

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**Alessandra Yukari Fujii
Noêmia Teixeira Marques**

**Estudo de ECUs de EFI “*open source*” do mercado
brasileiro em substituição a EEC-IV da Ford**

Santo André – São Paulo
2018

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia em Eletrônica Automotiva**

**Alessandra Yukari Fujii
Noêmia Teixeira Marques**

**Estudo de ECUs de EFI “*open source*” do mercado
brasileiro em substituição ao EEC-IV da Ford**

*Monografia apresentada ao Curso de
Tecnologia em Eletrônica Automotiva da
FATEC Santo André, como requisito parcial
para obtenção do título de Tecnólogo em
Eletrônica Automotiva.*

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani.

Santo André – São Paulo
2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Fujii, Alessandra Yukari, Marques, Noêmia Teixeira, 2018.
Estudo de ECUs de EFI “open source” do mercado brasileiro em substituição a EEC-IV.– Santo André, 2018. – Quantidade de folhas 73 f: il.

Trabalho de conclusão do curso – FATEC – Santo André. Curso de Eletrônica Automotiva, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Edson Caoru Kitani.

1. Eletrônica. 2. Automotiva. 3. Unidade de Gerenciamento de Motores
I. Fujii, Alessandra Yukari II Marques, Noêmia Teixeira

LISTA DE PRESENÇA

Santo André, 10 de Julho de 2018

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA: “ESTUDO
DE ECUS DE EFI “ OPEN SOURCE” DO MERCADO BRASILEIRO EM
SUBSTITUIÇÃO AO EEC-IV DA FORD” DAS ALUNAS DO 6º
SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

PRESIDENTE:

PROF. EDSON CAORU KITANI 

MEMBROS:

PROF. FABIO DELATORE PROF. FERNANDO GARUP DALBO **ALUNAS :**ALESSANDRA YUKARI FUJII NOEMIA TEIXEIRA MARQUES 

AGRADECIMENTOS

Pelas dificuldades enfrentadas e vitórias alcançadas em nossos caminhos, o primeiro agradecimento é a Deus que sempre nos orienta, nos ilumina dando nos discernimento e bom ânimo em nossas escolhas nesta escala evolutiva em que nos encontramos.

É com sincera gratidão, que agradecemos a tudo e a todos, que de uma forma ou de outra nos ajudaram para a realização deste trabalho.

E quanto à família dedicamos agradecimento especial, pois sempre estão caminhando lado a lado conosco rumo a nossa evolução.

Ao professor Dr. Edson Caoru Kitani, que nos orientou e incentivou nesta pesquisa que contribuiu e colaborou com as informações necessárias para o desenvolvimento do mesmo.

A faculdade de tecnologia FATEC Santo André que nos proporcionou ambiente de estudo adequado, e excelência acadêmica, permitindo a nós a oportunidade de nos tornar profissionais competentes e comprometidos com o futuro do nosso país.

Carinhosamente também vibramos com a vitória dos amigos que estiveram juntos durante todo este processo, dividindo experiências, compartilhando aprendizados e conquistas.

“No meio de qualquer dificuldade, encontra-se a oportunidade.”

Albert Einstein

*“Tu te tornas eternamente responsável por aquilo que cativas.”
“Foi o tempo que dedicastes à tua rosa que fez tua rosa tão importante.”*

Antoine de Saint- Exupéry.

RESUMO

O gerenciamento eletrônico do motor a combustão interna de ignição por centelha tem como função gerenciar os atuadores do motor (bicos injetores, bobinas de Ignição, válvula EGR, etc.) de maneira eficaz a fim de manter o motor em um regime de funcionamento onde o mesmo atenda as demandas do motorista e mantenha características de consumo e emissões exigidas por lei. A unidade de gerenciamento do motor EEC-IV foi desenvolvida pela empresa Ford Motor *Company* na década de 80 para equipar seus veículos, a fim de estes atenderem as legislações de emissões vigentes naquela época. Essa unidade equipa o veículo Volkswagen Gol 95 que é utilizado como veículo didático na instituição de ensino FATEC Santo André. No entanto, a EEC-IV não permite a calibração dos seus parâmetros de funcionamento, sendo assim necessária a adaptação de um módulo que permita calibrar os parâmetros do veículo. O presente trabalho propõe um estudo comparativo entre ECUs de calibração *open source* a fim de escolher a melhor opção para a substituição, levando em conta compatibilidade, preço, complexidade e disponibilidade. A partir disso, será proposto um esquema de conexão do módulo ao veículo de estudo e será realizada a validação em bancada.

Palavras-chave: Calibração de Motores, Gerenciamento de Motores, EEC-IV, ECU, *open source*.

ABSTRACT

The electronic management of the spark ignition engine has the function of manage the control of the actuators of the engine effectively in order to keep the engine in the work condition where the driver's request is fulfilled, and the emission and consumption characteristics are maintained. The engine control unity EEC-IV was developed by Ford Motor Company in the eighties to equip their vehicles in order to comply the emission legislation, that unity equips the vehicle Volkswagen Gol 95 which is used in the class in the educational institution FATEC Santo André. However, the EEC-IV does not allow the calibration of it parameters. Because of that it is necessary to adapt an open source engine control unity in the vehicle to calibrate the parameters of the vehicle. The present work proposes a comparative study of open sources ECU's and choose the best option to replace the original one considering: compatibility, price, low complexity and market availability. Based on that idea a technical adaptation is proposed for the chosen ECU and the validation will be done too.

Keywords: Engine Calibration, Electronic Engine Management, EEC-IV, ECU, open source.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Veículo Volkswagen Gol 95 utilizado no trabalho.....	12
Figura 2 – Linha do tempo das gerações da EEC.....	15
Figura 3 - Vista interna do microcontrolador 8061.....	17
Figura 4 - Estrutura da entrada HSI.....	18
Figura 5 - Estrutura da saída HSO.....	19
Figura 6 - Princípio do efeito Hall.....	24
Figura 7 - Esquemático sensor PIP.....	25
Figura 8 - Sinal gerado pelo sensor de efeito Hall.	25
Figura 9 - Sensor de oxigênio EGO de dióxido de zircônio.....	26
Figura 10 - Curvas características dos sensores de oxigênio EGO e UEGO e concentração de oxigênio na exaustão.	27
Figura 11 - Vista em corte de uma válvula de injeção Bosch EV5 e os respectivos componentes internos.	28
Figura 12 - Curva de resposta dos atuadores eletromecânicos formados por solenóides.	29
Figura 13 – Sistema com distribuidor e platinado.....	31
Figura 14 – Esquemático de uma ignição mecânica.	31
Figura 15 – HIS PW6X.	32
Figura 16- Sensor MTE 4053.....	33
Figura 17- