

**CENTRO PAULA SOUZA**  
**FATEC SANTO ANDRÉ**  
**Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**Jerry Adriani Oliveira**  
**Raimundo Mendes Abreu**  
**Vinícius Ferreira de Oliveira**

**SIMULADOR DE BANCADA PARA ECU E ECM**

**Santo André**  
**2025**

**Jerry Adriani Oliveira**  
**Raimundo Mendes Abreu**  
**Vinícius Ferreira de Oliveira**

## **SIMULADOR DE BANCADA PARA ECU E ECM**

Trabalho de Conclusão de Curso entregue à  
FATEC Santo André como requisito parcial  
para obtenção do título de Tecnólogo em  
Eletrônica Automotiva.

Orientador: Profº.M.Sc. Cleber William Gomes

**Santo André**

**2025**

## FICHA CATALOGRÁFICA

M827s

Oliveira, Jerry Adriani

Simulador de Bancada para ECU e ECM / Jerry Adriani Oliveira, Raimundo Mendes Abreu, Vinícius Ferreira de Oliveira. - Santo André, 2025. – 115f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.  
Curso de Tecnologia em Eletrônica Automotiva, 2025.

Orientador: Prof. M.Sc. Cleber Willian Gomes

1. Eletrônica. 2. Simulador de bancada. 3. Automóveis. 4. Diagnóstico. 5. Tecnologia. 6. Gerenciamento do motor. 7. ECU. 8. ECM. 9. Projeto. 10. Rede CAN. 11. Implementação. 12. Teste. 13. Microcontrolador ESP32. I. Abreu, Raimundo Mendes. II. Oliveira, Vinícius Ferreira de. III. Simulador de Bancada para ECU e ECM.

629.2

**LISTA DE PRESENÇA**

Santo André, 28 de junho de 2025.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA:  
“SIMULADOR DE BANCADA PARA ECU E ECM” DOS ALUNOS DO 6º  
SEMESTRE DESTA U.E.

**BANCA**

PRESIDENTE:

PROF. CLEBER WILLIAN GOMES

MEMBROS:

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES

PROF. WESLEY MEDEIROS TORRES

**ALUNOS:**

JERRY ADRIANI DE OLIVEIRA

RAIMUNDO MENDES ABREU

VINICIUS FERREIRA DE OLIVEIRA

Dedicamos este trabalho aos nossos  
amigos e familiares, por nos apoiar ao  
longo de todo o curso.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaríamos de agradecer aos nossos familiares, amigos e professores que ao longo desses três anos, nos incentivaram e contribuíram para a conclusão deste curso. Agradecemos ao Professor orientador M.Sc Cleber William Gomes, por aceitar o convite e trazer sua experiência e suas ideias, para o desenvolvimento desse projeto. Agradecemos também à empresa *MULTSCAN* pela concessão da *ECU PRO MAX*, fundamental para a validação do nosso projeto.

“Se você quer ser bem-sucedido, precisa ter dedicação total, buscar seu último limite e dar o melhor de si.”

Ayrton Senna

## RESUMO

O avanço da tecnologia automotiva tem transformado os veículos modernos em verdadeiros sistemas integrados, onde a comunicação entre diversos módulos eletrônicos é fundamental para o seu correto funcionamento. Entre esses módulos, a ECU (Unidade de Controle do Motor) e a ECM (Módulo de Controle do Motor) desempenham papéis centrais no gerenciamento do motor, sistemas de injeção eletrônica e outros subsistemas vitais. Neste contexto, o desenvolvimento de simuladores de bancada para ECU e ECM emerge como uma ferramenta essencial para o diagnóstico, teste e calibração desses componentes, sem a necessidade de utilização do veículo. Este trabalho apresenta o projeto e a implementação de um simulador de bancada para ECU e ECM veicular, com o objetivo de oferecer uma solução prática e acessível para profissionais e estudantes da área automotiva. Utilizando o microcontrolador ESP32, que se destaca por sua flexibilidade e custo-benefício, o simulador permite a replicação das condições reais de operação de uma ECU e ECM em bancada, possibilitando testes de sensores, atuadores e sinais de comunicação como o CAN (*Controller Area Network*). O projeto envolve a criação de um ambiente de testes controlado, onde é possível simular sinais de entrada, como os de sensores de temperatura, pressão e rotação, e verificar as respostas geradas pela ECU e ECM em relação aos atuadores, como as válvulas injetoras e bobinas de ignição. A interface desenvolvida é intuitiva, permitindo que o usuário ajuste os parâmetros de entrada e monitore as respostas em tempo real, facilitando o processo de calibração e diagnóstico. Além disso, este simulador tem como vantagem a sua portabilidade e modularidade, o que facilita futuras expansões e adaptações para diferentes tipos de sistemas veiculares. A proposta deste trabalho é contribuir para a formação de profissionais qualificados, além de otimizar o processo de manutenção e reparo automotivo, reduzindo o tempo de diagnóstico e os custos envolvidos. Por fim, os testes realizados comprovam a eficácia do simulador de bancada, destacando-se como uma ferramenta versátil e eficaz tanto no ambiente acadêmico quanto no mercado profissional. A aplicabilidade deste projeto visa suprir a demanda crescente por soluções tecnológicas no setor automotivo, especialmente no campo de diagnósticos eletrônicos.

Palavras-Chave: ESP32. Simulador. Testes. ECU. Módulos.



## **ABSTRACT**

Advances in automotive technology have transformed modern vehicles into truly integrated systems, where communication between various electronic modules is essential for their correct operation. Among these modules, the ECU (Engine Control Unit) and ECM (Engine Control Module) play central roles in managing the engine, electronic injection systems and other necessary subsystems. In this context, the development of bench simulators for the ECU and ECM has emerged as an essential tool for the diagnosis, testing and availability of these components, without the need to use the vehicle. This paper presents the design and implementation of a vehicle ECU and ECM bench simulator, with the aim of offering a practical and accessible solution for automotive professionals and students. Using the ESP32 microcontroller, which stands out for its flexibility and cost-effectiveness, the simulator makes it possible to replicate the real operating conditions of an ECU and ECM on the bench, making it possible to test sensors, actuators and communication signals such as CAN (Controller Area Network). The project involves creating a controlled test environment where it is possible to simulate input signals, such as temperature, pressure and rotation sensors, and check the responses generated by the ECU and ECM in relation to actuators, such as injection valves and ignition coils. The developed interface is intuitive, allowing the user to adjust input parameters and monitor responses in real time, facilitating the calibration and diagnosis process. Furthermore, this simulator has the advantage of its portability and modularity, which facilitates future expansions and adaptations for different types of vehicle systems. The purpose of this work is to contribute to the training of qualified professionals, in addition to optimizing the automotive maintenance and repair process, reducing diagnostic time and the costs involved. Finally, the tests carried out prove the effectiveness of the bench simulator, standing out as a versatile and effective tool both in the academic environment and in the professional market. The applicability of this project aims to meet the growing demand for technological solutions in the automotive sector, especially in the field of electronic diagnostics.

**Keywords:** ESP32. Simulator. Tests. ECU. Modules.

## LISTA DE FIGURAS

|                    |  |           |
|--------------------|--|-----------|
| <b>Figura 1 –</b>  | Interfaces Utilizadas.....                             | <b>25</b> |
| <b>Figura 2 –</b>  | Painel do Simulador de ECU do Prof. Rogério Leite..... | <b>26</b> |
| <b>Figura 3 –</b>  | Bloco básico de atuadores.....                         | <b>27</b> |
| <b>Figura 4 –</b>  | Bloco de atuadores das bobinas de ignição.....         | <b>27</b> |
| <b>Figura 5 –</b>  | Bloco de alimentação do Simulador.....                 | <b>28</b> |
| <b>Figura 6 –</b>  | Bloco de simulação dos sensores.....                   | <b>28</b> |
| <b>Figura 7 –</b>  | Bloco de comunicação linha K.....                      | <b>29</b> |
| <b>Figura 8 –</b>  | <i>ECU Test 3 Infinity Ciclo Otto</i> .....            | <b>29</b> |
| <b>Figura 9 -</b>  | Sensor de Rotação.....                                 | <b>33</b> |
| <b>Figura 10 -</b> | Sensor de Temperatura.....                             | <b>34</b> |
| <b>Figura 11 -</b> | Sensor de Temperatura do ar.....                       | <b>35</b> |
| <b>Figura 12 -</b> | Sensor de Pressão ( MAP).....                          | <b>35</b> |
| <b>Figura 13 -</b> | Sonda Lambda.....                                      | <b>36</b> |
| <b>Figura 14 -</b> | Sensor TPS.....  | <b>37</b> |
| <b>Figura 15 -</b> | Sensor de Distribuidor com Efeito Hall.....            | <b>37</b> |
| <b>Figura 16 -</b> | Sensor de Fase.....                                    | <b>38</b> |
| <b>Figura 17 -</b> | Sensor de Velocidade.....                              | <b>39</b> |
| <b>Figura 18 -</b> | Válvula Borboleta Eletrônica.....                      | <b>40</b> |
| <b>Figura 19 -</b> | Diagrama Ponte H.....                                  | <b>41</b> |
| <b>Figura 20 -</b> | Injetores de Combustíveis.....                         | <b>42</b> |
| <b>Figura 21 -</b> | Bobinas de ignição.....                                | <b>43</b> |
| <b>Figura 22 -</b> | Válvula de Controle de ar na Marcha Lenta.....         | <b>44</b> |
| <b>Figura 23 -</b> | Eletroventilador.....                                  | <b>45</b> |
| <b>Figura 24 -</b> | Alternador.....  | <b>46</b> |

|                    |  |           |
|--------------------|--|-----------|
| <b>Figura 25 -</b> | Painel de Instrumentos.....                                | <b>46</b> |
| <b>Figura 26–</b>  | Características de uma ECU.....                            | <b>47</b> |
| <b>Figura 27–</b>  | Arquitetura do Sistema.....                                | <b>48</b> |
| <b>Figura 28 –</b> | Protocolo CAN.....   | <b>49</b> |
| <b>Figura 29 –</b> | Detalhes de um Microcontrolador.....                       | <b>50</b> |
| <b>Figura 30 –</b> | Características físicas de um <i>Speeduino</i> .....       | <b>51</b> |
| <b>Figura 31 –</b> | Diagrama de blocos do TCC.....                             | <b>52</b> |
| <b>Figura 32 –</b> | Estrutura de entradas e saídas do simulador.....           | <b>53</b> |
| <b>Figura 33 –</b> | ESP32.....   | <b>54</b> |
| <b>Figura 34 –</b> | ECU <i>Speeduino</i> versão 0.4.3D e ATMEGA 2560.....      | <b>55</b> |
| <b>Figura 35 –</b> | <i>ECU PRO MAX MULTSCAN</i> .....                          | <b>56</b> |
| <b>Figura 36 –</b> | Tela do Aplicativo <i>RealDash</i> .....                   | <b>57</b> |
| <b>Figura 37 –</b> | Tela do Aplicativo <i>Tuner Studio</i> .....               | <b>58</b> |
| <b>Figura 38 –</b> | Aplicativo <i>ECU PRO MAX</i> .....                        | <b>59</b> |
| <b>Figura 39 –</b> | Diagrama de atuadores conectados ao <i>Speeduino</i> ..... | <b>60</b> |
| <b>Figura 40 –</b> | Conexão de injetores para motores de 6 cilindros.....      | <b>61</b> |
| <b>Figura 41 –</b> | Representação do sistema de controle do motor.....         | <b>62</b> |
| <b>Figura 42 -</b> | Mapas de Injeção de Combustível.....                       | <b>64</b> |
| <b>Figura 43 -</b> | Sinal de Posição do Virabrequim.....                       | <b>65</b> |
| <b>Figura 44 -</b> | Sinal do Sensor de Fase.....                               | <b>66</b> |
| <b>Figura 45 -</b> | Sinal do Sensor de Velocidade.....                         | <b>67</b> |
| <b>Figura 46 -</b> | Painel de 5 Chaves.....                                    | <b>68</b> |
| <b>Figura 47 -</b> | Fonte de Alimentação Ajustável.....                        | <b>68</b> |
| <b>Figura 48 -</b> | Chaves de Ignição.....                                     | <b>69</b> |
| <b>Figura 49 -</b> | Teste do Sinal do Relê do Eletroventilador.....            | <b>69</b> |
| <b>Figura 50 -</b> | Placa para Teste da Bomba de Combustível.....              | <b>70</b> |
| <b>Figura 51 -</b> | Válvula de Controle de Marcha Lenta.....                   | <b>71</b> |
| <b>Figura 52 -</b> | Teste dos Sinais das Bobinas de Ignição.....               | <b>72</b> |

|                    |   |           |
|--------------------|---|-----------|
| <b>Figura 53 –</b> | Teste de Alimentação de Tensão dos Sensores e da ECU..... | <b>73</b> |
| <b>Figura 54 -</b> | Sinal de PWM Ajustável.....                               | <b>73</b> |
| <b>Figura 55 -</b> | Software Real Dash.....                                   | <b>74</b> |
| <b>Figura 56 -</b> | Software Tuner Studio.....                                | <b>74</b> |
| <b>Figura 57 –</b> | Interface do Tuner Studio para efetuar configurações..... | <b>76</b> |
| <b>Figura 58 -</b> | Dispositivo de Simulação.....                             | <b>83</b> |
| <b>Figura 59 -</b> | Visão Geral do Simulador Montado.....                     | <b>84</b> |
| <b>Figura 60 –</b> | Futuras tecnologias para evoluir o simulador.....         | <b>90</b> |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>A –</b>              | Ampere;   |
| <b>ABNT –</b>           | Agência Brasileira de Normas Técnicas;  |
| <b>ADC –</b>            | <i>Analog to Digital Converter;</i>   |
| <b>BSI –</b>            | <i>Body System Interface;</i>   |
| <b>CAN –</b>            | <i>Controller Area Network;</i>   |
| <b>CKP –</b>            | <i>Crankshaft Position Sensor</i> (Sensor de Posição do Virabrequim);             |
| <b>CPS –</b>            | Centro Paula Souza;   |
| <b>DAC –</b>            | <i>Digital to Analog Converter;</i>   |
| <b>ECM –</b>            | Módulo de Controle do Motor;  |
| <b>ECT –</b>            | Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento;                                |
| <b>ECU –</b>            | Unidade de Controle do Motor;   |
| <b>ESP32 –</b>          | Microcontrolador <i>dual core</i> de 32 bits da empresa <i>Expressif Systems;</i> |
| <b>FAN –</b>            | Eletro ventilador;  |
| <b>FATEC –</b>          | Faculdade de Tecnologia;  |
| <b>GPIO –</b>           | <i>General Purpose Input/Output;</i>  |
| <b>GPS –</b>            | Sistema de Posicionamento Global;   |
| <b>Hz –</b>             | Hertz;  |
| <b>I<sup>2</sup>C –</b> | <i>Inter Integrated Circuit;</i>  |
| <b>I<sup>2</sup>S –</b> | <i>Inter IC Sound;</i>  |
| <b>IACV –</b>           | Válvula de controle de ar na marcha lenta;  |
| <b>IAT –</b>            | Sensor de temperatura do ar admitido;   |
| <b>IGN –</b>            | <i>Ignition</i> (Ignição);  |
| <b>INJ –</b>            | Eletro injetor de combustível;  |
| <b>Kb –</b>             | <i>Kilobit;</i>   |
| <b>KB –</b>             | <i>Kilobyte;</i>  |
| <b>Km –</b>             | Quilômetro;   |

|                 |  |
|-----------------|--|
| <b>L15 –</b>    | Linha de alimentação pós chave +12Volts;   |
| <b>L30 –</b>    | Linha de alimentação constante +12Volts;   |
| <b>LCD –</b>    | <i>Liquid Crystal Display</i> (Tela de Cristal Líquido);   |
| <b>LED –</b>    | Diodo emissor de luz;  |
| <b>mA –</b>     | Miliampere;  |
| <b>MAP –</b>    | Sensor de pressão absoluta do motor;   |
| <b>MHz –</b>    | Mega-hertz;  |
| <b>mV –</b>     | Milivolt;  |
| <b>O2S –</b>    | Sensor de Oxigênio;  |
| <b>PWM –</b>    | Modulação por largura de pulso;  |
| <b>R –</b>      | Resistência;   |
| <b>RAM –</b>    | <i>Random Access Memory</i> ;  |
| <b>ROM –</b>    | <i>Read Only Memory</i> ;  |
| <b>RPM –</b>    | Rotações por minuto;   |
| <b>RTC –</b>    | <i>Real Time Clock</i> ;   |
| <b>SD –</b>     | <i>Secure Digital</i> ;  |
| <b>SDIO –</b>   | <i>Secure Digital Input Output</i> ;   |
| <b>SPI –</b>    | <i>Serial Peripheral Interface</i> ;   |
| <b>SRAM –</b>   | <i>Static Random Access Memory</i> ;   |
| <b>TPS –</b>    | Sensor de posição da borboleta de aceleração;  |
| <b>uA –</b>     | Microampere;   |
| <b>UART –</b>   | <i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i> ;   |
| <b>USB –</b>    | <i>Universal Serial Bus</i> ;  |
| <b>uV –</b>     | Microvolt;   |
| <b>V –</b>      | <i>Volt</i> ;  |
| <b>VSS –</b>    | <i>Vehicle Speed Sensor</i> (Sensor de velocidade do veículo);                                       |
| <b>CAD –</b>    | Desenho Assistido por Computador   |
| <b>MDB –</b>    | Desenvolvimento Orientado a Modelos  |
| <b>EEC-IV –</b> | <i>Electronic Engine Control – Fourth Generation</i> (Controle Eletrônico do Motor – Quarta Geração) |

**MPI –**        *Multi-Point Injection* (Injeção Multiponto)

**CPU –**        *Central Processing Unit* (Unidade Central de Processamento)

**OBD-II –**    On-Board Diagnostics

**MAF –**        *Mass Air Flow* (Fluxo de Ar em Massa)

**CAN-FD –**   *Controller Area Network Flexible Data-Rate* (Rede de Área de Controle com Taxa de Dados Flexível)

**IoT –**        *Internet of Things* (Internet das Coisas)

**OPEN -**       Aberto

**SOURCE -**   Código

## **LISTA DE TABELAS**

|                   |                                    |           |
|-------------------|------------------------------------|-----------|
| <b>Tabela 1 –</b> | Simulador Chiptronic.....          | <b>78</b> |
| <b>Tabela 2 –</b> | Comparativo entre Simuladores..... | <b>80</b> |



## SUMÁRIO

|       |   |           |
|-------|---|-----------|
| 1     | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>16</b> |
| 1.1   | Objetivo.....   | 16        |
| 1.2   | Motivação.....  | 17        |
| 1.3   | Conteúdo.....   | 17        |
| 2     | <b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>                               | <b>19</b> |
| 2.1   | Proposta do Simulador de Bancada.....                           | 25        |
| 2.2   | Funcionalidades Principais do Simulador.....                    | 30        |
| 2.3   | Sensores e Atuadores Simulados.....                             | 31        |
| 3     | <b>SENSORES.....</b>  | <b>32</b> |
| 3.1   | Sensores Utilizados no Projeto.....                             | 33        |
| 3.2   | Atuadores.....  | 40        |
| 3.3   | Atuadores Utilizados no Simulador.....                          | 42        |
| 3.4   | Sistema de Controle Eletrônico em Automóveis .....              | 47        |
| 3.5   | Desenvolvimento.....  | 48        |
| 3.6   | Protocolos de Comunicação .....                                 | 49        |
| 3.7   | Microcontroladores e sua Aplicação em Sistemas Automotivos..... | 49        |
| 3.8   | Introdução ao <i>Speeduino</i> .....                            | 51        |
| 4     | <b>DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR.....</b>                        | <b>52</b> |
| 4.1   | Circuitos Eletrônicos e Interfaces.....                         | 53        |
| 4.2   | Unidade de Controle do Motor <i>Speeduino</i> .....             | 54        |
| 4.3   | Unidade de Controle do Motor <i>MULTSCAN</i> .....              | 55        |
| 4.4   | Aplicativos Utilizados no Simulador.....                        | 56        |
| 4.4.1 | Real Dash.....  | 56        |
| 4.4.2 | Tuner Studio.....   | 57        |
| 4.4.3 | Aplicativo <i>ECU PRO MAX MULTSCAN</i> .....                    | 58        |
| 5     | <b>METODOLOGIA.....</b>   | <b>59</b> |
| 5.1   | Estratégia de Implementação do Simulador.....                   | 59        |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 5.1.1 | Projeto e Design Inicial.....  | 59 |
| 5.1.2 | Integração dos Componentes.....  | 60 |
| 5.1.3 | Configurações Específicas para Injetores.....                              | 60 |
| 5.1.4 | Desenvolvimento da Interface.....  | 61 |
| 5.2   | Técnicas de Teste e Validação.....   | 62 |
| 5.2.1 | Teste de Alimentação dos Terminais Negativos.....                          | 62 |
| 5.2.2 | Sinal PWM Ajustável para Testes de Atuadores Diversos.....                 | 63 |
| 5.3   | Ambiente de Teste (Laboratório/Bancada).....                               | 63 |
| 5.3.1 | Testes Práticos.....   | 64 |
| 5.3.2 | Os Sinais Simulados nas Entradas das ECUs.....                             | 65 |
| 5.3.3 | Os Sinais Analisados dos Atuadores nas Saídas das ECUs.....                | 69 |
| 5.4   | Ferramentas e Softwares Utilizados.....                                    | 75 |
| 5.5   | O Sistema de Ajuste e Monitoramento <i>Speeduino</i> em Tempo Real.....    | 75 |
| 5.6   | Interface Gráfica no Monitoramento de Parâmetros com <i>RealDash</i> ..... | 76 |
| 5.7   | Simulador Profissional x Simulador Didático ( Projeto).....                | 77 |
| 5.8   | A Importância do Simulador para a Formação e Manutenção.....               | 81 |
| 6     | <b>MONTAGEM DO SIMULADOR</b> .....   | 82 |
| 6.1   | Funcionalidades Adicionais do Simulador.....                               | 85 |
| 6.2   | Análise dos Resultados Obtidos.....  | 86 |
| 6.3   | Comparação com Sistemas Reais da ECU/ECM.....                              | 87 |
| 6.4   | Limitações do Projeto.....   | 88 |
| 7     | <b>ATUALIZAÇÕES FUTURAS</b> .....  | 89 |
| 8     | <b>CONCLUSÃO</b> .....   | 91 |
| 9     | <b>REFERÊNCIAS</b> .....   | 92 |
| 10    | <b>APÊNDICE – PROGRAMAÇÃO</b> .....  | 99 |

## 1 INTRODUÇÃO

Nos veículos modernos, a eletrônica embarcada desempenha um papel central no controle e monitoramento de sistemas essenciais, como o gerenciamento do motor, segurança e emissões. A Unidade de Controle Eletrônico (ECU) e o Módulo de Controle do Motor (ECM) são componentes críticos que processam informações de sensores e atuadores distribuídos pelo veículo, ajustando parâmetros em tempo real para garantir a eficiência do motor e o cumprimento de regulamentações de emissões.

O desenvolvimento de ferramentas que permitam realizar diagnósticos precisos, testes e calibrações nesses módulos é fundamental para a manutenção e aprimoramento dos sistemas automotivos. Tradicionalmente, esses testes exigem a presença de um veículo físico, o que pode se tornar oneroso e pouco eficiente. Diante desse cenário, o uso de simuladores de bancada surge como uma alternativa viável, proporcionando maior controle nos testes e economia de recursos.

Este trabalho tem como foco o desenvolvimento de um simulador de bancada para ECU e ECM utilizando o microcontrolador ESP32, utilizaremos como ECU de teste o *Speeduino* uma plataforma de código aberto e baixo custo, que permite a simulação e análise de diversos parâmetros do sistema de controle do motor, e a ECM da *MULTSCAN* compatível com alguns modelos de motos *HONDA*. Este simulador visa oferecer uma solução prática e econômica para testes, diagnósticos, calibrações e facilitar reparo em ECU/ECM no setor automotivo.

### 1.1 OBJETIVO

O objetivo geral deste projeto é desenvolver um simulador de bancada para realizar testes e calibrações de ECUs/ECMs de veículos. O simulador permitirá simular o ambiente de um motor automotivo real, possibilitando testar a comunicação entre a ECU/ECM e sensores simulados, além de analisar as respostas do sistema a diferentes condições de operação.

Os objetivos específicos do projeto incluem:

- Criar uma plataforma de testes que possa replicar as condições de sensores e atuadores de um motor automotivo.
- Testar a comunicação entre os módulos de controle e os componentes simulados.
- Validar o funcionamento da ECU/ECM e seus sistemas, sem a necessidade de um veículo físico.

Proporcionar uma ferramenta de baixo custo, utilizando o *Speeduino*, para estudo, diagnóstico e calibração de um sistema automotivo, além de ser didático ao estudante ou entusiasta.

## 1.2 MOTIVAÇÃO

A crescente complexidade dos sistemas automotivos e o aumento da demanda por eficiência e conformidade com regulamentações ambientais impulsionam a necessidade de ferramentas mais eficazes para diagnóstico e calibração de ECUs/ECMs. O uso de veículos físicos para esses testes, além de custoso, é limitado em termos de cenários que podem ser reproduzidos.

O *Speeduino* surge como uma solução interessante, sendo uma plataforma de controle de motor aberta e altamente customizável, com um custo muito inferior às ECUs proprietárias, sem perder em eficiência e flexibilidade. Sua integração com o simulador de bancada permitirá um controle preciso sobre os testes realizados, além de proporcionar um ambiente seguro e replicável para validação do nosso simulador. O projeto também atende às necessidades de oficinas mecânicas, engenheiros de calibração e desenvolvedores, que buscam maneiras mais ágeis e acessíveis de realizar testes.

## 1.3 CONTEÚDO

O desenvolvimento de um simulador de bancada para ECUs e ECMs envolve a replicação de sinais e condições reais de operação de motores automotivos. Isso inclui a simulação de sensores como os de roda fônica, temperatura ar, temperatura do motor, pressão atmosférica, sonda lambda, além de atuadores como bobinas, injetores e válvulas. Esses sinais são essenciais para que a ECU/ECM possa processar informações e ajustar o funcionamento do motor.

A escolha do *Speeduino* como principal ECU de teste do simulador é fundamentada em suas características de flexibilidade, custo reduzido e suporte comunitário. O *Speeduino*, baseado em hardware *Arduíno*, oferece suporte para diversas configurações de sensores e motores, permitindo que o simulador seja adaptável a diferentes veículos. Além disso, sua integração com software como o *Tuner Studio*, *RealDash* facilita a calibração e monitoramento de parâmetros em tempo real, tornando-o uma excelente plataforma para simulações, testes e aprendizagem.

Este projeto também visa proporcionar maior agilidade nos processos de calibração, permitindo a replicação de falhas e cenários controlados para análise detalhada do comportamento dos sistemas automotivos, algo que seria difícil ou arriscado de realizar em um veículo real. O simulador oferece, assim, uma solução eficiente para oficinas e centros de pesquisa, com aplicações que vão desde o diagnóstico de falhas até o ajuste fino de parâmetros de performance e emissões.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Pedro Luiz Fazio Júnior, o Simulador de Sinais de Fase e Rotação para Motores Otto, foca na criação de um dispositivo que simula sinais elétricos gerados pelos sensores de fase e rotação, componentes essenciais para o controle da injeção eletrônica e ignição em motores a combustão do ciclo Otto. Esse simulador permite a replicação de diferentes cenários operacionais, viabilizando testes em sistemas automotivos de controle eletrônico sem a necessidade de um motor físico em funcionamento. A proposta central é facilitar o desenvolvimento e a validação de softwares e hardwares de ECU (Unidade de Controle Eletrônico) e ECM (Módulo de Controle do Motor), possibilitando a análise de falhas e ajustes de parâmetros. Além disso, o dispositivo auxilia a indústria e centros de pesquisa na etapa de calibração, otimizando o desempenho e reduzindo a emissão de poluentes. O trabalho destaca a importância de sistemas de controle precisos e confiáveis para a eficiência energética e segurança veicular, e propõe o simulador como uma solução prática e econômica para testes automotivos, contribuindo com o avanço da tecnologia embarcada em veículos [1].

O TCC proposto pelo aluno Lucas de Faria “Protótipo para Coleta de Informações da Rede CAN em Automóveis”, trata do desenvolvimento de um sistema que coleta dados relevantes para a gestão de frotas veiculares. A crescente demanda por sistemas de monitoramento e gestão eficientes no mercado de frotas inspirou o autor a criar uma solução prática e acessível para captação e análise de dados da rede CAN dos veículos, que inclui informações como velocidade, RPM e temperatura do motor. Utilizando a interface OBD-II, o protótipo acessa esses dados e registra eventuais anomalias, como valores que ultrapassam limites predefinidos para cada parâmetro. As informações são então transferidas para uma planilha online por meio de uma conexão Wi-Fi e, posteriormente, apresentadas em um *dashboard* criado no *Google Data Studio*. O autor realizou uma comparação entre seu protótipo e ferramentas comerciais, destacando que sua solução gratuita se mostrou eficaz, atingindo um nível de informação semelhante ao de aplicativos pagos. O sistema proposto, ao ser validado, evidenciou-se como uma alternativa funcional e econômica para empresas que desejam monitorar o desempenho de seus veículos e a condução de seus motoristas. Além de oferecer dados precisos, o protótipo permite que gestores tomem decisões fundamentadas na análise de parâmetros críticos, promovendo uma melhor eficiência e segurança nas operações [2].

O trabalho de Desenvolvimento de uma Bancada de Testes para Motores a Combustão Interna, de Gustavo Vianna Cezar, aborda a criação de um sistema de testes para motores de combustão interna visando atender às exigências de redução de emissões e aumento de desempenho. O estudo apresenta um projeto de bancada para ensaios de motores de até 175 cavalos, utilizando em sua maioria componentes nacionais, o que reduz os custos de construção e manutenção. Essa bancada permite a execução de ensaios em condições variadas, possibilitando medições precisas e confiáveis do desempenho dos motores testados. O projeto busca ser uma alternativa mais acessível para instituições acadêmicas e empresas, uma vez que sistemas comerciais de testes geralmente têm custos elevados. O trabalho de Cezar explora todas as etapas do desenvolvimento, desde o projeto inicial até os testes finais, com o intuito de verificar a robustez e precisão do sistema. Com o uso de instrumentos de controle adequados, o estudo pretende contribuir para o avanço das tecnologias de medição e avaliação de motores, possibilitando sua aplicação em diferentes cenários de testes, como simulações de diferentes condições de carga e operação. Essa iniciativa visa não apenas ao avanço acadêmico, mas também ao desenvolvimento tecnológico e à formação de recursos humanos capacitados em ensaios mecânicos, fundamentais para a evolução do setor automotivo [3].

O trabalho acadêmico Giga de Testes para ECU, de Willian Jacob Entler, discute o desenvolvimento de uma plataforma de testes focada na Unidade de Controle Eletrônico (ECU) de veículos. O projeto visa simular e analisar o comportamento da ECU em diferentes cenários operacionais, com o objetivo de testar funcionalidades e garantir a confiabilidade do sistema de controle do motor. Utilizando ferramentas de instrumentação, a bancada permite avaliar a resposta da ECU a diversas condições, como mudanças de carga e ajustes de parâmetros. Essa iniciativa é especialmente relevante para a área de engenharia automotiva, uma vez que ECUs estão cada vez mais integradas em veículos modernos, sendo responsáveis pelo controle preciso de sistemas essenciais, como o de injeção eletrônica. A plataforma desenvolvida é uma contribuição importante para o avanço de estudos acadêmicos e para a formação prática de profissionais na área, proporcionando uma experiência prática de como as ECUs reagem e se adaptam em situações reais de uso [4].

O projeto de uma bancada para ensaios vibratórios em dispositivos veiculares, de Pedro Henrique Barbosa Araújo, busca criar uma estrutura experimental para analisar vibrações em sistemas automotivos, com foco na identificação de defeitos e

no aprimoramento do conforto veicular. A bancada foi projetada para simular condições reais de operação, utilizando motores elétricos, sistemas de redução e desbalanceamento, permitindo o estudo detalhado das forças dinâmicas. Por meio de análises modais e do uso de ferramentas como CAD e elementos finitos, o projeto visa integrar conhecimento acadêmico e soluções práticas, promovendo avanços na engenharia automotiva e contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias que elevem a segurança e a confiabilidade de veículos. A aplicação prática dessa bancada também fortalece o aprendizado técnico, possibilitando testes controlados e resultados mais confiáveis para otimização de projetos automotivos [5].

O trabalho de conclusão de curso, Geração automática de arquivos para simulação de bancada de mensagens de diagnósticos veiculares adquiridos da rede CAN, aborda o desenvolvimento de uma solução prática para otimizar processos relacionados à análise de mensagens da rede CAN. O foco do projeto é criar uma ferramenta capaz de interpretar o protocolo de transporte de mensagens diagnósticas, visando automatizar a geração de arquivos necessários para simulações em bancada. A solução automatiza o processo de geração de mensagens de diagnóstico, com base em parâmetros definidos e adquiridos diretamente da rede CAN. Além disso, o trabalho descreve os requisitos do sistema, casos de uso e as funcionalidades desenvolvidas, destacando os benefícios de integrar ferramentas digitais para a simplificação de tarefas repetitivas e suscetíveis a erros humanos. A aplicação final busca não apenas facilitar o trabalho da equipe de engenharia, mas também promover maior precisão e eficiência na interpretação de dados provenientes da rede CAN. Os resultados apresentados indicam que a ferramenta reduz significativamente o tempo gasto para reproduzir as mensagens, oferecendo uma alternativa robusta e eficaz para processos de diagnóstico e simulação em bancada [6].

Conforme o trabalho de conclusão de curso intitulado, Plataforma Didática para Estudo de Redes Automotiva, desenvolvido por Paulo Augusto Miguel Fonseca de Souza na Universidade de Brasília, ele aborda a crescente complexidade dos sistemas eletrônicos veiculares e a necessidade de ferramentas acessíveis para estudar as redes automotivas, como a rede CAN. O objetivo principal do projeto foi criar uma plataforma didática para ensino e experimentação de redes automotivas, permitindo aos estudantes de engenharia eletrônica e automotiva compreender a comunicação entre módulos eletrônicos veiculares. A plataforma proposta oferece uma solução prática e de baixo custo, com base no modelo de desenvolvimento



orientado a modelos (MBD). Foram realizados cinco estudos de caso para validar a funcionalidade e a aplicabilidade da solução, variando em graus de dificuldade para simular cenários reais de comunicação veicular. Embora tenha apresentado algumas limitações, principalmente em cenários mais complexos, a plataforma mostrou-se eficaz para transmitir conceitos fundamentais e possibilitar experimentos com redes de comunicação automotivas. O projeto evidencia a importância de ferramentas educacionais para reduzir os custos de aprendizado e atender à demanda crescente por especialistas em eletrônica automotiva [7].

O trabalho cujo título, Simulador de Ambiente Automotivo para Injeções Eletrônicas foi desenvolvido por Gustavo Covizzi Menna Barreto Alonso como parte de uma dissertação de mestrado na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). O objetivo principal do projeto foi criar um sistema baseado em computador capaz de simular ambientes automotivos para Unidades de Controle Eletrônico (ECUs) de sistemas de injeção eletrônica, permitindo a realização de testes dinâmicos e diagnósticos mais rápidos e confiáveis em campo. Diferentemente dos simuladores manuais existentes, que são restritos a modelos específicos de centralinas e frequentemente dependem de equipamentos externos como osciloscópios, o sistema desenvolvido integra todas as funcionalidades em uma única plataforma. Ele permite que o usuário controle os parâmetros do ambiente simulado e observe as respostas das ECUs por meio de uma interface gráfica interativa. A solução visa substituir diversos simuladores manuais por um sistema mais flexível, portátil e compatível com diferentes cenários de teste. O sistema foi projetado com características como adaptabilidade ao ambiente industrial e facilidade de atualização para novos equipamentos de aquisição de dados, prevenindo a obsolescência. A ferramenta também oferece suporte a diferentes perfis de usuários e necessidades, demonstrando grande potencial para o setor automotivo, especialmente em aplicações voltadas à automação e diagnóstico de veículos. O trabalho enfatiza a importância da portabilidade e da integração de funcionalidades, contribuindo para um avanço significativo em técnicas de simulação e teste de sistemas automotivos [8].

Albino Sérgio de Souza nos apresenta o Simulador de Sinais de Sensores para Testar ECUs e EEC-IV (*Electronic Engine Control – Fourth Generation*), que tem como objetivo central o desenvolvimento de um equipamento, capaz de simular sinais de sensores automotivos para o diagnóstico e análise de falhas em unidades de controle eletrônico (ECUs). Esse simulador é projetado para gerar sinais como os provenientes

de sensores de posição do virabrequim, eixo de comando e outros sensores críticos para o funcionamento do motor. A proposta do projeto é oferecer uma ferramenta prática e eficiente para oficinas e profissionais da área de eletrônica automotiva, permitindo realizar testes sem a necessidade de um veículo em funcionamento. O equipamento permite a simulação de diferentes tipos de sinais, como ondas senoidais, quadradas e pulsos variáveis, com controle de frequência e amplitude. Além disso, proporciona ajustes precisos para reproduzir as condições reais encontradas nos sistemas automotivos. Isso é especialmente útil na verificação de falhas em ECUs, facilitando o diagnóstico de componentes como bobinas, injetores e relés de bomba. Dessa forma, o simulador atende tanto à necessidade de profissionais iniciantes quanto de técnicos experientes que desejam otimizar o processo de reparo. A relevância do projeto está no suporte oferecido aos diagnósticos em bancada, reduzindo custos e tempo de trabalho, além de evitar o uso contínuo de veículos para testes. Esse tipo de tecnologia também é essencial para verificar o funcionamento de ECUs reconcondicionadas ou para treinar novos profissionais. Com a crescente complexidade dos sistemas automotivos, ferramentas como esta, se tornam indispensáveis para o mercado [9].

O trabalho sobre o aprimoramento de sistemas de injeção eletrônica para motores ciclo Otto do aluno Gleidson Thiaky de Aguiar Kumagai, aborda as inovações e avanços na tecnologia de injeção de combustível, com foco em melhorias de eficiência, desempenho e redução de emissões poluentes. Sistemas como injeção multiponto (MPI) e direta são destacados por proporcionarem maior precisão no controle da mistura ar/combustível, otimizando o desempenho do motor. A injeção direta, por exemplo, permite a pulverização do combustível diretamente na câmara de combustão, criando maior turbulência e aumentando a taxa de compressão, o que resulta em melhor eficiência energética e menor impacto ambiental. Já a injeção multiponto, por sua vez, apresenta variantes como injeção sequencial, semi-sequencial e simultânea, cada uma com características específicas para diferentes aplicações e custos. Os avanços também incluem a integração de sensores modernos, como os de oxigênio (sonda lambda) e de rotação, que trabalham em conjunto com a ECU (Unidade de Controle Eletrônico) para ajustar em tempo real os parâmetros de injeção, otimizando a combustão e minimizando perdas. Essas inovações refletem a constante busca da indústria por motores mais econômicos, potentes e ambientalmente sustentáveis [10].

A evolução dos sistemas eletrônicos automotivos tem impulsionado a necessidade de ferramentas avançadas para diagnóstico, teste e calibração de unidades de controle eletrônico, como a ECU (Unidade de Controle do Motor) e a ECM (Módulo de Controle do Motor). Esses módulos são responsáveis por processar informações dos sensores e atuar sobre diversos componentes do veículo, garantindo um funcionamento eficiente e dentro das normas ambientais. No entanto, a realização de testes diretamente no veículo pode ser dispendiosa e apresentar limitações quanto à reprodução de falhas ou condições específicas. Diante desse cenário, o desenvolvimento de simuladores de bancada surge como uma solução viável para permitir a análise detalhada do comportamento desses módulos, oferecendo um ambiente controlado e seguro para testes e calibrações. A utilização de microcontroladores modernos, como o ESP32 e a ECU Speeduino, possibilita a replicação fiel de sinais de sensores e atuadores, criando uma ferramenta acessível e didática para profissionais e estudantes da área automotiva.

O simulador de bancada proposto neste trabalho busca reunir funcionalidades essenciais para testes e desenvolvimento de sistemas eletrônicos veiculares, permitindo a simulação de sensores como os de temperatura, pressão e rotação, além do acionamento de atuadores como injetores e bobinas de ignição. A integração com softwares de monitoramento e calibração, como o Tuner Studio e o RealDash, possibilita uma interface interativa e de fácil configuração, permitindo ajustes em tempo real. Além disso, a modularidade do projeto permite futuras expansões, como a inclusão de protocolos de comunicação veicular avançados, como o CAN-FD, e a aplicação de técnicas de aprendizado de máquina para otimização do diagnóstico.

Dessa forma, este simulador não apenas facilita o aprendizado e o desenvolvimento de novas estratégias de controle, mas também representa uma alternativa de baixo custo para oficinas e centros de pesquisa que necessitam de uma ferramenta confiável para testes de ECU e ECM sem a necessidade de um motor físico. A figura 1 a seguir mostra, as interfaces utilizadas

Figura 1 – Interfaces Utilizadas



Fonte - [https://speeduino.com/Speeduino\\_manual.pdf](https://speeduino.com/Speeduino_manual.pdf), 2024. [33].

## 2.1 Proposta do Simulador de Bancada

A proposta do simulador é ser de baixo custo e didático, que seja de fácil operação, e reunindo vários recursos que estão disponíveis nos simuladores mais caros e nos mais simples disponíveis na Internet.

O simulador proposto nesse projeto é inspirado em inúmeros projetos de internet, em especial ao do canal do YouTube do professor Rogério Leite em 2021, que incentiva a criação de ferramentas eletrônicas para uso em bancada, sempre disponibilizando seus projetos de forma gratuita no seu canal, que auxiliam bastante nas manutenções e aprendizado.

Tem projetos no seu canal do YouTube bem úteis para quem faz reparação eletrônica da linha automotiva e gosta de montar ferramentas de baixo custo, tais como:

Simulador de ECU;  
 Gerador de sinal de roda fônica;  
 Simulador de Sonda Lambda;  
 Simulador de Body System Interface (BSI);  
 Gerador de Modulação por Largura de Pulsos (PWM) para teste de atuadores automotivos;

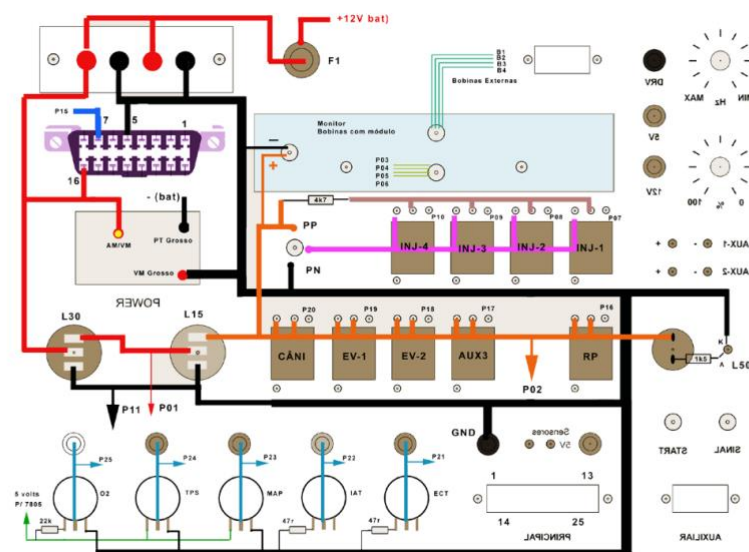
E muitos outros projetos interessantes, além disso ele ensina de uma forma muito clara o funcionamento de seus projetos, e incentiva a montagem deles.

O professor disponibiliza os esquemas elétricos e até o código fonte de alguns de seus projetos feitos em *Arduíno*.

A ideia do nosso projeto reuni partes do simulador do Professor Rogério Leite com adição de novas funcionalidades e usando o conhecimento adquirido ao longo do curso na FATEC Santo André.

Para um breve entendimento do nosso trabalho de conclusão de curso (TCC) baseado no simulador do Professor Rogério Leite, iremos mostrar o material que ele disponibiliza de forma gratuita no seu canal no YouTube [25], na figura 2 o Professor disponibiliza a imagem do painel do seu simulador de ECU de forma espelhada, para que possa ser feito a furação no acrílico dos componentes que ficarão presos no painel, chaves, potenciômetros, diodos emissores de luz (LEDs), conectores etc.

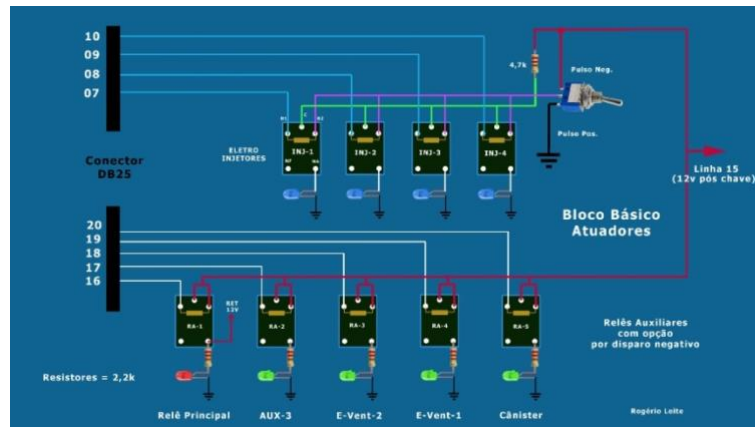
Figura 2– Painel do Simulador de ECU do Prof. Rogério Leite



Fonte - [https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7\\_W64g&list=PLGSvANoAb-Bub1mytiPCfnmZJkgTqbXHz](https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7_W64g&list=PLGSvANoAb-Bub1mytiPCfnmZJkgTqbXHz), 2024. [25].

Na figura 3 podemos visualizar o bloco de simulação de atuadores, são adicionados 4 relés que servirão de carga indutiva para a ECU em teste no simulador, e mais 5 relés para cargas diversas, por exemplo: eletroválvula do canister, eletro ventilador etc.

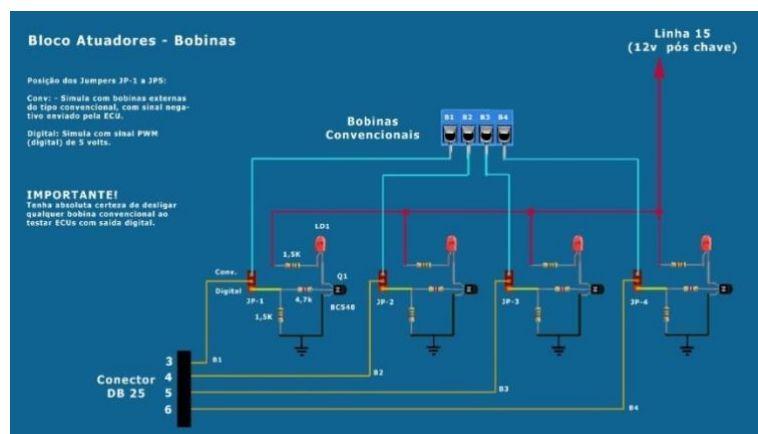
Figura 3 – Bloco básico de atuadores



Fonte - [https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7\\_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfnmZJkgTqbXHz](https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfnmZJkgTqbXHz), 2024. [25].

Na figura 4 podemos visualizar o bloco de atuadores das bobinas de ignição convencionais, e as bobinas do tipo digitais com sinal de entrada PWM.

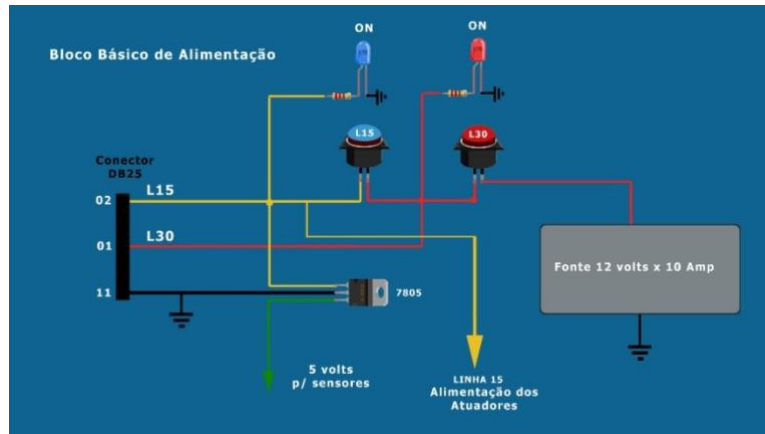
Figura 4 – Bloco de atuadores das bobinas de ignição



Fonte - [https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7\\_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfnmZJkgTqbXHz](https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfnmZJkgTqbXHz), 2024. [25].

Na figura 5 podemos visualizar o bloco de alimentações da ECU, linha de pós chave +12Volts (L15), linha constante +12Volts (L30) e 5 Volts para alimentação dos sensores.

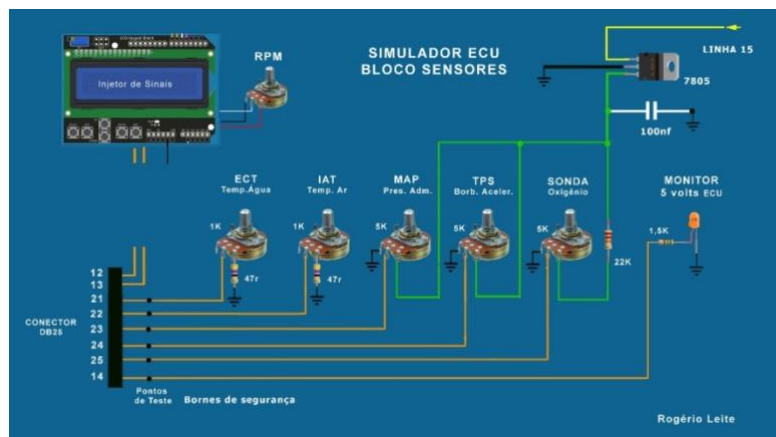
Figura 5 – Bloco de alimentação do Simulador



Fonte - [https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7\\_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfnmZJkgTqbXHz](https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfnmZJkgTqbXHz), 2024. [25].

Na figura 6 podemos visualizar o bloco de simulação dos sensores, Rotações Por Minuto (RPM), temperatura do líquido de arrefecimento (ECT), temperatura do ar (IAT), sensor de pressão absoluta do motor (MAP), posição de borboleta de aceleração (TPS), Sonda Lambda e monitor de 5Volts da ECU, com alimentação de 5 Volts dos sensores fornecido pelo simulador.

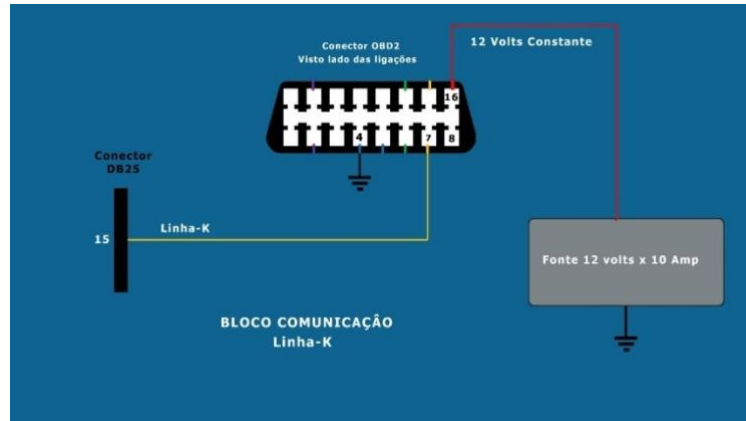
Figura 6 – Bloco de simulação dos sensores



Fonte - [https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7\\_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfnmZJkgTqbXHz](https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfnmZJkgTqbXHz), 2024. [25].

Na figura 7 podemos visualizar o bloco de comunicação da ECU, pode ser conectado um scanner para efetuar leituras das simulações efetuadas, apagar códigos de falhas, efetuar testes de sensores e atuadores etc.

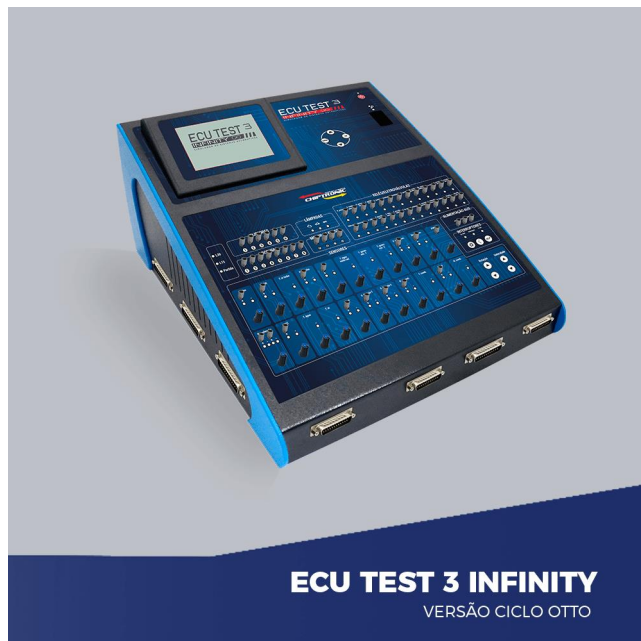
Figura 7 – Bloco de comunicação linha K



Fonte - [https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7\\_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfzmZJkgTqbXHz](https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7_W64g&list=PLGSvANoAb-BublmytiPCfzmZJkgTqbXHz), 2024. [25].

Outra inspiração é o simulador profissional da empresa *Chiptronic* o modelo *ECU TEST 3 INFINITY* figura 8. Que possuem inúmeras funcionalidades para teste de ECU/ECM em bancada, facilitando muito o trabalho de reparadores.

Figura 8 – *ECU Test 3 Infinity Ciclo Otto*



Fonte - <https://chiptronic.com.br/site/br/produto/ecu-test-3-infinity>, 2024 [26].



O *ECU TEST 3 INFINITY* da *Chiptronic* é um simulador de sistemas automotivos avançado, projetado para testar ECUs (Unidades de Controle Eletrônico), painéis, imobilizadores e módulos auxiliares [26]. Aqui estão algumas de suas principais características:

Simulação de sensores e atuadores: O equipamento simula internamente os principais sensores e atuadores, permitindo ao usuário interagir eletronicamente com os módulos de gerenciamento para diagnósticos de falhas e validações de reparos realizados.

27 Atuadores: Possui 27 atuadores com acionamento negativo/positivo.

Sistema de proteção contra sobrecorrente: Inclui um sistema de proteção contra sobrecorrente.

Cargas internas: Possui cargas internas de injetores e bobinas.

Programadores integrados: Inclui programadores integrados para ajustes e configurações.

24 Sensores variáveis: Possui 24 sensores variáveis para diferentes tipos de simulação.

Conexões universais: Oferece 12 saídas de conexão com cabos universais para diferentes tipos de módulos e sensores.

Fonte de alimentação: Possui uma fonte de alimentação interna, além de alimentação auxiliar para componentes externos.

Atualização e programação: Permite atualização do equipamento via Universal Serial Bus (USB) e acesso aos programadores integrados.

## **2.2 Funcionalidades Principais do Simulador**

As principais funcionalidades são: simular o funcionamento de sensores e atuadores conectados a ECU ou ECM, gerando as condições ideais para que entre em funcionamento em bancada sem a necessidade de um veículo ou motor, análise de funcionamento, reparo, treinamentos.

No caso das ECUs *Speeduino* e *ECU PRO MAX* da *MULTSCAN* utilizadas para validar o simulador, será também possível configurar os parâmetros da ECU para funcionar em diferentes configurações de sensores e atuadores, fazer ajustes no motor através da criação de mapas de ignição, injeção, visualizar parâmetros de funcionamento, análise gráfica através de softwares.

### 2.3 Sensores e Atuadores Simulados

O simulador de ECU/ECM conta com os seguintes circuitos de simulação:

Sensor de posição do virabrequim configurável (CKP), 60 – 2, 12 – 3, etc.;

Sensor de fase configurável;

Sinal de distribuidor com sensor de efeito HALL;

Sistema de carga do alternador (tensão 9 a 15.5 Volts);

Sensor de oxigênio (O2S);

Sensor ECT;

Sensor IAT;

Sensor MAP;

Sensor TPS;

Testador de bobinas de ignição (IGN);

Sinal de sensor de velocidade do veículo (VSS);

Teste de eletro ventilador (FAN);

Teste de válvula de controle de ar na marcha lenta (IACV);

Teste de injetores (INJ);

Teste de alimentação 5Volts dos sensores da ECU;

Teste de alimentação dos terminais negativos da ECU;

Sinal de PWM ajustável para testes de atuadores diversos;

Painel de instrumentos.

