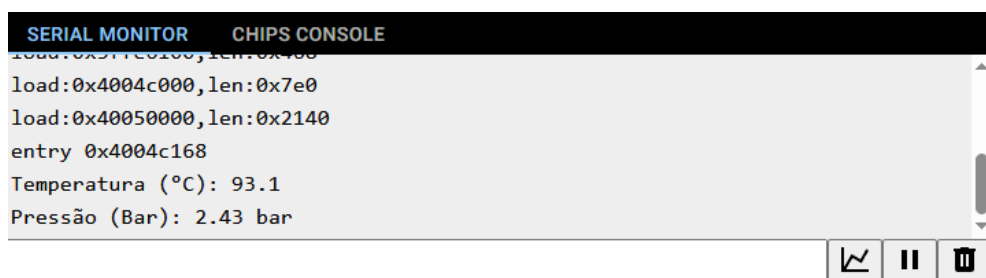
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A etapa de implementação e testes do sistema de telemetria embarcado demonstrou que a proposta atende aos requisitos técnicos definidos inicialmente. A comunicação entre os sensores, o microcontrolador ESP32 e a interface no aplicativo móvel ocorreu de forma estável, com boa responsividade e atualização contínua dos dados. Os resultados apresentados nesta seção abordam a funcionalidade geral do sistema, a integração entre os módulos e a análise dos custos envolvidos na execução do projeto.

4.1 Resultados da validação entre IHM e ESP32

A simulação no Wokwi (Figura 40), demonstrou que o sistema executa corretamente todas as etapas de aquisição dos dados, validando a lógica de funcionamento antes da montagem física do sistema embarcado no URI Rally Car.

Figura 40 – Simulação do sistema no Wokwi.



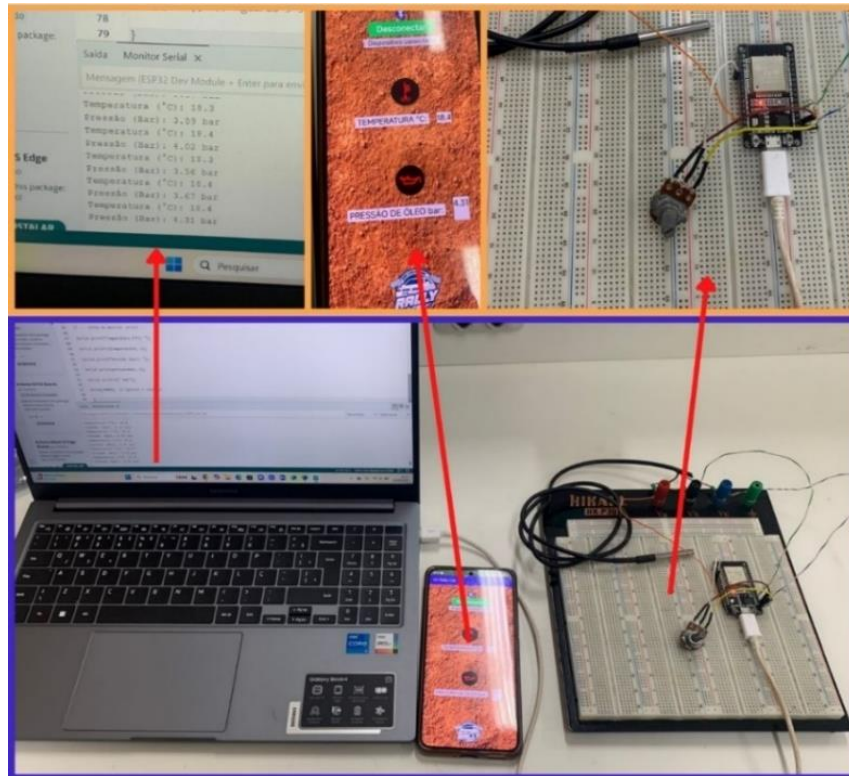
Fonte: Autoria própria (2025).

Após a simulação validada, a etapa seguinte consistiu na montagem do circuito em bancada, utilizando os componentes reais: ESP32 DevKit v1, sensor DS18B20, potenciômetro, resistores e conexões de alimentação. A montagem física seguiu o mesmo esquema validado virtualmente, com atenção especial à ligação do resistor de *pull-up* de 4,7 k Ω no barramento de dados do DS18B20 e à adaptação da saída do sensor de pressão via divisor resistivo.

O sistema embarcado foi conectado ao aplicativo Android desenvolvido no MIT App Inventor 2, via Bluetooth, e os dados foram corretamente exibidos na tela do celular conforme observado na Figura 41, Figura 42, Figura 43 e Figura 44. A transmissão ocorreu de forma estável, com intervalos de 3 segundos, e os valores de temperatura e pressão variavam conforme os estímulos aplicados aos sensores. Além disso, foram testados os alertas visuais do aplicativo: o aviso de superaquecimento (calibrado para sinalizar temperaturas acima de 30 °C para teste

em laboratório devido à complexidade de atingir os 105 °C de superaquecimento de um motor) e o de baixa pressão (abaixo de 1 bar), ambos acionados com sucesso durante os testes realizados em bancada.

Figura 41 – Montagem física do circuito em bancada com ESP32, sensor de temperatura e potenciômetro.



Fonte: Autoria própria (2025).

Essas validações demonstraram que o sistema atende aos objetivos propostos, apresentando comportamento estável tanto na simulação, com comunicação funcional e confiável entre os sensores, o microcontrolador e a interface do usuário.

Durante os testes de bancada, o sistema demonstrou eficiência na leitura simultânea dos dados de temperatura e pressão, realizando o processamento e a transmissão Bluetooth de forma precisa. Os valores foram exibidos em tempo real, com atualização automática a cada 3 segundos, conforme programado no firmware do ESP32.

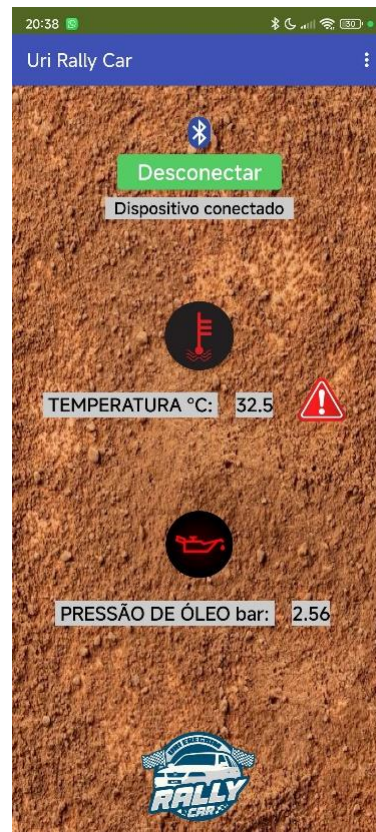
A comunicação serial foi validada por meio do monitor serial da IDE Arduino e na interface gráfica do aplicativo, confirmando a integridade dos dados transmitidos. A ativação correta dos alertas reforça o papel da IHM como ferramenta de diagnóstico em tempo real durante o uso do veículo.

Figura 42 – Interface da IHM no aplicativo Android com exibição de temperatura e pressão.



