



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA - CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Luís Eduardo Saldanha Farias

Desenvolvimento de uma central de injeção eletrônica utilizando ESP32

CARAÚBAS

2025

Luís Eduardo Saldanha Farias

Desenvolvimento de uma central de injeção eletrônica utilizando ESP32

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Rudson de Souza Lima, Prof. Dr.

CARAÚBAS

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

F224d FARIAS, LUÍS EDUARDO SALDANHA.
DESENVOLVIMENTO DE UMA CENTRAL DE INJEÇÃO
ELETRÔNICA UTILIZANDO ESP32 / LUÍS EDUARDO
SALDANHA FARIAS. - 2025.
42 f. : il.

Orientador: RUDSON DE SOUZA LIMA.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2025.

1. ELETRÔNICA AUTOMOTIVA. 2. INJEÇÃO ELETRÔNICA.
3. ESP32. I. LIMA, RUDSON DE SOUZA, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Sarah Freire Bezerra
CRB: 15/1052

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Desenvolvimento de uma central de injeção eletrônica utilizando ESP32

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defendida em: 18 / 12 / 2025.

BANCA EXAMINADORA

Rudson de Souza Lima, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Rafael Luz Espindola, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Gleryston Thiago Gomes da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu eu do passado, pois nunca esquecerei de quando criança prometer a todos da família que seria engenheiro mecânico. E hoje mais que nunca, me aproximo de cumprir tal promessa. Sem esquecer de agradecer a Deus, junto a minha família, em especial minha vó, meu filho, minha mãe e meus irmãos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de lutar em busca dos meus sonhos;

Agradeço a minha Vó Senhorinha, por sempre me incentivar e não me permitir se dar por vencido;

Agradeço a meu filho, que mesmo ainda não sabendo, se tornou minha fonte de força;

Agradeço ao meu Orientador Prof. Dr. Rudson, por me apoiar nesta jornada;

Agradeço a Banca Examinadora por se dispor a participar desta defesa.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma central de injeção eletrônica utilizando o microcontrolador ESP32, visando a criação de uma plataforma flexível, de baixo custo e acessível para estudos e experimentos em laboratório. A motivação principal decorre da necessidade de dispor de um sistema alternativo que possibilite a realização de testes mais elaborados no ambiente acadêmico, sem a dependência de centrais automotivas comerciais, que muitas vezes apresentam limitações quanto à acessibilidade, custo e possibilidade de modificação. O projeto contempla o estudo dos princípios de funcionamento da injeção eletrônica, o mapeamento dos sinais envolvidos nos processos de ignição e alimentação, bem como a implementação de algoritmos para leitura de sensores e controle de atuadores. Ao término do desenvolvimento, a central foi aplicada em uma motocicleta, onde se deu por válido o projeto.

Palavras-chave: eletrônica automotiva; injeção eletrônica; ESP32.

ABSTRACT

This work aims to develop an electronic fuel injection control unit using the ESP32 microcontroller, seeking to create a flexible, low-cost, and accessible platform for laboratory studies and experiments. The main motivation stems from the need for an alternative system that allows for more elaborate tests in an academic environment, without dependence on commercial automotive control units, which often present limitations regarding accessibility, cost, and possibility of modification. The project includes the study of the operating principles of electronic fuel injection, the mapping of signals involved in ignition and fuel supply processes, as well as the implementation of algorithms for reading sensors and controlling actuators. At the end of the development, the control unit was applied to a motorcycle, where the project proved valid.

Keywords: automotive electronics; electronic fuel injection; ESP32.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Diagrama PxV do motor ciclo Otto.....	20
Figura 2	–	Volante do motor da motocicleta Honda.....	21
Figura 3	–	Funcionamento de um motor de 4 tempos.....	22
Figura 4	–	Circuito de fonte de 3,3V.....	24
Figura 5	–	Circuito elétrico do condicionador VR.....	25
Figura 6	–	Circuito da fonte de 5 volts.....	26
Figura 7	–	Drivers MOSFET, circuitos de chaveamento de bico e bobina.....	27
Figura 8	–	Ligação do sensor de posição de borboleta.....	28
Figura 9	–	Placa perfurada montada, protoboard e esp32.....	29
Figura 10	–	Código básico no Arduino IDE.....	30
Figura 11	–	Mapa padrão no FT Manager.....	31
Figura 12	–	Lógica base.....	32
Figura 13	–	Lógica da função de leitura de rotação.....	33
Figura 14	–	Lógica do loop principal.....	34
Figura 15	–	Sintaxe da função map().....	35
Figura 16	–	Módulo montado.....	38
Figura 17	–	Ligação elétrica.....	39
Figura 18	–	Esquema de ligação no conector da motocicleta.....	40
Figura 19	–	Módulo instalado na motocicleta.....	41
Figura 20	–	Captura da tela do monitor serial.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Tempo de pulso	37
Tabela 2	–	Tempo de dwell por tensão de bateria	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bel.	Bacharel
Dr.	Doutor
ESP32	Microcontrolador ESP32
ECU	Unidade de controle eletrônico
K	Kilo
V	Volts
F	Farad
GND	Terminal negativo
C	Linguagem C de programação
C++	Linguagem C++ de programação

LISTA DE SÍMBOLOS

ρ	Pico
μ	Micro
Ω	Ohm

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
2. JUSTIFICATIVA.....	18
3. OBJETIVOS.....	19
3.1. GERAIS.....	19
3.2. ESPECÍFICOS.....	19
4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
4.1. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA.....	19
4.2. CENTRAIS ELETRÔNICAS.....	20
4.3. MICROCONTROLADOR ESP32.....	22
4.4. ELETRÔNICA.....	23
4.5. BASE PARA PROGRAMAÇÃO.....	27
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
5.1. LISTA DE MATERIAIS.....	30
5.2. LÓGICA DO FUNCIONAMENTO.....	31
5.3. FUNÇÃO DE INTERRUPÇÃO.....	33
5.4. LOOP PRINCIPAL.....	34
6. LIGAÇÃO ELÉTRICA.....	38
7. TESTE PRÁTICO.....	39
7.1. PROBLEMAS ENCONTRADOS.....	39
7.2. PRECAUÇÕES.....	40
7.3. FUNCIONAMENTO NA MOTOCICLETA.....	40
8. CONCLUSÃO.....	43
9. REFERÊNCIAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

A crescente evolução da eletrônica embarcada no setor automotivo tem proporcionado avanços significativos em termos de desempenho, economia de combustível e redução de emissões. Nesse contexto, as centrais de injeção eletrônica, também conhecidas como *ECUs* (Electronic Control Units), desempenham papel fundamental ao gerenciar, de forma precisa e em tempo real, variáveis relacionadas ao funcionamento do motor. No entanto, o estudo aprofundado desses sistemas em ambiente acadêmico encontra-se muitas vezes limitado pela indisponibilidade de centrais comerciais acessíveis, seja pelo elevado custo, seja pela dificuldade de realizar adaptações e modificações nos módulos originais.

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma central de injeção eletrônica baseada no microcontrolador ESP32, que permita não apenas a compreensão prática dos princípios envolvidos, mas também a realização de testes laboratoriais mais elaborados. A validação do projeto será conduzida a partir do funcionamento de uma motocicleta Honda Biz 125, utilizando o conjunto original de sensores e atuadores do veículo, como o sensor de rotação (através da roda fônica), sensor de posição da borboleta, bico injetor e bobina de ignição.

O sistema proposto tem como funções principais a leitura da rotação do motor, a interpretação da posição da borboleta de aceleração e o controle do tempo de injeção e ignição, de forma compatível com os componentes originais da motocicleta. A escolha do ESP32 justifica-se pela sua capacidade de processamento em tempo real, além de oferecer recursos de conectividade que podem futuramente ampliar as possibilidades de monitoramento e ajuste da central desenvolvida.

O desenvolvimento do projeto foi fundamentado em diversas referências técnicas e práticas, que orientaram desde a concepção da lógica até a implementação dos circuitos auxiliares. O mapa de injeção fornecido por FUELTECH (2018) foi utilizado como base para a calibração inicial. Enquanto, parte da ideia por trás da lógica programação, assim como a lógica de funcionamento, veio através de projetos de injeção junto a circuitos eletrônicos encontrados em DPF ELETRÔNICA (2020), que auxiliou na compreensão da interpretação do sinal da roda fônica. Para o condicionamento do sinal do sensor de rotação (*sensor VR*), foi utilizada como referência a metodologia apresentada por MANUAL MAKER BRASIL

(2020), e, na construção dos circuitos *drivers* de potência para o controle do bico injetor e bobina de ignição, as contribuições do WR KITS (2022) foram fundamentais. Além disso, os documentos oficiais da fabricante do microcontrolador ESPRESSIF (2019) possibilitaram a correta configuração e utilização dos *timers* no ambiente de desenvolvimento fornecido por ARDUINO ([s.d.]). A filosofia aberta do projeto SPEEDUINO (2022) também serviu de inspiração, demonstrando a viabilidade de concepção de uma central de injeção eletrônica de forma acessível e modular. Por fim, as obras de BRUNETTI (2012) forneceram o embasamento teórico necessário para compreender os princípios fundamentais do motor de ciclo Otto.

Dessa forma, a presente monografia busca não apenas apresentar o desenvolvimento de uma central de injeção eletrônica funcional, mas também contribuir como material didático e experimental para estudantes e pesquisadores, ampliando a compreensão prática dos conceitos de injeção e ignição eletrônica em motores de combustão interna.

2. JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento de uma central de injeção eletrônica programável justifica-se pela necessidade de tornar o estudo e a experimentação de sistemas automotivos mais acessíveis, personalizáveis e compreensíveis dentro do ambiente acadêmico.

A motivação inicial para o projeto surgiu da curiosidade em compreender, de forma prática e aprofundada, o funcionamento de uma central de injeção eletrônica, componente essencial na gestão de motores de combustão interna modernos. Apesar da ampla aplicação dessas tecnologias no setor automotivo, o acesso ao conhecimento técnico detalhado e à experimentação prática ainda é limitado, devido à natureza proprietária dos sistemas comerciais e ao alto custo de equipamentos especializados.

As centrais comerciais, como as desenvolvidas por empresas consolidadas no mercado, apresentam desempenho e recursos avançados, porém, para fins de estudo, demonstram diversas limitações: além do custo elevado, muitas de suas funções são voltadas a aplicações específicas, como: Competições, calibrações avançadas ou controle de múltiplos parâmetros, que não são essenciais em um contexto acadêmico ou de prototipagem. Assim, boa parte de suas funcionalidades permanece subutilizada, gerando um desperdício de recursos financeiros e computacionais quando o objetivo principal é apenas compreender e reproduzir os fundamentos da injeção e ignição eletrônica.

Nesse sentido, a criação de uma ECU representa uma alternativa viável, econômica e flexível, permitindo a construção de um sistema didático e funcional, onde cada etapa, desde a leitura de sensores até o acionamento de atuadores, pode ser estudada, modificada e aprimorada conforme o avanço do conhecimento. Inicialmente o uso de placas Arduino¹ foi cogitado. Entretanto com o decorrer da programação, optou-se pelo microcontrolador ESP32, devido seu maior poder de processamento, custo similar e possibilidade por meio da própria interface do Arduino IDE.²

Outro fator relevante é a possibilidade de atualização e evolução contínua do projeto. Diferentemente de uma central comercial fechada, a ECU desenvolvida pode ser constantemente aprimorada de acordo com as necessidades observadas durante o uso, seja para otimizar algoritmos de controle, expandir a leitura de novos sensores, implementar estratégias de ignição mais sofisticadas ou integrar interfaces de monitoramento via rede sem fio. Essa característica torna o projeto dinâmico, adaptável e com grande potencial de crescimento ao longo do tempo.