### 3 SENSORES

Sensores automotivos são dispositivos essenciais que convertem grandezas físicas em sinais elétricos, permitindo à ECU monitorar e controlar o funcionamento do veículo. Eles fornecem dados precisos sobre variáveis como temperatura, pressão, rotação e aceleração.

Sensores de temperatura, como os NTC e PTC, são empregados para medir a temperatura da água do motor, do ar admitido, do óleo lubrificante, entre outros. Os sensores NTC, por exemplo, diminuem sua resistência elétrica à medida que a temperatura aumenta, sendo muito utilizados em motores por sua precisão e resposta rápida.

Além dos sensores resistivos, existem sensores integrados como o LM35, que gera uma tensão linear proporcional à temperatura. Também há sensores baseados em semicondutores que utilizam princípios físicos avançados, como o efeito de variação da tensão de base de transistores, permitindo medições mais precisas em larga faixa de temperatura.

Sensores de pressão, como o MAP, medem a pressão do ar admitido no motor. Utilizam o princípio do strain-gauge, onde a variação da resistência elétrica de um material piezoresistivo é proporcional à pressão aplicada. São essenciais para o controle da mistura ar-combustível em motores modernos.

Os acelerômetros detectam variações de aceleração e são amplamente utilizados em sistemas de segurança, como airbags, e em sensores de detonação. Funcionam com base em materiais piezoelétricos ou capacitivos, que geram sinais elétricos proporcionais à deformação causada pela força da aceleração.

Sensores de rotação são empregados para monitorar a posição e velocidade de eixos, como o virabrequim. Podem ser do tipo indutivo (relutância variável) ou de efeito Hall. Os indutivos geram sinais senoidais em função do movimento de uma roda dentada, enquanto os sensores Hall operam com corrente e campo magnético, gerando sinais digitais estáveis.

O medidor de massa de ar (MAF) é outro sensor importante que mede a quantidade de ar que entra no motor.

Ele utiliza o princípio de aquecimento de um fio ou filme, cuja resistência muda conforme a vazão de ar, permitindo à ECU ajustar a injeção de combustível com alta precisão.

A sonda lambda mede o teor de oxigênio nos gases de escape, permitindo o ajuste fino da mistura ar-combustível e garantindo a conformidade com normas de emissão. Existem versões com elemento único ou duplo e aquecimento integrado, e sua tensão de saída varia conforme a riqueza da mistura.

Os sensores automotivos devem operar com alta confiabilidade e precisão, em ambientes hostis, com variações extremas de temperatura, vibração e interferência elétrica. Para isso, são encapsulados em materiais resistentes, possuem proteção contra umidade e padrões rigorosos de calibração e montagem[58].

### 3.1 SENSORES UTILIZADOS NO SIMULADOR

#### Sensor de Posição do Virabrequim (CKP)

Responsável por informar a rotação e a posição do virabrequim ao módulo de controle do motor. Este sensor é fundamental para a sincronização da ignição e da injeção de combustível. Será testado por meio de um gerador de sinais configurável que simula o padrão de roda fônica 60-2 ou 36-1, com frequência ajustável conforme o regime de rotação desejado. A forma de onda será gerada por microcontrolador (ESP32), com possibilidade de ajuste fino da amplitude e largura do pulso, permitindo verificar se a ECU reconhece corretamente os pontos de referência para ignição e injeção. A figura 9 abaixo, mostra um exemplo de um sensor de rotação.

Figura 9 - Sensor de Rotação



Fonte - <https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-de-rotacao/>[38]

### **Sensor de Temperatura do Líquido de Arrefecimento (ECT)**

Mede a temperatura do motor para que a ECU ajuste os parâmetros de operação, como mistura ar-combustível e avanço de ignição, garantindo eficiência e proteção contra superaquecimento. A simulação será feita por meio de uma rede resistiva ligada à entrada analógica da ECU. Alterando-se os valores de resistência, simula-se a variação de temperatura do motor, induzindo a ECU a acionar o eletroventilador e corrigir parâmetros de enriquecimento da mistura e corte de ignição térmica. A figura 10 a seguir, mostra um exemplo de sensor de temperatura.

Figura 10 - Sensor de Temperatura



Fonte - <https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-de-temperatura/>[39]

### **Sensor de Temperatura do Ar Admitido (IAT)**

Informa a temperatura do ar que entra no motor, permitindo a correção da mistura para otimizar o desempenho e o consumo de combustível. Simulado através de uma resistência variável NTC ou sensor LM35, com sinal linear de tensão gerado entre 0,2 V a 4,5 V conforme temperatura ambiente.

O microcontrolador também poderá gerar este sinal digitalmente, simulando o comportamento do sensor sob diferentes temperaturas, como em startups a frio e carga plena. A figura 11 abaixo, mostra um exemplo de sensor de temperatura do ar.

Figura 11 - Sensor de Temperatura do ar



Fonte - <https://loja.mte-thomson.com.br/p/1072522/plug-eletronico-ar-mte-thomson-5094-unitario>[40]

### **Sensor de Pressão Absoluta do Coletor (MAP)**

Determina a carga do motor pela medição da pressão interna do coletor de admissão, essencial para o cálculo da quantidade de combustível a ser injetada. Será representado por um DAC controlado via ESP32 ou por potenciômetro que simula a variação de tensão conforme a pressão no coletor de admissão. O sinal típico varia entre 0,3 V (vácuo total) e 4,7 V (atmosfera plena), sendo essencial para o cálculo da carga do motor e tempo de injeção. A figura 12 abaixo, mostra o exemplo de um sensor de pressão.

Figura 12 - Sensor de Pressão (MAP)



Fonte - <https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-map/>[41]

## **Sensor de Oxigênio ( Sonda Lambda)**

Monitora a quantidade de oxigênio nos gases de escape, permitindo o ajuste fino da mistura ar-combustível para melhorar a eficiência e reduzir emissões. O simulador gerará um sinal de onda quadrada de baixa frequência entre 0,1 V (mistura pobre) e 0,9 V (mistura rica), simulando o comportamento da sonda. A ECU deverá reconhecer as transições e ajustar os tempos de injeção em modo de malha fechada. O teste verifica se a correção da mistura está operando conforme esperado. A figura 13 a seguir, mostra um exemplo de sonda lambda.

Figura 13 - Sonda Lambda



Fonte - <https://www.mte-thomson.com.br/sonda-lambda/>[42]

## **Sensor TPS ( Sensor de Posição da Borboleta)**

O TPS é utilizado para monitorar a posição da borboleta do acelerador. Ele converte a movimentação mecânica do eixo da borboleta em um sinal de tensão variável (geralmente entre 0,5 V a 4,5 V), enviado à ECU para calcular a carga do motor. Fabricantes como Bosch e Delphi especificam sensores resistivos do tipo potenciômetro com resposta linear, com alimentação padrão de 5V fornecida pela ECU. Simulado através de uma resistência variável NTC ou sensor LM35, com sinal linear de tensão gerado entre 0,2 V a 4,5 V conforme temperatura ambiente.

O microcontrolador também poderá gerar este sinal digitalmente, simulando o comportamento do sensor sob diferentes temperaturas, como em startups a frio e carga plena. A figura 14 a seguir mostra um exemplo de sensor TPS.

Figura 14 - Sensor TPS



Fonte - <https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-tps/>[43]

### **Sensor de Distribuidor com Efeito Hall**

Este sensor gera pulsos digitais com base na interrupção de um campo magnético (efeito Hall), sendo usado principalmente para informar o ponto de ignição à ECU. Ele substitui os antigos sistemas com platinado. A empresa Olympic oferece o sensor Hall com três terminais: alimentação (5V ou 12V), terra e sinal digital, que pode ser testado com um osciloscópio. A figura 15 representa, um exemplo de sensor de distribuidor com efeito hall.

Figura 15 – Sensor de Distribuidor com Efeito Hall



Fonte - <https://olimpic.com.br/o-que-e-sensor-hall/>[44]



## Sensor de Fase

Também chamado de sensor de sincronismo do comando de válvulas, ele informa à ECU o tempo exato de atuação das válvulas. Normalmente é do tipo Hall ou indutivo, e sua configuração depende do motor e da estratégia de controle de injeção sequencial. Pode ser configurado em bancada com geradores de pulso ou simulado via microcontrolador. A simulação será realizada com sinal digital sincronizado com o CKP, utilizando padrão de onda retangular correspondente ao ponto morto superior do cilindro de referência. Este sinal permite à ECU alternar entre os modos de injeção sequencial ou semissequencial, sendo gerado pelo mesmo microcontrolador que produz o CKP, com fase configurável via software. A figura 16 abaixo, representa um exemplo de sensor de fase.

Figura 16 - Sensor de Fase



Fonte - [https://loja.mte-thomson.com.br/p/1664701/sensor-de-fase-mte-thomson-70423unitario?srltid=AfmBOor4PRGQOkQvVaEjvXXihw1LRUnH5Gcgl3wIDYFtcoO-Bd-QMq\[45\]](https://loja.mte-thomson.com.br/p/1664701/sensor-de-fase-mte-thomson-70423unitario?srltid=AfmBOor4PRGQOkQvVaEjvXXihw1LRUnH5Gcgl3wIDYFtcoO-Bd-QMq[45])

## Sinal de Velocidade do Veículo

Geralmente do tipo Hall, o sensor de velocidade gera pulsos proporcionais à rotação das rodas ou do eixo de saída do câmbio. A ECU utiliza esse sinal para ajustar parâmetros como avanço de ignição, marcha lenta e controle do

corte de combustível. A fabricante MTE Thomsom oferece um sensor de 3 fios (alimentação, terra e sinal digital pulsado). Simulado com um gerador de pulsos digitais modulados em frequência, proporcional à velocidade do veículo. O sinal é enviado à ECU e, conforme a variação da frequência, são ativadas funções como corte de combustível em desaceleração e cálculo de marcha por velocidade/rotação. A figura 17 abaixo, representa um exemplo de sensor de velocidade.

Figura 17 - Sensor de Velocidade



Fonte - <https://loja.mte-thomson.com.br/p/1664640/sensor-de-velocidade-mte-thomson-7314-unitario>[46]

### **Teste de Fonte de Alimentação de 5V da ECU**

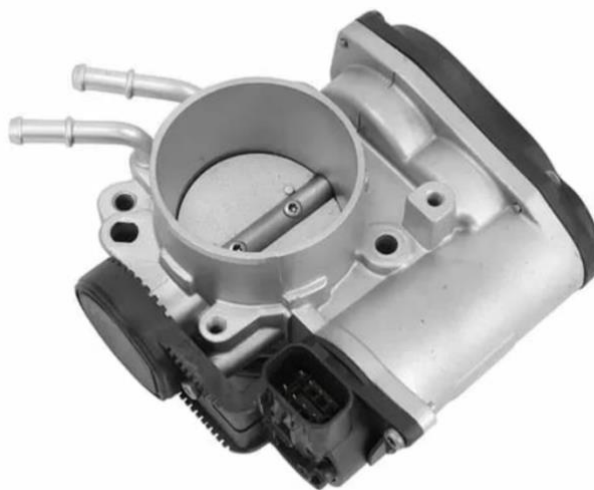
A ECU fornece 5V a sensores como TPS, MAP, entre outros. O teste é feito com multímetro entre o pino de alimentação e terra. Ausência de 5V pode indicar curto no sensor, mau contato ou falha na fonte interna da ECU. A linha de 5V é crítica e deve ser protegida contra sobrecarga.

### 3.2 ATUADORES

Os atuadores são componentes fundamentais nos sistemas automotivos modernos, pois executam comandos da unidade de controle eletrônico (ECU) convertendo sinais elétricos em movimentos físicos. Eles substituem mecanismos mecânicos antigos, oferecendo maior precisão, controle e resposta rápida às necessidades do motor.

A válvula borboleta eletrônica é um exemplo clássico de atuador. Ela regula o fluxo de ar admitido no motor com base nos sinais da ECU. Antes, essa função era do carburador, depois substituído por válvulas borboleta com acionamento por cabo. Atualmente, com o pedal eletrônico, um motor de torque controlado pela ECU realiza a abertura da válvula, dispensando mecanismos auxiliares. A figura 18, representa um exemplo de válvula borboleta eletrônica.

Figura 18 – Válvula Borboleta Eletrônica

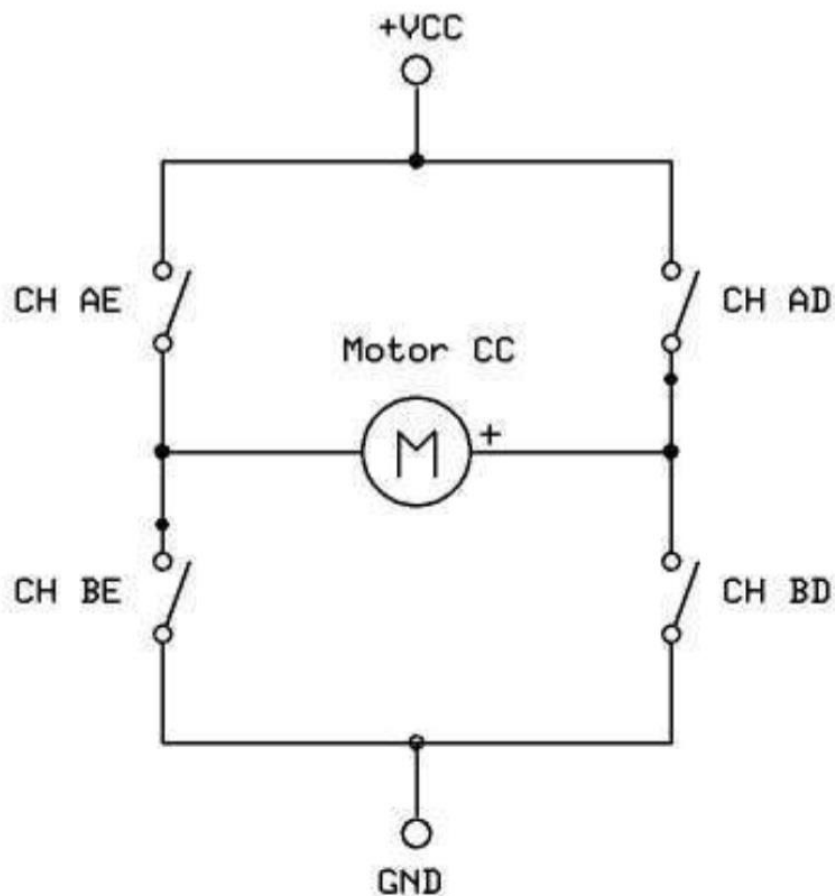


Fonte - <https://embarcados.com.br/> [59]

Essa válvula é composta por corpo, eixo, mola de retorno, motor DC com escova, sensores de posição e conector. Opcionalmente, pode conter passagens de fluido refrigerante, vácuo e ar fresco. Seu funcionamento é baseado em sinais PWM. Um duty cycle alto (90%) abre rapidamente a válvula; um baixo (10%) fecha lentamente.

O controle da válvula é feito por uma ponte H que permite inverter a polarização do motor, e sensores TPS monitoram a posição da válvula. A figura 19 abaixo, trás a representação de um diagrama de uma ponte H.

Figura 19- Diagrama Ponte H



Fonte - [https://embarcados.com.br/\[60\]](https://embarcados.com.br/[60])

Os sensores de posição (TPS) emitem sinais que variam conforme a abertura da válvula. Eles têm dois potenciômetros que funcionam de maneira inversa, permitindo à ECU saber exatamente a posição da válvula borboleta, garantindo controle preciso da mistura ar/combustível.

O fluxo de ar também é um aspecto crítico. A válvula borboleta deve manter uma abertura mínima mecânica para evitar deformações. Parâmetros como diâmetro do eixo, fugas de ar, queda de pressão e coeficiente de descarga impactam o desempenho[57].

### 3.3 ATUADORES UTILIZADOS NO SIMULADOR

#### Injetores de Combustíveis

Responsáveis por pulverizar combustível na câmara de combustão. O simulador testa sua resposta ao controle da ECU, analisando pulsos de injeção. Os testes consistem em observar a abertura dos injetores através de LEDs ou cargas equivalentes, como resistores de potência ou relés. A ECU envia pulsos controlados (PWM) que devem ser identificados com osciloscópio ou analisador lógico, validando o tempo de injeção e a ordem de disparo conforme o mapa de injeção. A figura 20, representa um exemplo de injetor de combustível.

Figura 20 - Injetores de Combustíveis



Fonte - <https://www.boschpecas.com.br/>[47]

## **Bobinas de Ignição**

Convertem baixa tensão da bateria em alta tensão necessária para gerar a centelha nas velas. O simulador permite validar o acionamento correto pelas ECUs. A simulação utiliza bobinas reais ou cargas resistivas, e o teste verifica a geração de pulsos de ignição com tensão de saturação adequada. O acionamento, geralmente pelo lado negativo, é visualizado por meio de lâmpadas de teste de alta velocidade ou osciloscópio, garantindo sincronismo com o sinal do CKP. A figura 21, representa um exemplo de bobina de ignição.

Figura 21 - Bobinas de Ignição



Fonte - [https://www.boschpecas.com.br/MLB-5327244208-bobina-ignico-bosch-fox-gol-golf-polo-a3-20v/\[48\]](https://www.boschpecas.com.br/MLB-5327244208-bobina-ignico-bosch-fox-gol-golf-polo-a3-20v/[48])

## **Válvula de Controle de Ar na Marcha Lenta**

Atua no controle da quantidade de ar admitido pelo motor em marcha lenta, ajustando a rotação sem intervenção do acelerador. Este componente será testado por meio de sinal PWM fornecido pelo microcontrolador ou pela própria ECU, e conectado a uma válvula real ou simulada eletricamente.

A ECU altera o duty cycle do sinal de controle conforme a variação do TPS, ECT e MAP, modulando a abertura da válvula. A Figura 22, representa o componente válvula de controle de ar na marcha lenta.

Figura 22 - Válvula de Controle de Ar na Marcha Lenta



Fonte - <https://loja.mte-thomson.com.br/p/1015244/valvula-de-controle-da-marcha-lenta-iacv-mte-thomson-7487-unitario>[49]

### **Eletroventilador**

Simula a atuação do ventilador de arrefecimento do radiador, ativado pela ECU conforme a leitura da temperatura do motor. A ativação será observada por meio de carga resistiva ou LED de potência conectado ao terminal de saída da ECU.

A simulação do aumento de temperatura do motor (via ECT) deve induzir o acionamento da ventoinha, validando o mapeamento térmico e o funcionamento do estágio de saída. A figura 23, representa o exemplo do eletroventilador.

Figura 23 - Eletroventilador



Fonte - <https://www.mercadocar.com.br/eletroventilador-do-radiador-volkswagen-polo-sem-ar-condicionado-valeo-cibie-698566r>[50]

### **Simulador de Sistema de Carga (Alternador)**

Simula a tensão e corrente geradas pelo alternador, permitindo testes de resposta da ECU em condições de diferentes cargas elétricas. Será simulado com uma fonte ajustável entre 12 V e 15,5 V conectada à entrada de monitoramento de tensão da ECU.



A resposta da ECU, como ajuste da carga elétrica e ativação de modos de proteção, será monitorada, verificando o reconhecimento de estados de subcarga e sobrecarga. A figura 24, representa um alternador.

Figura 24 - Alternador



Fonte - <https://www.mercadocar.com.br/alternador-multiqualita-mq0568>[51]

### Painel de Instrumentos

No simulador, o painel pode ser utilizado para verificar a resposta dos sinais simulados, como o sinal de velocidade (marcando no velocímetro), rotação (no conta-giros) e luzes de advertência. O teste inclui verificação de alimentação (geralmente 12V), sinais CAN (em modelos modernos) ou sinais analógicos/pulsados (em modelos mais simples). A figura 25 mostra, um exemplo de painel de instrumentos de um veículo.

Figura 25- Painel de Instrumentos



Fonte: <https://www.odginstruments.com.br/paineis?srsId=AfmBOoqg08CzaMqN3Q7VJCgydWi5h4HVKhZTCnmHN0myAN0AvEHCzRVr>[52]

### 3.4 Sistema de Controle Eletrônico em Automóveis

Os sistemas de controle eletrônico em automóveis são responsáveis por gerenciar e otimizar o funcionamento de vários sistemas do veículo. A ECU (Unidade de Controle Eletrônico) e a ECM (Módulo de Controle do Motor) monitoram variáveis como consumo de combustível, emissão de gases e resposta do motor, regulando a injeção de combustível, ignição e outros parâmetros para alcançar o desempenho ideal. Essas unidades trabalham coletando dados de sensores e executando comandos por meio de atuadores, garantindo um equilíbrio entre desempenho e eficiência energética. O projeto Giga de Testes para ECU propõe uma abordagem inovadora para testar e validar unidades de controle eletrônico, integrando ferramentas e processos que otimizam a eficiência e a confiabilidade nos ensaios de sistemas automotivos ( ENTLER, 2020, p. 80 ). A figura 26 a seguir, demonstra as características de uma ECU.

Figura 26 – Características de uma ECU



Fonte - <https://www.bosch-mobility.com/en/>. 2024. [11].

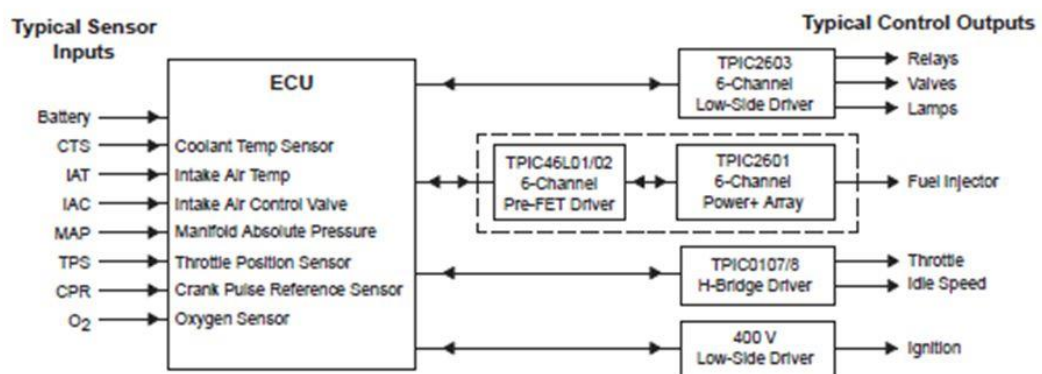
### 3.5 Desenvolvimento

A arquitetura da ECU e ECM é composta por circuitos integrados, processadores e microcontroladores, formando uma plataforma de processamento que lida com entradas e saídas em tempo real. Os sensores fornecem dados em formato analógico ou digital, que são convertidos e interpretados pelo processador. A ECM foca no controle do motor, enquanto a ECU pode ser aplicada a diversos sistemas do veículo. A estrutura interna inclui uma unidade de processamento central (CPU), memória (ROM e RAM) e circuitos de entrada e saída (GPIO). Cada fabricante [16] [17], utiliza arquiteturas específicas para otimizar a resposta do sistema, de acordo com as características de cada veículo. Conforme a figura 27, que mostra uma arquitetura típica do sistema.

Figura 27 – Arquitetura do Sistema



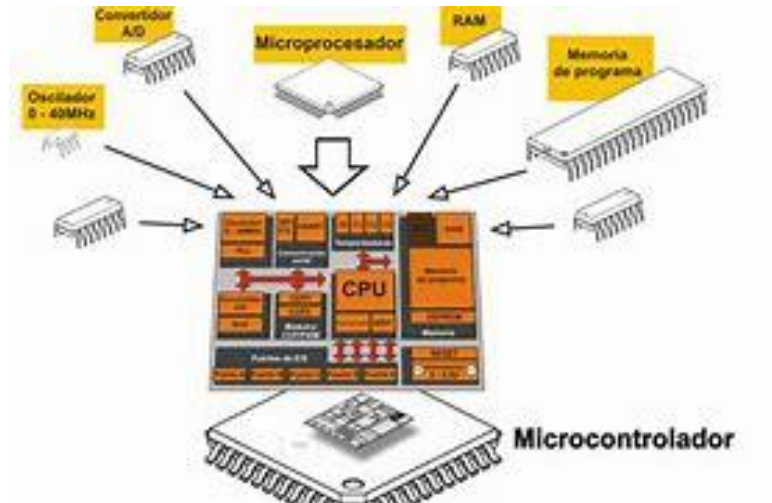
#### Arquitetura Típica de uma ECU





microcontroladores específicos para a indústria automotiva, que suportam condições extremas de temperatura e vibração, garantindo confiabilidade e segurança no funcionamento dos sistemas. A figura 29 mostra os detalhes do microcontrolador.

Figura 29 – Detalhes de um Microcontrolador

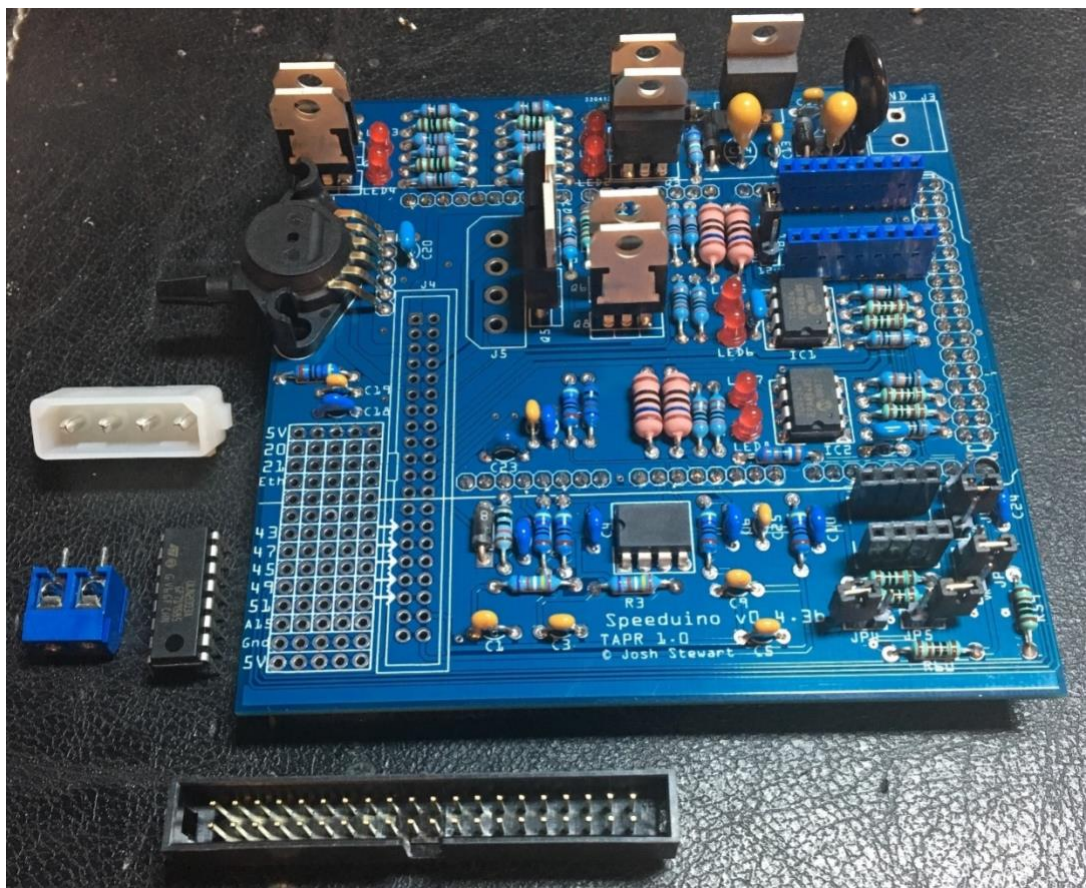


Fonte - <https://tecnoelite.co/que-es-un-microcontrolador-tipos-usos-y-historia>. 2024.[14].

### 3.8 Introdução ao *Speeduino*

O *Speeduino* é uma plataforma de microcontrolador aberta e acessível, desenvolvida para sistemas de gerenciamento de motores, sendo utilizada em projetos de controle automotivo e simuladores. Com base na plataforma Arduino, o *Speeduino* oferece uma solução econômica e flexível para estudos e experimentação em controle de motores, especialmente em ambientes acadêmicos e de desenvolvimento independente. A figura 30 a seguir demonstra as características físicas de um *Speeduino*.

Figura 30 – Características físicas de um *Speeduino*.