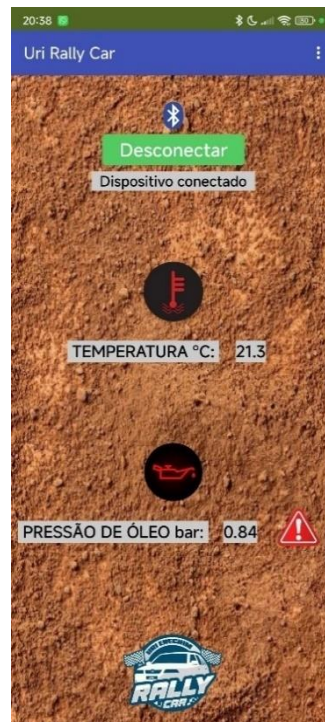
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 43 – Tela de alerta de temperatura acima de 30 °C no aplicativo.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 44 – Tela de alerta de pressão de óleo abaixo de 1 bar no aplicativo.



Fonte: Autoria própria (2025).

Outro ponto positivo observado foi a estabilidade da conexão Bluetooth entre o ESP32 e o dispositivo móvel, sem perda de sinal ou interrupções durante os testes. Isso comprova que o sistema é confiável para uso, desde que respeitados os limites operacionais do módulo.

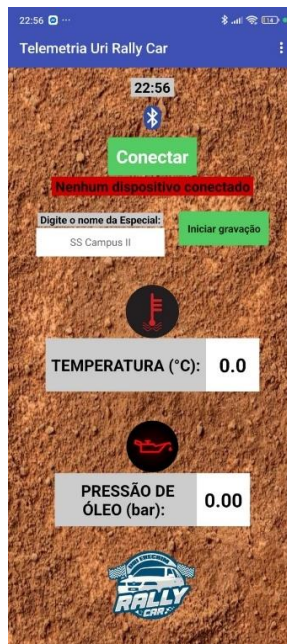
4.1.1 Validação posterior às melhorias do sistema

Após as recomendações apresentadas pela banca examinadora, foi conduzido um novo ciclo de aprimoramentos e validações no sistema de telemetria embarcado. As melhorias implementadas contemplaram tanto o hardware quanto o software, com foco em aumentar a confiabilidade das medições, a robustez da arquitetura eletrônica e a usabilidade da IHM.

No ambiente embarcado, o circuito foi atualizado com a inclusão do conversor *buck* de malha fechada, garantindo fornecimento estável de 5 V para todo o sistema, independentemente das variações da alimentação do veículo. A placa de circuito impresso revisada e reimpressa permitiu reorganização dos componentes e melhor controle das trilhas de sinal. Além disso, foi integrado o conversor ADS1115, ampliando significativamente a precisão da leitura da pressão de óleo, uma vez que o módulo fornece resolução de 16 bits e estabilidade superior ao ADC interno do ESP32.

Do lado do software, a IHM no aplicativo Android foi reformulada para aumentar a legibilidade das informações em condições reais de pista. O layout recebeu ajustes de posicionamento dos elementos e tamanho de fonte, além da inclusão de uma etapa inicial onde o usuário informa o nome da especial ou sessão de teste antes de iniciar a gravação. A lógica de armazenamento foi aprimorada com a implementação de registro *offline* (desconectado da rede) automático, utilizando o banco local do App Inventor 2 para evitar perda de dados em situações de ausência de sinal 4G ou Wi-Fi como demonstrado na Figura 45.

Figura 45 – IHM dispositivo Android.



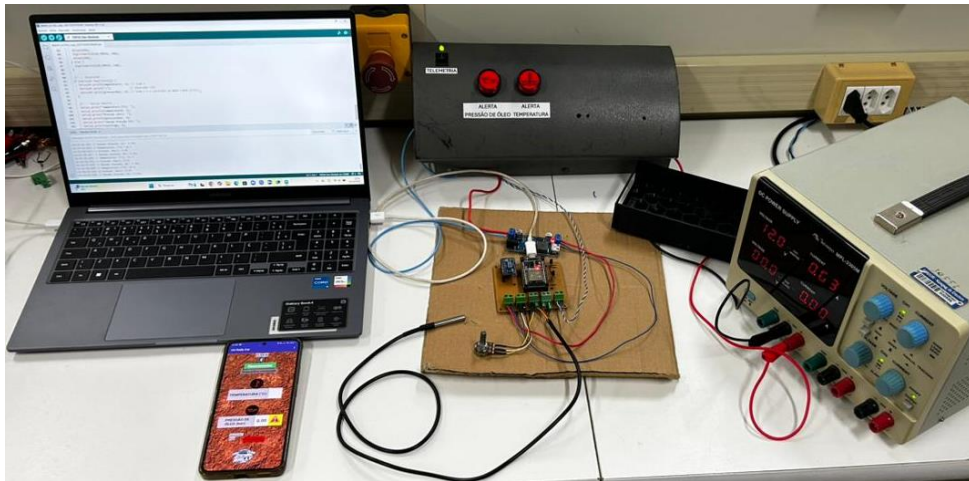
Fonte: Autoria própria (2025).

Após essas modificações, foram conduzidos novos testes de bancada utilizando o ESP32, o sensor DS18B20, o potenciômetro para simular o transdutor de pressão PS10 conectado ao ADS1115 e o sistema completo de alimentação e proteção. Os resultados confirmaram a integridade da comunicação Bluetooth, a precisão das leituras, o correto funcionamento dos alertas visuais e a confiabilidade do armazenamento local e remoto como demonstrado na Figura 46. Dessa forma, a nova etapa de validação demonstrou que o sistema, agora revisado, atende plenamente aos requisitos de segurança, robustez e funcionalidade estabelecidos para a telemetria do veículo protótipo.

A IHM física instalada no painel do veículo desempenha um papel essencial na operação do sistema, oferecendo uma camada adicional de segurança e redundância independente do smartphone. Esse módulo é composto por um interruptor dedicado para ligar e desligar o

sistema de telemetria, bem como por um conjunto de sinaleiros LED responsáveis por indicar, de forma imediata, qualquer condição de atenção ou anomalia nos parâmetros monitorados. Os alertas luminosos são acionados diretamente pelo ESP32, sem depender da comunicação com o aplicativo móvel, garantindo que situações críticas como, pressão de óleo abaixo do mínimo ou temperatura acima do limite estabelecido, sejam sinalizadas ao condutor mesmo na ausência de conexão Bluetooth ou funcionamento do celular. Essa abordagem contribui para maior confiabilidade operacional, pois assegura que os avisos visuais permaneçam ativos e funcionais em qualquer cenário de uso, reforçando a segurança do sistema durante testes dinâmicos e operação do veículo.

Figura 46 – Teste do protótipo em bancada.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.2 Robustez e confiabilidade da instalação

A instalação dos sensores no veículo foi planejada de forma a garantir robustez mecânica, confiabilidade das medições e resistência às condições severas de operação características do ambiente automotivo. O sensor de pressão PS10 foi integrado ao sistema por meio de um adaptador em formato de “T”, permitindo sua instalação sem a remoção do interruptor de pressão original do motor. Essa solução assegura redundância no monitoramento da pressão, mantendo o indicador original do painel do Gol G3 e adicionando a leitura precisa para o sistema de telemetria, sem comprometer o funcionamento da injeção eletrônica.

Para a medição de temperatura, o sensor DS18B20 foi encapsulado em um corpo metálico de bronze, adaptado à rosca já disponível no cavalete de água do motor. Essa adaptação eliminou a necessidade de modificações estruturais, garantindo encaixe perfeito e

adequada transferência térmica. O preenchimento com folha de alumínio eliminou folgas internas, assegurando maior condutividade térmica, enquanto o acabamento com cola de junta automotiva proporcionou vedação mecânica, resistência à temperatura e proteção contra infiltração de fluido.

O chicote utilizado para interligar os sensores ao módulo eletrônico foi confeccionado com condutores estendidos por meio de emendas mecânicas, reforçadas externamente com terminais de crimpagem automotiva. Todo o conjunto foi protegido com tubo corrugado automotivo, que oferece resistência à abrasão, vibração e altas temperaturas, aumentando significativamente a confiabilidade das conexões elétricas ao longo do veículo.

Além disso, foi projetado e implementado uma caixa dedicada para proteger o circuito eletrônico composto pela PCB principal e o módulo regulador *buck*. Essa estrutura foi modelada em CAD e impressa em PETG, material escolhido por sua resistência térmica superior e estabilidade mecânica. A parte inferior da caixa foi desenhada com geometria interna em formato de colmeia, proporcionando maior rigidez estrutural e resistência a impactos e vibrações. Funcionando como uma blindagem física, protegendo o hardware contra poeira, sujeira, choque térmico e impactos que ocorrem durante o uso em pista, garantindo a integridade do sistema mesmo em condições extremas típicas de competições *off-road*, a Figura 47 demonstra o processo mencionado.

Figura 47 – Instalações dos sensores e alojamento da caixa.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.3 Desempenho do hardware

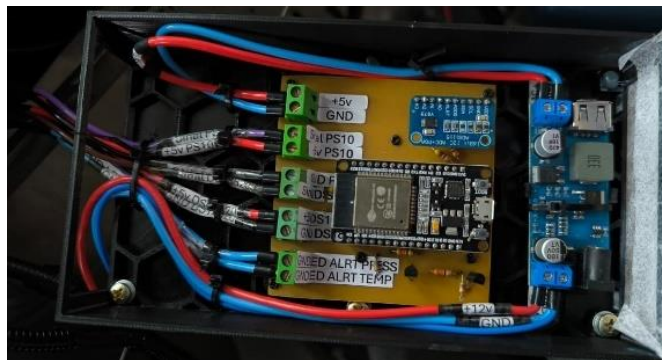
O sistema embarcado apresentou desempenho estável e consistente, em que os chicotes elétricos foram confeccionados com cabos devidamente identificados e finalizados com terminais elétricos tipo “ilhós”, garantindo conexões firmes e seguras nos bornes da placa PCB. Todo o conjunto foi organizado e fixado por meio de cintas plásticas automotivas, evitando

vibrações excessivas e reduzindo a possibilidade de rompimento ou mau contato durante a operação do veículo em terreno irregular.

O circuito eletrônico composto pela PCB principal, pelo regulador *buck* de malha fechada, foram instalados dentro da caixa de proteção projetada especificamente para este trabalho, fixada na região interna do veículo, próxima ao navegador, além de proteger os componentes contra poeira, vibração e variações térmicas.

Durante os testes de bancada e nos ensaios preliminares no veículo, o hardware demonstrou alta confiabilidade, mantendo leituras estáveis tanto do sensor PS10, via ADS1115, quanto do sensor DS18B20. A organização física do circuito, juntamente com o correto roteamento e proteção dos cabos, contribuiu para um desempenho robusto, adequado às condições típicas de veículos de competição *off-road* (Figura 48).

Figura 48 – Circuito embarcado no veículo.



Fonte: Autoria própria (2025).

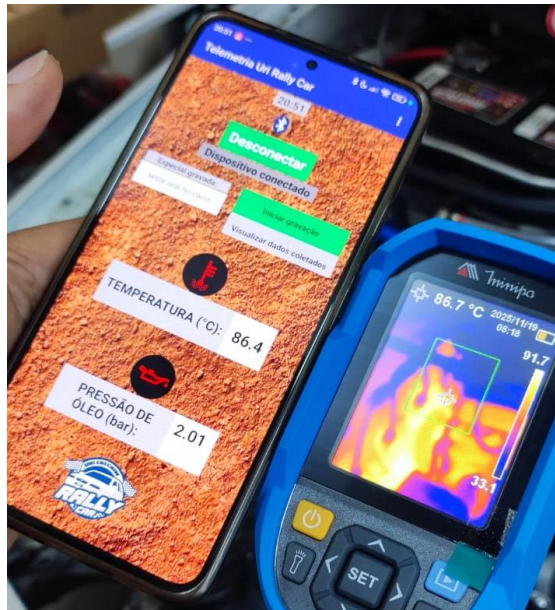
4.3.1 Validação do monitoramento térmico

A validação da leitura de temperatura do motor, realizada através do sensor digital DS18B20, foi conduzida em ambiente real de operação, com o sensor instalado no circuito de arrefecimento do veículo e o motor em regime de funcionamento. Para aferir a precisão dos dados coletados pelo microcontrolador ESP32 e exibidos na interface de telemetria, utilizou-se como instrumento de referência externo uma câmera termográfica (termovisor) da marca Minipa, posicionada para medir a temperatura superficial na região de instalação do sensor.

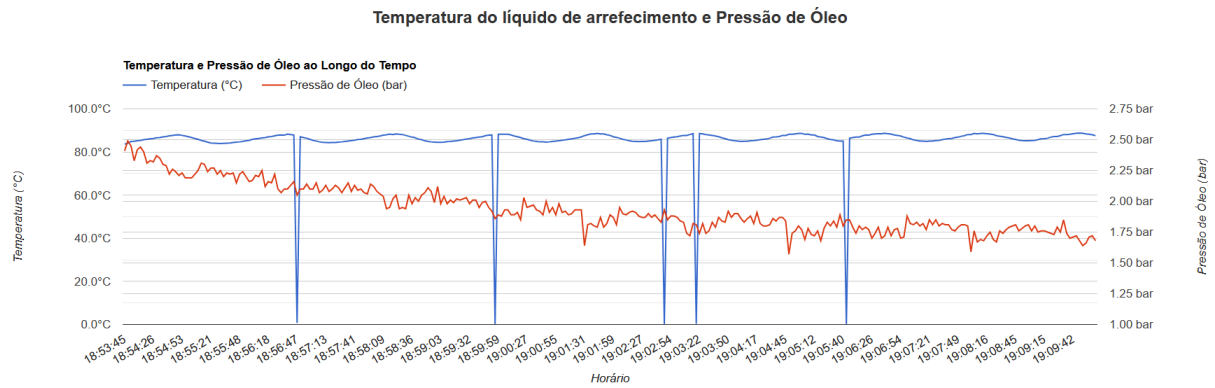
Durante os testes de aquecimento do motor, foi realizada a comparação simultânea entre o dado digital processado pelo sistema e a leitura térmica externa. O sistema de telemetria registrou e transmitiu para o aplicativo móvel o valor de 86,4 °C. No mesmo instante, o termovisor de referência indicou uma temperatura de 86,7 °C no ponto de medição.

A discrepância observada entre as duas leituras foi de apenas 0,3 °C. Este desvio marginal encontra-se plenamente dentro da faixa de precisão especificada pelo fabricante do sensor DS18B20, que é de $\pm 0,5$ °C para esta faixa de temperatura. O resultado confirma não apenas a precisão intrínseca do sensor digital, mas também a correta implementação do protocolo 1-Wire, a integridade da transmissão de dados via Bluetooth e a eficiência do acoplamento térmico do sensor ao motor, conforme Figura 49. Além disso, em um teste de maior duração, foram coletadas 305 amostras de horário \times temperatura \times pressão, nas quais ocorreram 5 registros com perda momentânea de sinal do DS18B20 como demonstra o gráfico da Figura 50 na linha azul, valores residuais de 0.1, 0.2, 0.3 e 0.7 °C, correspondendo a menos de 2% de erro. Essa oscilação pontual é possivelmente associada ao comprimento superior a 1 metro do cabo entre o sensor e o ESP32, à emenda direta utilizada, ao *pull-up* de 4,7 k Ω (onde um valor de 2,2 k Ω poderia aumentar a estabilidade da linha) e à alimentação a 3,3 V. Ainda assim, a taxa extremamente baixa de falhas evidencia que o sistema se mantém confiável e tecnicamente consistente para aplicações de monitoramento crítico em tempo real.

Figura 49 – Validação da leitura do sensor DS18B20.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 50 – Perda momentânea de sinal do DS18B20.

4.3.2 Validação do monitoramento de pressão de óleo

A validação da leitura de pressão de óleo, realizada através do transdutor PS10 integrado ao conversor ADS1115, baseou-se na verificação da coerência dos dados coletados frente às especificações técnicas nominais do motor Volkswagen AP 1.8, conforme estabelecido no manual (Ford Brasil S/A, *Manual de Reparações - Motor AP 1800*, p. 66).

Segundo a documentação de referência, o sistema de lubrificação deve garantir uma pressão mínima operacional para assegurar a integridade dos componentes móveis. Para fins de validação, o sistema de telemetria foi acionado com o motor em regime de marcha lenta, já atingindo sua temperatura operacional de trabalho (acima de 80 °C).

A análise dos dados coletados durante o intervalo contínuo de amostragem (Figura 51), utilizados para a validação do sensor de pressão PS10, mostra que, à medida que o motor atinge sua temperatura de funcionamento, o fluido de arrefecimento (linha azul) apresenta uma evolução térmica gradual enquanto a pressão de óleo (linha vermelha) responde de forma coerente a esse processo. Observa-se que a temperatura oscila entre aproximadamente 80 °C e 88 °C devido ao acionamento do eletroventilador: quando este entra em funcionamento, ocorre uma leve queda de temperatura e uma pequena redução na rotação do motor.

Essa redução de RPM ocorre porque o eletroventilador, ao ser acionado, impõe uma demanda elétrica significativa ao alternador, especialmente durante a corrente de partida. Esse aumento repentino de carga faz com que o alternador exija mais torque do motor, provocando uma queda momentânea na rotação.

Como consequência direta dessa breve redução de RPM, há também uma diminuição instantânea no fluxo gerado pela bomba de óleo, o que se reflete nos picos ligeiramente menores

de pressão observados nos gráficos. Esse comportamento é esperado e coerente com o funcionamento típico de sistemas de arrefecimento automotivo.

Além disso, à medida que a temperatura se estabiliza na faixa operacional, nota-se a tendência natural de redução da pressão de óleo, resultado da diminuição da viscosidade do lubrificante com o aquecimento, o que reduz sua resistência ao escoamento.

Essa tendência descendente prossegue de forma contínua até aproximadamente 19:01:31, momento no qual o sistema registra 87,6 °C e 1,64 bar. A partir desse ponto, torna-se evidente que o óleo atinge sua temperatura real de trabalho, pois a pressão deixa de cair progressivamente e passa a oscilar em torno de 1,70–1,80 bar, comportamento típico de um motor estabilizado em marcha lenta. Entre os registros subsequentes, destacam-se (Quadro 4):

Quadro 4 – Medições para validação do sensor PS10.

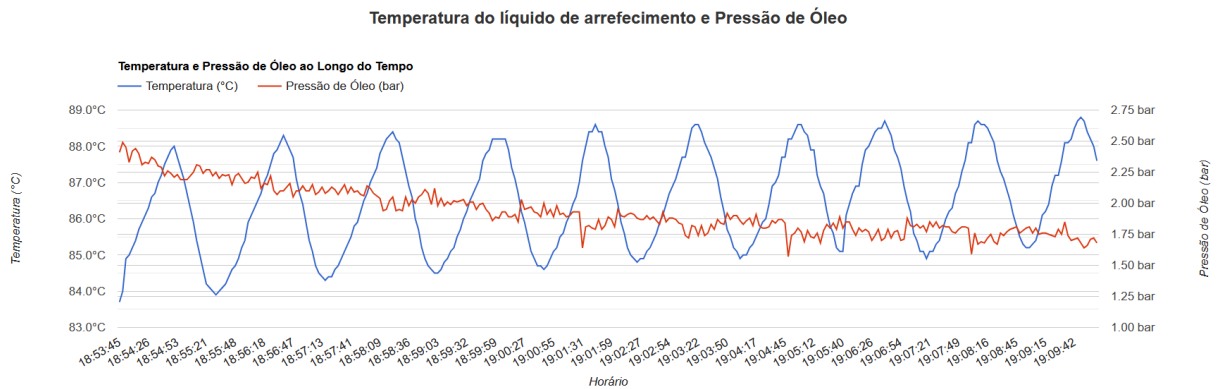
Horário	Temperatura	Pressão
19:01:34	88,0 °C	1,81 bar
19:01:40	88,4 °C	1,80 bar
19:01:55	87,7 °C	1,89 bar
19:02:21	84,9 °C	1,91 bar
19:03:50	85,7 °C	1,92 bar
19:04:40	87,2 °C	1,87 bar
19:05:30	85,6 °C	1,84 bar
19:06:17	87,5 °C	1,77 bar
19:07:52	87,3 °C	1,81 bar
19:08:41	86,1 °C	1,80 bar
19:09:48	88,8 °C	1,64 bar
19:10:03	87,6 °C	1,68 bar

Fonte: Autoria própria (2025).

O comportamento estável nessa faixa confirma que o lubrificante atingiu sua viscosidade operacional, o que explica a estabilização da pressão mesmo diante de pequenas variações térmicas. Essa constância em regime de marcha lenta indica um motor saudável e uma resposta fiel do conjunto.

Além disso, a ausência de oscilações abruptas ou ruídos digitais evidentes demonstra a eficácia dos filtros de hardware e das técnicas de suavização implementadas no software. Os dados coletados pelo sensor PS10, combinados com a conversão de 16 bits do ADS1115, mostraram-se consistentes, sem picos espúrios ou leituras incompatíveis com a dinâmica hidrodinâmica real de um motor de competição.

Figura 51 – Evolução temporal da pressão de óleo e temperatura do motor em regime de marcha lenta.



Os valores obtidos pelo sistema de telemetria mantiveram-se acima do limite mínimo de segurança para marcha lenta (maior que 1 bar de pressão), demonstrando que o sensor PS10, aliado à resolução de 16 bits do ADS1115, forneceu leituras estáveis, plausíveis e coerentes com o comportamento esperado da pressão de óleo durante o funcionamento do motor. A ausência de ruídos digitais ou variações abruptas sem justificativa mecânica evidencia a eficácia dos filtros de hardware e software implementados. Em conjunto, esses resultados confirmam que o PS10 respondeu de forma consistente, acompanhando de maneira fiel a evolução térmica do motor e validando a confiabilidade do sistema de telemetria.

4.4 Segurança e redundância

A segurança operacional do sistema de telemetria foi aprimorada com a adoção de estratégias de redundância tanto na aquisição quanto na exibição dos dados. No que diz respeito às variáveis monitoradas, o sistema manteve os sensores originais do veículo, como o interruptor de pressão de óleo onde está funcionando em paralelo com os sensores instalados para telemetria. Essa abordagem garante que, mesmo em caso de falha do sistema adicional, o painel do veículo continue apresentando avisos essenciais ao piloto, preservando o funcionamento do veículo.

No âmbito eletrônico, o uso do conversor *buck* de malha fechada assegurou estabilidade na alimentação do ESP32 e dos módulos auxiliares, reduzindo riscos de reset ou leituras incorretas decorrentes de oscilações na linha de 12 V do veículo. Já a inclusão do ADS1115

como módulo externo de conversão analógica reforçou a precisão e confiabilidade das medições de pressão, eliminando a vulnerabilidade associada ao ADC interno do ESP32.

Também foram incorporados alertas visuais redundantes no interior do veículo, por meio de sinaleiros automotivos alimentados em 12 V e acionados via transistores 2N7000 a partir do ESP32. Em caso de superaquecimento ou baixa pressão de óleo, esses indicadores são ativados mesmo que o dispositivo móvel não esteja conectado ao sistema, funcionando como camada adicional de segurança para o navegador.

No software, o aplicativo Android passou a contar com armazenamento local automático utilizando TinyDB, garantindo que os dados não sejam perdidos na ausência de sinal 4G/Wi-Fi. A gravação redundante dos dados fortalece o sistema contra falhas de conexão, interrupções inesperadas ou desligamentos acidentais das redes.

Por fim, o encapsulamento do circuito em uma caixa projetada em PETG, com estrutura interna reforçada, ofereceu proteção física contra vibrações, poeira, umidade e variações térmicas, contribuindo significativamente para a integridade e segurança de todo o sistema em condições reais de uso.

4.5 Usabilidade do software e análise de dados

A supervisão desempenha papel fundamental na interpretação rápida e eficiente das informações de telemetria. Para isso, foi desenvolvido um website responsivo e de fácil navegação, estruturado especificamente para atender às necessidades do sistema proposto. Esse ambiente web utiliza a Google Charts API, solução amplamente adotada para visualização de dados com latência mínima devido à sua capacidade de gerar gráficos interativos, leves e visualmente claros.

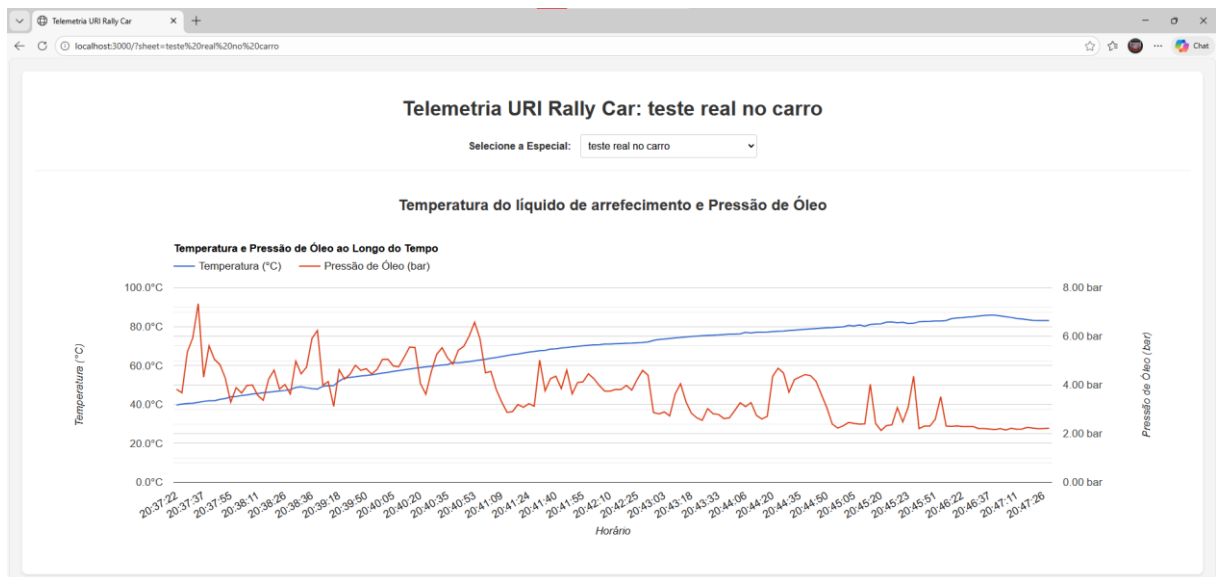
O website foi projetado com foco na simplicidade operacional, permitindo que o usuário visualize as variáveis críticas do sistema como temperatura do óleo, pressão do óleo e demais sinais provenientes dos sensores de forma intuitiva e organizada. A interface apresenta gráficos de linhas atualizados conforme os dados são recebidos do módulo embarcado, possibilitando a análise temporal das grandezas monitoradas. A Google Charts API, além de oferecer alta flexibilidade de customização, permite a renderização de gráficos diretamente no navegador, sem necessidade de instalação de software adicional.

Para aumentar a clareza visual, o layout foi segmentado em blocos independentes, cada um representando uma variável do sistema. A interação é facilitada por recursos como destaque

ao passar o cursor sobre os pontos. Esses elementos contribuem para reduzir ambiguidades, facilitando a tomada de decisões durante testes e validações do protótipo.

A implementação da solução em ambiente web ainda oferece vantagens operacionais, como acessibilidade através de qualquer dispositivo com navegador, independência de plataforma e possibilidade de expansão futura para armazenamento em nuvem ou dashboards mais complexos. Dessa forma, o conjunto formado pela interface web e pela Google Charts API constitui uma ferramenta eficiente para a análise dos dados de telemetria, fornecendo visualização precisa, confiável e alinhada aos objetivos do sistema desenvolvido como mostra a Figura 52.

Figura 52 – Interface Web de supervisão remota.



Fonte: Autoria própria (2025).

4.6 Limitações técnicas do sistema desenvolvido

O sistema desenvolvido apresenta características estruturais e operacionais que atualmente limitam seu desempenho e sua aplicabilidade em ambientes de competição. A arquitetura empregada depende exclusivamente da comunicação Bluetooth para transmitir os dados coletados pelo ESP32 ao smartphone, o que introduz restrições naturais decorrentes do curto alcance dessa tecnologia. O alcance reduzido do Bluetooth restringe a supervisão dos dados aos arredores imediatos do veículo, impossibilitando o monitoramento remoto quando utilizada apenas essa forma de comunicação nos testes dinâmicos ou competições.

A IHM utilizada no sistema também opera de forma totalmente integrada ao smartphone, o que torna seu funcionamento condicionado ao desempenho e ao estado operacional do dispositivo móvel. É necessário que o aparelho permaneça ligado, emparelhado via Bluetooth e dentro da área de comunicação. O aplicativo desenvolvido no MIT App Inventor 2 pode apresentar limitações conforme a capacidade de hardware do celular, incluindo eventuais lentidões, interrupções de resposta ou necessidade de reinicialização. Além disso, o processo de iniciar e encerrar manualmente as gravações demanda atenção constante do navegador, o que pode resultar em registros incompletos ou inconsistentes dependendo das condições de uso.

O uso do MIT App Inventor 2 também estabelece limitações relacionadas à capacidade de processamento e ao tratamento de fluxos contínuos de dados. A plataforma não possui o mesmo desempenho encontrado em ambientes nativos de desenvolvimento, o que dificulta a manipulação de volumes maiores de informações em tempo real e restringe a implementação de funções avançadas de supervisão, gestão de pacotes ou detecção de falhas.

No aspecto mecânico, o suporte do sistema foi fabricado em PETG por meio de impressão 3D. Apesar de ser um material mais resistente que o PLA, apresenta deformações quando submetido a temperaturas superiores a aproximadamente 70 °C. Em cenários de operação prolongada ou regiões de maior carga térmica no veículo, tais deformações podem alterar o posicionamento da placa de circuito impresso e do regulador *buck*, indicando a necessidade de avaliar alternativas com maior resistência térmica, como nylon, ABS reforçado ou suportes metálicos.

A transmissão dos dados para a nuvem ocorre de maneira assíncrona e não em tempo real. Embora exista integração com o Google Planilhas, o envio das informações depende exclusivamente da conexão de internet do smartphone. Oscilações na rede 4G ou Wi-Fi podem resultar em atrasos temporários, pequenas discontinuidades ou lacunas nos registros. Em situações de ausência de cobertura, o upload é interrompido, impossibilitando o acompanhamento remoto naquele momento. Esse comportamento indica a necessidade futura de considerar um módulo de comunicação dedicado e independente do dispositivo móvel, permitindo transmissão contínua e maior autonomia da telemetria.

4.7 Avaliação de custos do projeto

Com o objetivo de estimar a viabilidade econômica do projeto, foi elaborada uma tabela com os custos médios de mercado dos componentes utilizados na montagem do sistema de telemetria. A seguir, apresenta-se a Tabela 1 com os valores atualizados:

Tabela 1 – Estimativa de custos dos componentes do sistema de telemetria embarcado.

(Valores médios em R\$, ano base: 2025)

Item	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
ESP32 DevKit V1	1	40,00	40,00
Sinaleiro LED 12 V	2	38,00	76,00
Sensor de Temperatura DS18B20 com rosca	1	80,00	80,00
Sensor de Pressão PS10	1	140,00	140,00
Conversor Analógico-Digital Externo (ADS1115)	1	20,00	20,00
Regulador de Tensão HCW-P715	1	30,00	30,00
Fusível 2A com suporte	1	5,00	5,00
Resistores diversos	–	5,00	5,00
Placa PCB	1	30,00	30,00
Fios, conectores e materiais diversos	–	–	150,00(estimado)
Total estimado			R\$ 576,00

Fonte: Autoria própria (2025).

O custo total do projeto, estimado em aproximadamente R\$ 576,00, demonstra que é possível implementar um sistema de monitoramento veicular funcional, confiável e com boa capacidade de expansão a partir de um investimento relativamente baixo. Considerando a complexidade inerente às aplicações de telemetria, que tradicionalmente dependem de módulos de comunicação dedicados, sensores de alta precisão e plataformas de supervisão profissionais. O valor obtido reforça o caráter acessível da solução desenvolvida, especialmente quando comparada a sistemas comerciais voltados ao ambiente automotivo, cujo custo pode superar facilmente algumas centenas ou até milhares de reais. Esse resultado evidencia a viabilidade do uso de tecnologias embarcadas de baixo custo, como o ESP32 e sensores amplamente disponíveis no mercado, para aplicações acadêmicas, protótipos voltados a competições estudantis e laboratórios de pesquisa que necessitam de ferramentas de instrumentação

confiáveis, mas com orçamento limitado. Além disso, a modularidade da arquitetura adotada permite que futuras expansões como a adição de novos sensores, recursos de transmissão em longa distância ou melhorias estruturais, que possam ser incorporadas sem alterações significativas nos custos iniciais, reforçando o potencial do sistema como plataforma de desenvolvimento contínuo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do sistema de telemetria e supervisor aplicado ao URI Rally Car permitiu demonstrar a viabilidade técnica e operacional de uma solução embarcada de baixo custo, robusta e adaptada às necessidades reais de um veículo de competição. A partir da revisão bibliográfica, constatou-se que sistemas de telemetria são amplamente utilizados em ambientes automotivos experimentais e profissionais, desempenhando papel fundamental na aquisição, transmissão e supervisão de parâmetros críticos do motor. Os resultados obtidos neste trabalho confirmam essa relevância e evidenciam que a solução proposta atende plenamente às exigências técnicas do projeto.

A metodologia adotada contemplou desde a fundamentação teórica até as etapas de simulação, projeto eletrônico, validação experimental e aplicação prática no veículo. A substituição do termistor NTC pelo sensor digital DS18B20, bem como a incorporação do conversor analógico-digital ADS1115, foram decisões cruciais para elevar a precisão e estabilidade das medições. A implementação de um conversor *buck* de malha fechada, aliado à correção dos níveis lógicos do barramento I²C, assegurou confiabilidade na alimentação e maior segurança para o microcontrolador ESP32, eliminando riscos operacionais e garantindo integridade elétrica em condições adversas.

Os testes realizados em simulação e bancada demonstraram a correta operação do sistema em todos os seus módulos: aquisição de dados, conversão analógica, comunicação Bluetooth e exibição na IHM Android. Após os aprimoramentos recomendados pela banca examinadora, o sistema mostrou ainda maior robustez, com melhorias na interface gráfica, no armazenamento *offline* via TinyDB, nos alertas visuais e na organização do hardware embarcado. A partir dessas etapas, o sistema foi instalado definitivamente no URI Rally Car, com adaptação completa dos sensores, chicote elétrico, suporte mecânico e encapsulamento da eletrônica, comprovando sua aptidão para uso real no protótipo.

A integração final no veículo confirmou a estabilidade da comunicação, a precisão das leituras durante o funcionamento do motor e a confiabilidade da lógica de supervisão, cumprindo plenamente o objetivo geral do trabalho: desenvolver um sistema de telemetria capaz de monitorar, em tempo real, as variáveis de temperatura e pressão de óleo do motor. Todos os objetivos específicos também foram alcançados, desde a especificação dos sensores, o desenvolvimento da IHM e a construção da PCB, até a validação funcional em ambiente real. O custo total estimado de aproximadamente R\$ 576,00 evidencia que é tecnicamente possível

implementar um sistema de monitoramento veicular eficiente e acessível em contextos acadêmicos.

O desenvolvimento do website de análise complementa o ecossistema da solução, permitindo consultas históricas, visualização de gráficos e interpretação estruturada dos dados, ampliando as possibilidades de diagnóstico pós-teste por parte da equipe técnica e acadêmica. A integração entre hardware embarcado, aplicativo Android e plataforma web demonstra o caráter multidisciplinar do projeto e consolida uma estrutura coerente e evolutiva para futuras versões.

Como perspectiva para trabalhos futuros, sugere-se uma abordagem multifacetada voltada à expansão da capacidade analítica e ao aumento da robustez do sistema. A remodelagem da Placa de Circuito Impresso (PCB) constitui um dos principais pontos de evolução, permitindo a integração de novos sensores de alto desempenho, como os de curso de suspensão, velocidade das rodas e demais grandezas operacionais do veículo. Também se recomenda explorar as variáveis de geolocalização e aceleração disponibilizadas pelo dispositivo móvel no App Inventor 2, ampliando o diagnóstico de performance e oferecendo uma visão mais completa do comportamento dinâmico do protótipo. No âmbito da infraestrutura e visualização, propõe-se a hospedagem da interface web no servidor da universidade, aliada à adoção de tecnologias assíncronas, como WebSockets, para garantir atualização contínua dos dados em tempo real, eliminando a necessidade de recargas manuais da página. Complementarmente, recomenda-se o desenvolvimento de um método estruturado de reorganização dos dados armazenados no TinyDB, viabilizando a exportação automática em formato .csv e o envio contínuo desses arquivos *offline* para a nuvem quando houver sinal 4G/Wi-fi. Por fim, destaca-se o potencial da aplicação de algoritmos de *Machine Learning* (Aprendizado de Máquina) às séries históricas de temperatura e pressão, possibilitando análises preditivas e a identificação antecipada de falhas antes que limites críticos sejam atingidos, aumentando significativamente a segurança, a confiabilidade e a longevidade do conjunto mecânico do veículo.

Com base nos resultados observados durante os ensaios de maior duração, recomenda-se, como continuidade do trabalho, a investigação e aprimoramento da confiabilidade da comunicação com o sensor de temperatura DS18B20. A ocorrência pontual de perda de sinal em uma pequena fração das amostras coletadas indica a necessidade de otimizações no arranjo elétrico e físico do sistema, especialmente no que se refere ao comprimento do cabeamento, às emendas realizadas e à configuração do resistor de *pull-up* do barramento 1-Wire. Nesse sentido, trabalhos futuros podem avaliar a redução do valor do resistor de *pull-up*, o uso de

cabos blindados ou de menor comprimento, bem como a adoção de técnicas adicionais de filtragem e verificação de integridade dos dados no firmware do ESP32. Essas melhorias têm potencial para aumentar a robustez da aquisição de temperatura em condições reais de operação automotiva, assegurando maior confiabilidade ao sistema de telemetria em aplicações prolongadas e ambientes sujeitos a interferências eletromagnéticas.

Conclui-se que o trabalho contribui significativamente para o avanço tecnológico do projeto URI Rally Car e para a consolidação de práticas modernas de engenharia embarcada no ambiente acadêmico, deixando uma base sólida para futuros integrantes da equipe, fortalecendo a cultura de inovação aplicada à telemetria automotiva.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 8092-2: Veículos rodoviários automotores - Conexões para chicotes de fiação elétrica embarcados - Parte 2: Definições, métodos de ensaio e requisitos gerais de desempenho.** Rio de Janeiro, 2006. Acesso em: 10 ago. 2025.

DALLAS. DataSheet: **DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer.** Dallas Semiconductor, pp. 1-27, 2001. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58557/DALLAS/DS18B20.html>. Acesso em: 24 mai. 2025.

EASYEDA. **EasyEDA Tutorial v6.4.32.** [s.d.]. Disponível em: https://image.easyeda.com/files/EasyEDA-Tutorial_v6.4.32.pdf. Acesso em: 02 jun. 2025.

EC BUYING. **XY-3606 DC-DC Step-Down Power Module User Manual.** [s.d.]. Disponível em: <https://manuals.plus/asin/B0D5YHDY52>. Acesso em: 22 set. 2025.

ELETOGATE. **Módulo Regulador de Tensão Step Down LM2596.** Belo Horizonte: Eletrogate, 2025a. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/modulo-regulador-de-tensao-step-down-lm2596>. Acesso em: 17 jun. 2025.

ELETOGATE. **L7805 Regulador de Tensão 5V.** Belo Horizonte: Eletrogate 2025b. Disponível em: <https://www.eletrogate.com/l7805c-regulador-de-tensao-5v>. Acesso em: 17 jun. 2025

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-WROOM-32 Datasheet.** 2023. Disponível em: https://documentation.espressif.com/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

FIRSTRATESENSOR. **FST800-1200 Air Compressor Pressure Sensor.** 2025. Disponível em: <https://www.firstrateensor.com/product/FST800-1200-Air-Compressor-Pressure-Sensor-387.html>. Acesso em: 14 set. 2025.

FORD BRASIL S/A. **Manual de Reparações: Motor AP 1800.** [s.d.]. Disponível em: http://www.volkspage.net/technik/manuaisecatalogos/03/manual_ap1800.pdf. Acesso em: 06 nov. 2025.

FUELTECH. **Manual do Sensor de Pressão PS-10B. Porto Alegre:** FuelTech, 2023. Disponível em: https://ftmanager.fueltech.com.br/downloads/manual/Portugues/Sensor_PS-10B.pdf. Acesso em: 02 jun. 2025.

FUELTECH. **Nova geração de carros da Stock Car com FT700Plus torna-se um dos veículos de competição mais modernos do mundo.** FuelTech Brasil, 2025. Disponível em: <https://fueltech.com.br/blogs/news/nova-geracao-de-carros-da-stock-car-com-ft700plus-torna-se-um-dos-veiculos-de-competicao-mais-modernos-do-mundo>. Acesso em: 03 jun. 2025.

GOMES, Mariana Gois. **Telemetria Veicular**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2022. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/4331/2/MONOGRAFIA_TelemetriaVeicular.pdf. Acesso em: 21 mai. 2025.

MANGONI RACING. **Sensor de Pressão PS10-B Similar - Funcionamento 100%**. São Paulo: Mangoni Racing, 2025. Disponível em: https://www.mangoniracing.com.br/MLB-2720260725-sensor-de-preso-ps10-b-similar-funcionamento-100--_JM. Acesso em: 17 jun. 2025.

MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. **DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**. 2008. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/433921/MAXIM/DS18B20.html>. Acesso em: 22 mai. 2025.

MEIRELES, Patrícia Gabrielly Macedo. **Sistema de telemetria e supervisor para o veículo baja**. Ouro Preto, MG: Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. Disponível em: https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/443/1/MONOGRAFIA_SistemaTelemetriaPraxis%3%b3rio.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

MENEZES, Sávio Raggy de Souza. **Sistema de telemetria para veículo baja da ufersa/campus caraúbas**. Caraúbas-RN: Universidade Federal Rural do Semi-árido, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/3ef5e3d8-9f4a-46ec-8d41-04eb5325861d/content>. Acesso em: 17 mai. 2025.

MIT APP INVENTOR. **MIT App Inventor – Tutorials and Guides**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, [s.d.]. Disponível em: <https://appinventor.mit.edu/explore/ai2/tutorials>. Acesso em: 25 mai. 2025.

MONOLITHIC POWER SYSTEMS. **Buck Converters**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/power-electronics/dc-dc-converters/buck-converters>. Acesso em: 19 jun. 2025.

NUNES, Tomaz Filgueira. **Sistema embarcado para aquisição de dados em veículos Baja SAE**. Natal, RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016. Disponível em: <https://tinyurl.com/2kk8ub6w> Acesso em: 18 mai. 2025.

NXP SEMICONDUCTORS. **I²C Bus Solutions Selector Guide**. 2017. Disponível em: <https://www.nxp.com/docs/en/product-selector-guide/I2CSELECTORBROC.pdf>. Acesso em: 24 set. 2025.

PABOCAR. **O que é nível de pressão de óleo**, [s.d.]. Disponível em: <https://pabocar.com.br/glossario/o-que-e-nivel-de-pessao-de-oleo/>. Acesso em: 20 jun. 2025.

PAIM, Francisco Carlos Antenelo. **Desenvolvimento de um sistema de telemetria para aquisição de sinais fisiológicos com aplicação em programas de reabilitação cardíaca**. Florianópolis, SC: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005. Disponível em:

<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/101679/222483.pdf?sequence=1>. Acesso em: 20 mai. 2025.

PELISSON, Angelo Abdallah. **Desenvolvimento de sistema de instrumentação e aquisição de dados para veículo off-road**. Pato Branco, PR: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2023. Disponível em:

https://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/7187/1/CP_COELT_2018_1_17.pdf. Acesso em: 15 mai. 2025.

PEZZIN, Fábio de Souza. **Coleta e análise de dados de amortecimento do sistema de suspensão de um veículo baja**. São Mateus-ES: Instituto Federal do Espírito Santo Campus São Mateus, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4153> Acesso em: 17 mai. 2025.

PHILIPS SEMICONDUCTORS. **2N7000 VDMOS Transistor**. 2000. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/15091/PHILIPS/2N7000.html>. Acesso em: 09 set. 2025.

SANTIAGO, Arthur Neto. **Implementação de telemetria no veículo da equipe cerrado baja sae**. Uberlândia - MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/31717/1/Implementa%C3%A7%C3%A3oTelemetriaVe%C3%ADculo.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.

TEXAS INSTRUMENTS. **ADS1115 Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADC with Internal Reference, Programmable Comparator, and PGA**. 2011. Disponível em: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/345945/TI/ADS1115.html>. Acesso em: 20 set. 2025.

TREETECH. **Por que utilizar resistor de terminação pull-up e pull-down na rede de comunicação? Suporte Treetech**, 2024. Disponível em: <https://sac.treetech.com.br/pt-BR/support/solutions/articles/69000801879-por-que-utilizar-resistor-de-terminac%C3%A3o-pull-up-e-pull-down-na-rede-de-comunicac%C3%A3o>. Acesso em: 20 jun. 2025.

USINAINFO. **Conversor Analógico Digital ADS1115 16 Bits 4 Canais ADC**. Santo Ângelo: Usinainfo, 2025a. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/conversor-ad-da-arduino/conversor-analogico-digital-ads1115-16-bits-4-canais-adc-8069.html>. Acesso em: 10 ago. 2025.

USINAINFO. **ESP32 NodeMCU IoT com Wi-Fi e Bluetooth – 30 Pinos com CP2102**. Santo Ângelo: Usinainfo, 2025b. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/nodemcu/esp32-nodemcu-iot-com-wifi-e-bluetooth-30-pinos-com-cp2102-5147.html>. Acesso em: 15 jun. 2025.

USINAINFO. **Regulador de Tensão 5V 5A USB XY-3606 – Entrada 24V a 12VDC**. Santo Ângelo: Usinainfo, 2025c. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/regulador-de-tensao/regulador-de-tensao-5v-5a-usb-xy-3606-entrada-24v-a-12vdc-8771.html>. Acesso em: 10 ago. 2025.

USINAINFO. Sensor de Temperatura DS18B20 à Prova d'Água Rosca G 1/2 com Poço. Santo Ângelo: Usinainfo, 2025d. Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-temperatura/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-d-agua-rosca-g-12-com-poco-5323.html>. Acesso em: 17 jun. 2025.

VOOLT 3D. PETG. [s.d.]. Disponível em: <https://voolt3d.com.br/petg/>. Acesso em: 15 out. 2025.

WOKWI. Documentação Wokwi. [s.d.]. Disponível em: <https://docs.wokwi.com/pt-BR/>. Acesso em: 13 mai. 2025.

APÊNDICE A – Código embarcado no ESP32

```
/* ****
```

Programa Telemetria URI Rally Car – Leitura de Temperatura e Pressão

Autor: Josué Vitor Padilha

Data de criação: 08/05/2025

Data da modificação: 08/11/2025

Descrição: Programa desenvolvido para o sistema de telemetria do veículo URI Rally Car. Realiza a leitura de temperatura utilizando o sensor DS18B20 e a leitura de pressão por meio do ADS1115 conectado a um sensor PS10 de 0.5 a 5 V. Os valores são processados, convertidos para unidades físicas e enviados via Bluetooth ao aplicativo de supervisão. Inclui alertas visuais através de LEDs para condições críticas de temperatura e pressão, com pisca sincronizado sem uso de delays bloqueantes.

```
***** */
```

```
#include <OneWire.h>
```

```
#include <DallasTemperature.h>
```

```
#include "BluetoothSerial.h"
```

```
// --- I2C/ADS1115 Library ---
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <Adafruit_ADS1X15.h> // Se você usar o ADS1115, a biblioteca ADS1015 funciona para ele também
```

```
// --- Pinos de I/O ---
```

```
#define ONE_WIRE_BUS 4 // GPIO 04 para o sensor de temperatura DS18B20
```

```
#define LED_TEMP 13 // GPIO 13: LED de alerta temperatura
```

```
#define LED_PRESS 12 // GPIO 12: LED de alerta pressão
```

```
// --- Objetos ---
```

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
```

```
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

```
BluetoothSerial SerialBT;
```

```
// Objeto para o ADS1115. Estamos usando o endereço I2C padrão (0x48).
```

```
Adafruit_ADS1115 ads;
```

```
// A porta analógica do ADS1115 que o sensor de pressão está conectado (A0, A1, A2, A3)
```

```
#define PRESSURE_SENSOR_ADS_CHANNEL 0
```

```
// --- Variáveis para piscar LEDs sem delay ---
```

```
unsigned long lastBlink = 0;
```

```
bool blinkState = false;
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```

SerialBT.begin("Telemetria URI Rally Car");
sensors.begin();

// --- Configuração I2C para o ADS1115 ---
// Inicializa o I2C nos pinos 21 (SDA) e 22 (SCL)
Wire.begin(21, 22);

Serial.println("Iniciando ADS1115...");
// Inicializa o ADS1115. A taxa de ganho (GAIN_TWOTHIRDS) define a faixa de medição em +/-
6.144V.
// Isso é bom para sensores que usam até 5V, mas você pode ajustar se necessário.
ads.begin();
ads.setGain(GAIN_TWOTHIRDS); // Ganho para uma faixa de +/- 6.144V

pinMode(LED_TEMP, OUTPUT);
pinMode(LED_PRESS, OUTPUT);
}

void loop() {
// --- Temperatura (GPIO 4) ---
sensors.requestTemperatures();
float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0);

// --- Pressão (Leitura do ADS1115) ---
int16_t adc0 = ads.readADC_SingleEnded(PRESSURE_SENSOR_ADS_CHANNEL);

// O valor máximo do ADS1115 é 32767. A tensão de referência é 6.144V (devido ao
GAIN_TWOTHIRDS).
// A tensão é calculada como: (Valor lido * Faixa de Voltagem) / Valor Máximo
float voltage = adc0 * 6.144 / 32767.0;

// Mapeamento da Tensão para a Pressão (Bar)
// Assumindo um sensor de 0.5V (0 Bar) a 5V (10 Bar):
const float V_MIN = 0.5; // Tensão mínima do sensor (0 Bar)
const float V_MAX = 4.5; // Tensão máxima do sensor (10 Bar)
const float P_MAX = 10.0; // Pressão máxima (10 Bar)

float pressureBar = (voltage - V_MIN) * (P_MAX / (V_MAX - V_MIN));

// Garante que a pressão não seja negativa, caso o valor esteja abaixo de V_MIN
if (pressureBar < 0) pressureBar = 0;

// --- Alerta temperatura (GPIO 13) --- Alerta pressão (GPIO 12) ---
// --- Controle de pisca sincronizado (0.5s ON, 0.5s OFF) ---
if (millis() - lastBlink >= 500) {
lastBlink = millis();
blinkState = !blinkState;
}
}

```

```
}

// --- LED Temperatura ---
if (temperatureC > 105) {
  digitalWrite(LED_TEMP, blinkState ? HIGH : LOW);
} else {
  digitalWrite(LED_TEMP, LOW);
}

// --- LED Pressão ---
if (pressureBar < 1) {
  digitalWrite(LED_PRESS, blinkState ? HIGH : LOW);
} else {
  digitalWrite(LED_PRESS, LOW);
}

// --- Bluetooth ---
if (SerialBT.hasClient()) {
  SerialBT.print(temperatureC, 1); // Item 1
  SerialBT.print(";");           // Separador CSV
  SerialBT.println(pressureBar, 2); // Item 2 E o caractere de NOVA LINHA (\r\n)
}

// --- Serial Monitor ---
Serial.print("Temperatura (°C): ");
Serial.println(temperatureC, 1);
Serial.print("Pressão (Bar): ");
Serial.println(pressureBar, 2);
Serial.print("Tensão Pressão (V): ");
Serial.println(voltage, 3);

delay(100);
}
```