Além disso, o projeto contribui para a formação técnica e científica do autor como graduando em Engenharia Mecânica, unindo conceitos de termodinâmica, eletrônica e programação embarcada em um único sistema funcional. Essa abordagem multidisciplinar amplia a compreensão dos princípios que regem o funcionamento dos motores modernos e prepara o estudante para desafios tecnológicos cada vez mais integrados entre a mecânica e a eletrônica automotiva.

Portanto, o desenvolvimento desta central de injeção eletrônica não se limita à reprodução de um sistema já existente, mas propõe uma ferramenta educacional e de pesquisa

¹ É uma plataforma de eletrônica de código aberto, de fácil compreensão, muito utilizada para o desenvolvimento de projetos.

² A IDE do arduino, se trata do ambiente de programação na qual se define as funções a serem realizadas pela placa arduino. A programação ocorre por meio da linguagem C/C++, na qual o código é enviado por meio de cabo USB para a placa.

que possibilita o aprendizado prático, o aperfeiçoamento contínuo e a democratização do conhecimento técnico sobre injeção eletrônica, tornando o tema mais acessível, flexível e economicamente viável.

3. OBJETIVOS

3.1. GERAIS

Desenvolver uma central eletrônica, capaz de proporcionar um funcionamento satisfatório de um motor de combustão interna de ciclo Otto.

3.2. ESPECÍFICOS

- Confeccionar uma placa de circuito elétrico, que possibilite a leitura de sensores e acionamento de atuadores de uma injeção eletrônica de motocicleta;
- Compreender o funcionamento da injeção eletrônica encontrada em motocicletas Honda;
- Analisar e tomar como base injeções eletrônicas programáveis encontradas no mercado;
- Aplicar a placa desenvolvida em uma motocicleta, a fim de validar o projeto.

4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1. MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Motores de combustão interna ou MCI são máquinas térmicas capazes de converter energia química de combustíveis em energia mecânica, através da combustão de uma mistura Ar-Combustível no interior de um cilindro, provocando a expansão dos gases, que por sua vez, movimenta um pistão. Que ao passar seu movimento linear para o virabrequim, produz um trabalho mecânico utilizável.

Há algumas variações de MCI, de acordo com algumas de suas características, como: tipo de combustão, tempos por ciclo, tipo de movimento, disposição de cilindros, entre outros (BRUNETTI, 2012). Entretanto, os mais conhecidos são: motores de 4 tempos ciclo Otto e Diesel e o motor de 2 tempos.

4.1.1. MOTORES CICLO OTTO

De acordo com BRUNETTI (2012), motores de ignição por faísca admitem a mistura Ar-Combustível previamente dosada, ou em alguns casos é formada no interior do cilindro (quando a injeção aplicada é do tipo direta), por meio de bico injetor, que injeta o combustível em meio ao ar da câmara. E nesse tipo de motor a centelha para a combustão é realizada por uma faísca que ocorre entre os eletrodos da vela.

Onde vale a pena se atentar aos denominados tempos do motor, admissão, compressão, combustão e exaustão. Sendo um ponto importante para elaboração do projeto, o diagrama Pressão x Volume do motor de ciclo Otto, mostrado na figura 1. Pois, um conhecimento básico a respeito do “tempo” do motor em decorrência do ângulo do virabrequim, para que se possa alinhar o momentos corretos de injetar o combustível como o momento de iniciar a combustão por meio de vela de ignição.

iguais 12 pequenos ressaltos/dentes em que possui um espaço vazio que caberiam 3 destes ressaltos. Sendo o 1º ressalto logo após a falha no sentido de rotação (anti-horário), temos o PMS (Ponto Morto Superior) no 5º ressalto.

Figura 2. Volante do motor da motocicleta Honda.

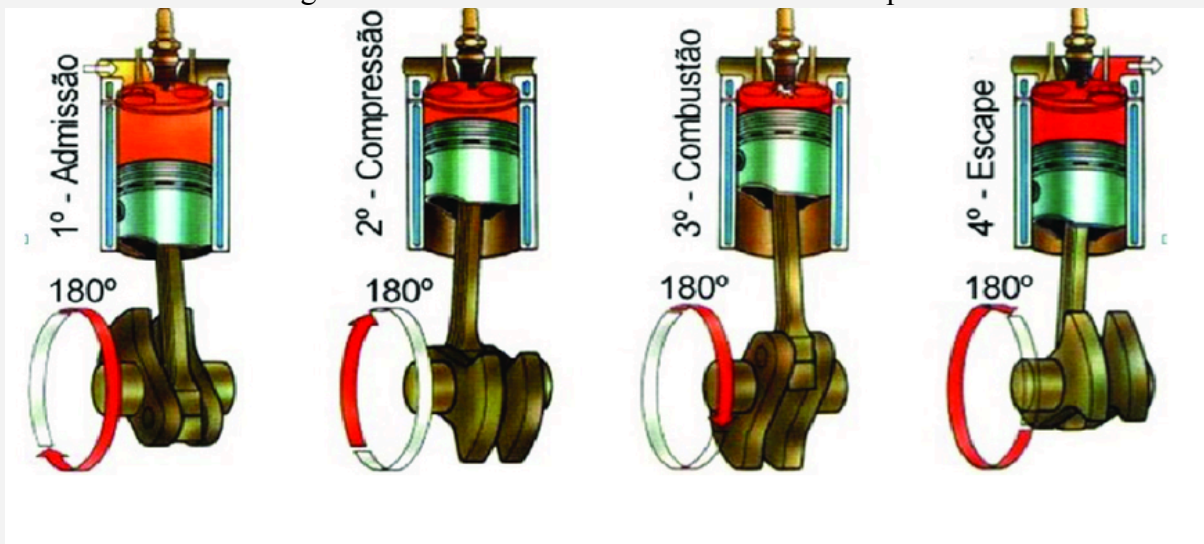


Fonte: Roda livre motos (s.d.)³

Um ponto importante a se observar, se dá ao fato desta injeção funcionar pelo método de centelha perdida. Pois, devido a ausência de sensor de fase (outra referência de rotação e sincronismo), que sinaliza com exatidão a fase em que se encontra o motor, pois é sabido que o motor de 4 tempos necessita de duas voltas do virabrequim para que se complete o ciclo Figura 3. E na injeção/ignição por centelha perdida, acontece o acionamento do atuador a cada volta. Logo, somente uma das centelhas realizadas na vela a cada 360°, será responsável por iniciar a combustão no interior do cilindro, já a outra acontecerá no cruzamento de válvulas (válvula de escape a se fechar, enquanto a de admissão começa a abrir).

³ Disponível em: <https://www.rodalivre motos.com.br/pecas/-volante-magneto->. Acesso: 25 de out 2025.

Figura 3. Funcionamento de um motor de 4 tempos.



Fonte: Brunetti (2012).

4.3. MICROCONTROLADOR ESP32

4.3.1. COMO SURTIU O ESP32

O microcontrolador ESP32 foi desenvolvido pela fabricante chinesa Espressif System, empresa focada no desenvolvimento de soluções na área de comunicação sem fio, que por volta de 2014 lançou a série de microcontroladores ESP8266, que por ser um dos primeiros microcontroladores a vir equipados com chip disposto de WIFI, rapidamente se tornou um sucesso em projetos de automação.

No ano de 2016 surge o ESP32, com o objetivo de adicionar ainda mais tecnologia no seu antecessor, possuindo WIFI, Bluetooth, processador Dual Core (dois núcleos), clock variando entre 80 e 240 MHz por núcleo. Rapidamente se tornou o processador preferido dos Maker 's, para projetos de IoT (internet das coisas), podendo ser integrado a inteligências artificiais como Alexa e Google Assistente. ESPRESSIF(s.d.).

4.3.2. MOTIVOS DA ESCOLHA

De início, este trabalho seria desenvolvido a partir de um Arduino, possivelmente um UNO R3, devido uma certa afinidade com o software Arduino IDE, devido a trabalhos realizados anteriormente. Entretanto, logo no início da programação algumas limitações do hardware surgiram, como a quantidade de timer's⁴, junto a dificuldade de manipular os mesmos, provavelmente o hardware estaria próximo de seu limite de funcionamento, devido a seu desempenho reduzido comparado ao ESP.

Onde, a possível solução para o uso do Arduino, seria utilizar o microcontrolador MEGA 2560, que se trata do modelo de placa aplicado na ECU SPEEDUINO (2022), devido

⁴ São circuitos internos do próprio microcontrolador, responsáveis por medir o tempo, podendo realizar eventos após a contagem de um determinado tempo.

seu maior poder de processamento e maior quantidade de recursos disponíveis. Porém, apresenta um custo elevado comparado a outras placas.

Com isso, o ESP32 e tudo que nele há, fizeram dele o hardware a se utilizar. Pois a própria Espressif disponibiliza o material necessário para se realizar a programação do chip na Arduino IDE, além de possíveis atualizações e melhorias no projeto se tornar viável. Como: integração ao celular por meio do Bluetooth e operação remota através de WIFI.

Os timer's apresentam uma fácil manipulação de acordo com ESPRESSIF (2021), partindo da necessidade de pelo menos dois timers manipulados, para o controle do tempo de injeção e tempo de carga de bobina de ignição.

4.4. ELETRÔNICA

Devido o pouco domínio no assunto da eletrônica, foi de suma importância a busca por materiais cuja finalidade fosse similar aos que se fazem necessários. Como: circuitos capazes de chavear uma maior potência a partir de um sinal de baixa potência, circuitos conversores de sinais analógicos para digitais, como também circuitos reguladores de tensão. Alguns materiais foram encontrados em documentações da própria SPEEDUINO (2022). Porém, componentes de difícil acesso na região, se tornaram obstáculos. Entretanto, alguns entusiastas brasileiros ricos em conhecimento, adequaram os circuitos para que se tornassem mais fáceis a sua confecção. Entre estes, cito em especial DPF ELETRÔNICA (2021) e MANUAL MAKER BRASIL (2020).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. LISTA DE MATERIAIS

Os materiais utilizados foram:

- 1 - ESP 32 WROOM de 30 pinos;
- 1 - Placa de prototipagem (Protoboard);
- 1 - Placa pcb perfurada universal;
- 6 - Transistores BC547;
- 2 - Transistores BC557;
- 2 - Mosfet's IRF540N;
- 2 - Optoacopladores PC817;
- 2 - Reguladores de tensão LM7805;
- 1 - Regulador linear 1084-33;
- 3 - Capacitores 10 μ F;
- 2 - Capacitores 0,1 μ F;
- 5 - Capacitores 1nF;
- 1 - Capacitor 47 μ F;
- 6 - Resistores 10K Ω ;
- 6 - Resistores 1K Ω ;
- 2 - Resistores 10 Ω ;
- 1 - Resistor 3,8K Ω ;
- 1 - Resistor 15K Ω ;
- 1 - Resistor 75K Ω ;
- 1 - Resistor 100 Ω ;
- 1 - Resistor 100K Ω ;
- 1 - Resistor 3,3 Ω ;
- 1 - Resistor 2,2 Ω ;
- 1 - Resistor 3,9 Ω ;

- 1 - Resistor 200 Ω ;
- 1 - Resistor 510 Ω ;

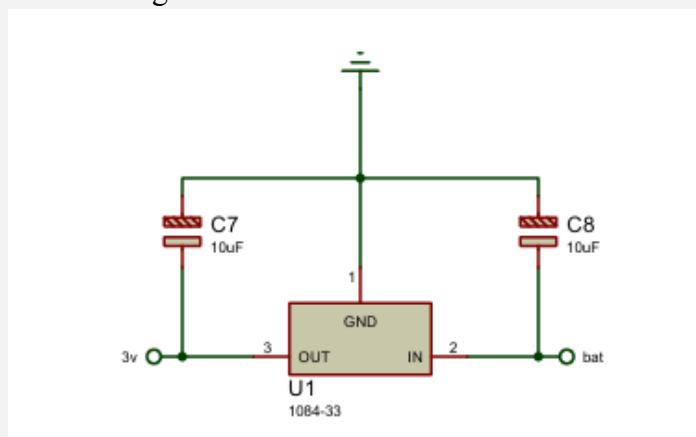
5.2. DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO

Conforme citado anteriormente, foi necessário a confecção de circuitos eletrônicos que possibilitem a leitura de dados, e acionamento dos atuadores.

5.2.1. TENSÃO DE ALIMENTAÇÃO DO ESP32

Para o funcionamento do microcontrolador, é necessário uma tensão de até 3,3 volts. Como as motocicletas e a maioria dos veículos automotores trabalham com tensão de 12V, foi necessário utilizar um regulador de tensão, para que se converta os 12V da bateria para uma tensão segura para o ESP. em um lixo eletrônico proveniente de uma TV antiga foi encontrado um regulador de tensão do tipo 1084-33, que acompanhado de capacitores de 10 μ F, resultam em uma fonte (figura 4) suficientemente boa para o microcontrolador.

Figura 4. Circuito de fonte 3.3 volts.



Fonte: Autoria própria.

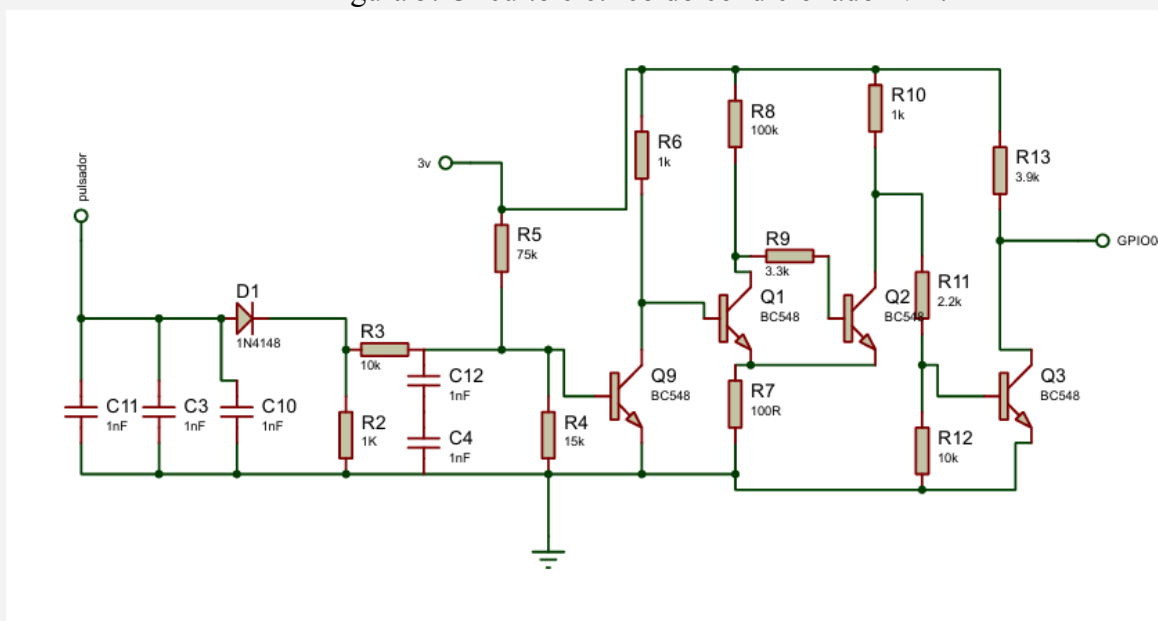
5.2.2. SINAL DE ROTAÇÃO

O modelo de sensor comumente utilizado em motocicletas e automóveis, é o sensor de relutância variável, que ao se aproximar do metal da roda fônica produz um sinal analógico. Porém, esse sinal deve ser condicionado e tornar-se digital para que o microcontrolador consiga fazer sua leitura. Há no mercado alguns CI 's capazes de fazer o condicionamento deste sinal, porém na região de origem deste trabalho, não foi possível encontrar. Logo, se fez necessário a confecção de um circuito para tal função.

Com a pesquisa a respeito de centrais programáveis, alguns circuitos de condicionador VR foram observados, onde optou-se por utilizar o proposto por MANUAL MAKER BRASIL (2020), com algumas alterações em decorrência da disponibilidade no comércio local.

Os componentes utilizados neste circuito foram: 1 diodo 1N4148, 5 capacitores cerâmicos de 1 nF, 1 capacitor eletrolítico de 470 μ F, 3 resistores de 1 K Ω , 2 resistores de 10 K Ω , 1 resistor de 100 K Ω , 1 resistor de 15 K Ω , 1 resistor de 75 K Ω , 1 resistor de 2,2 K Ω , 1 resistor de 3,3 K Ω , 1 resistor de 3,9 K Ω e 4 transistores BC547. Formando o circuito da figura X.

Figura 5. Circuito elétrico do condicionador VR.



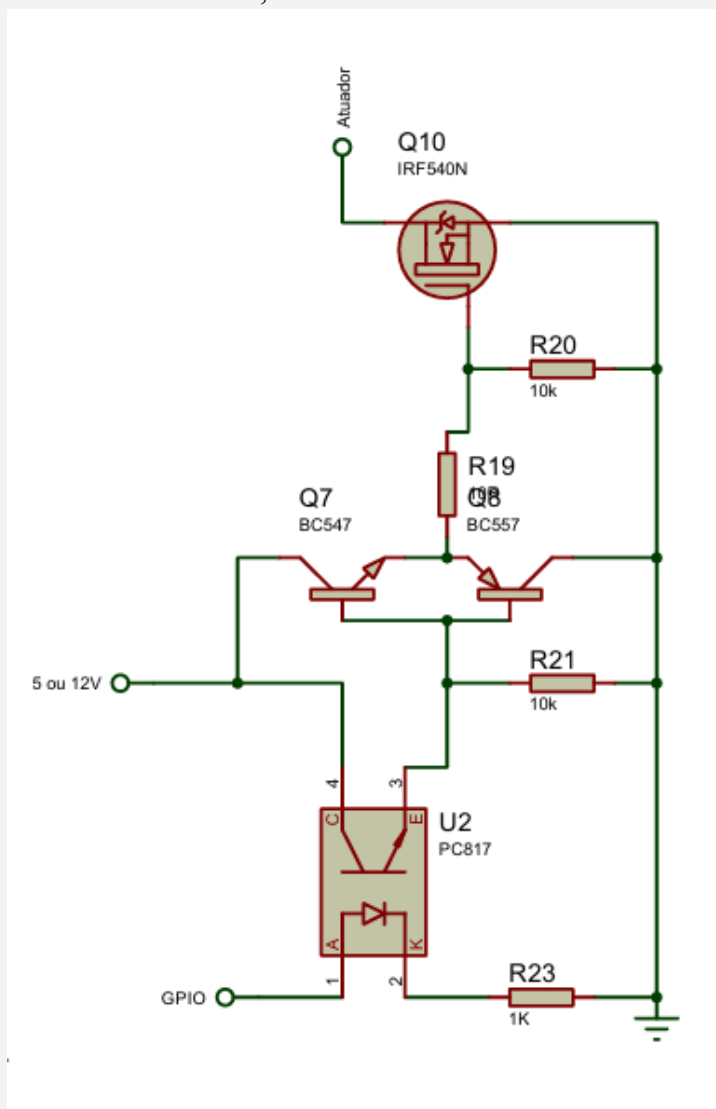
Fonte: Adaptado de MANUAL MAKER BRASIL, (2020).

Onde o sinal proveniente do sensor de rotação chega ao circuito como pulsador, é filtrado e tem sua tensão estabilizada, ao chegar nos transistores o sinal passa a ser digital. Tendo na saída um sinal digital de onda quadrada de 0 a 3,3 volts.

5.2.3. ALIMENTAÇÃO DE 5 VOLTS

Como o teste foi realizado em uma motocicleta, deixou-se a pronto uso uma linha de 5V, pois em um uso futuro, pode ser necessário que se alimente alguns atuadores e sensores com tensão próxima da fornecida pela ECU original. Onde um exemplo seria a unidade de sensores, que é alimentada por essa tensão. Porém como utilizou-se apenas um dos sensores que será o TPS, e seu funcionamento ocorre exatamente como um potenciômetro, não haverá problemas em utilizar uma tensão mais baixa (3,3V). Como a tensão principal da motocicleta, varia entre 12 e 14V. Se fez necessário o uso de um circuito capaz de reduzir a tensão principal para 5V, optou-se por utilizar um regulador linear de tensão do tipo 7805. Que devido sua corrente se limitar a cerca de 1 ampere, optou-se por adicionar um segundo regulador em paralelo (mantendo a tensão e somando a corrente), contando também com capacitores responsáveis por estabilizar e diminuir ruídos, sendo 2 de 0,1 μ F, 1 de 10 μ F e 1 de 47 μ F, formando o circuito da Figura 6.

Figura 7. Drivers MOSFET, circuitos de chaveamento de bico e bobina.



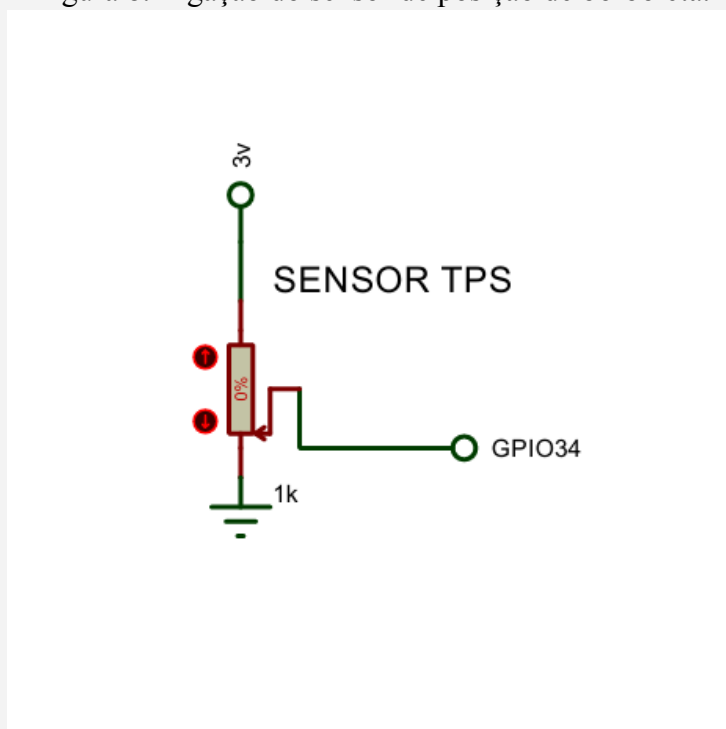
Fonte: Adaptado de WR KITS (2022).

O circuito utiliza de um optoacoplador para realizar o chaveamento de transistores que por sua vez acionam o MOSFET. Ligando o negativo (terra) ao terminal “vela” e “inj”. Para sua confecção, foram necessários: 2 optoacopladores BC817, 2 transistores BC547, 2 transistores BC557, 2 MOSFET’s IRF540N, 4 resistores de 10 K Ω , 2 resistores de 1 K Ω , 2 resistores de 10 Ω , 1 resistor de 125 Ω , 1 resistor de 510 Ω , 1 diodo LED azul e 1 diodo LED vermelho.

5.2.5. SENSOR DE POSIÇÃO DE BORBOLETA (TPS)

Para leitura e interpretação da posição da borboleta, o circuito foi bastante simples, pois no modelo de sensor original da motocicleta, o sensor se trata de um potenciômetro. Logo, o que se fez necessário foi apenas a ligação elétrica, onde o sinal resultante do potenciômetro é lido pelo ESP como um valor analógico entre 0 e 3,3V, e em seguida interpretado como porcentagem do acelerador.

Figura 8. Ligação do sensor de posição de borboleta.

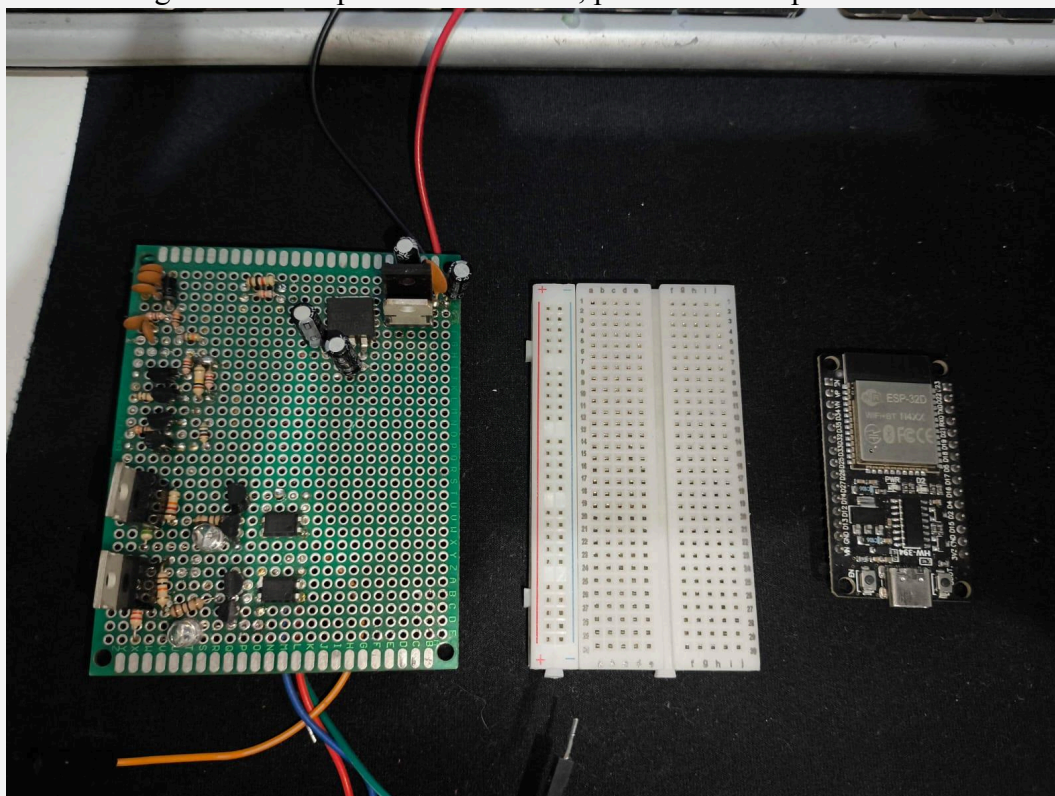


Fonte: Autoria própria.

Ao fim do desenvolvimento de todos os circuitos expostos, junto de alguns jumpers⁵, devido ao modo no qual foi confeccionado a placa. Onde toda a eletrônica foi alocada e soldada na placa perfurada, e apenas os jumpers que realizam a conexão com o microcontrolador são inseridos na protoboard junto ao ESP. Pois, assim a remoção da placa se torna um procedimento simples (Figura 11).

⁵ Jumper é o nome dado a cabos elétricos, geralmente possuindo conectores em suas pontas, o que facilita as conexões elétricas.

Figura 9. Placa perfurada montada, protoboard e esp32.



Fonte: Autoria própria.

5.3. BASE PARA PROGRAMAÇÃO

5.3.1. ESTRUTURA

A linguagem utilizada na Arduino IDE, é a linguagem C/C ++, no entanto não se faz necessário um vasto conhecimento a respeito para utilizá-la, pois a comunidade composta por usuários, é de forma simples um manual completo, contando com problemas e soluções já vivenciadas.

O código na IDE é composto basicamente por três seções, como mostra a figura 9. Onde a primeira parte é responsável por definir quais as variáveis serão utilizadas, assim como as bibliotecas, a segunda parte é responsável por configurar quem serão as entradas ou saídas, tipo de entrada se é digital ou analógica, etc. a terceira parte é onde ocorre a execução do código, pois é nela que ficará toda a programação do que ocorrerá durante a execução, ou seja, é nela que se encontram os processos e a ordem no qual ocorrerá essa execução.

Figura 10. Código básico no Arduino IDE.



Fonte: Autoria própria.

5.3.2. POSIÇÃO DO VIRABREQUIM

A lógica por trás do funcionamento da central, se baseia na posição do volante do motor por meio de leitura de uma roda fônica 12-3, onde através de cálculos baseados em tempo de intervalo, a ECU poderá determinar a posição na qual se encontra o virabrequim de acordo com o ressalto que passa pelo sensor. Com isso foi necessário buscar na documentação oficial da ESPRESSIF (2019), a fim de buscar algum método capaz de realizar a leitura imediata, e o método aplicado no projeto foi o da interrupção externa. Sendo esse, uma forma de receber sinais digitais externos e realizar uma função independente da função loop (função que sempre estará sendo realizada enquanto o ESP estiver energizado).

A função que será executada sempre que o sensor tiver seu nível lógico alterado, deve ser uma função pouco complexa, para que o chip não leve muito tempo para terminar sua execução. Devido a isso, sempre que for necessário acionar um atuador, será preciso apenas sinalizar por meio de uma variável booleana, e só a partir dela que o atuador será acionado dentro da função loop.

5.3.3. SENSOR DE POSIÇÃO DE BORBOLETA

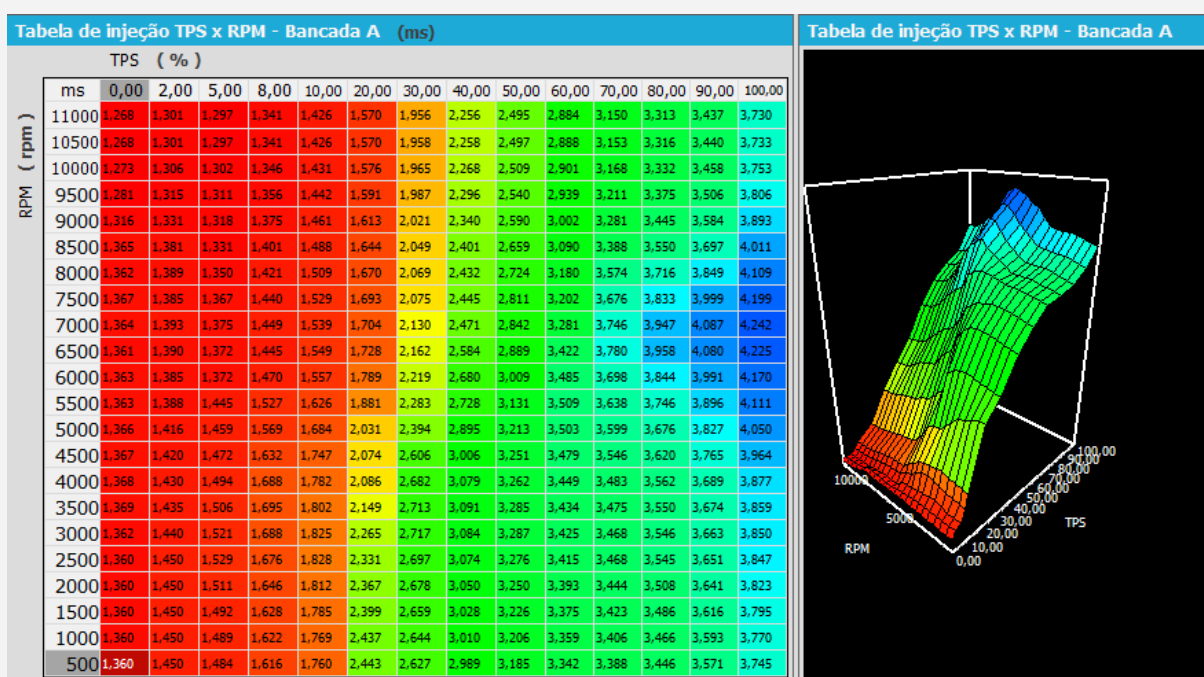
No que se refere a leitura da posição da borboleta (TPS), ocorre por meio de leitura de tensão, proveniente do sensor que atua como um potenciômetro. Onde a tensão varia sua voltagem de acordo com a porcentagem de abertura no acelerador, sendo 0 volts equivalente a borboleta totalmente fechada e 3,3V totalmente aberta. Esta leitura ocorre igualmente ao que já é utilizado em placas Arduino, e o valor sempre é atualizado de acordo com o loop.

Da mesma maneira, também será realizada a leitura da tensão da bateria, pois mesmo que a tensão da bateria chegue a 25 volts (o'que claramente demonstraria um erro, já que o sistema é de 12 volts), a tensão de saída do divisor de tensão não excederá 3,3 V.

5.3.4. TEMPO DE PERMANÊNCIA DOS ATUADORES

O segredo por trás do controle da quantidade de combustível que alimenta um motor com injeção eletrônica está no quesito pulso de bico (termo utilizado para se referir ao tempo que o eletroinjeter permanece aberto). Partindo da ideia de que bico injetor funciona como uma válvula solenóide, e que a linha de combustível da maioria dos veículos é fixada em aproximadamente 3bar de pressão. É fácil determinar que a vazão de combustível é controlada por meio do tempo em que o injetor permanece aberto. E como base para o projeto, foi de suma importância as ferramentas disponibilizadas pela FUELTECH (2018), pois através desta empresa que foi possível obter uma base para desenvolvimento. A partir do seu mapa base para uma motocicleta Honda CG 150, executado na ferramenta FT Manager da Fueltech, foi possível obter valores de pulso de bico, como mostra a figura 10.

Figura 11. Mapa padrão no FT Manager.



Fonte: Fueltech (2018).

Portanto, basta gerar uma matriz contendo os valores obtidos do mapa, para que a central defina o valor de pulso de bico com base na rotação do motor e porcentagem do acelerador.

No entanto, para que isso ocorra, para garantir um funcionamento adequado desta implementação, é necessário o uso dos timer's do ESP. Pois tal recurso funciona como relógios internos do microcontrolador, que acionam uma interrupção/função quando o tempo programado é atingido. Logo, a interrupção externa (acionada pelo sensor de rotação) irá acionar o injetor no momento certo, e o timer será responsável por desligar o atuador no tempo exato determinado pelo valor em milissegundos presente na matriz.

O mesmo método, será aplicado para o controle de dwell⁶ da bobina de ignição, sendo sua variação somente dependente da tensão de bateria.

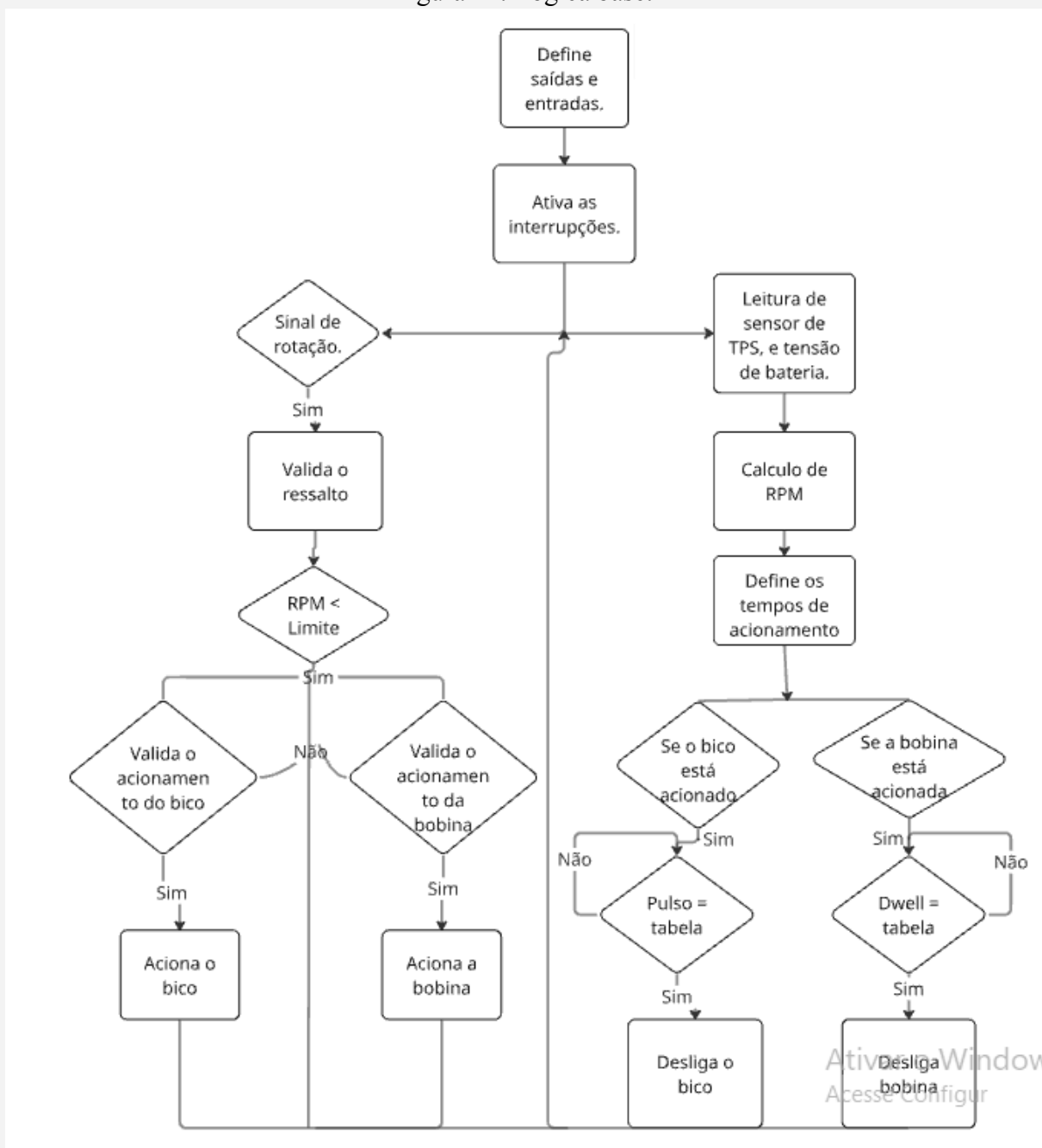
⁶ Dwell é o tempo de carga/acionamento da bobina, que depende exclusivamente da tensão do sistema, pois à medida que a tensão aumenta, o tempo de dwell diminui, preservando a vida útil da bobina.

5.4. LÓGICA DO FUNCIONAMENTO

De princípio, foi necessário pensar em um sistema lógico capaz de realizar o gerenciamento de combustível e ignição. Para dar início ao raciocínio foi preciso simplificar ao máximo o funcionamento, chegando a alguns estágios. Passo 1: Identificar a posição do virabrequim; Passo 2: Comparar com a posição de disparo de cada atuador; Passo 3: Permanecer ativo o atuador até que o tempo se iguale ao pulso determinado no mapa.

Entretanto, sabe-se que o mapa é estritamente determinado pelo RPM junto a porcentagem de TPS. Logo, precisará acrescentar estas leituras a programação, além de necessitar de um limitador de rotação, visando a proteção do motor. Com isso, optou-se por realizar duas rotinas simultaneamente, onde manterá curta a rotina da interrupção, enquanto que na rotina que independe da leitura de rotação, sejam realizadas a maioria dos cálculos, e leitura dos demais sensores. Resultado dessa maneira de pensar, está expressa no fluxograma da figura 12.

Figura 12. Lógica base.

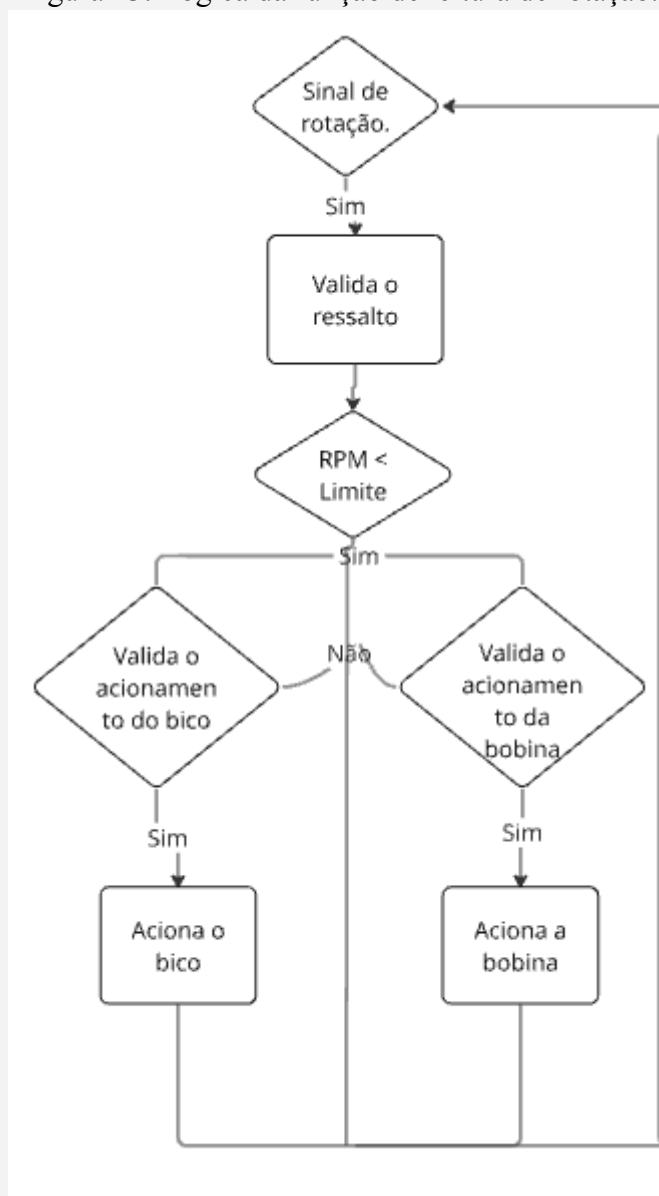


Fonte: Autoria Própria.

Na figura 12 é possível observar a inicialização do microcontrolador junto das duas rotinas, sendo a do lado esquerdo (Figura 13): a rotina responsável por determinar a posição exata do virabrequim, e acionar os atuadores no momento certo; já no lado direito (Figura 14), é realizado o cálculo de RPM, a leitura de tensão e porcentagem do acelerador, além de controlar o tempo em que os atuadores permanecem ligados. A frente será melhor explicado como ocorrem os processos.

5.5. FUNÇÃO DE INTERRUPÇÃO

Figura 13. Lógica da função de leitura de rotação.



Fonte: Autoria própria.

O processo responsável por manter a central atualizada em relação a posição do volante/virabrequim do motor, consiste na leitura em tempo real por meio da interrupção. Onde sempre que ativada, a função que a ela foi atribuída é executada.

Sempre que o sensor de rotação enviar um sinal digital para o módulo, a função a seguir será chamada: Em primeiro momento, se verifica a posição/ressalto em que se encontra o motor; O segundo passo é verificar se a rotação está dentro do limite; Após isso, se verifica se algum atuador será acionado, sendo o bico injetor acionado quando o 6º ressalto estiver alinhado ao sensor, e a bobina quando for o 9º ressalto que estiver frente ao sensor.

Entretanto, nada é simples da forma na qual se imagina, sendo um dos principais problemas encontrados desde o início da programação, a maneira de determinar qual ressalto o sensor estaria lendo. A abordagem aplicada para solucionar esse problema, inclui a leitura e comparação de tempo entre um ressalto e outro. Onde, no momento em que o ressalto é detectado, se inicia uma contagem que só é finalizada e armazenada o valor como um contador, quando outro ressalto é detectado que percute no início de outra contagem. Com a

repetição deste processo até que um dos contadores apresente um valor maior que o contador anterior, indicando a passagem pela falha da roda-fônica, que só após isso é mapeado com exatidão a sua posição.

A maneira em que o contador é atualizado, se baseia na função padrão do Arduino, chamada de `millis()`⁷, em que sempre que o contador precisa ser atualizado ele atribui seu valor ao segundo contador, e só a partir daí se é atribuído a ele o valor da função `millis`, com isso basta comparar a diferença de tempo entre os dois contadores, aguardando o momento em que esta diferença sofra um aumento. Este processo só é necessário quando não se sabe a posição do virabrequim, pois a partir daí pode-se determinar a posição de acordo com o ressalto desde o 1° ao 9°.

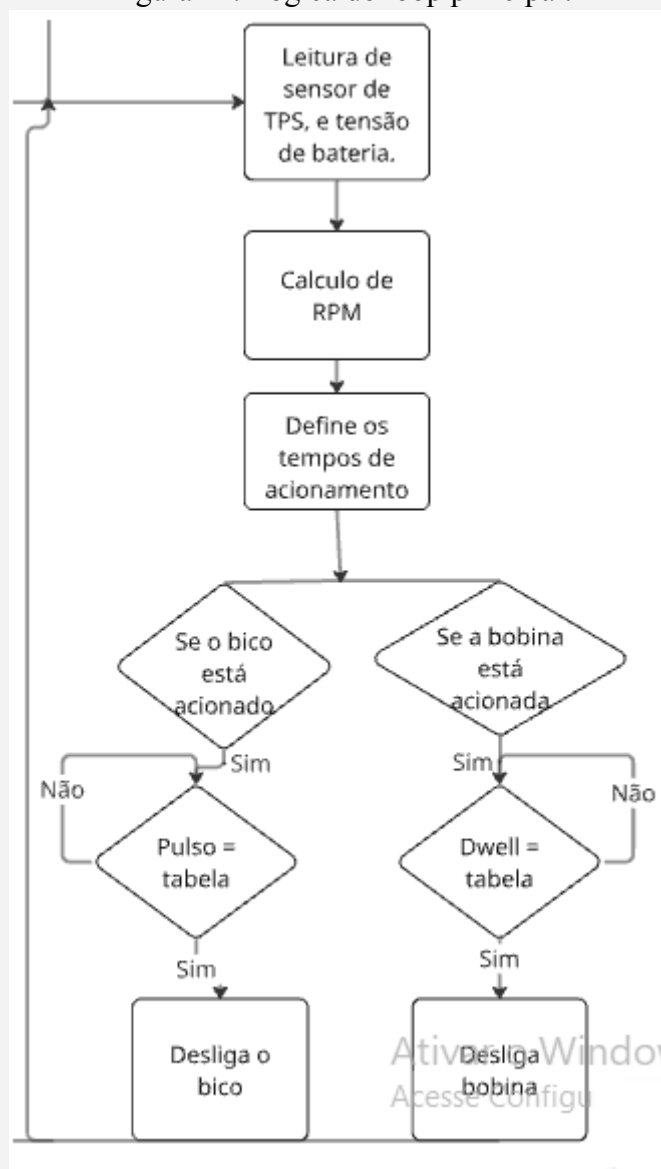
O acionamento dos atuadores, por sua vez, ocorre de maneira simples por meio da saída digital somente. Pois o desligamento do atuador ocorre na função principal.

5.6. LOOP PRINCIPAL

Junto a função de interrupção a função principal de loop, também é executada, onde nela são interpretados os valores obtidos do TPS e do divisor de tensão, o cálculo do rpm e também será nela onde ocorrerá o controle de permanência dos atuadores. Como mostra o fluxograma na figura 14.

⁷ A função `millis()` retorna o tempo em milissegundos em que o microcontrolador está ativo.

Figura 14. Lógica do loop principal.



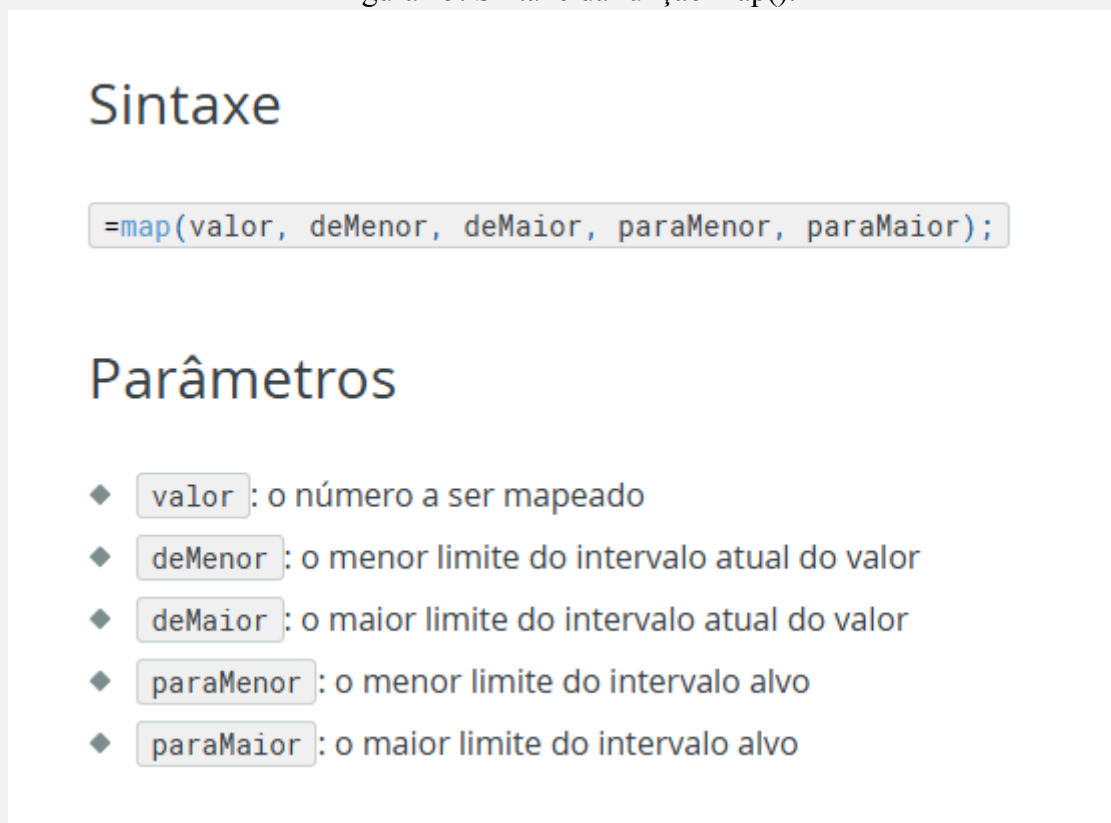
Fonte: Autoria própria.

5.6.1. LEITURA ANALÓGICA DE SENSORES

A leitura de sensores analógicos funciona a partir da leitura de tensão, onde o ESP converterá este intervalo de tensões em um intervalo desejado como: 0 a 100% para o TPS e 0 a 25V para a tensão de bateria. Utilizando a função `map()`⁸, que segue a sintaxe expressa na figura 15.

⁸ Esta função é utilizada para converter valores de um intervalo para outro, de acordo com ARDUINODOCS (2024).

Figura 15. Sintaxe da função map().



Fonte: Arduino Docs (2024)⁹.

Sendo o valor, a leitura da porta analógica; deMenor, 0; de Maior, 4095 devido a banda de leitura do ESP 12 bits (2¹²); paraMenor, 0; paraMaior, é 100 para a leitura do TPS e 25 para a leitura de tensão.

5.6.2. CÁLCULO DO RPM

O cálculo de RPM é de extrema importância, devido a necessidade deste dado na aplicação dos valores de pulso de bico e para garantir segurança com o uso de um limitador de giro.

$$RPM = \frac{1}{(intervalo * ressaltos) / (60 * 1000)} \quad (1)$$

Sendo:

- *RPM* : Rotações do motor (rot/min);
- *intervalo* : Tempo em milissegundos entre um ressalto e outro;
- *ressaltos* : Quantidade de ressaltos total da roda fônica, nesse caso 12.

⁹ Disponível em :<https://docs.arduino.cc/language-reference/funções/math/map/> . Acesso em 28 de out de 2025.

5.6.3. TEMPO DE ACIONAMENTO DOS ATUADORES

O tempo em que se permanecem ativos os atuadores, consiste no pilar central de todo o funcionamento da injeção eletrônica. Dando ênfase ao tempo de pulso de bico, é necessário se ter os valores de RPM e TPS, para que com isso, se possa variar o pulso com base na tabela 1. Onde os valores indicam o tempo em milissegundos que o bico deve permanecer acionado de acordo com a rotação e a porcentagem do acelerador, sendo, as colunas variadas com a porcentagem de TPS e as linhas variadas com o RPM.

Tabela 1. Tempo de pulso.

RPM	Porcentagem de TPS (%)													
0	0	2	5	8	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
500	1,360	1,450	1,484	1,616	1,760	2,443	2,627	2,989	3,185	3,342	3,388	3,446	3,571	3,745
1000	1,360	1,450	1,489	1,622	1,769	2,437	2,644	3,010	3,206	3,359	3,406	3,466	3,593	3,770
1500	1,360	1,450	1,492	1,628	1,785	2,399	2,659	3,028	3,226	3,375	3,423	3,486	3,616	3,795
2000	1,360	1,450	1,511	1,646	1,812	2,367	2,678	3,050	3,250	3,393	3,444	3,508	3,641	3,823
2500	1,360	1,450	1,529	1,676	1,828	2,331	2,697	3,074	3,276	3,415	3,468	3,545	3,651	3,847
3000	1,362	1,440	1,521	1,688	1,825	2,265	2,717	3,084	3,287	3,425	3,468	3,546	3,663	3,850
3500	1,369	1,435	1,506	1,695	1,802	2,149	2,713	3,091	3,285	3,434	3,475	3,550	3,674	3,859
4000	1,368	1,430	1,494	1,688	1,782	2,086	2,682	3,079	3,262	3,449	3,483	3,562	3,689	3,877
4500	1,367	1,420	1,472	1,632	1,747	2,074	2,606	3,006	3,251	3,479	3,546	3,620	3,765	3,964
5000	1,366	1,416	1,459	1,569	1,684	2,031	2,394	2,895	3,213	3,503	3,599	3,676	3,827	4,050
5500	1,363	1,388	1,445	1,527	1,626	1,881	2,283	2,728	3,131	3,509	3,638	3,746	3,896	4,111
6000	1,363	1,385	1,372	1,470	1,557	1,789	2,219	2,680	3,009	3,485	3,698	3,844	3,991	4,170
6500	1,361	1,390	1,372	1,445	1,549	1,728	2,162	2,584	2,889	3,422	3,780	3,958	4,080	4,225
7000	1,364	1,393	1,375	1,449	1,539	1,704	2,130	2,471	2,842	3,281	3,746	3,947	4,087	4,242
7500	1,367	1,385	1,367	1,440	1,529	1,693	2,075	2,445	2,811	3,202	3,676	3,833	3,999	4,199
8000	1,362	1,389	1,350	1,421	1,509	1,670	2,069	2,432	2,724	3,180	3,574	3,716	3,849	4,109
8500	1,365	1,381	1,331	1,401	1,488	1,644	2,049	2,401	2,659	3,090	3,388	3,550	3,697	4,011
9000	1,316	1,331	1,318	1,375	1,461	1,613	2,021	2,340	2,590	3,002	3,281	3,445	3,584	3,893
9500	1,281	1,315	1,311	1,356	1,442	1,591	1,987	2,296	2,540	2,939	3,211	3,375	3,506	3,806
10000	1,273	1,306	1,302	1,346	1,431	1,576	1,965	2,268	2,509	2,901	3,168	3,332	3,458	3,753
10500	1,268	1,301	1,297	1,341	1,426	1,570	1,958	2,258	2,497	2,888	3,153	3,316	3,440	3,733
11000	1,268	1,301	1,297	1,341	1,426	1,570	1,956	2,256	2,495	2,884	3,150	3,313	3,437	3,730

Fonte: Retirado de FUELTECH (2018).

O método aplicado na programação para possibilitar essa leitura de dados, foi por meio de uma matriz de 22 linhas e 14 colunas. Onde após determinar a rotação do motor e a porcentagem do acelerador, se é atribuído ao pulso de bico o valor que se encontra na matriz. Exemplo: se, $rpm = 2500$, $tps = 30$ temos $pulso = 2,697$ ms. Este valor de pulso é por sua vez atribuído a uma rotina de interrupção, que quando ocorre executa uma função que contém somente o comando de desligar a saída digital.

Algo parecido ocorre também para o desligamento da bobina de ignição, pois o dwell é necessário para evitar uma sobrecarga na mesma, é utilizado a mesma metodologia seguindo a tabela 2. Que por sua vez é programada como um vetor de 10 elementos, o acesso aos dados acontece de maneira similar ao do pulso, entretanto sua variação só depende da tensão da bateria. E assim como acontece para o bico injetor, esse valor é atribuído a uma outra interrupção, que por sua vez executa a função que desliga a saída digital responsável pela bobina de ignição.

Tabela 2. Tempo de dwell por tensão da bateria.

Tensão (V)	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Dwell (ms)	4	4	4	3,75	3,5	3,25	3	2,75	2,7	2,7

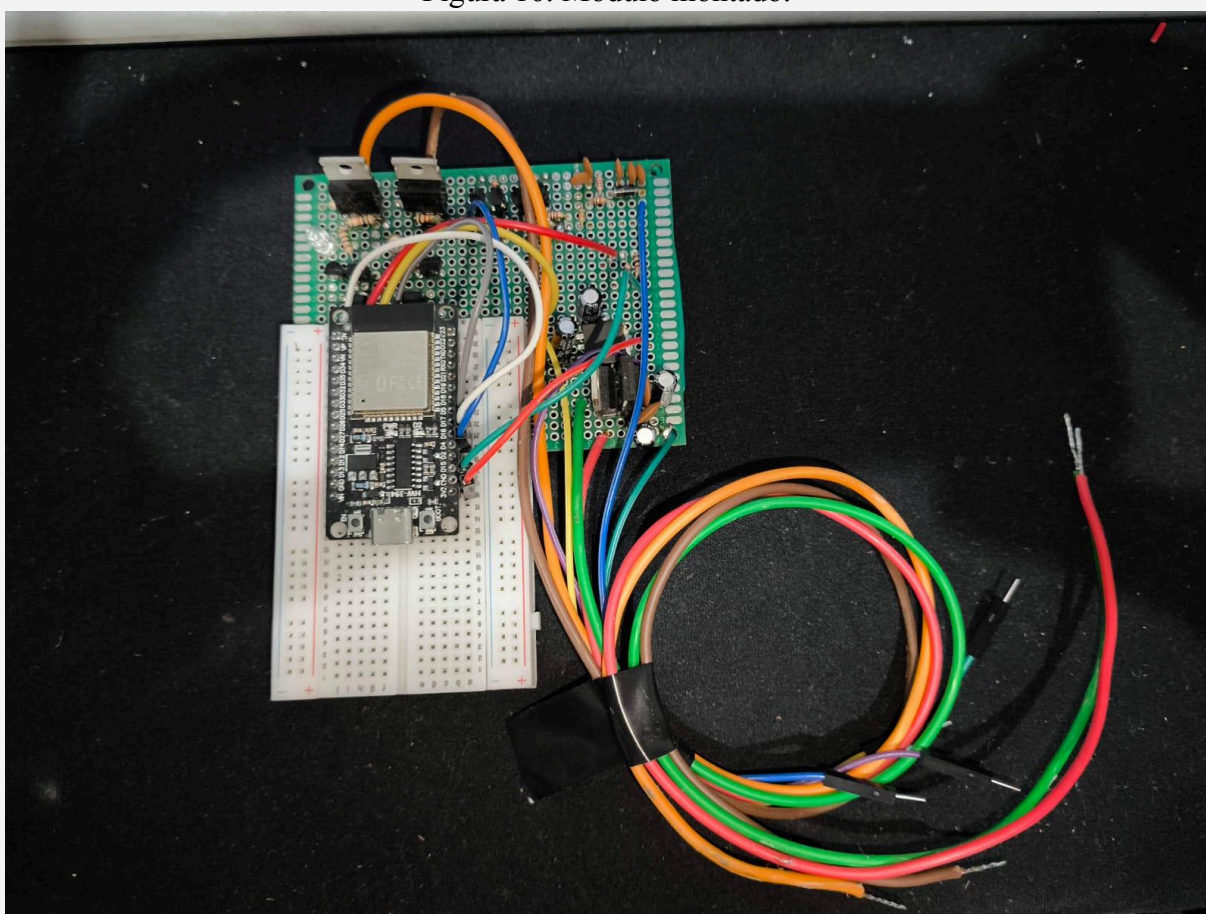
Fonte: Retirado de FUELTECH (2018).

Com isso, sempre que as leituras dos sensores forem atualizadas, os atuadores terão seu tempo de permanência também atualizado.

6. LIGAÇÃO ELÉTRICA

Após a ligação da placa perfurada ao ESP por meio dos jumpers, pode-se considerar o conjunto dos componentes como um módulo (Figura 16). E a partir dele a ligação junto ao motor se torna simplificada.

Figura 16. Módulo montado.

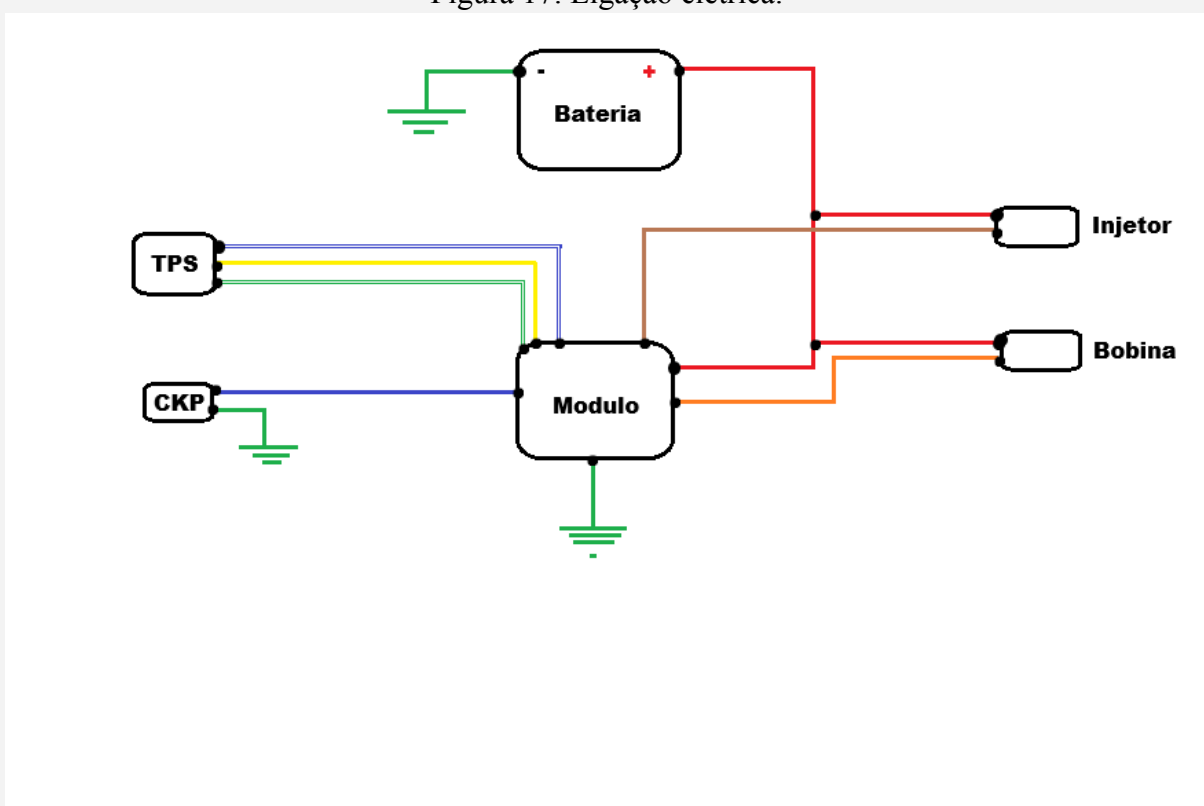


Fonte: Autoria própria.

O módulo, tem uma ligação com o sistema original da motocicleta que conta com o total de 8 fios como mostra a Figura 17, sendo eles:

- Vermelho, ligado ao positivo (+12V);
- Verde, ligado ao negativo/GND;
- Marrom, ligado ao negativo do bico injetor;
- Laranja, ao negativo da bobina de ignição;
- Roxo, positivo do sensor TPS;
- Verde com branco, negativo do TPS;
- Amarelo, sinal do TPS;
- Azul, sensor de rotação/CKP;

Figura 17. Ligação elétrica.



Fonte: Autoria própria.

7. TESTE PRÁTICO

7.1. PROBLEMAS ENCONTRADOS

Alguns ocorridos consumiram tempo no processo de confecção e experimentação, onde, desde a queima de alguns componentes como até mesmo do próprio ESP. Durante um dos testes do circuito em bancada, o microcontrolador sofreu um curto-circuito acidental, e veio a queimar, algo que atrasou em muito o projeto, devido a demora para reposição devido a necessidade de se comprar por meios digitais.

Outro problema se deu pelo acionamento da bomba de combustível, responsável por manter a linha de combustível pressurizada para a atomização correta do combustível. Tendo seu acionamento por meio da central, com circuito similar ao encontrado nos demais atuadores, entretanto não havia sido preparado tal circuito, um por falta de componentes e

dois pela complexidade que seria sua programação. Portanto, optou-se por realizar seu acionamento de forma manual, por meio de um jumper.

Outra pequena falha encontrada, foi devido a falta de controle no atuador de marcha lenta, pois ao se tratar de um motor de passo, necessitaria de uma programação mais avançada. Porém, nada que com tempo não possa ser sanado, e para o experimento esse controle de marcha lenta se deu exclusivamente pela abertura da borboleta.

No tocante a abertura de borboleta, encontrou-se um empecilho, que seria a leitura do sensor TPS original, que não pode ocorrer devido uma não linearidade da leitura, provavelmente ocasionada por uma tensão fora da faixa de leitura do controlador. E no teste que foi realizado para este trabalho, o curso do acelerador foi reduzido para torná-lo viável.

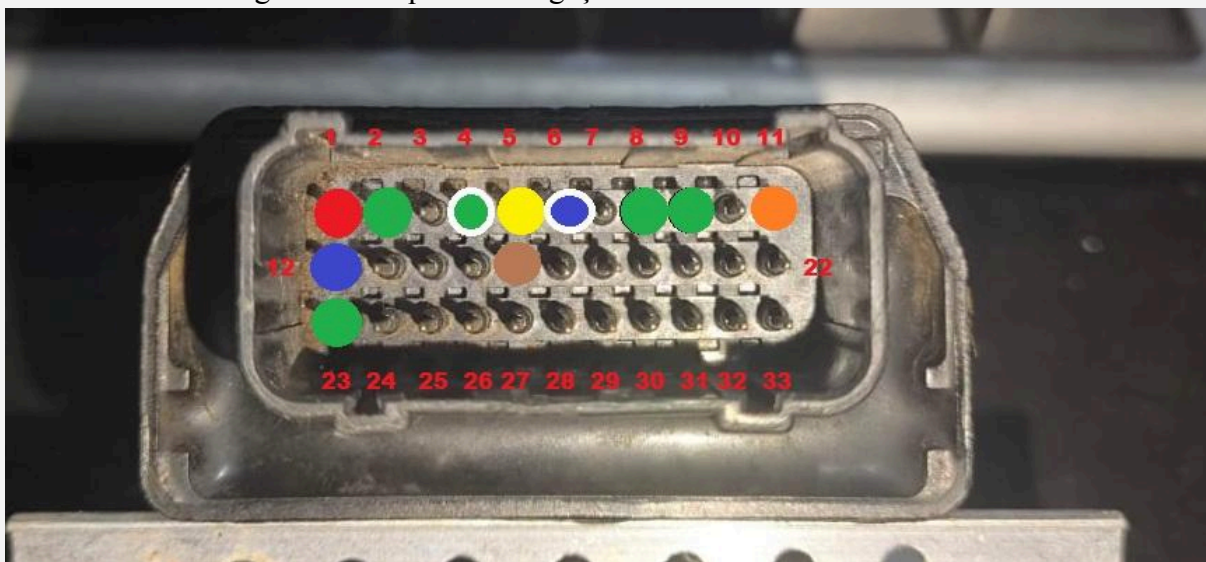
7.2. PRECAUÇÕES

Um meio de se prevenir danos ao motor aplicado no projeto, foi o limitador de rotação, que evita o acionamento dos atuadores, caso a rotação por minuto do motor ultrapasse um valor determinado, que para esse teste se definiu como 3000 RPM, garantindo que o motor não sofra em altas rotações por talvez uma falta de combustível ou algo relacionado a um travamento na ECU.

7.3. FUNCIONAMENTO NA MOTOCICLETA

A instalação do módulo na motocicleta, ocorreu através do conector original que liga o chicote principal ao módulo original, para representar como ocorreu a ligação, a tomada da central original foi utilizada para elaborar a ilustração da figura 18.

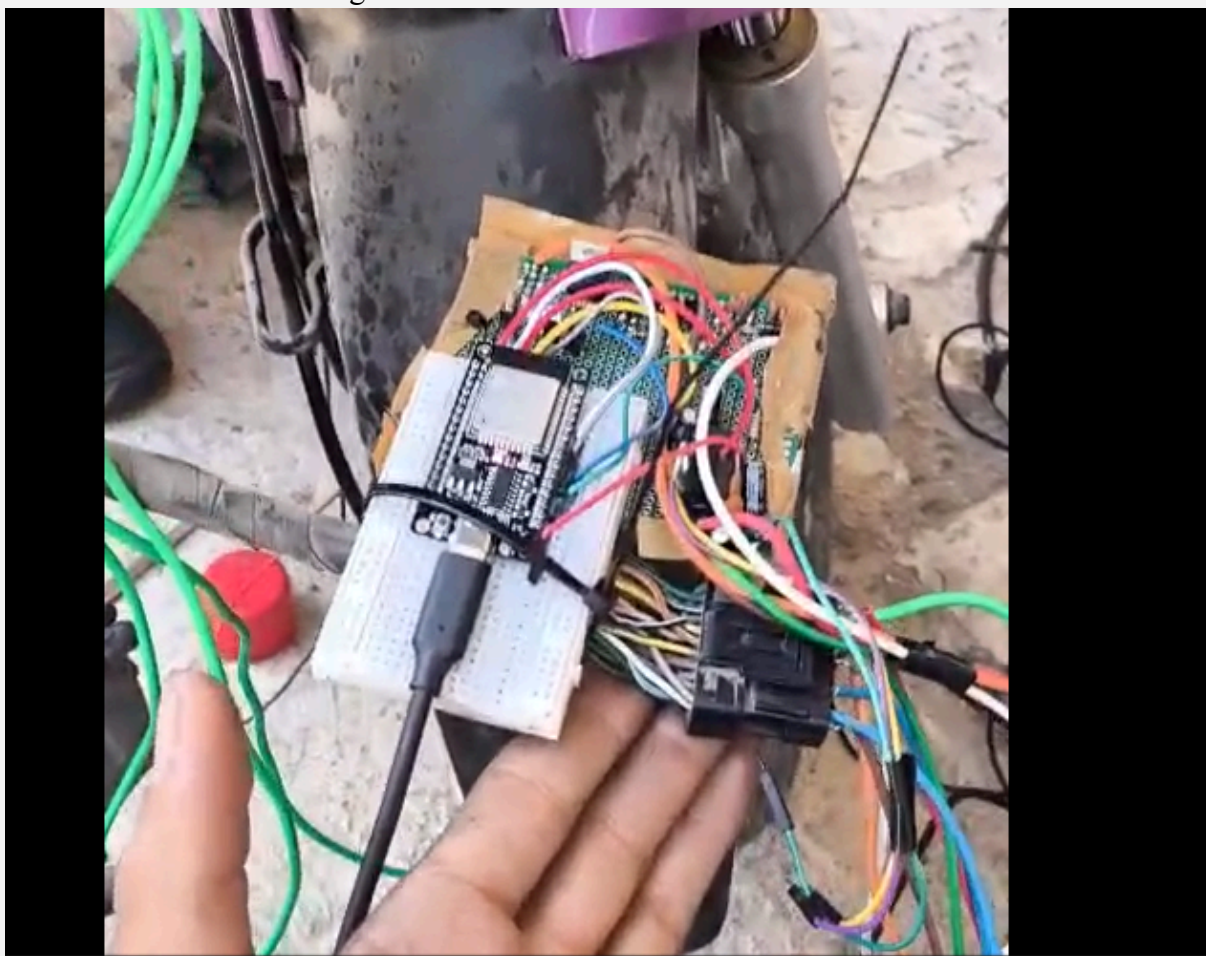
Figura 18. Esquema de ligação no conector da motocicleta.



Fonte: Autoria própria.

Onde as cores indicam o local de ligação de cada pino, segundo ao que se mostra a figura 17 (ligação elétrica). Sendo os pinos indicados com a cor verde, foram ligados ao chassi/terra da moto, o vermelho ligado ao positivo pós chave, azul no sensor CKP e etc. Onde no pino 8 em específico, ocorre o acionamento da bomba de combustível de forma direta.

Figura 19. Módulo instalado na motocicleta.



Fonte: Autoria própria.

Ao instalar a ECU na motocicleta e alimentá-la com a tensão de 12V do pós-chave, o led indicador do ESP acendeu, logo em seguida se deu partida no motor, que funcionou de maneira satisfatória em marcha lenta, se mantendo estável. Entretanto, foram encontrados alguns problemas referente a leitura da posição da borboleta, pois mesmo alimentando o conjunto de sensores da motocicleta com uma tensão de 3,3V, os valores esperados na saída do sensor TPS não foram alcançados. Obtendo ao invés de uma leitura linear de 0 a 3,3V, uma leitura de 0,96V para o mínimo de abertura de borboleta e 1,6V para borboleta totalmente aberta, o que implicou em uma leitura errada do sensor, que por se tratar do principal meio de ajuste da mistura de ar combustível, esta leitura errônea resultou em uma aceleração não condizente com esperado para o projeto.

Pois, o projeto da injeção da motocicleta conta com um atuador de marcha lenta, que tem seu funcionamento de forma resumida como, um motor de passo que controla uma válvula de fluxo de ar, controlando a quantidade de ar necessária para manter o motor em funcionamento em marcha lenta. Porém, o projeto com ESP no momento não dispõe de tal recurso, sendo necessário permitir uma vazão mínima de ar para o funcionamento do motor, por meio de uma abertura na borboleta do acelerador.

O uso de um computador ligado à porta USB, por meio da comunicação serial do módulo, foi de certa forma uma ótima ferramenta de diagnóstico. Pois o acionamento da bobina de ignição provoca ruído eletromagnético, que por alguns momentos causaram o reset no módulo. Porém, mantendo uma certa distância entre o módulo e a bobina da motocicleta, conseguiu prosseguir com o teste. No monitor serial do Arduino IDE foi programado que se

exibisse a tela como mostra a figura X, estando os parâmetros exibidos na ordem. RPM (rpm) / TPS (%) / pulso do bico (microsegundos) / pulso de dwell (microsegundos) / tensão (V).
 Figura 20. Captura do monitor serial.

Figura 20. Captura de tela do monitor serial.

Monitor Serial X Saída					
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 4000 / Tensão: 5
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 4000 / Tensão: 5
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 4000 / Tensão: 5
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 4000 / Tensão: 5
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3250 / Tensão: 11
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3250 / Tensão: 11
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3250 / Tensão: 11
3660.00	/	0	/	PulsoBico: 1435	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
2130.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
570.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
960.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
3360.00	/	0	/	PulsoBico: 1435	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
1050.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
300.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
960.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
2730.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
2070.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
1980.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
3330.00	/	0	/	PulsoBico: 1435	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
2790.00	/	0	/	PulsoBico: 1440	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 3000 / Tensão: 12
0.00	/	0	/	PulsoBico: 1450	/ Dwell: 4000 / Tensão: 5

Fonte: Autoria própria.

Neste exemplo de funcionamento é possível observar o funcionamento do módulo no momento da partida do motor. Onde se nota o valor de TPS fixado em zero, e a variação do tempo de pulso de bico com base exclusivamente na rotação do motor, enquanto o tempo de dwell varia conforme a tensão.

8. CONCLUSÃO

Ao fim desta etapa do projeto concluiu-se que, é possível funcionar um motor de ciclo Otto por meio de um gerenciamento eletrônico a partir de um microcontrolador acessível, com o uso de uma programação simplificada.

Que o chip utilizado para o desenvolvimento da ECU não está sendo utilizado em sua totalidade de desempenho, tendo em vista o uso de somente um de seus núcleos, e a quantidade de GPIO'S disponíveis. Portanto o uso de um Arduino seria possivelmente suficiente.

Pode-se afirmar que o mapa de injeção produzido pela FUELTECH (2018), é suficientemente adequado para uma calibração inicial do motor. Sendo ainda necessário para o futuro do projeto, o desenvolvimento de uma interface de interação, que possibilita alteração de valores em tempo real.

Este sistema poderia contar também com a leitura do sensor de oxigênio, presente na motocicleta, algo que não foi utilizado devido a banda de leitura do sensor original ser do tipo estreita, realizando uma leitura pontual, algo que limita a exatidão na leitura, pois uma sonda lambda de banda larga realiza esta leitura em uma faixa de valores, apresentando a média dos resultados.

Pode-se dizer que este projeto abre espaço para muito desenvolvimento, pois o uso de tecnologias como WIFI e Bluetooth, permitem automação para o funcionamento de um motor de combustão interna.

Falando em futuro do projeto, se faz necessário citar uma falha ocorrida que necessita de correção, onde este em que se fala é o sensor TPS, onde futuramente o desenvolvimento deste sensor a partir de um potenciômetro linear é inevitável, sendo possível também o uso de uma borboleta eletrônica, eliminando assim o uso de cabos de comando.

O projeto foi feliz no que se propôs, tendo em vista que se provou a funcionalidade desta central mesmo que em um sistema já aplicado em um produto como uma motocicleta, apesar dos empecilhos.

9. REFERÊNCIAS

ARDUINO. Software: IDE. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/software/#ide>. Acesso em: 01 out. 2025.

ARDUINO FORUM. *Pesquisar resultados para “ESP32” - Arduino Forum*. [S.l]: <https://forum.arduino.cc/search?q=ESP32>. Acesso em: 15 out. 2025.

BRUNETTI, F. *Motores de combustão interna*. São Paulo: Érica, 2012.

DPFELETRÔNICA. *Lendo a posição da roda fônica com arduino! solução para injeção do uno turbo!*. YouTube, 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=vL-94ruGv9g&t=469s>. Acesso em: 01 out. 2025.

EXPRESSIF SYSTEMS. *ESP32 Technical Reference Manual*. Shanghai: Espressif, 2019. Disponível em: <https://www.espressif.com/en/support/documents/technical-documents>. Acesso em: 01 out. 2025.

EXPRESSIF SYSTEMS. *ESP32 Series – Datasheet Version 4.9*. [S.l.]: Espressif Systems, s.d. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf. Acesso em: 20 out. 2025.

EXPRESSIF SYSTEMS. *General Purpose Timer — ESP32 (ESP-IDF v4.3)*. [S.l.]: Espressif Systems, 2021. Disponível em: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/v4.3/esp32/api-reference/peripherals/timer.html>. Acesso em: 20 out. 2025.

FUELTECH. *Manual de injeção eletrônica FT EFI*. Porto Alegre: FuelTech, 2018. Disponível em: <https://www.fueltech.net/>. Acesso em: 01 out. 2025.

MANUAL MAKER BRASIL. *Conversor VR para Speeduino - Converta o sinal do sensor Indutivo para Hall / Digital*. YouTube, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=58ujsKfL1X0>. Acesso em: 01 out. 2025.

WR KITS. *Acionando mosfet com acoplador óptico*. YouTube, 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=COXeoPFpWOo&t=1s>. Acesso em: 01 out. 2025.

SPEEDUINO. *Open source engine management system*. 2022. Disponível em: <https://speeduino.com/>. Acesso em: 01 out. 2025.