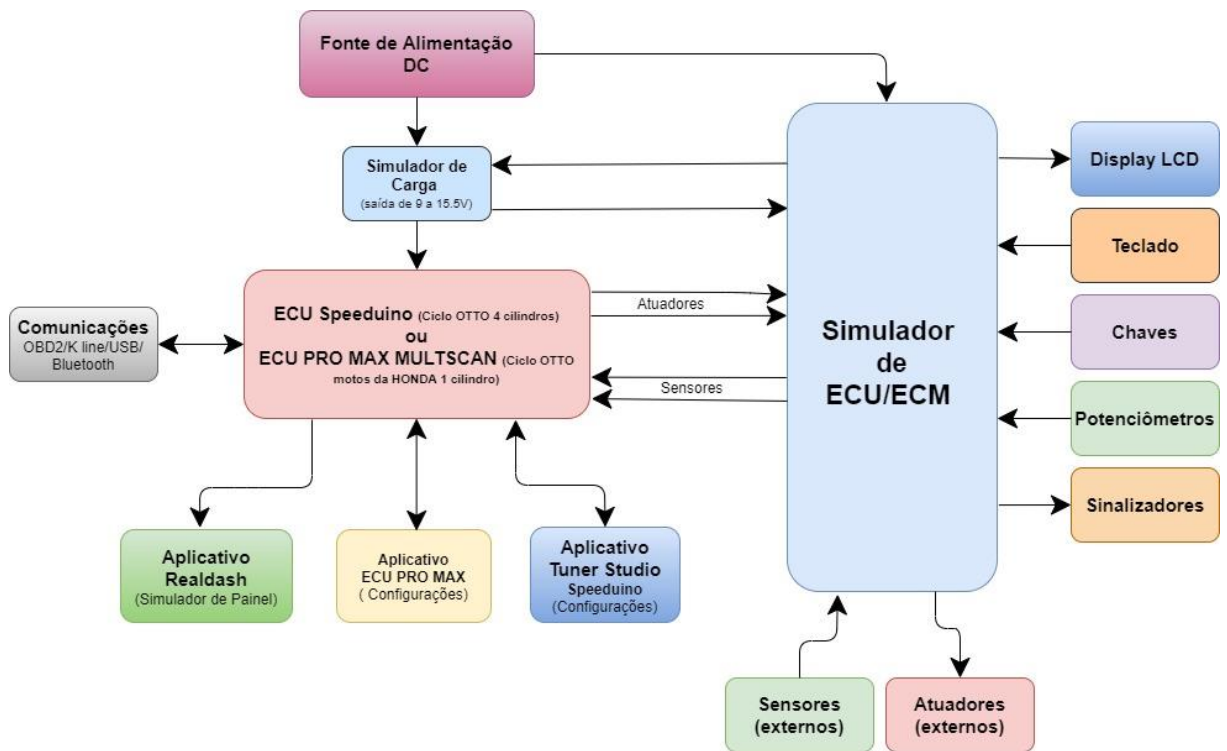
Fonte - <https://speeduino.com/home.2024>. [15].



#### 4 DESENVOLVIMENTO DO SIMULADOR

No diagrama de blocos da figura 31, podemos visualizar como será toda a estrutura do simulador, contendo uma fonte de alimentação robusta para suportar todos os itens conectados, um simulador de carga do alternador, uma ECU com softwares de testes RealDash, Tuner Studio e ECU PRO MAX, tomadas de comunicações, um simulador utilizando um microcontrolador de 32 bits (ESP32), Tela de cristal líquido (LCD), teclado, chaves, potenciômetros, sinalizadores, sensores e atuadores.

Figura 31 – Diagrama de blocos do TCC

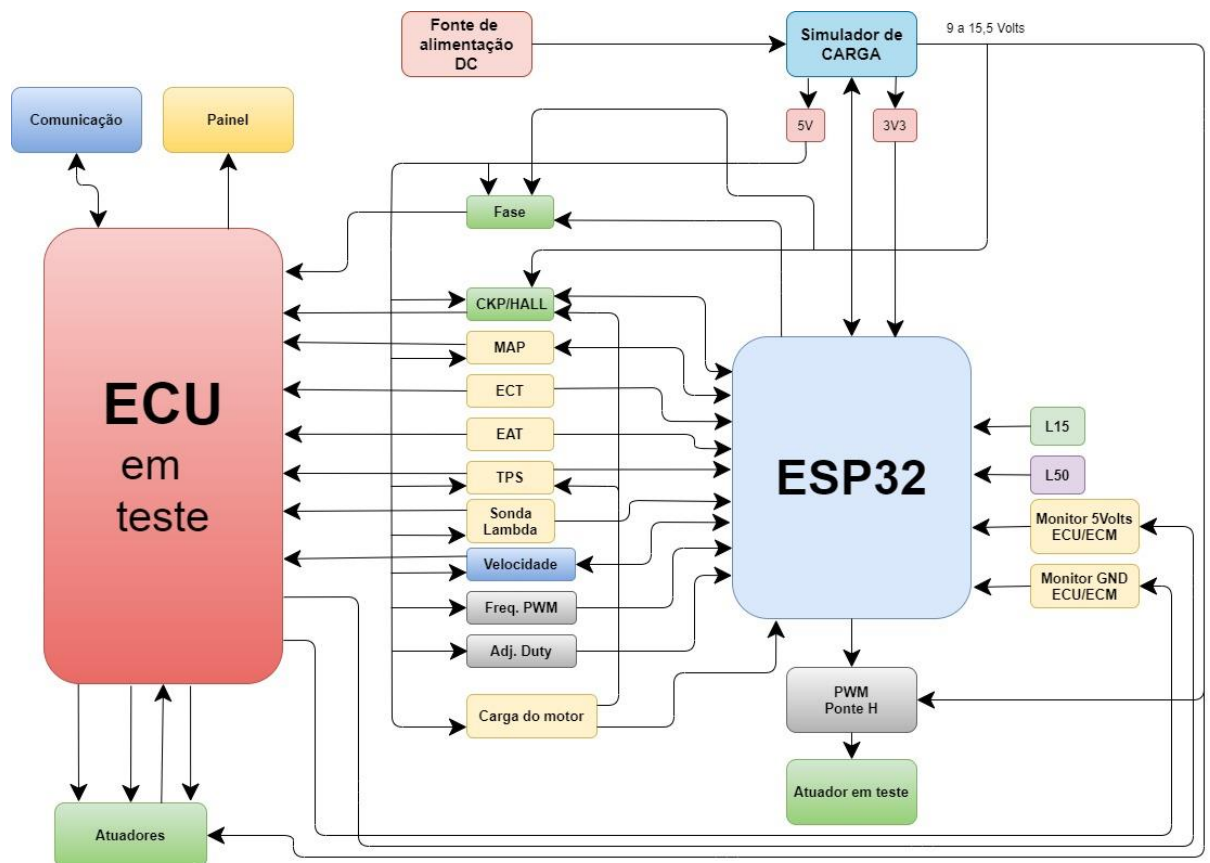


Fonte - Autoral. 2025.

#### 4.1 Circuitos Eletrônicos e Interfaces

Utilizaremos no projeto um microcontrolador ESP32 com 2 núcleos e arquitetura de 32 bits. Na figura 32 demonstra a estrutura de entradas e saídas do simulador.

Figura 32 – Estrutura de entradas e saídas do simulador



Fonte- Autoral. 2025.

O ESP32 figura 33 é um microcontrolador de baixo custo e baixa potência da *Espressif Systems*, conhecido por sua integração de *Wi-Fi* e *Bluetooth*. Ele é uma evolução do ESP8266 e vem em variações de processadores *single core* e *dual core* da *Tensilica Xtensa LX61* [31]. Aqui estão algumas características principais:

Processador: *Xtensa dual core* (ou *single core*) 32-bit LX6 microprocessador, operando a 160 ou 240 MHz.

Memória: 520 KB de *RAM*, 448 KB de *ROM* e 16 KB de *RTC SRAM*.

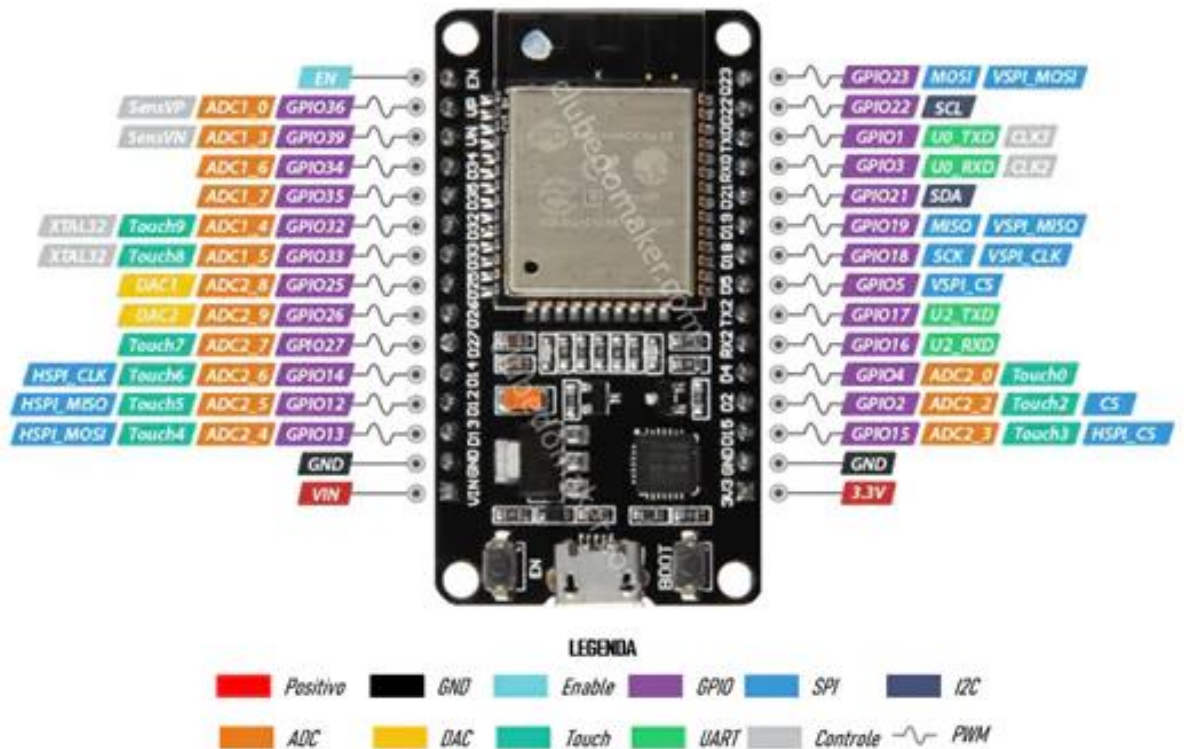
Conectividade sem fio: *Wi-Fi* e *Bluetooth*.

Interfaces Periféricas: 34 *GPIOs* programáveis, *ADC* de 12 bits, *DACs* de 8 bits, sensores capacitivos, interfaces *SPI*, *I<sup>2</sup>S*, *I<sup>2</sup>C*, *UART*, *SD/SDIO*.



Gerenciamento de Energia: Modos de baixa potência, regulação de tensão interna, e consumo de corrente em modo de sono profundo de 5 $\mu$ A.

Figura 33 – ESP32



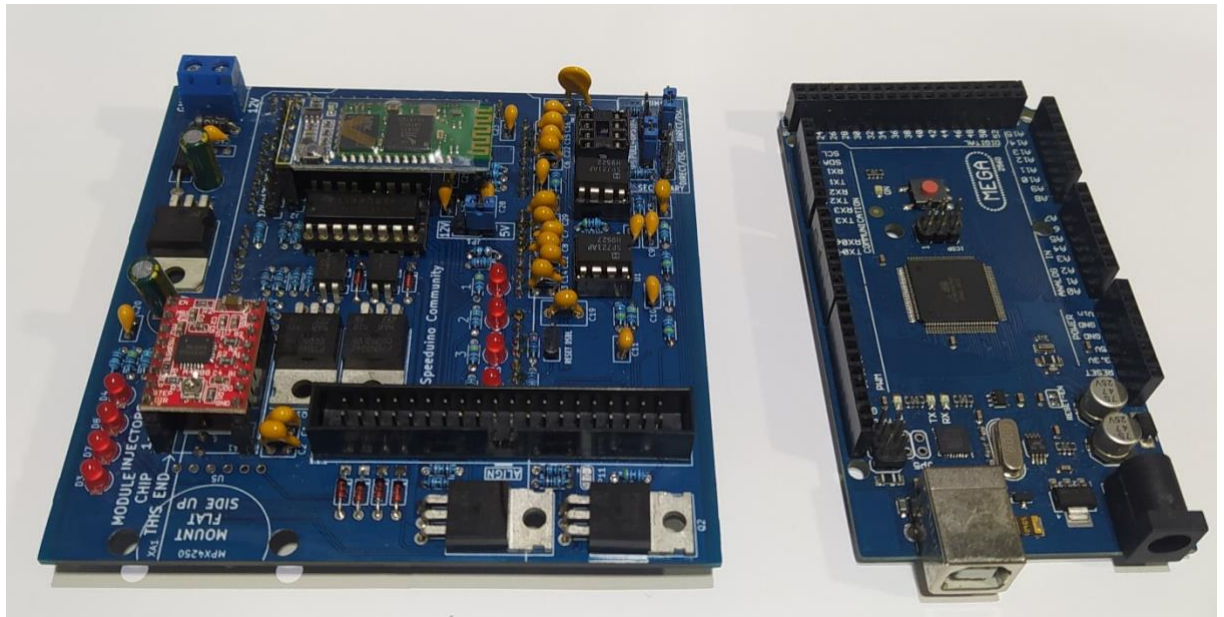
Fonte - <https://clubedomaker.com/esp32-pinout>, 2024, [27].

## 4.2 Unidade de controle do motor Speeduino

A ECU Speeduino versão 0.4.3D figura 34 é uma centralina programável de baixo custo, baseada na plataforma *Arduíno*. Ela oferece funcionalidades avançadas de gerenciamento de motores, incluindo controle de injeção sequencial, ajuste de ignição e monitoramento de vários parâmetros do motor. A versão 0.4.3D é conhecida por ser uma versão aprimorada da linha *Speeduino*, com melhorias em termos de compatibilidade e custo [29].

A *Speeduino* é um projeto de código aberto, o que significa que os designs de hardware e software estão disponíveis para qualquer pessoa que queira construir ou modificar sua própria centralina. O projeto foi iniciado em 2013 e tem uma comunidade ativa de entusiastas e desenvolvedores que contribuem para o seu desenvolvimento contínuo.

Figura 34 – ECU Speeduino versão 0.4.3d e ATMEGA 2560



Fonte - Autoral. 2025.

O foco do projeto não é especificamente o *Speeduino*, mas sim utilizá-lo como uma ECU de testes.

### 4.3 Unidade de controle do motor *MULTSCAN*

A *ECU PRO MAX* da *MULTSCAN* figura 35 é um módulo de injeção eletrônica programável, especialmente projetado para motocicletas *Honda* [28]. Aqui estão algumas de suas principais características:

**Controle avançado:** Permite ajustes detalhados nos parâmetros críticos do motor, como injeção de combustível, avanço de ignição e muito mais.

**Telemetria em tempo real:** Oferece uma análise detalhada do desempenho do motor por meio de dados coletados em tempo real ou salvos dos sensores e atuadores.

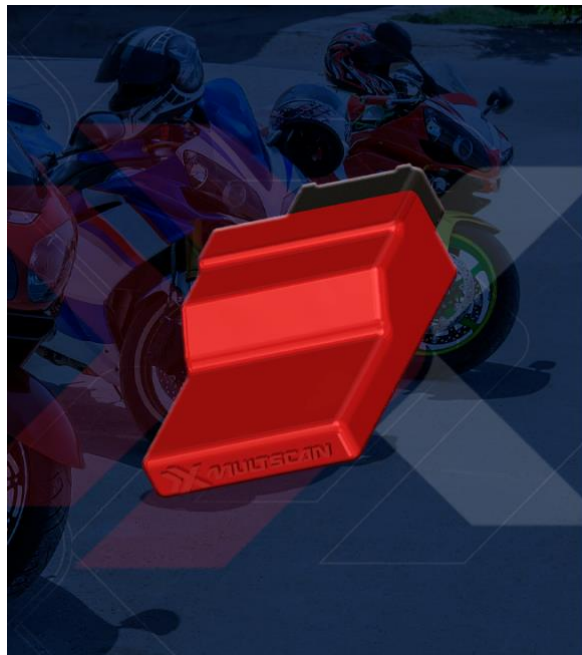
Sistema de Posicionamento Global (GPS) Integrado: Registra a posição geográfica do dispositivo móvel conectado à *ECU PRO MAX* via *Bluetooth*, fornecendo recursos adicionais de rastreamento e monitoramento.

Visualização de Parâmetros: Permite a visualização em tempo real de parâmetros do motor, como rotação, tempo de injeção, avanço de ignição, leitura do sensor MAP, ângulo do TPS, posição do atuador de marcha lenta, sonda lambda, temperatura do motor, temperatura do ar, carga da bobina e tensão da bateria.

Mapas de injeção e ignição: Permite a personalização detalhada da resposta da moto em diferentes situações.

Bloqueio antifurto: Função de segurança que bloqueia a ECU, proporcionando proteção contra furtos.

Figura 35 – *ECU PRO MAX MULTISCAN*



Fonte - <https://multscan.com.br>, 2024. [28].

#### 4.4 Aplicativos utilizados no Simulador

Utilizaremos três aplicativos nos testes das ECUs no Simulador, *RealDash*, *Tuner Studio* para o *Speeduino* e o aplicativo *ECU PRO MAX* para a ECU *HONDA* da *MULTISCAN*.

##### 4.4.1 *RealDash*

O *RealDash* é um software de painel digital que permite a visualização em tempo real de vários parâmetros do motor, como velocidade, rotações por minuto (RPM), pressão do óleo, temperatura do motor, entre outros. Quando usado com a

*Speeduino*, é possível integrar esses dados diretamente ao seu painel digital, proporcionando uma visão completa e detalhada do desempenho do motor [29].

Aqui estão algumas características e benefícios de usar *RealDash* com *Speeduino*:

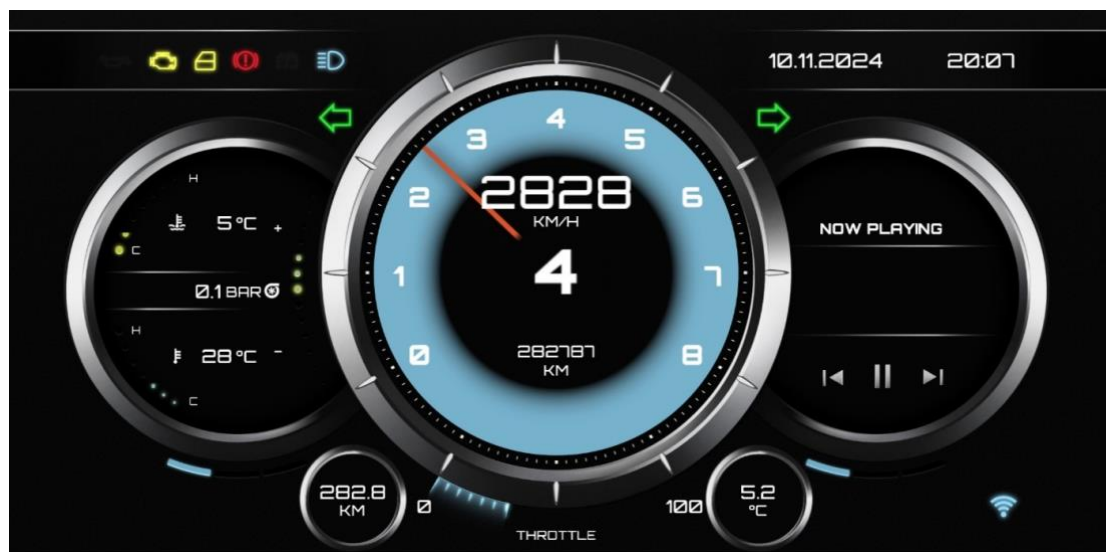
Visualização em tempo real: Monitoramento de parâmetros críticos do motor em tempo real.

Personalização: Possibilidade de personalizar a exibição de dados e adicionar indicadores específicos.

Compatibilidade: Suporte para sensores adicionais e integração com a interface serial da *Speeduino*.

Interface amigável: Interface gráfica intuitiva e fácil de usar. Na figura 36 podemos observar a aparência de um dos modelos gratuitos, disponível para a interação com o *Speeduino*.

Figura 36 - Tela do Aplicativo *RealDash*



Fonte - Autoral. 2024.

#### 4.4.2 Tuner Studio

O *Tuner Studio* figura 37 é um software de interface de *tuning* usado com a *Speeduino* para configurar, ajustar e monitorar a centralina. Ele é compatível com *Windows*, *Mac* e *Linux*, e oferece uma variedade de funcionalidades para otimizar o desempenho do motor [29].

Aqui estão algumas características principais:

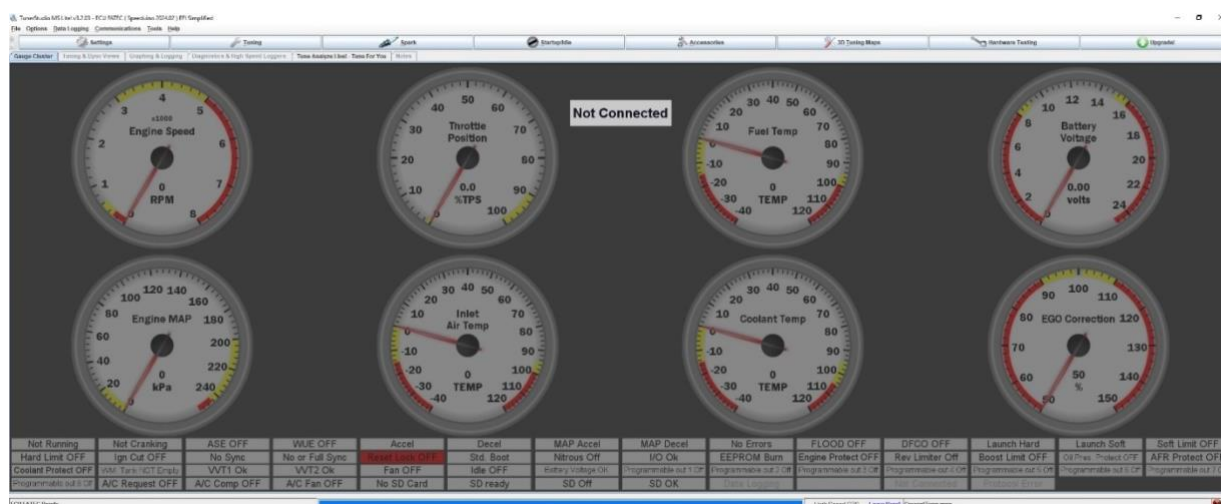
Configuração e Ajuste: Permite a configuração inicial da *Speeduino* e a definição de parâmetros de *tuning*.

Monitoramento em tempo real: Visualização em tempo real dos parâmetros do motor, como RPM, temperatura, pressão de óleo etc.

Registro de dados: Capacidade de registrar dados de desempenho do motor para análise posterior.

Interface amigável: Interface gráfica intuitiva que facilita a utilização e o ajuste dos parâmetros.

Figura 37 – Tela do Aplicativo *Tuner Studio*



Fonte - Autoral. 2024.

#### 4.4.3 Aplicativo *ECU PRO MAX MULTISCAN*

O aplicativo da *ECU PRO MAX da MULTISCAN* figura 38 é uma ferramenta essencial para quem utiliza a centralina *ECU PRO MAX* em sua moto. Ele permite a calibração dos mapas de injeção de combustível, avanço de ignição e muitos outros parâmetros do motor diretamente pelo *smartphone* [28]. Aqui estão algumas características principais:

Calibração de parâmetros: Permite ajustar mapas de injeção de combustível, avanço de ignição e outros parâmetros do motor.

Telemetria em tempo real: Oferece dados em tempo real sobre o desempenho do motor, incluindo GPS integrado para rastreamento.

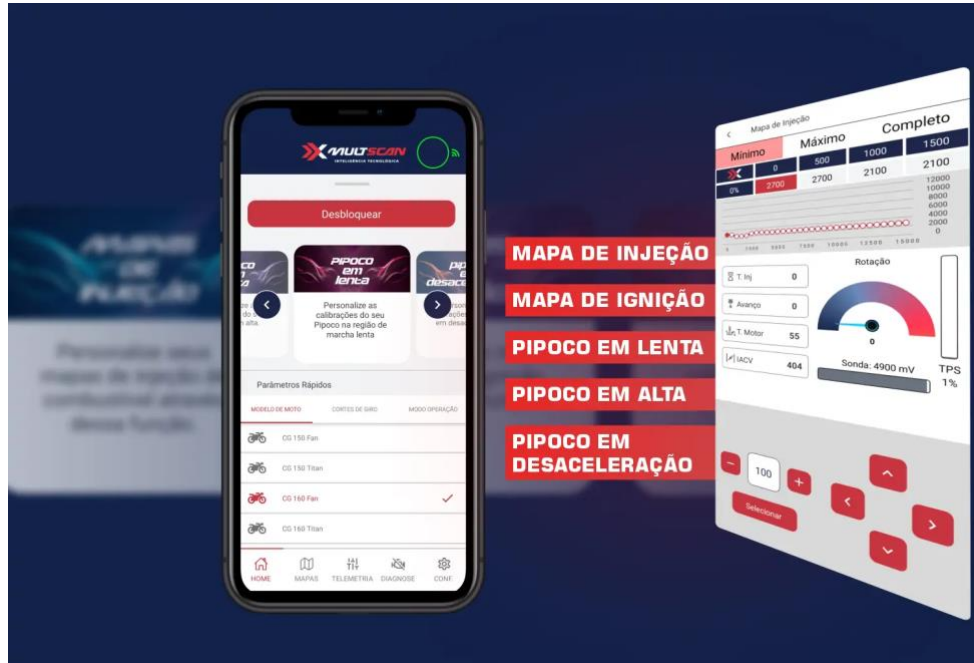
Controle de potência e consumo: Facilita o controle da potência e do consumo de combustível da moto.

Funcionalidades extras: Inclui cortes de giro personalizados, *pops and bangs*, bloqueio eletrônico do motor, entre outras funcionalidades.



Instalação *Plug and play*: Fácil de instalar e usar, proporcionando uma experiência de condução aprimorada.

Figura 38 – Aplicativo *ECU PRO MAX*



Fonte - <https://multscan.com.br>, 2024. [28].

## 5 METODOLOGIA

Neste capítulo, detalhamos a abordagem aplicada para desenvolver o simulador de bancada para ECU e ECM. A metodologia abrange desde a definição da estratégia de implementação até o uso de ferramentas específicas.

### 5.1 Estratégia de Implementação do Simulador

A implementação do simulador foi dividida em etapas bem definidas para garantir a funcionalidade e a replicabilidade dos testes.

#### 5.1.1 Projeto e Design Inicial

O primeiro passo foi desenvolver um modelo inicial utilizando o microcontrolador ESP32, escolhido por sua compatibilidade e capacidade de simular sinais em tempo real. Além disso, utilizamos a plataforma *Speeduino* como base para emular uma ECU, permitindo maior flexibilidade nos testes.

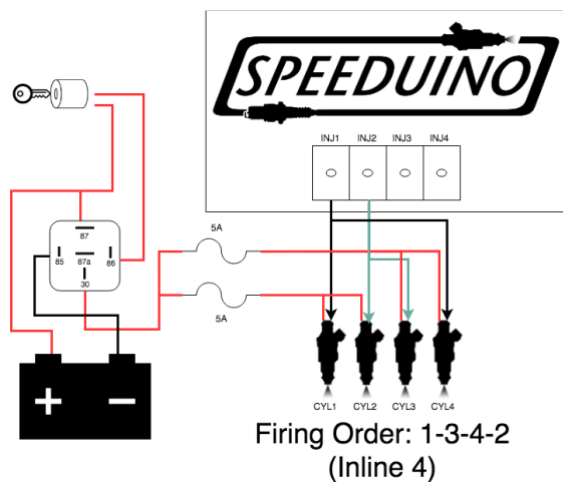
De acordo com o *Speeduino Manual* (2024), para 4 cilindros/injetores, há duas maneiras principais de conectá-los ao *Speeduino*:

Método 1 (Emparelhado): Conexão de dois injetores por canal, ideal para configurações de 6 ou 8 cilindros.

Método 2 (Sequencial Completo): Conexão de um injetor por canal, permitindo disparos em ordem numérica (1, 2, 3, 4), configurável pelo *Tuner Studio*.

A figura 39 ilustra o diagrama dos atuadores conectados ao *Speeduino*, detalhando os métodos de conexão mencionados.

Figura 39 – Diagrama de atuadores conectados ao *Speeduino*.



Fonte - [https://speeduino.com/Speeduino\\_manual.pdf](https://speeduino.com/Speeduino_manual.pdf), 2024. [33].

### 5.1.2 Integração dos Componentes

A integração dos sensores e atuadores foi projetada para replicar com precisão as condições reais de um motor. Nessa fase, realizamos o mapeamento dos sinais que a ECU e ECM processarão, configurando o simulador para reproduzir dados como rotação, temperatura e pressão.

### 5.1.3 Configurações específicas para injetores

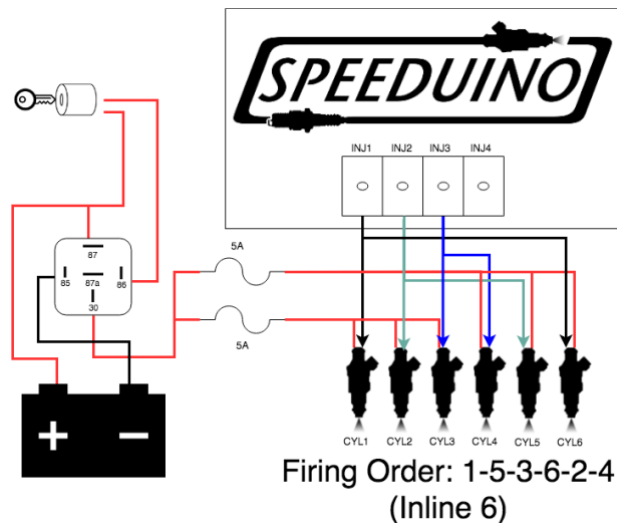
De acordo com o Manual do *Speeduino* (2024), configurações como a ordem de disparo de 5 cilindros (1-2-4-5-3) desligam que dois injetores compartilham uma única saída para otimizar a distribuição de sinal e evitar sobrecarga.

Para motores com mais de 4 injetores, o número de saídas será equivalente à metade do número de injetores.

Para motores de 6 cilindros, como um V6 (ordem de ignição: 1, 4, 2, 5, 3, 6), os injetores serão conectados em três grupos de dois cilindros separados por 360 graus da árvore de manivela [35].

A figura 40 ilustra a conexão dos injetores para motores de 6 cilindros, mostrando como os injetores são distribuídos em grupos de dois.

Figura 40 – Conexão de injetores para motores de 6 cilindros.



Fonte - [https://speeduino.com/Speeduino\\_manual.pdf](https://speeduino.com/Speeduino_manual.pdf), 2024. [35].

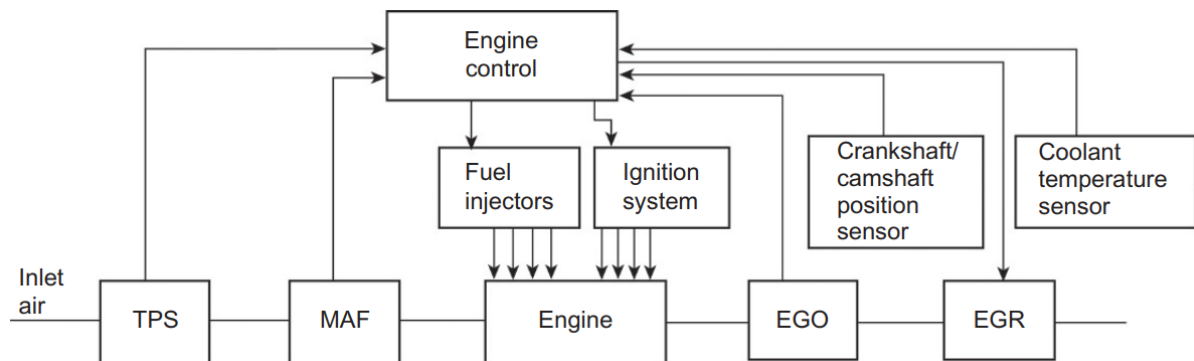
#### 5.1.4 Desenvolvimento da Interface

Foi desenvolvida uma interface intuitiva que permite o controle e ajuste das configurações de entrada, bem como o monitoramento em tempo real das respostas do simulador. O avanço da tecnologia também permitiu a integração de mais sistemas em um único módulo como o controle da ignição, controle da marcha lenta, bomba temporizada, controle do eletro ventilador, entre outros componentes (RIBBENS, 2017, p. 185).



Na figura 41 tem-se um diagrama de blocos simplificado contendo os sensores e atuadores mais relevantes utilizados no controle de um motor. Alguns deles serão abordados com mais detalhes posteriormente.

Figura 41– Representação do sistema de controle do motor.



Fonte - (RIBBENS, 2017, p.185)[37].

## 5.2 Técnicas de Teste e Validação

As técnicas de teste e validação planejadas incluem:

Testes de Comunicação CAN: Validação da transmissão e recepção de dados através do protocolo CAN, amplamente utilizado em sistemas automotivos.

Simulação de Condições Extremas: Avaliação da robustez do simulador em cenários de temperaturas e pressões elevadas.

Testes de Precisão dos Sinais: Verificação da consistência e compatibilidade das leituras simuladas com sistemas automotivos reais.

### 5.2.1 Teste de Alimentação dos Terminais Negativos

Muitos atuadores são ativados pela ECU através do aterramento de um terminal (chaveamento pelo lado negativo). O teste consiste em medir continuidade entre o terminal negativo do atuador e o GND da ECU durante a ativação, ou observar com lâmpada de teste ou osciloscópio a chave de aterramento pulsante. A ECU Speeduino será testada com todos os sensores e atuadores conectados ao simulador, permitindo configuração via software Tuner Studio. A resposta da ECU a

diferentes sinais será monitorada em tempo real, com ajustes de mapas de ignição e injeção e observação de variáveis no painel digital do RealDash, já a ECU PRO MAX Multiscan, será testada com o auxílio do aplicativo da fabricante via smartphone, conectado por Bluetooth. O simulador reproduz os sinais de sensores e espera da ECU a atuação correta sobre os atuadores. A função de leitura em tempo real permite monitorar a resposta da ECU aos diferentes mapas, em especial em regime variável de carga.

### **5.2.2 Sinal PWM Ajustável para Testes de Atuadores Diversos**

O PWM é utilizado para controle proporcional de atuadores como válvulas solenóides, eletroválvulas EGR, corpo de borboleta eletrônico, entre outros. Em bancada, pode-se utilizar geradores de sinal PWM ajustável (com frequência entre 100 Hz a 1 kHz e duty cycle entre 10% a 90%) para simular o controle da ECU e testar funcionalidade dos atuadores. O simulador gera sinais PWM ajustáveis em frequência (100 Hz a 1 kHz) e duty cycle (10% a 90%) para teste de válvulas solenóides, atuadores de geometria variável, EGR e corpos de borboleta eletrônicos. A ECU deverá reconhecer a carga simulada e variar o sinal conforme as condições impostas.

Para realizar a calibração, o motor ou o veículo são colocados em um dinamômetro e testados em diversos pontos de velocidade e faixas de carga, enquanto as variáveis de saída são medidas (RIBBENS, 2017, p. 158).

### **5.3 Ambiente de Teste (Laboratório/Bancada)**

Os testes serão realizados em um ambiente controlado para garantir segurança e confiabilidade dos resultados. Montagem da Bancada: Equipamento com ESP32, *Speeduino* e sensores necessários para simulação, incluindo ferramentas de medição.

Ambiente Controlado: Preparação do laboratório para evitar interferências externas que possam distorcer os sinais de comunicação. Um dos principais objetivos do simulador é permitir a análise de sinais em tempo real, com o auxílio de:

Osciloscópio: verifica forma de onda (ex: sensor CKP).

Multímetro: verifica alimentação de sensores.

Lâmpada de teste: identifica chaveamento negativo dos atuadores.

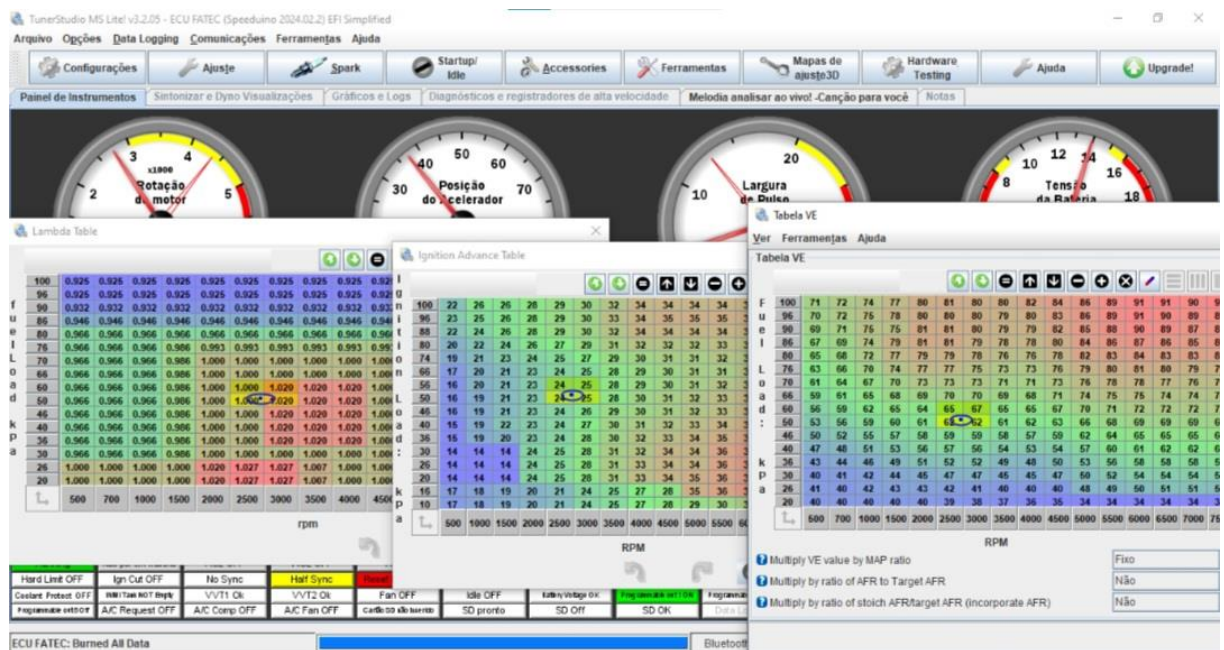
A simulação controlada possibilita reproduzir falhas como:

Sensor de temperatura aberto (valores fora do esperado), Bobina com falha de chaveamento e Sensor de velocidade ausente.

### 5.3.1 Testes Práticos

Para os testes, foram criados mapas de injeção de combustível e de ignição para ECU Speeduino e para a ECU PRO MAX da MULTISCAN. A figura 42, demonstra o que foi feito.

Figura 42 – Mapas de Injeção de Combustível



Fonte - Autoral. 2025.

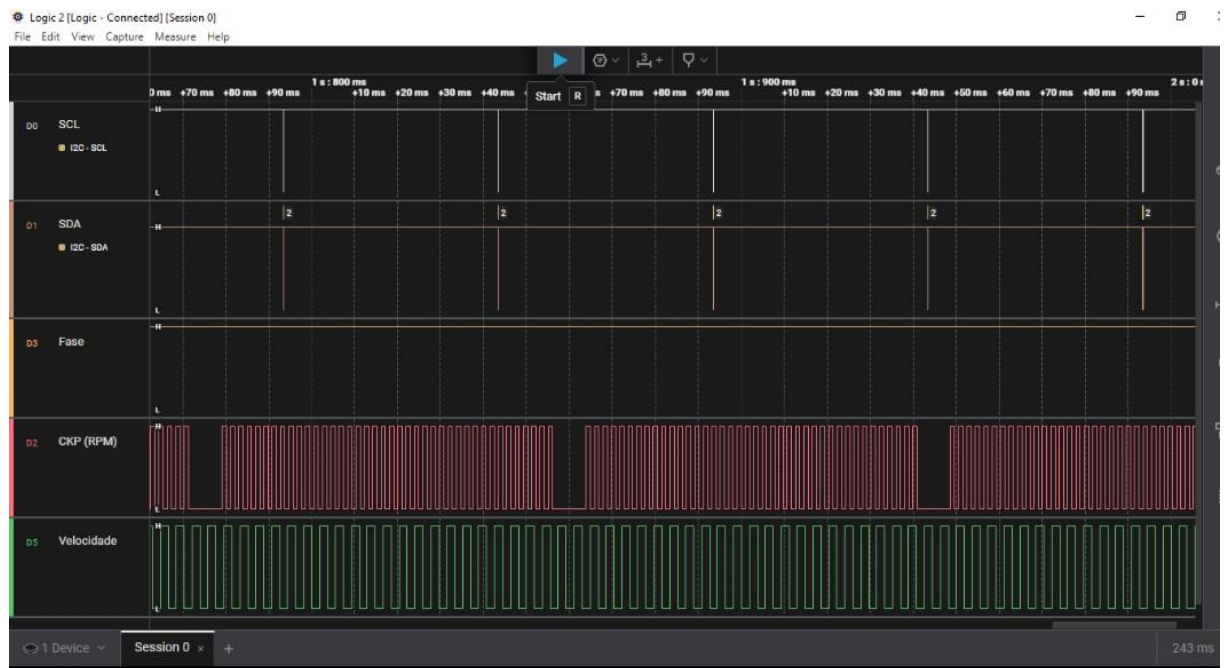
Foi inserido os sinais de sensores nas ECUs, e verificado o funcionamento de seus atuadores.

Os sinais injetados, foram visualizados utilizando os programas Tuner Studio, Real Dash, ECU PRO MAX e analisador lógico.

### 5.3.2 Os Sinais Simulados Nas Entradas Das ECUs

- Sinal de posição do virabrequim (CKP) com ajuste de rotação por potenciômetro, 60 – 2 dentes para Speeduino, e 12 – 3 dentes para ECU PRO MAX. A imagem 43, mostra o sinal de posição do virabrequim, sendo gerado no osciloscópio.

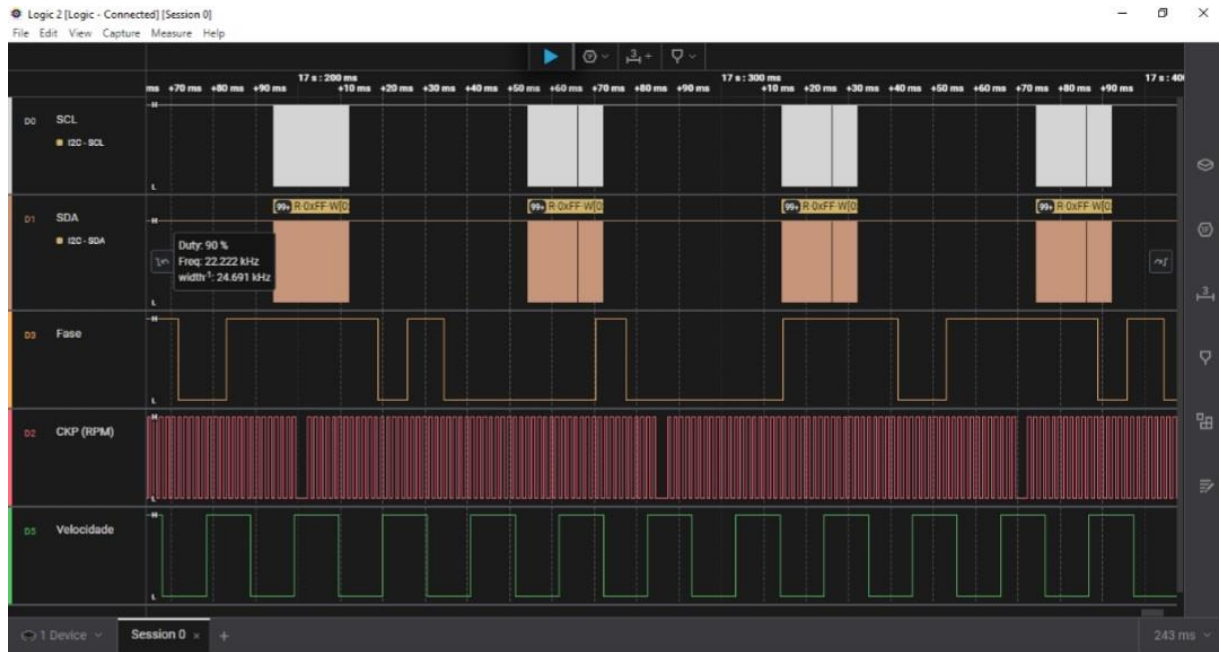
Figura 43 – Sinal de Posição do Virabrequim



Fonte - Autoral. 2025.

- Sinal do sensor de fase sincronizado com o sinal de rotação (60-2 dentes), foi gerado apenas como demonstração, foi utilizado o analisador lógico para visualizar o sinal, as ECUs em testes não utilizam esse sinal. A figura 44, mostra o sinal do sensor de fase sincronizado com o sinal de rotação.

Figura 44 – Sinal do Sensor de Fase

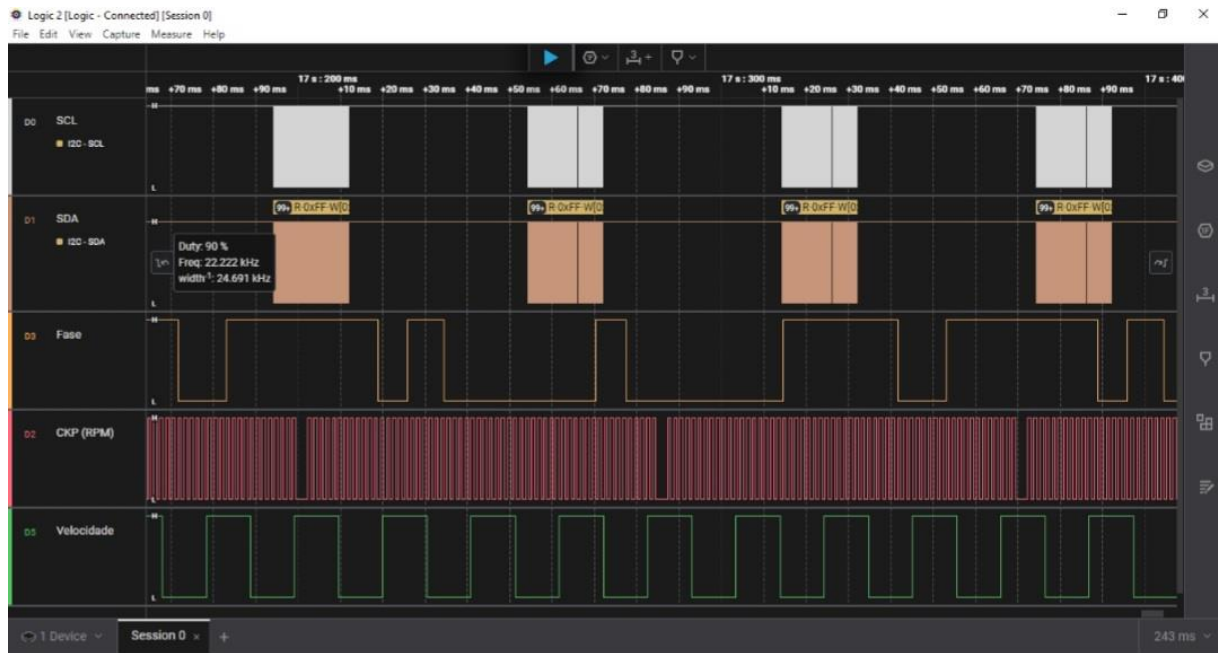


Fonte - Autoral. 2025.

- Sinal do sensor de oxigênio (Sonda Lambda) ajustável por potenciômetro;
- Sinal do sensor de temperatura do líquido de arrefecimento (ECT) ajustável por potenciômetro;
- Sinal do sensor de temperatura do ar admitido (IAT) ajustável por potenciômetro;
- Sinal do sensor de pressão absoluta do motor (MAP) ajustável por potenciômetro;
- Sinal do sensor de posição da borboleta de aceleração (TPS) ajustável por potenciômetro;

- Sinal do sensor de velocidade do veículo (VSS), gera sinais digitais de 1 a 270 Hz ajustável por potenciômetro, foi gerado apenas para demonstração, utilizando o analisador lógico para visualizar o sinal, as ECUs em testes não utilizam esse sinal. A figura 45, mostra o sinal do sensor de velocidade do veículo.

Figura 45 – Sinal do Sensor de Velocidade

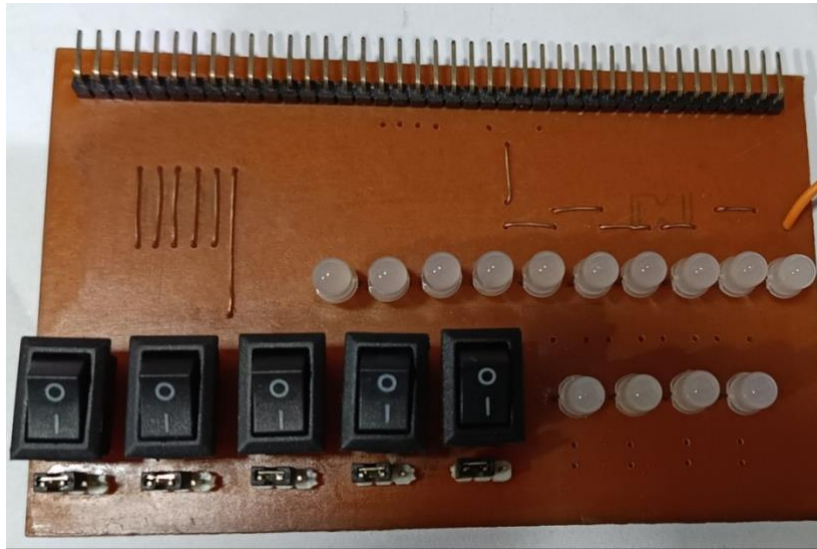


Fonte - Autoral. 2025.



- Painel com 5 chaves para injetar sinais positivos ou negativos (configurável) nos pinos da ECU, não foram utilizados nesses testes. A figura 46 abaixo, representa o painel com 5 chaves.

Figura 46 – Painel de 5 Chaves



Fonte - Autoral. 2025.

- Fonte de alimentação ajustável, para simulação de carga do alternador (tensão 9 a 15.5 Volts). A figura 47, representa a fonte de alimentação ajustável do projeto.

Figura 47 – Fonte de Alimentação Ajustável



Fonte - Autoral. 2025.

### 5.3.3 Os Sinais Analisados Dos Atuadores Nas Saídas Das ECUs

- Simulação da chave da ignição do veículo, L30, L15 e partida. A figura 48, representa a interface de comando do simulador.

Figura 48 – Chaves de Ignição



Fonte - Autoral. 2025.

- Teste do sinal do relê do eletroventilador, foi adicionado ao circuito um relê e um pequeno eletroventilador. A figura 49, representa o teste do sinal do relê do eletroventilador.

Figura 49- Teste do Sinal do Relê do Eletroventilador



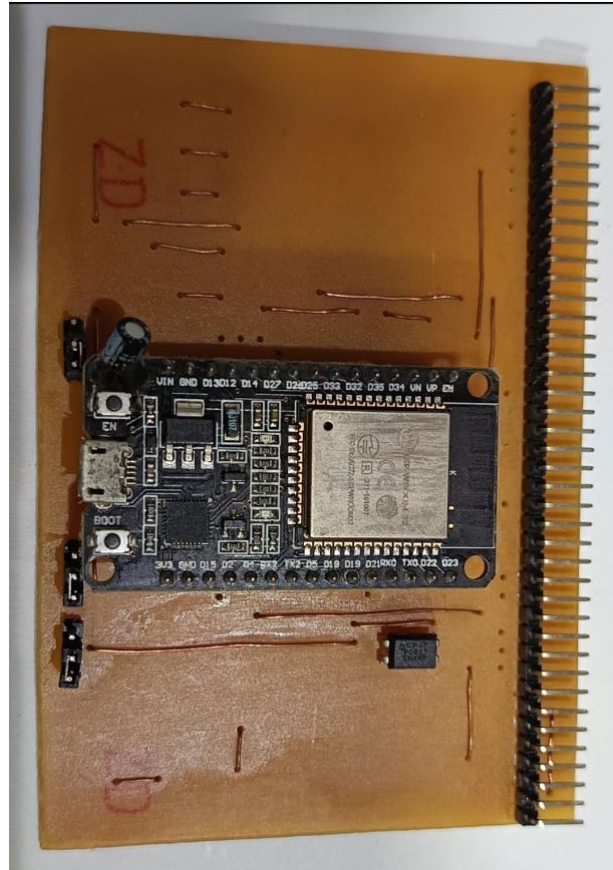
Fonte - Autoral. 2025.

- Teste do sinal do relê da bomba de combustível, foi adicionado um relê e um LED para visualizar o funcionamento da bomba de combustível ao ligar a chave de ignição e durante as simulações nas entradas da ECU. A Figura 50



demonstra o componente utilizado para o teste do sinal do relê da bomba de combustível.

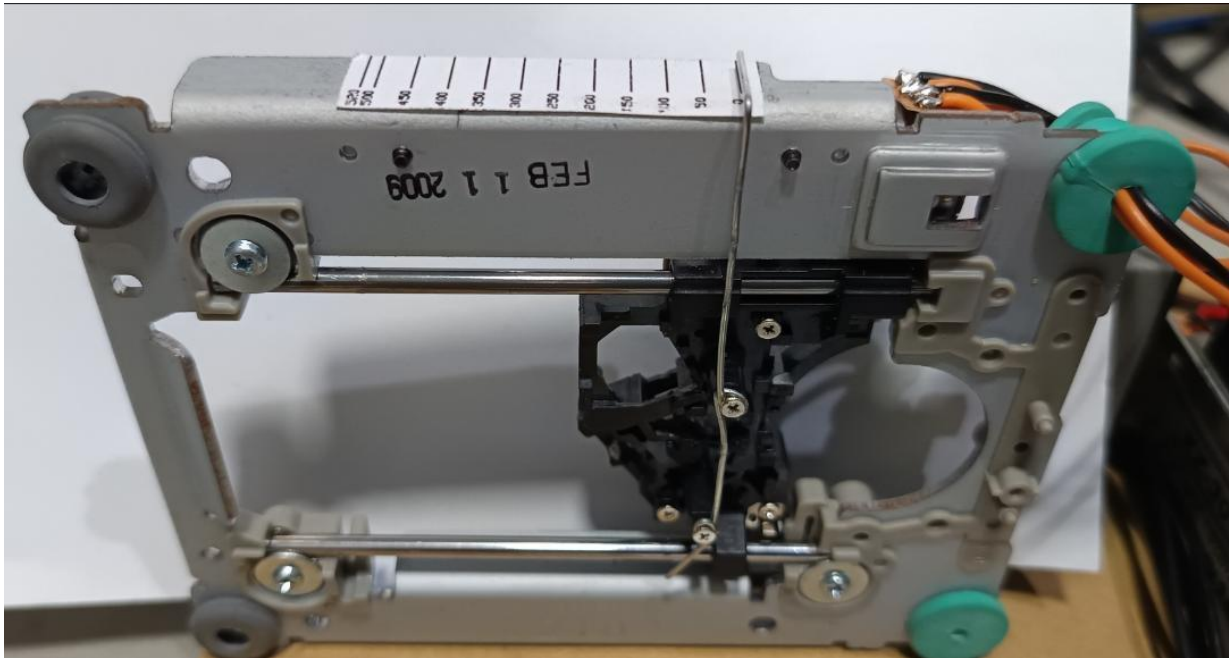
Figura 50 – Placa para Teste da Bomba de Combustível



Fonte – Autoral. 2025.

- Teste de válvula de controle de ar na marcha lenta (IACV), foi adicionado um motor de passo para visualizar os pulsos de controle no atuador de marcha lenta, vindos da ECU. A figura 51, mostra um motor de passo, como teste de uma válvula de controle de ar da marcha lenta.

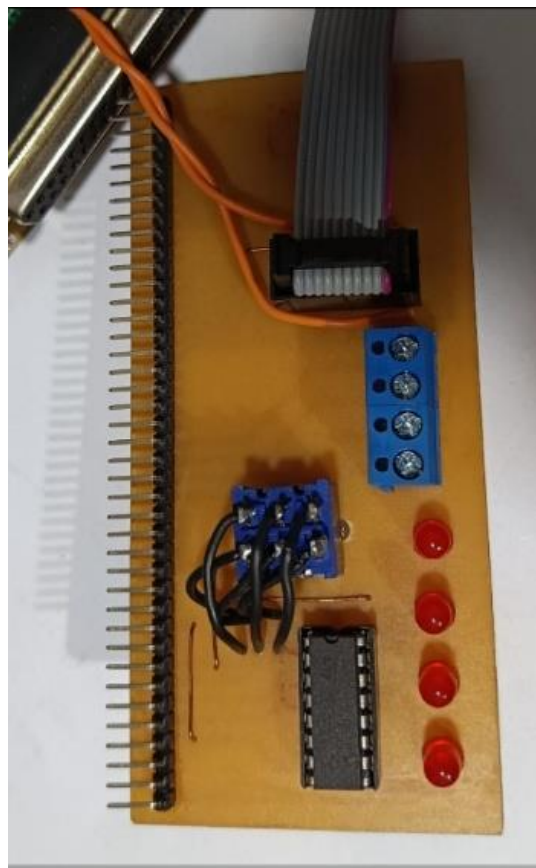
Figura 51 – Válvula de Controle de Marcha Lenta



Fonte – Autoral. 2025.

- Teste de injetores (INJ), foi adicionado 4 relês para servirem de carga nas saídas de injetores das ECUs e 4 LEDs, para ouvir e visualizar o funcionamento dos sinais;
- Teste dos sinais das bobinas de ignição, foram adicionados 4 LEDs para visualização dos sinais das bobinas, sendo possível configurar sinais de bobinas analógicas e digitais. A figura 52, representa o componente utilizado, para teste dos sinais das bobinas de ignição.

Figura 52 – Teste dos Sinais das Bobinas de Ignição



Fonte – Autoral. 2025.

- Teste de alimentação 5 Volts dos sensores da ECU, foi criado um circuito de leitura da tensão (voltímetro) que sai da ECU para alimentação dos sensores;
- Teste de alimentação 12 Volts da ECU, foi criado um circuito de leitura da tensão (voltímetro), que verifica a tensão que está alimentando a ECU. A figura 53 demonstra a interface criada no simulador, para leitura da tensão nos sensores e na ECU.

Figura 53 – Teste de Alimentação da Tensão dos Sensores e da ECU



Fonte – Autoral. 2025.

- Sinal de PWM ajustável para testes de atuadores diversos, foi inserido um TBI para teste de funcionamento, sendo possível testar apenas a abertura do componente, o retorno é feito pela mola do próprio componente, será implementado um circuito com ponte H para teste de abertura e fechamento, e um circuito de leitura dos sinais da borboleta. A figura 54 mostra o componente utilizado para representar, o sinal de PWM ajustável para atuadores diversos.

Figura 54 – Sinal de PWM Ajustável



Fonte – Autoral. 2025.

- Painel de instrumentos, utilizando os softwares Turner Studio e Real Dash, foi possível visualizar vários sinais gerados pelo simulador para ECU Speeduino, e para a ECU PRO MAX foi utilizado um aplicativo para celular com Android. A figura 55 demonstra a interface do software Real Dash.

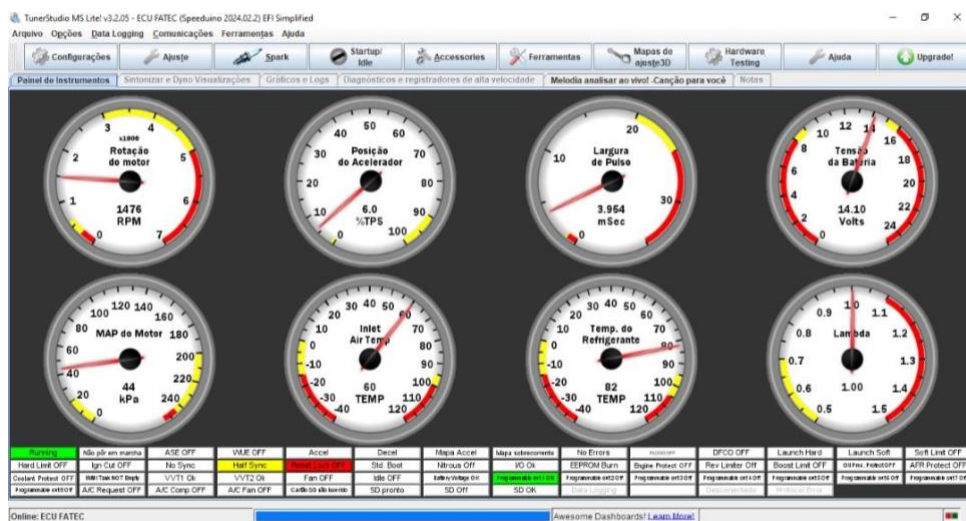
Figura 55 – Software Real Dash



Fonte – Autoral. 2025.

A figura 56, trás a interface do software Tuner Studio, o que exemplifica a utilização do simulador( Hardware) e o que afeta ele quando é alterado um parâmetro.

Figura 56 – Software Tuner Studio



Fonte – Autoral. 2025.

## 5.4 Ferramentas e Softwares Utilizados

Nesta seção, são apresentadas as principais ferramentas e softwares utilizados para o desenvolvimento do projeto, com suas respectivas funções e contribuições para a simulação do sistema:

**ESP32:** Microcontrolador central utilizado para gerenciar os sinais e respostas da ECU emulados. Sua alta capacidade de processamento e conectividade o tornam ideal para integrar sensores, atuadores e outros componentes do sistema. O ESP32 desempenha um papel crucial na comunicação e no controle das funções simuladas.

**Speeduino:** Plataforma de código aberto que simula as funções de uma ECU (Unidade de Controle do Motor) de forma acessível e flexível. Essa ferramenta permite a replicação de diversas operações realizadas por uma ECU convencional, como controle de injeção eletrônica e ignição. O *Speeduino* é amplamente utilizado por sua compatibilidade com diferentes configurações de motores e pela possibilidade de personalização conforme as necessidades do projeto.

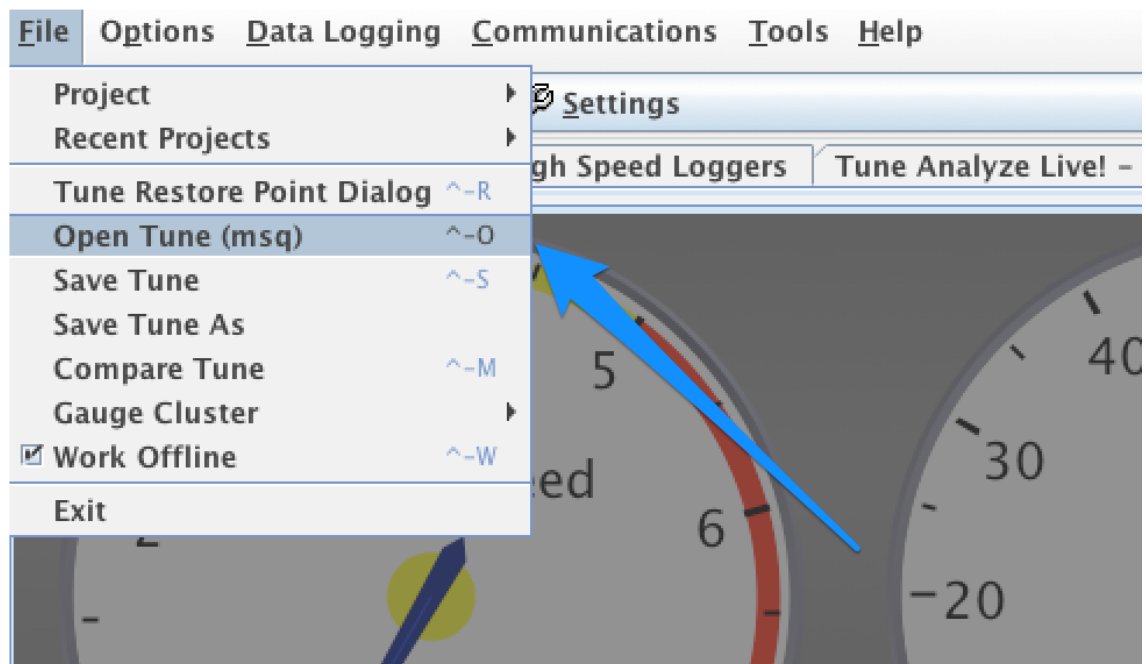
## 5.5 O Sistema de Ajuste e Monitoramento *Speeduino* em Tempo Real

É uma plataforma de *tuning* avançada que permite a configuração e o acompanhamento dinâmico dos parâmetros da centralina de um motor, utilizando a tecnologia *Speeduino*. Através de uma interface intuitiva, o sistema oferece controle total sobre a calibração da injeção eletrônica, permitindo ajustes precisos em tempo real, além de monitoramento contínuo dos principais dados operacionais do motor, como RPM, temperatura, pressão de combustível, entre outros.



Este sistema proporciona uma forma eficiente e personalizada de otimizar o desempenho do motor, garantindo maior precisão e confiabilidade nos ajustes realizados [36]. A figura 57 ilustra a interface do *Tuner Studio* configurada para ajustes de parâmetros, evidenciando a configuração detalhada dos parâmetros da injeção eletrônica.

Figura 57 – Interface do Tuner Studio para efetuar configurações.



Fonte- [https://speeduino.com/Speeduino\\_manual.pdf](https://speeduino.com/Speeduino_manual.pdf), 2024. [36].

## 5.6 Interface Gráfica no Monitoramento de Parâmetros com *RealDash*

O uso de interfaces gráficas desempenha um papel crucial na análise e interpretação de dados em tempo real. O *RealDash*, um software de painel digital amplamente utilizado em sistemas automotivos, oferece uma plataforma intuitiva para monitorar parâmetros críticos do motor, como velocidade, rotações por minuto (RPM), pressão do óleo e temperatura. Por meio da sua integração com controladores e simuladores, como a *Speeduino*, o *RealDash* permite a personalização e visualização desses dados de forma dinâmica e clara, facilitando tanto o acompanhamento de desempenho quanto a identificação de anomalias operacionais. Essa interface gráfica não apenas otimiza a experiência do usuário, mas também promove maior precisão e eficiência no diagnóstico e controle de sistemas automotivos.

## **5.7 Simulador Profissional x Simulador didático ( Projeto)**

O ECU Test Diesel Pro é um simulador de sistemas de injeção eletrônica diesel desenvolvido pela Chiptronic, destinado a profissionais que realizam reparos em módulos de injeção, módulos de cabine e painéis de veículos a diesel. Sua principal função é testar esses componentes em bancada, simulando sensores e atuadores do sistema de injeção para verificar circuitos e componentes internos das ECUs (Unidades de Controle Eletrônico).

Características principais:

Simulação abrangente:

O equipamento permite a simulação de diversos sistemas sem gerar códigos de falha, possibilitando testar a ECU do motor, ECU de carroceria, painel, tacógrafo e pedal do acelerador.

Simulação interna de componentes:

As unidades injetoras e injetores common rail são simulados internamente, eliminando a necessidade de conexões externas adicionais.



Formato modular:

Dividido por modelos de veículos e famílias de módulos, o equipamento respeita as particularidades elétricas e eletrônicas de cada sistema, como grandezas elétricas de sensores e atuadores, estratégias de partida e barramentos de comunicação. A seguir a tabela 1 apresenta, as características principais do simulador Chiptronic.

Tabela 1 – Simulador Chiptronic

| <b>Categoria</b>                | <b>Descrição</b>   |
|---------------------------------|--|
| <b>Compatibilidade</b>          | Atende a sistemas de diversas marcas, incluindo Mercedes, Volvo, Scania, EDC7 diesel leves e SCR-Test.   |
| <b>Vantagens</b>                | Permite realizar testes em módulos diesel na bancada, dispensando a necessidade de um veículo na oficina.  |
| <b>Agilidade</b>                | Auxilia na detecção de falhas presentes nos módulos, economizando tempo do reparador ao direcioná-lo diretamente ao defeito.   |
| <b>Confiabilidade</b>           | Ao simular os principais sensores e atuadores considerando as particularidades de cada sistema, o equipamento permite testes precisos que antes só poderiam ser realizados diretamente no veículo. |
| <b>Lucratividade</b>            | Abre uma nova gama de serviços, permitindo atender módulos de diversas regiões com precisão e simplicidade.  |
| <b>Desvantagens</b>             | Custo elevado: O investimento inicial é significativo. O preço promocional atual é de R\$ 182.889,26, podendo ser parcelado em até 15 vezes de R\$ 12.192,61 sem juros no cartão.                  |
| <b>Complexidade Operacional</b> | Devido à sua abrangência e funcionalidades avançadas, o equipamento pode exigir treinamento específico para utilização adequada.   |

Fonte – Autoral. 2025.

Comparação com um simulador didático para estudantes e técnicos: Enquanto o ECU Test Diesel Pro é projetado para uso profissional em oficinas especializadas, oferecendo funcionalidades avançadas e suporte a uma ampla gama de sistemas, um simulador de bancada de ECU com foco didático seria desenvolvido com o objetivo de ensinar e treinar estudantes e técnicos em formação. As principais diferenças seriam:

**Complexidade:** O simulador didático apresenta uma interface mais simplificada porém com mais recursos voltados para o aprendizado, enquanto o ECU Test Diesel Pro possui funcionalidades complexas destinadas a diagnósticos e reparos profissionais.

**Custo:** Um simulador educacional tenderia a ser mais acessível financeiramente, tornando-se viável para instituições de ensino e técnicos em formação.

**Aplicação:** O equipamento didático seria utilizado principalmente em ambientes educacionais para fins de treinamento, enquanto o ECU Test Diesel Pro é destinado ao uso em oficinas para diagnósticos e reparos de módulos diesel.

Em resumo, o ECU Test Diesel Pro é uma ferramenta robusta e completa para profissionais que necessitam de precisão e eficiência no diagnóstico e reparo de módulos diesel. Para fins educacionais, um simulador de bancada de ECU com foco didático seria mais adequado, atendendo às necessidades de ensino e treinamento de estudantes e técnicos em formação.

Abaixo temos uma tabela de comparação, entre o simulador profissional e o simulador didático. A tabela 2 a seguir, demonstra a comparação entre os dois exemplos de simuladores de bancada.

Tabela 2 - Comparativo entre Simuladores

| <b>Critério</b>                   | <b>Chiptronic (Profissional)</b> | <b>Simulador Didático</b>  |
|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Comunicação com scanner           | [ x ] Sim                        | [ x ] Não                  |
| Protocolos compatíveis            | CAN, K-line, ISO, etc.           | Nenhum no momento          |
| Quantidade de sensores simulados  | Completo ou parcial              | Parciais                   |
| Teste de atuadores                | Sim (com botão no software)      | [ X ] Parcial implementado |
| Interface com scanner             | OBD, conector específico         | Ligação direta e OBD       |
| Alimentação correta (12V ou 24V)  | Regulada e protegida             | Proteção Fusível           |
| Qualidade dos sinais elétricos    | Estável, sem ruído               | Estável, sem ruído         |
| DTCs simulados                    | Sim                              | Nenhum no momento          |
| Portabilidade e acabamento físico | Caixa profissional, plug&play    | Caixa, conectores, cabos   |
|                                   |                                  |                            |

Fonte - Autoral. 2025.

## **5.8 A Importância do Simulador para a Formação e Manutenção**

O simulador de bancada torna-se ferramenta essencial para:

- Treinamento técnico: Sem a necessidade de usar um veículo.
- Validação de reparos: Testando ECUs antes de reinstalá-las.
- Pesquisa e desenvolvimento: Criando condições específicas.

Além de baixo custo, oferece segurança ao técnico e reduz riscos de danificar um módulo real durante os testes.

## 6 Montagem do Simulador

O avanço da eletrônica embarcada automotiva trouxe à tona a necessidade de plataformas flexíveis e integradas para o diagnóstico, teste e calibração de módulos de controle, como as ECUs (Unidades de Controle Eletrônico) e ECMs (Módulos de Controle do Motor). Nesse cenário, a integração entre o hardware Speeduino e os softwares RealDash e Tuner Studio oferece uma solução eficaz e de baixo custo para simulações em bancada. Cada um desses elementos desempenha uma função técnica específica e complementar no processo de emulação de um sistema automotivo funcional fora do veículo.

A combinação desses três elementos possibilita a criação de um simulador de bancada completo, funcional e altamente técnico. O Speeduino atua como o núcleo do sistema, processando os dados simulados de sensores e controlando atuadores de forma realista. O Tuner Studio permite o ajuste fino dos parâmetros internos e a análise detalhada do comportamento da ECU em resposta aos estímulos. O RealDash, por sua vez, oferece uma interface gráfica intuitiva para a leitura instantânea das variáveis do sistema. Tal integração reproduz, de forma controlada e segura, as condições reais de operação de um veículo, permitindo testes com diferentes cenários de falha, análise de resposta da ECU a variações de sensores e validação de estratégias de controle sem a necessidade de utilizar um automóvel completo, no apêndice está disponibilizado um diagrama de blocos em quadros, demonstrando a funcionalidade da interface e o que o simulador consegue desempenhar.

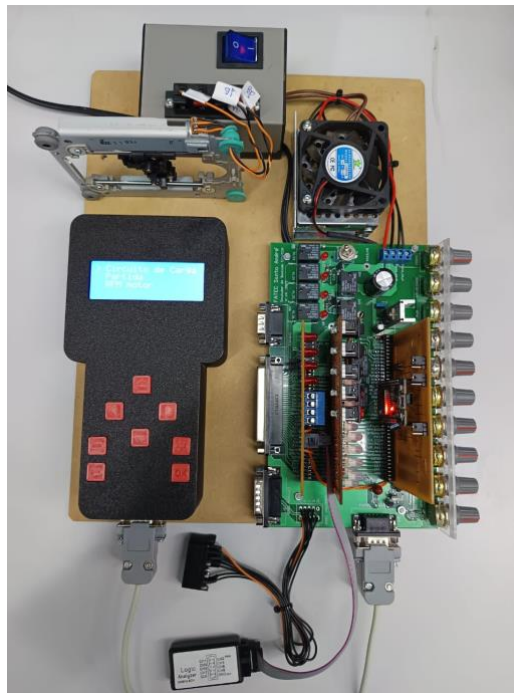
Essa plataforma é especialmente útil em aplicações de ensino, bem didático. Com essa metodologia, é possível aferir o comportamento de módulos automotivos, validar o funcionamento de sensores e testar a resposta de atuadores como válvulas solenóides, injetores e sistemas de ignição. A precisão das leituras, combinada com a capacidade de simular diferentes condições operacionais, eleva o nível de confiabilidade dos testes e contribui para a formação de profissionais altamente capacitados na área de eletrônica embarcada.

Esse capítulo descreve o processo de desenvolvimento, dos circuitos eletrônicos que compõem o protótipo do simulador automotivo. São apresentados os

principais módulos de hardware, sua disposição física e o papel de cada componente para o funcionamento global do sistema.

A Figura 58 apresenta a disposição dos módulos sobre a placa principal, destacando as conexões que distribuem sinais de alimentação, comunicação e acionamento. A configuração modular facilita a substituição de placas em futuros testes ou expansões.

Figura 58 – Dispositivo de Simulação



Fonte - Autoral. 2025.

Placa principal – integra os demais módulos. Suas trilhas de alimentação e barramentos de dados foram dimensionadas para minimizar ruído e quedas de tensão, garantindo estabilidade ao sistema.

Módulo ECU –

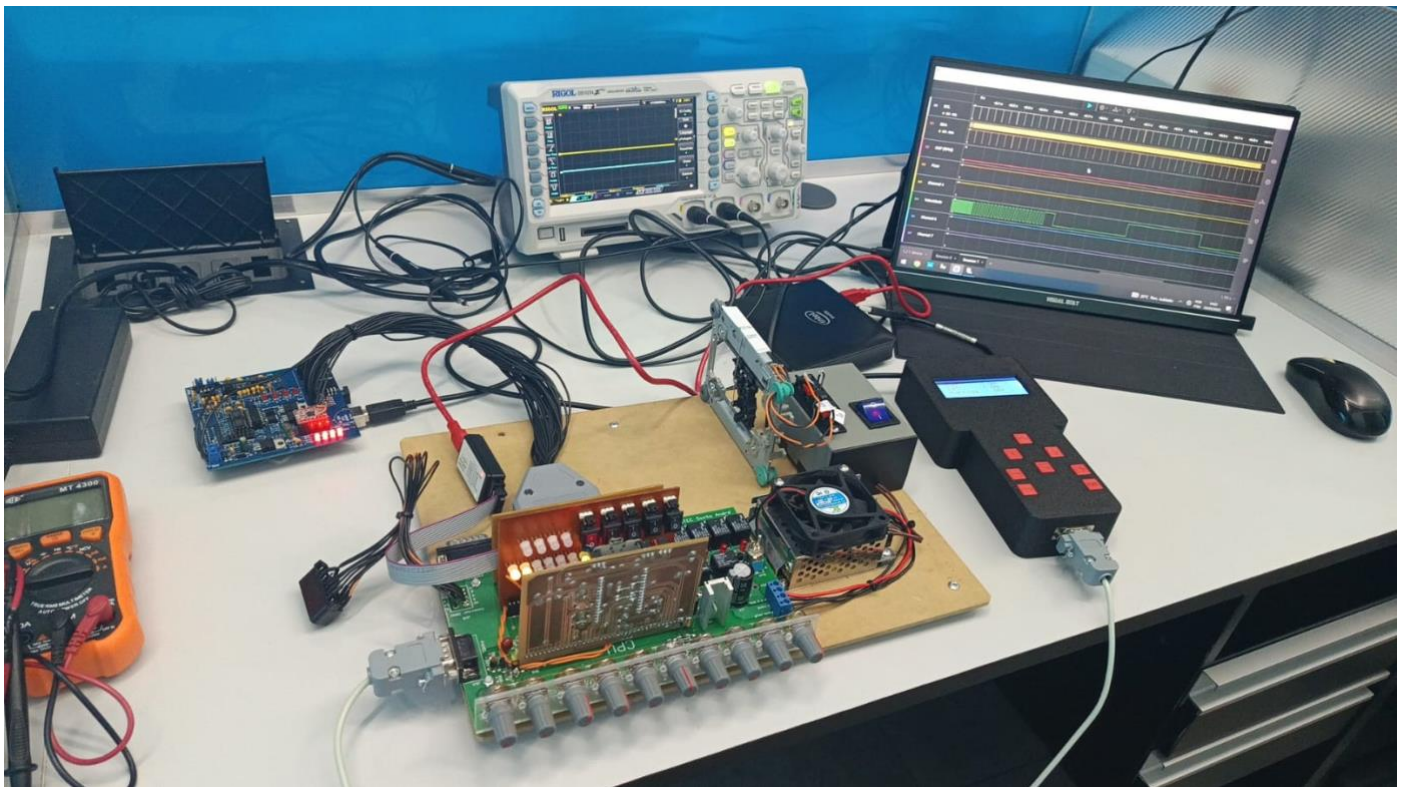
Placa de sinais – responsável por condicionar e isolar os sinais provenientes da ECU, esta placa gera o pulso da roda fônica, o sensor de fase e demais saídas PWM.

Placa de LEDs e chaves – projetada para indicar estados lógicos e permitir inserção de comandos manuais, oferecendo retorno visual imediato ao usuário.

Placa de ignição – simula o disparo da bobina por meio de LEDs de alta intensidade, permitindo observar a cadência de ignição sem o uso de componentes de alta tensão[53].

Síntese do capítulo – os módulos descritos formam a espinha dorsal do protótipo, oferecendo infraestrutura suficiente para a geração e monitoração de sinais automotivos em ambiente de laboratório. A Figura 59 ilustra o protótipo completamente montado, integrando os módulos descritos ao longo deste capítulo. É possível observar a placa principal, o módulo de comando com visor LCD e teclas, o atuador IAC, o sistema de ignição simulado e a instrumentação conectada para análise dos sinais. Este conjunto representa a concretização prática do projeto, permitindo a execução de testes e simulações em ambiente de bancada[52]. No apêndice está disponibilizado um diagrama de blocos em quadros, demonstrando a funcionalidade da interface e o que o simulador consegue desempenhar.

Figura 59 – Visão Geral do Simulador Montado



Fonte - Autoral. 2025.

## 6.1 Funcionalidades Adicionais do Simulador

Com o objetivo de ampliar o escopo didático do simulador automotivo, foram incorporadas funcionalidades adicionais que simulam cenários reais encontrados em veículos ciclo Otto. Dentre os recursos implementados, destacam-se:

- Simulação de sensores analógicos: Foram integradas saídas analógicas variáveis, simulando sinais de sensores como o MAP (sensor de pressão do coletor), o sensor de temperatura do líquido de arrefecimento (ECT) e a sonda lambda. Esses sinais podem ser ajustados manualmente para reproduzir diferentes condições operacionais do motor.
- Simulação de relês automotivos: O simulador aciona relês reais para representar o controle da bomba de combustível e do eletroventilador, permitindo ao usuário visualizar a comutação em tempo real e testar respostas a falhas ou anomalias.
- Geração de sinal de roda fônica: Foram desenvolvidos pulsos compatíveis com diferentes padrões de roda fônica (ex.: 36-1 e 60-2 dentes), possibilitando o ajuste da frequência e da posição do dente ausente para testar algoritmos de sincronização.
- Comutação manual por chaves 12 V/0 V: O painel frontal inclui chaves que simulam sinais digitais de sensores ou atuadores, permitindo a inserção de condições específicas diretamente no sistema.
- Indicação visual com LEDs digitais e analógicos: As saídas destinadas aos injetores e bobinas de ignição estão ligadas a LEDs de alta intensidade, possibilitando a observação da cadência de funcionamento do motor em tempo real.
- Conector OBD 2 funcional: Foi incluído um conector OBD2 com suporte básico à leitura de parâmetros via protocolo UART, permitindo a conexão com scanners automotivos genéricos para leitura de dados simulados.



## 6.2 Análise dos Resultados Obtidos

A análise dos resultados obtidos com o simulador de bancada desenvolvido demonstrou que, mesmo utilizando componentes acessíveis como o ESP32 e a ECU Speeduino, foi possível simular com eficiência as condições operacionais de sensores e atuadores essenciais ao gerenciamento eletrônico veicular. O sistema apresentou resposta estável à variação dos sinais simulados, replicando com fidelidade parâmetros de sensores como TPS, MAP, IAT, ECT, CKP e O2S, bem como acionamentos de atuadores como injetores, bobinas e válvulas.

Quando comparado com equipamentos consagrados do mercado, como o ECU Test 3 Infinity da Chiptronic, observou-se que, embora o modelo acadêmico não disponha de todos os recursos embarcados de diagnóstico automático e programadores integrados, ele é plenamente capaz de oferecer suporte ao aprendizado prático e a testes básicos de diagnóstico. Os sinais gerados apresentaram níveis de tensão e frequência compatíveis com os requisitos de operação das ECUs testadas, e o sistema demonstrou capacidade de comunicação com softwares como Tuner Studio e RealDash, estabelecendo uma base robusta para monitoramento e ajustes em tempo real.

O comportamento da ECU PRO MAX da Multiscan, durante os testes, validou a compatibilidade do simulador com unidades de controle comerciais e revelou que, mesmo diante de variações intencionais nos sinais de entrada, a ECU manteve respostas coerentes, reforçando a credibilidade do sistema simulado.

Os resultados obtidos ratificam o potencial do simulador como ferramenta de apoio técnico e pedagógico, capaz de reduzir a dependência de veículos físicos em atividades de calibração e diagnóstico, otimizando recursos e tempo.

### **6.3 Comparação com Sistemas Reais de ECU/ECM**

Ao comparar o simulador de bancada projetado com sistemas reais de gerenciamento eletrônico automotivo, constatou-se que o equipamento desenvolvido oferece uma alternativa funcional e segura para a realização de testes, com limitações naturais de um projeto acadêmico. Em termos operacionais, o simulador mostrou-se eficaz na reprodução de sinais de sensores com base em padrões conhecidos, como o gerador de roda fônica 60-2 para o sensor CKP, amplamente utilizado em veículos de passeio e sistemas de injeção como os da Bosch.

O comportamento dos atuadores, quando acionados pela ECU Speeduino, foi compatível com os parâmetros observados em sistemas reais, possibilitando a leitura e análise de respostas esperadas, como o tempo de abertura dos injetores ou o tempo de carga das bobinas.

Sistemas comerciais como os oferecidos pela Chiptronic e Multiscan contam com proteção contra curto-circuito, banco de dados automotivo e suporte a ECUs com imobilizador, recursos ainda ausentes na versão desenvolvida. Entretanto, o simulador acadêmico mostra-se suficientemente robusto para testes fundamentais, oferecendo inclusive a possibilidade de integração com protocolos CAN e leitura por scanner automotivo. A modularidade do projeto facilita sua expansão, e o uso de hardware aberto torna sua adaptação mais acessível frente às exigências de diferentes sistemas embarcados.

Assim, embora os simuladores profissionais ainda detenham maior capacidade de diagnóstico e suporte técnico, a versão proposta se mostra adequada para contextos de ensino, pesquisa aplicada e pequenas oficinas que buscam alternativas viáveis ao alto custo de equipamentos industriais.

## 6.4 Limitações do Projeto

Apesar dos resultados satisfatórios alcançados, o simulador de bancada desenvolvido apresenta algumas limitações intrínsecas ao seu escopo e orçamento. A ausência de um sistema interno de proteção contra sobrecorrente, por exemplo, impõe cuidados durante os testes com cargas indutivas, diferentemente de soluções comerciais como o ECU Test 3 Infinity da Chiptronic, que dispõe de proteção eletrônica embutida.

Outro aspecto limitante é a baixa compatibilidade com módulos automotivos mais modernos, que demandam protocolos de comunicação como LIN, FlexRay ou CAN-FD, ainda não implementados na arquitetura atual do projeto. A ausência de um sistema de aquisição e gravação de dados em memória interna também compromete a repetição de testes automatizados.

Além disso, o controle da alimentação de sensores e atuadores, embora eficiente, ainda é manual e sujeito à imprecisão caso não se disponha de equipamentos de medição auxiliares, como osciloscópio ou analisador lógico. A visualização gráfica, por meio do RealDash, atende às necessidades didáticas, mas carece de profundidade técnica para análise detalhada de falhas intermitentes ou comportamentos não lineares.

A integração com a ECU PRO MAX, apesar de bem-sucedida, revelou a necessidade de ajustes finos no tempo de resposta do simulador, principalmente em regimes de rotação variável. Por fim, a dependência de conhecimento prévio sobre a arquitetura de sensores e a lógica de atuação da ECU limita a aplicabilidade do simulador a usuários iniciantes. Essas limitações, contudo, não anulam a relevância do projeto, mas apontam caminhos para aprimoramentos futuros que poderão aproximar ainda mais a ferramenta das exigências do ambiente profissional.

## 7 ATUALIZAÇÕES FUTURAS

O simulador de bancada de ECU e ECM pode ser aprimorado por meio da inclusão de componentes que ampliem a precisão e eficiência dos testes. Uma melhoria possível seria a implementação de módulos de controle que simulem condições variáveis do ambiente, como temperatura, altitude e umidade, que impactam diretamente o desempenho dos sensores e o funcionamento da ECU. Outra melhoria consiste em aprimorar o controle de carga dos atuadores, permitindo a simulação de cenários de alta demanda do motor [21] [22].

Expandir as funcionalidades do simulador, adicionando sensores [23] e suportando novos protocolos de comunicação, permitiria testes mais completos e alinhados com as tecnologias automotivas modernas. A inclusão de sensores adicionais, como medidores de MAF (massa de ar), sensores de pressão de combustível e sensores de posição do acelerador, aumentaria a fidelidade do simulador em reproduzir condições reais de operação do motor. Protocolos de comunicação mais recentes, como o *FlexRay* (usado em sistemas críticos de segurança), e a ampliação do suporte ao protocolo CAN-FD (uma versão de alta velocidade do protocolo CAN) possibilitariam que o simulador trabalhasse com arquiteturas de rede mais avançadas, promovendo testes mais robustos e complexos.

A integração do simulador com tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (*IoT*) e aprendizado de máquina (*machine learning*), representa um passo promissor para simular comportamentos preditivos e realizar manutenção preventiva. Com a IoT, sensores e módulos de controle poderiam ser conectados a uma plataforma centralizada de monitoramento, facilitando a coleta de dados em tempo real e a análise remota de diagnósticos. Já a implementação de algoritmos de aprendizado de máquina poderia auxiliar na detecção precoce de falhas, ao identificar padrões de funcionamento anormais e antecipar problemas antes que eles afetem o desempenho. A Siemens [24] têm explorado amplamente o uso de IoT e inteligência artificial em seus sistemas automotivos, disponibilizando estudos de caso e documentação que exemplificam tais integrações. A figura 60 demonstra as diferentes tecnologias que tem potencial para evoluir o simulador.

Figura 60 – Futuras tecnologias para evoluir o simulador



Fonte: <https://www.idealmarketing.com.br/blog/internet-das-coisas.2024>. [18].

## 8 CONCLUSÃO

Até o momento, o desenvolvimento deste simulador de bancada para ECU e ECM demonstrou potencial para ser uma ferramenta eficaz e acessível para a realização de testes, diagnósticos e calibrações em módulos eletrônicos automotivos. Com a conclusão desta etapa teórica, foi possível criar um modelo conceitual que reproduza fielmente as condições operacionais de um motor automotivo, sem a necessidade de um veículo físico, ou que represente uma economia significativa de recursos.

A utilização do microcontrolador ESP32 e da plataforma *Speeduino* permite a simulação precisa de sinais de sensores e atuadores, comprovando as previsões de uma solução de baixo custo para oficinas mecânicas, centros de pesquisa e estudantes de eletrônica automotiva. Além disso, uma interface intuitiva desenvolvida facilita o controle das configurações de entrada e o monitoramento das respostas da ECU e ECM em tempo real, contribuindo para a eficiência do processo de operação.

Apesar dos avanços alcançados até aqui, o projeto ainda oferece margem para melhorias futuras. A modularidade do simulador permite expansões, como a integração de novos sensores ou sistemas de controle mais complexos, bem como a adaptação para diferentes tipos de motores e veículos. A evolução tecnológica no setor automotivo também sugere a possibilidade de explorar novas ferramentas de diagnóstico e controle, ampliando ainda mais o escopo deste projeto.

Em resumo, este trabalho contribui para o campo da eletrônica automotiva ao fornecer uma solução prática e inovadora para testes e calibrações de ECUs e ECMs, promovendo a formação de profissionais treinados e otimizando os processos de manutenção automotiva. Comparado a outros estudos na área, nosso projeto se destaca pela sua acessibilidade e precisão, oferecendo uma alternativa viável e econômica para o mercado.

## 9 REFERÊNCIAS

[8] ALONSO. Gustavo Covizzi MennaBarreto. **SIMULADOR DE AMBIENTE AUTOMOTIVO PARA INJEÇÕES ELETRÔNICAS.**

Campinas. 2018.<https://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/340403>.

[5] ARAUJO. Pedro Henrique Barbosa. **BANCADA PARA ENSAIOS VIBRATÓRIOS EM DISPOSITIVOS VEICULARES.** Brasília. 2018.  
<https://bdm.unb.br/handle/10483/13710>.

[36] BOSCH, Robert GmbH. **Automotive handbook.** 11 ed. Chichester: Wiley, 2022.

[11] BOSCH. **Bosch Mobility.** Disponível em: <<https://www.bosch-mobility.com/en/>>. Acesso em 02 set. 2024.

[48] BOSCH. **Bosch Peças.** Disponível em:  
<<https://www.boschpecas.com.br/MLB-5327244208-bobina-ignico-bosch-fox-gol-golf-polo-a3-20v/>> . Acesso em: 16 jan. 2025.

[47] BOSCH. **Bosch Peças.** Disponível em:  
<<https://www.boschpecas.com.br/>> . Acesso em: 13 jan. 2025.

[53] BROEKMAN, Bart; NOTENBOOM, Edwin. **Testing embedded software.** Londres: Addison-Wesley. 2003.

[6] CAYE. João Rafael. **GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE ARQUIVOS PARA SIMULAÇÃO EM BANCADA DE MENSAGEM DE DIAGNÓSTICOS VEICULARES ADQUIRIDAS DA REDE CAN.** Florianópolis. 2023.  
<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/254133?show=full>.

[3] CESAR. Gustavo Vianna. **DESENVOLVIMENTO DE UMA BANCADA DE TESTES PARA MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA.** Rio de Janeiro. 2012.  
[https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/PUC\\_RIO1\\_41a5bdf0d19750d47351095160c9b102](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/PUC_RIO1_41a5bdf0d19750d47351095160c9b102).

[24] CHIPTRONIC, ECU TEST 3 INFINITY. **CHIPTRONIC**, 2024. Disponível em: <<https://chiptronic.com.br/site/br/produto/ecu-test-3-infinity>>. Acesso em 10 nov. 2024.

[16] CONTINENTAL. **Continental Automotive**. Disponível em:<<https://www.continental-automotive.com/en.html>>. Acesso em 02 set. 2024.

[23] DELPHI. **Delphi Autoparts**. Disponível em:<<https://www.delphiautoparts.com/pt-br/produtos-e-tecnologias/eletr%C3%B4nica-veicular-gest%C3%A3o-de-motor/sensores/sensores-de-velocidade-e-de-posi%C3%A7%C3%A3o#Informa%C3%A7%C3%A3o-do-produto-1>>. Acesso em 19 out. 2024.

[32] DIY-EFI. How To Connect A Speeduino ECU To RealDash Using Bluetooth (Android Mobile or Tablet). **YouTube**, 2 dez. 2021. 3min08seg. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=UkrCNEb8PfQ>>. Acesso em 10 nov. 2024.

[54] DOUGLAS YOUNG, John. **Practical oscilloscope handbook**. West Nyack: Parker Publishing Company, 1979.

[59] Embarcados. **Embarcados**. Disponível em: <<https://www.embarcados>>. **Acesso em 15 Jul. 2025.**

[60] Embarcados. **Embarcados**. Disponível em: <<https://www.embarcados>>. **Acesso em 15 Jul. 2025.**

[4] ENTLER. William Jacob. **GIGA DE TESTES PARA ECU**. Santo André. 2018. <https://www.fatecsantoandre.edu.br/upload/663023e2f1be5.pdf>.

[55] ESPRESSIF, SYSTEMS. **ESP32 technical reference manual**. Versão 5.3. Xangai: Espressif Systems, 2024. Disponível em: [https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32\\_technical\\_reference\\_manual\\_en.pdf](https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf). Acesso em: 25 maio 2025.



[31] ESPRESSIF. Série ESP32. **Espressif**, 2024. Disponível em: <[https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents?keys=&field\\_type\\_tid%5B%5D=492](https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents?keys=&field_type_tid%5B%5D=492)>. Acesso em: 10 nov. 2024.

[2] FARIA, Lucas de. **PROTÓTIPO PARA COLETA DE INFORMAÇÕES DA REDE CAN EM AUTOMÓVEIS**. Bento Gonçalves. 2021. <https://repositorio.ucs.br/xmlui/handle/11338/9665#:~:text=Com%20base%20na%20bibliografia%2C%20foi%20desenvolvido%20um%20prot%C3%B3tipo,da%20faixa%20definida%20como%20limite%20para%20aquele%20par%C3%A2metro>.

[12] FATEC. **Fatec Santo André**. Disponível em: <<https://www.fatecsantoandre.edu.br/index.php?p=listatccs>>. Acesso em 17 out. 2024.

[18] Ideal Marketing. **Ideal Marketing**. Disponível em: <<https://www.idealmarketing.com.br/blog/internet-das-coisas/>>. Acesso em 30 set. 2024.

[21] Infineon. **Infineon**. Disponível em: <<https://www.infineon.com/cms/en/product/microcontroller/>>. Acesso em 09 out. 2024.

Instituto. **Instituto Federal do Ceará**. Disponível em: < <https://ifce.edu.br/>>. Acesso em 14 set. 2024.

[1] JÚNIOR, Pedro Luiz Fazio. **SIMULADOR DE SINAIS DE FASE E ROTAÇÃO PARA MOTORES OTTO**. Itatiba. 2012. Disponível em: <https://www.escavador.com/sobre/1122271/pedro-luiz-fazio-junior>.

[56] KOLBAN, Neil. **Kolban's book on ESP32**. 2. ed. [S.l.]: Leanpub, 2018. Disponível em: <https://archive.org/details/kolban-ESP32>. Acesso em: 25 maio

[10] KUMAGAI .Gleidson Thiaky de Aguiar. **APRIMORAMENTO DO SISTEMA ELETRÔNICO DE INJEÇÃO PARA MOTORES CICLO OTTO**. Campo Grande. 2022. [https://engeletrica.ufms.br/files/2022/08/TCC-RCG-Sistema-Eletronico-de-Injecao-Gleidson\\_Kumagai-2022.pdf](https://engeletrica.ufms.br/files/2022/08/TCC-RCG-Sistema-Eletronico-de-Injecao-Gleidson_Kumagai-2022.pdf).

[57] LAGANÁ. A.A.M. **Apostila de Atuadores**. Santo André. 2012. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/424982921/Atuadores>>. Acesso em: 02 abr. 2025.

[58] LAGANÁ. A.A.M. **Apostila de Sensores**. Santo André. 2012. Disponível em: <[https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=pt-BR&user=7fgsEUgAAAAJ&citation\\_for\\_view=7fgsEUgAAAAJ:u-x6o8ySG0sC.>](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=7fgsEUgAAAAJ&citation_for_view=7fgsEUgAAAAJ:u-x6o8ySG0sC.>)> Acesso em: 02 abr. 2025.

[25] LEITE, Rogério. Construa um Simulador de Injeção Eletrônica – Parte 1 – Esquemas e Funcionamento. **YouTube**, 28 dez. 2021. 28 min23Seg. Disponível em: <[https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7\\_W64g&list=PLGSvANoAb-BubImytiPCfnmZJkgTqbXHz](https://www.youtube.com/watch?v=IBM5X7_W64g&list=PLGSvANoAb-BubImytiPCfnmZJkgTqbXHz)>. Acesso em: 2 nov. 2024.

[30] Manual Maker Brasil, Como configurar o TUNERSTUDIO para usar com SPEEDUINO. **YouTube**, 7 jan. 2023. 17min17seg. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Cldkmo1ypj8>>. Acesso em: 2 nov. 2024.

[50] Mercadocar. **Mercadocar**. Disponível em: <<https://www.mercadocar.com.br/eletroventilador-do-radiador-volkswagen-polo-sem-ar-condicionado-valeo-cibie-698566r>>. Acesso em: 20 de Fev. 2025.

[51] Mercadocar. **Mercadocar**. Disponível em: <<https://www.mercadocar.com.br/alternador-multiquality-mq0568>> . **Acesso em: 20 de Fev. 2025.**

[52] Mercadocar. **Mercadocar**. Disponível em: <<https://www.odginstruments.com.br/paineis?srsId=AfmBOogg08CzaMqN3Q7VJCgydWi5h4HVKhZTCnmHN0myAN0AvEHCzRVr>> .Acesso em: 21 de Fev. 2025.

[45] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: < <https://loja.mte-thomson.com.br/p/1664701/sensor-de-fase-mte-thomson-70423unitario?srsId=AfmBOor4PRGQOkQvVaEjvXXihwgw1LRUnH5Gcgl3wIDYFtcO-Bd-QMq>>. Acesso em: 12 jan.2025.

[46] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: < <https://loja.mte-thomson.com.br/p/1664640/sensor-de-velocidade-mte-thomson-7314-unitario>>.

**Acesso em: 13 jan.2025.**

[49] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: < <https://loja.mte-thomson.com.br/p/1015244/valvula-de-controle-da-marcha-lenta-iacv-mte-thomson-7487-unitario>>. **Acesso em: 18 jan. 2025.**

[38] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-de-rotacao/>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

[39] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-de-temperatura/>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

[41] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-map/>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

[42] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sonda-lambda/>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

[43] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/sensor-tps/>>. Acesso em: 10 jan. 2025.

[40] MTE Thomson. **MTE Thomson**. Disponível em: <<https://www.mte-thomson.com.br/produtosmte/plug-eletronico-ar-mte-thomson/>>. Acesso em: 10 jan.2025.

[28] MULTSCAN. ECU PRO MAX. **MULTSCAN**, 2024. Disponível em: <<https://multscan.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2024.

[19] Nxp. **Nxp**. Disponível em<[https://www.nxp.com/products/application-specific-products/automotive-products:MC\\_50802](https://www.nxp.com/products/application-specific-products/automotive-products:MC_50802)>. Acesso em 05 out. 2024.

[44] Olimpik. **Olimpic**. Disponível em: <<https://olimpic.com.br/o-que-e-sensor-hall/>>. **Acesso em: 12 jan. 2025.**

[27] Pedro. ESP32 Pinout: Detalhes e Conexões. **Clube do Maker**, 2024. Disponível em: <<https://clubedomaker.com/esp32-pinout>>. Acesso em 10 nov. 2024.

[37] RIBBENS, William B. **Understanding automotive electronics: An engineering perspective**. 8 ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017.

[22]                      Rocelec.                      **Rocelec**.                      Disponível em:<<https://www.rocelec.com.br/manufacturers/ons?msclkid=47183d908eac127bf7a75aa0242a4cfc>>. Acesso em 19 out. 2024.

[24]                      Siemens.                      **Siemens**.                      Disponível em:<<https://www.siemens.com/br/pt/solucoes/setor-automotivo.html>>. Acesso em 25 ago. 2024.

[9] SOUZA. Albino Sérgio de. **SIMULADOR DE SINAIS DE SENSORES PARA TESTAR ECUS EEC-IV**. Santo André. 2013.<https://www.fatecsantoandre.edu.br/>.

[7] SOUZA. Paulo Augusto Miguel Fonseca. **PLATAFORMA DIDÁTICA PARA ESTUDO DE REDES AUTOMOTIVAS**. Brasília. 2019.<https://bdm.unb.br/handle/10483/27777?mode=full>.

[33] Speeduino. Manual do Speeduino – Carregar base de configuração página 19. **Speeduino**, 2024. Disponível em: <[https://speeduino.com/Speeduino\\_manual.pdf](https://speeduino.com/Speeduino_manual.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2024.

[34] Speeduino. Manual do Speeduino – Configurações de injetores páginas 27 –29. **Speeduino**, 2024. Disponível em: <[https://speeduino.com/Speeduino\\_manual.pdf](https://speeduino.com/Speeduino_manual.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2024.

[35] Speeduino. Manual do Speeduino – Diagrama de atuadores página 28. **Speeduino**, 2024. Disponível em: < [https://speeduino.com/Speeduino\\_manual.pdf](https://speeduino.com/Speeduino_manual.pdf)>. Acesso em: 16 nov. 2024.

[15] Speeduino. **Speeduino**. Disponível em:< <https://speeduino.com/home/>>. Acesso em 25 set. 2024.

[29] SPEEDUINO. V0.4 Board, **SPEEDUINO**, 2024. Disponível em: <<https://wiki.speeduino.com/en/boards/V04>>. Acesso em: 10 nov. 2024.

[20] St. **St.** Disponível em: <<https://www.st.com/en/applications/automotive.html#:~:text=ST%20supports%20a%20wide%20range%20of%20automotive%20applications%2C,Driver%20Assistance%20Systems%20%28ADAS%29%2C%20car%20connectivity%20and%20security>>. Acesso em 07 out. 2024.

[14] Tecnoelite. **Tecnoelite**. Disponível em:<<https://tecnoelite.co/que-es-un-microcontrolador-tipos-usos-y-historia/>>. Acesso em 02 set. 2024.

[17] Ti. **Ti.** Disponível em:<<https://www.ti.com/applications/automotive/overview.html/overview.html>>. Acesso em 02 set. 2024.

## 10 APÊNDICE – PROGRAMAÇÃO

### Atualização até 07/03/2025

| Cronograma               |  | 2024.2 | 2025.1 |
|--------------------------|--|--------|--------|
| Referência Bibliográfica |  | 100%   |        |
| Elementos Pré- Textuais  |  | 100%   |        |
| Introdução               |  | 100%   |        |
| Elementos Pós- Textuais  |  | 100%   |        |
| Pesquisa de dados        |  |        | 10%    |
| Construção de Protótipo  |  |        | 0%     |
| Gráficos de análises     |  |        | 0%     |
| Validação do Protótipo   |  |        | 0%     |

### Atualização até 25/05/2025

| Cronograma               |  | 2024.2 | 2025.1 |
|--------------------------|--|--------|--------|
| Referência Bibliográfica |  | 100%   |        |
| Elementos Pré- Textuais  |  | 100%   |        |
| Introdução               |  | 100%   |        |
| Elementos Pós- Textuais  |  | 100%   |        |
| Pesquisa de dados        |  |        | 100%   |
| Construção de Protótipo  |  |        | 100%   |
| Gráficos de análises     |  |        | 100%   |
| Validação do Protótipo   |  |        | 100%   |

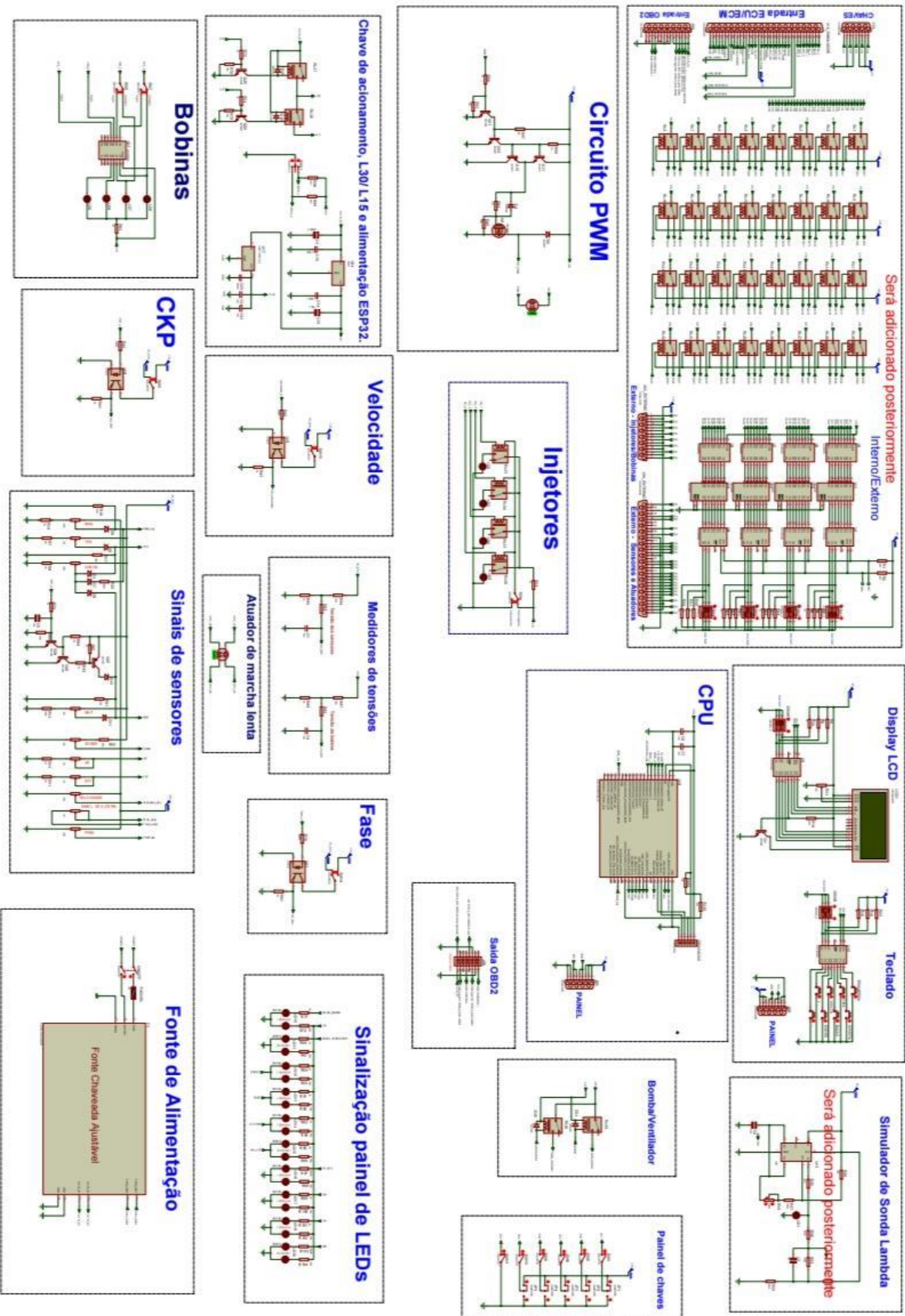
### Lista de materiais do simulador de ECU/ECM

| Quantidade | Descrição do material  | Valor unit. | Valor total  |
|------------|--|-------------|--------------|
| 1          | ESP32  | R\$ 45,00   | R\$ 45,00    |
| 1          | Cabo USB (para ESP32)  | R\$ 10,00   | R\$ 10,00    |
| 1m         | Cabo manga 4 vias  | R\$ 5,00    | R\$ 5,00     |
| 1          | Display LCD com back-light azul 20 x 4                                     | R\$ 50,00   | R\$ 50,00    |
| 1          | Circuito Integrado PCF8574A  | R\$ 10,00   | R\$ 10,00    |
| 1          | Placa PCF8574A (para display LCD)  | R\$ 15,00   | R\$ 15,00    |
| 8          | Chave tátil 12x12x8mm  | R\$ 1,00    | R\$ 8,00     |
| 8          | Relê de 12V  | R\$ 5,00    | R\$ 40,00    |
| 8          | LED vermelho comum 8 mm  | R\$ 0,30    | R\$ 2,40     |
| 14         | LED Bicolor 5mm  | R\$ 1,00    | R\$ 14,00    |
| 5          | Chave gangorra mini 2 pinos  | R\$ 1,50    | R\$ 7,50     |
| 2          | Chave de alavanca 3 terminais 2 posições                                   | R\$ 7,00    | R\$ 14,00    |
| 1          | Placa principal  | R\$ 90,00   | R\$ 90,00    |
| 1          | Placa de teclado   | R\$ 30,00   | R\$ 30,00    |
| 1          | Placa do PWM   | R\$ 40,00   | R\$ 40,00    |
| 1          | Placa da CPU   | R\$ 40,00   | R\$ 40,00    |
| 1          | Placa de sinal   | R\$ 35,00   | R\$ 35,00    |
| 1          | Analizador lógico 8 canais   | R\$ 80,00   | R\$ 80,00    |
| 4          | Barra de 40 terminais 180° fêmea   | R\$ 1,89    | R\$ 7,56     |
| 1          | Barra de 40 terminais 180° macho   | R\$ 1,10    | R\$ 1,10     |
| 3          | Barra de 40 terminais 90° macho  | R\$ 1,90    | R\$ 5,70     |
| 8          | Jumper para barra de terminais   | R\$ 8,42    | R\$ 67,36    |
| 3          | Opto acoplador PC 817  | R\$ 1,26    | R\$ 3,78     |
| 4          | Potenciômetro linear de 10K  | R\$ 3,50    | R\$ 14,00    |
| 3          | Potenciômetro linear de 5K   | R\$ 3,50    | R\$ 10,50    |
| 3          | Potenciômetro linear de 1K   | R\$ 3,50    | R\$ 10,50    |
| 6          | Transistor BC548   | R\$ 0,50    | R\$ 3,00     |
| 1          | Transistor BC557   | R\$ 0,50    | R\$ 0,50     |
| 2          | Transistor BC337   | R\$ 0,50    | R\$ 1,00     |
| 2          | Transistor BC327   | R\$ 0,50    | R\$ 1,00     |
| 15         | Diodo 1N4148   | R\$ 0,20    | R\$ 3,00     |
| 1          | Capacitor eletrolítico de 2200uFx25V                                       | R\$ 5,00    | R\$ 5,00     |
| 1          | Fonte de alimentação 12V x 2,5A  | R\$ 40,00   | R\$ 40,00    |
| 1          | Cabo AC de 1,5 metros  | R\$ 10,00   | R\$ 10,00    |
| 1          | Chave gangorra 4 pinos (liga/desliga fonte)                                | R\$ 7,00    | R\$ 7,00     |
| 1          | Conector fêmea para ECU de moto Honda (33 pinos)                           | R\$ 30,00   | R\$ 30,00    |
| 30 m       | Fio preto 0,5mm  | R\$ 0,50    | R\$ 15,00    |
| 1          | Conector DB 9 90° fêmea  | R\$ 19,48   | R\$ 19,48    |
| 1          | Conector DB 9 180° macho (solda fio)                                       | R\$ 2,52    | R\$ 2,52     |
| 1          | Conector DB 15 180° fêmea (solda fio)                                      | R\$ 3,90    | R\$ 3,90     |
| 1          | Conector DB 15 90° macho   | R\$ 2,66    | R\$ 2,66     |
| 3          | Conector DB 9 90° macho  | R\$ 2,00    | R\$ 6,00     |
| 3          | Conector DB 9 180° fêmea (solda fio)                                       | R\$ 2,00    | R\$ 6,00     |
| 2          | Conector DB 37 180° macho (solda fio)                                      | R\$ 4,63    | R\$ 9,26     |
| 1          | Conector DB 37 90° fêmea   | R\$ 11,50   | R\$ 11,50    |
| 1          | Capacitor eletrolítico de 10uFx25V   | R\$ 0,14    | R\$ 0,14     |
| 1          | Capacitor eletrolítico de 100uFx25V  | R\$ 0,18    | R\$ 0,18     |
| 1          | Capacitor poliéster 330nFx63V  | R\$ 1,35    | R\$ 1,35     |
| 2          | Capacitor SMD cerâmico 1206 100nF x 50V                                    | R\$ 3,80    | R\$ 7,60     |
| 2          | Capacitor SMD cerâmico 1206 10nF x 50V                                     | R\$ 1,20    | R\$ 2,40     |
| 1          | Circuito Integrado ULN2003   | R\$ 2,27    | R\$ 2,27     |
| 1          | Circuito Integrado LM7805  | R\$ 1,79    | R\$ 1,79     |
| 1          | Chave gangorra de 3 posições   | R\$ 4,40    | R\$ 4,40     |
| 10         | Knobs para os potenciômetros   | R\$ 2,00    | R\$ 20,00    |
| 1          | Conector Box Header 180° 10 vias   | R\$ 1,60    | R\$ 1,60     |
| 2          | Conector Latch 10 vias fêmea   | R\$ 0,90    | R\$ 1,80     |
| 0,3cm      | Cabo flat 10 vias 28 AWG   | R\$ 3,90    | R\$ 3,90     |
| 4          | Conector 2 vias  | R\$ 3,00    | R\$ 12,00    |
| 1          | Conector polarizado 4 vias (de caixa de som, será usado para IACV)         | R\$ 17,90   | R\$ 17,90    |
| 1          | Conector polarizado 2 vias (de caixa de som, será usado para saída do PWM) | R\$ 18,50   | R\$ 18,05    |
| 1          | Caixa do painel e teclado (Impressão 3D)                                   | R\$ 80,00   | R\$ 80,00    |
| 3          | Capa de DB 9   | R\$ 3,00    | R\$ 9,00     |
| 1          | Capa de DB 15  | R\$ 3,00    | R\$ 3,00     |
| 2          | Capa de DB 37  | R\$ 4,00    | R\$ 8,00     |
| 4          | Mosfet IRFZ 44N  | R\$ 6,00    | R\$ 24,00    |
| 1          | Circuito integrado 74HC02  | R\$ 3,00    | R\$ 3,00     |
| 1          | Resistor de 1K x 1/4W  | R\$ 0,10    | R\$ 0,10     |
| 31         | Resistor SMD 1206 1K x 5%  | R\$ 0,10    | R\$ 3,10     |
| 19         | Resistor SMD 1206 10K x 5%   | R\$ 0,10    | R\$ 1,90     |
| 2          | Resistor SMD 1206 1K x 1%  | R\$ 0,10    | R\$ 0,20     |
| 2          | Resistor SMD 1206 15K x 1%   | R\$ 0,10    | R\$ 0,20     |
| 1          | Resistor SMD 1206 2K x 5%  | R\$ 0,10    | R\$ 0,10     |
| 1          | Resistor SMD 1206 3K9 x 5%   | R\$ 0,10    | R\$ 0,10     |
| 2          | Resistor SMD 1206 47R x 5%   | R\$ 0,10    | R\$ 0,20     |
| 3          | Resistor SMD 1206 220R x 5%  | R\$ 0,10    | R\$ 0,30     |
| 2          | Resistor SMD 1206 4K7 x 5%   | R\$ 0,10    | R\$ 0,20     |
| 4          | Resistor SMD 1206 100R x 5%  | R\$ 0,10    | R\$ 0,40     |
| 2          | Resistor SMD 1206 4K7 x 5%   | R\$ 0,10    | R\$ 0,20     |
| 2          | Resistor SMD 1206 2K7 x 5%   | R\$ 0,10    | R\$ 0,20     |
| 1          | Resistor SMD 1206 6K2 x 5%   | R\$ 0,10    | R\$ 0,10     |
| 1          | Resistor SMD 1206 22K x 5%   | R\$ 0,10    | R\$ 0,10     |
| Total      |  |             | R\$ 1.064,50 |



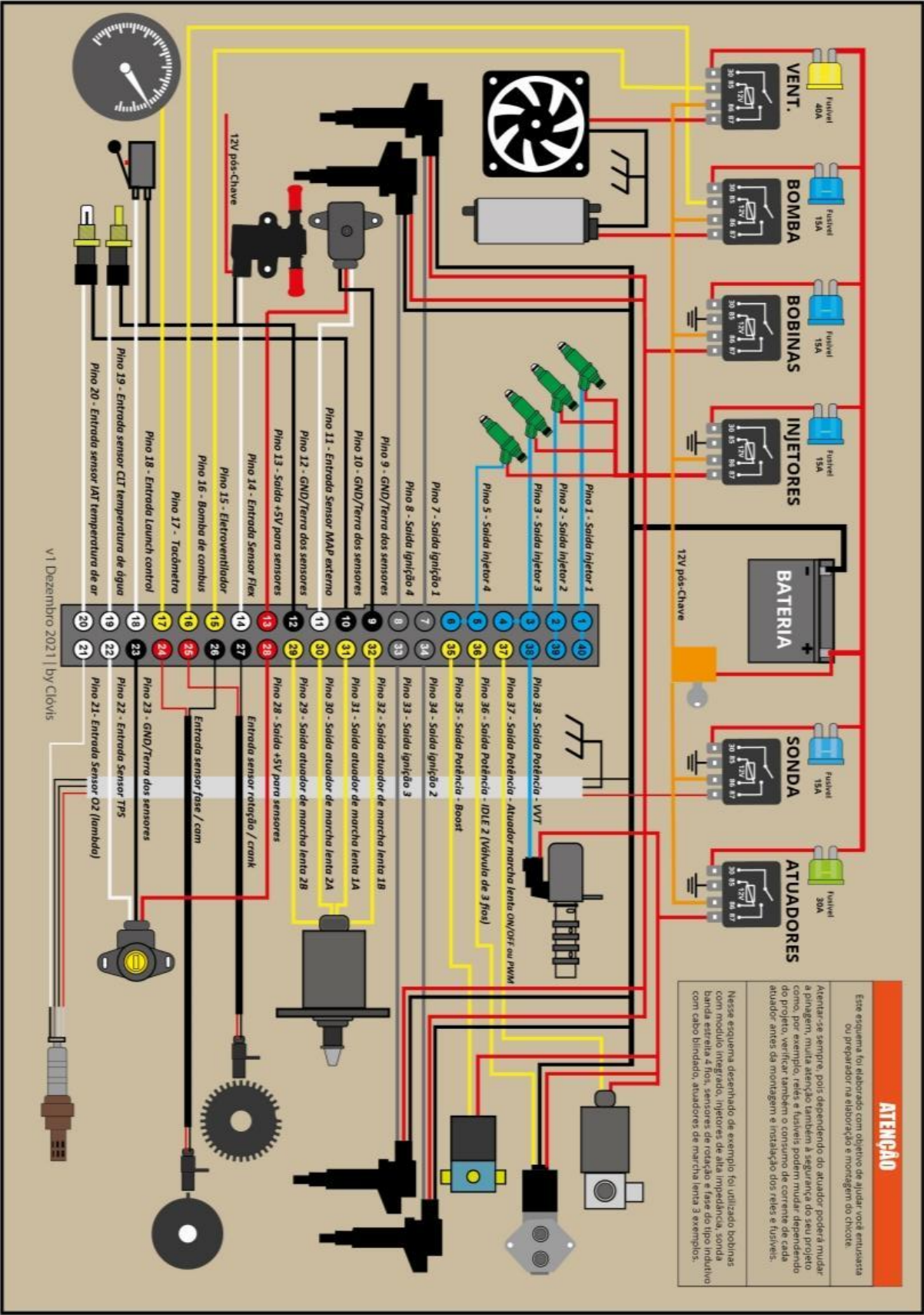
# Esquema Elétrico

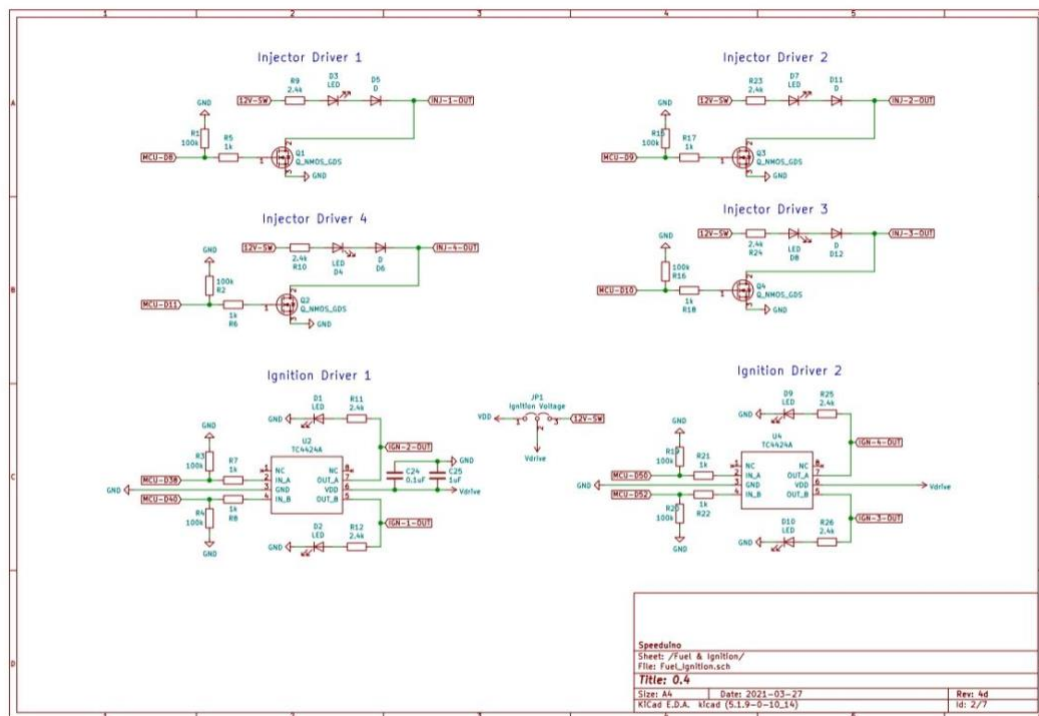
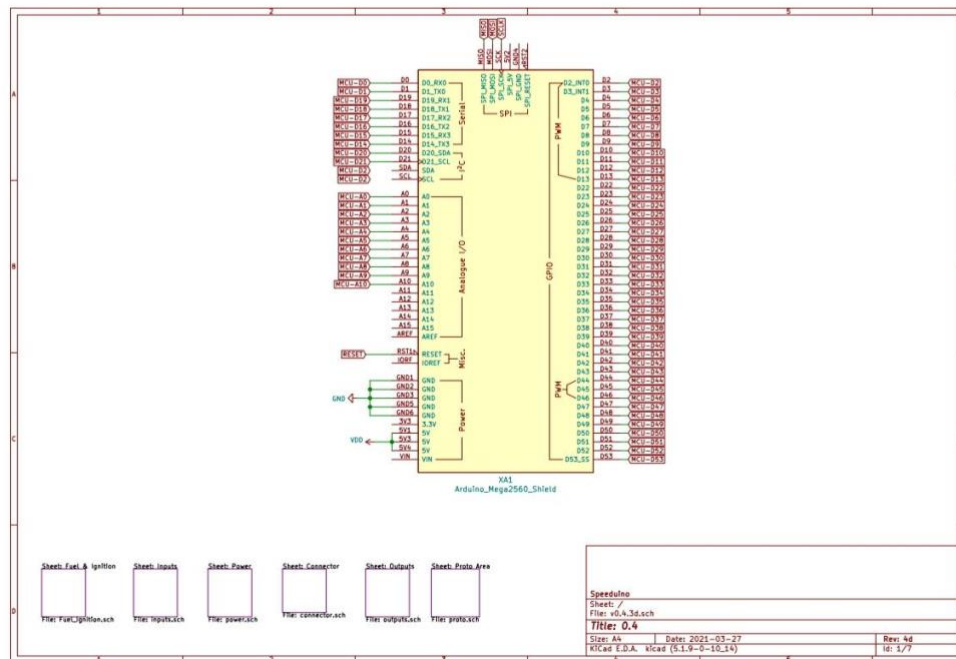
## Simulador de Bancada de ECU/ECM

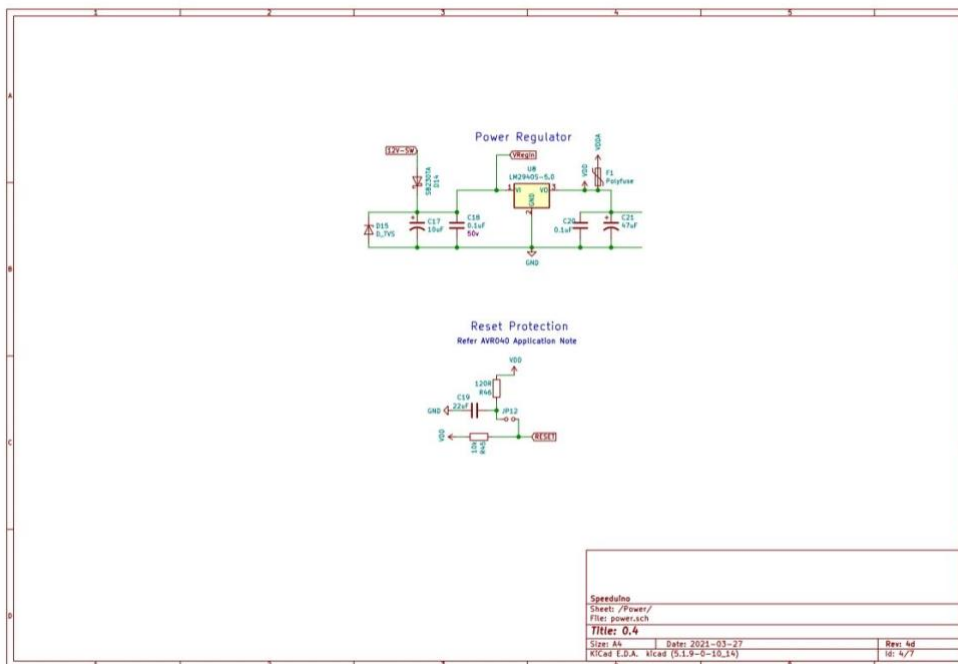
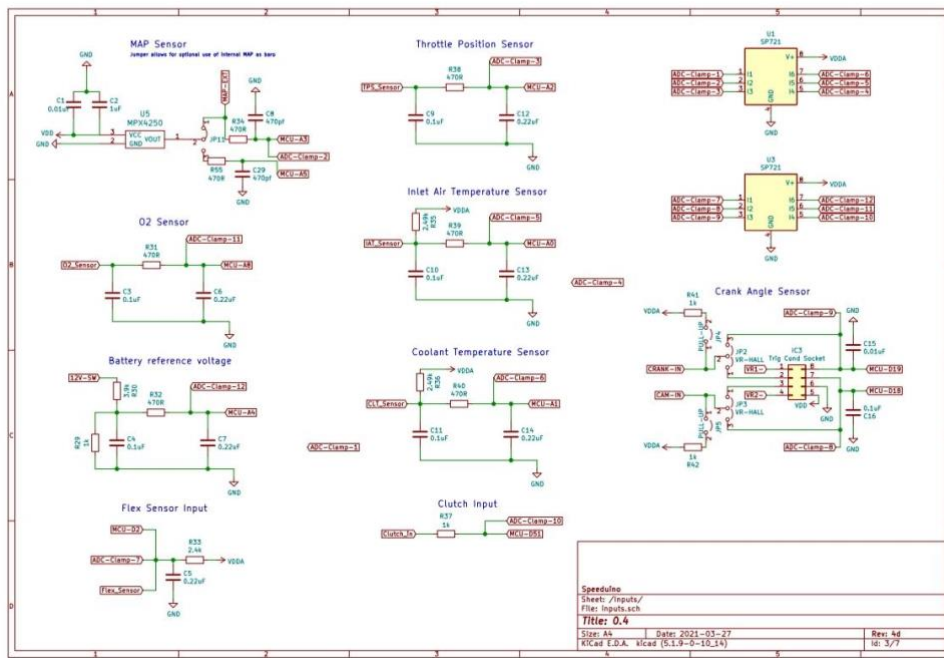




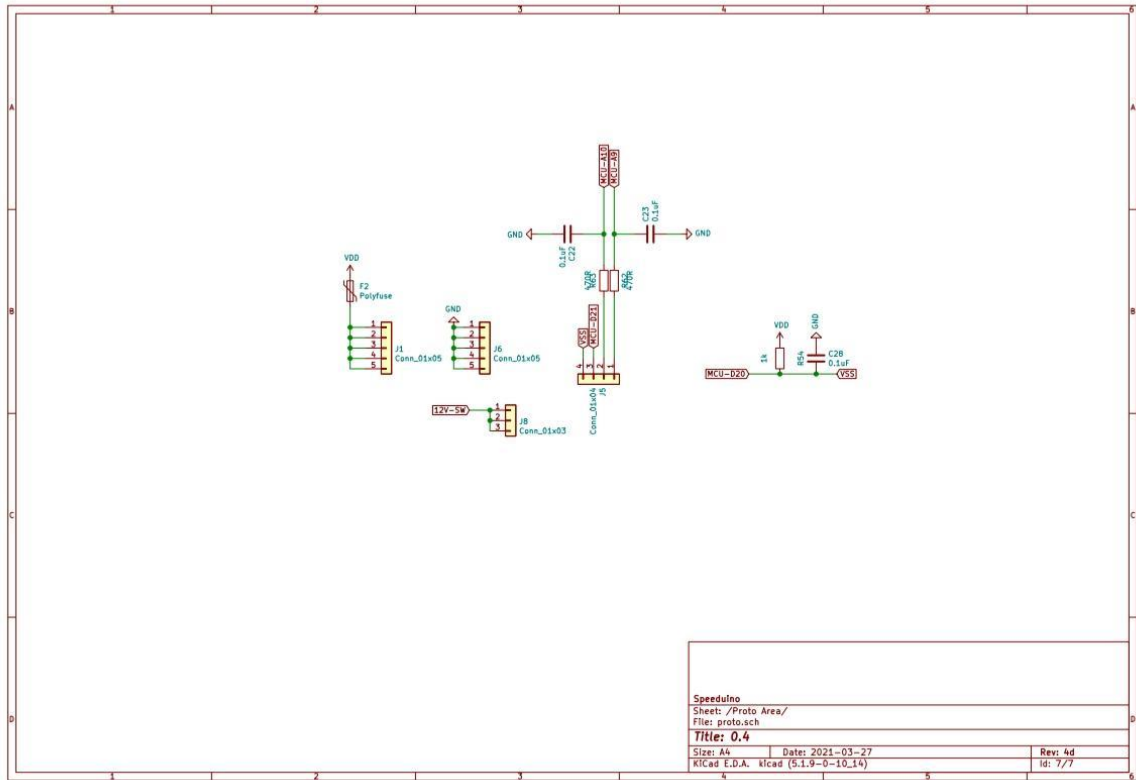
# Esquema Elétrico Speeduino











### - Componentes Utilizados no Projeto

Alguns dos componentes e dispositivos que serão utilizados no simulador de bancada:

ESP32;

Notebook com os aplicativos *RealDash* e *Tuner Studio*;

Celular com aplicativo *ECU PRO MAX*;

LCD 20x4;

Teclado com 5 teclas;

Potenciômetros;

Chaves;

Sensores;

Atuadores;

LEDs sinalizadores;

Fonte colmeia 12Volts x 30A;

Analizador de sinais de 8 canais digitais;

Osciloscópio;

*ECU Speeduino* versão 0.4.3d;

*ECU PRO MAX MULTSCAN*;

### Links:

- Nos links a seguir, apresentamos dois vídeos do *YouTube* que demonstram os primeiros passos para configurar e instalar o *Speeduino*, além de configurar o aplicativo *RealDash* para usá-lo como painel de instrumentos no *Speeduino*:

<https://www.youtube.com/watch?v=Cldkmo1ypj8>, 2024. [30].

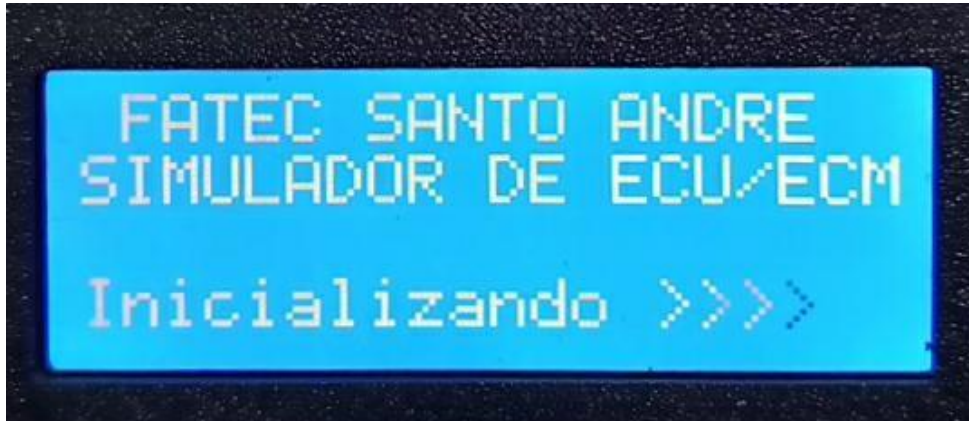
<https://www.youtube.com/watch?v=UkrCNEb8PfQ>, 2021. [32].



## Diagrama de Blocos em Quadros:

### Diagrama de Blocos em Quadros:

#### 01-



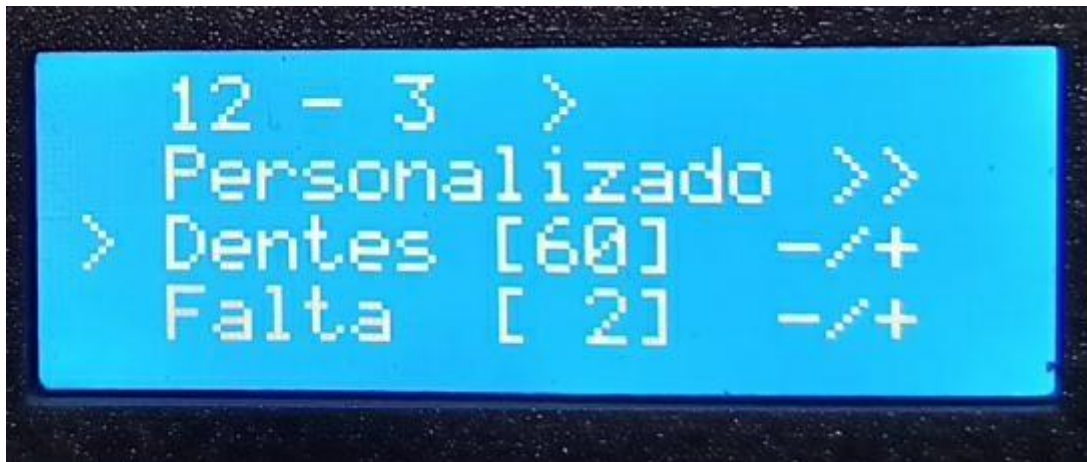
Display de apresentação – Tela inicial da interface criada, para operar os parâmetros do simulador, que serve como identificação do sistema quando é ligado.

#### 2-



Personalização dos dentes do sensor de rotação – Aqui o usuário pode configurar o número de dentes para simular diferentes motores, tanto de carro quanto de moto.

3-



Outros recursos auxiliares – Espaço destinado a expansões ou funções extras no simulador, podendo ser personalizado conforme a necessidade.

4-



Sensor de fase – Um dos parâmetros utilizados no simulador de bancada e que gera o sinal do sensor de fase, que indica o posicionamento do comando de válvulas para sincronismo.

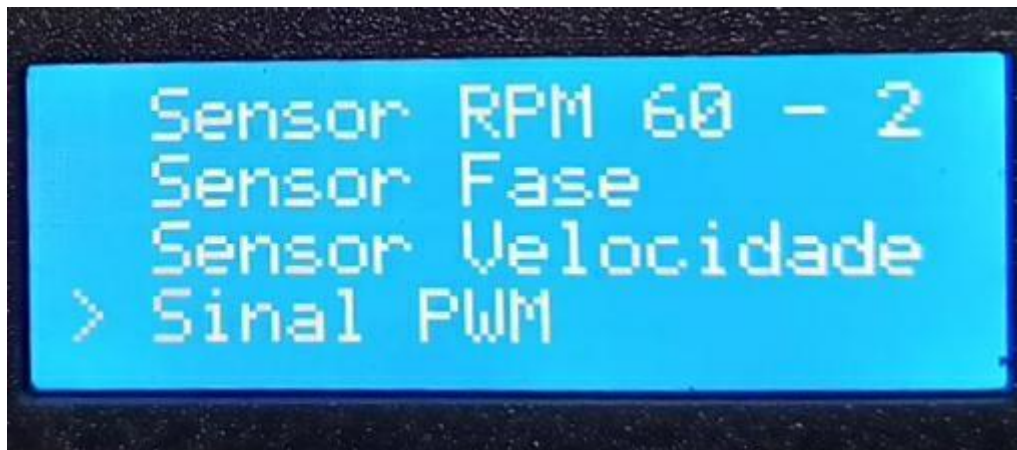
5-



Sensor de velocidade – Mostra o funcionamento do sensor responsável por indicar a velocidade do veículo.



6-



Sinal PWM – Simulação de um sinal em modulação por largura de pulso, utilizado para atuadores e testes específicos.

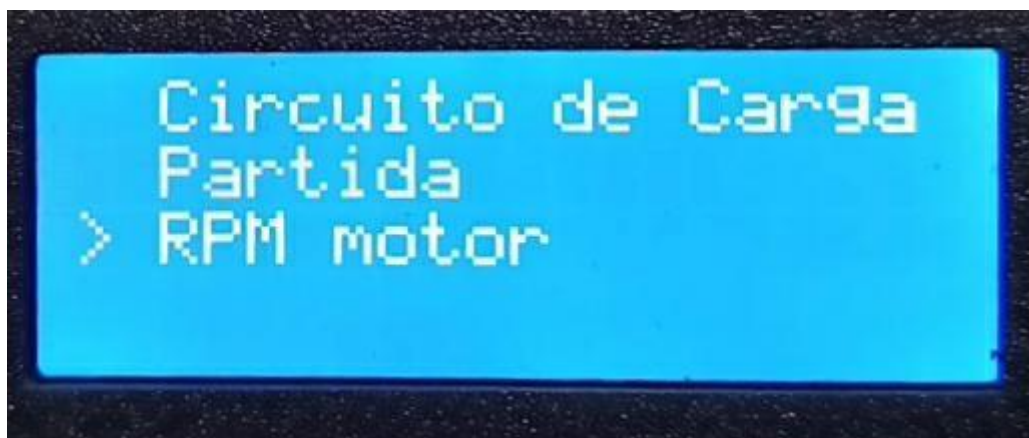
7-



RPM – Mostrador das rotações por minuto do motor simulado.

RPS – Mostrador das rotações por segundo do motor simulado, será usado futuramente como produto, para análises técnicas.

8-



RPM – Mostrador das rotações por minuto do motor simulado.

9-



Capacidade da bateria – Indica se o sistema está apenas nos 12V da bateria ou se já entrou em funcionamento junto com o alternador. A interface também mostra os 5V, que chegam aos sensores.

**10-**

Linha 30 – Alimentação direta da bateria, representando os 12V constantes do sistema elétrico.

Linha 15 – Simulação do sinal pós-chave, representando quando o motorista liga a ignição.

Partida – Representa o sinal de acionamento do motor de partida, responsável por dar partida no motor simulado.

**11-**

Linha 30 – Desligada

Linha 15- Desligada

Partida – Desligada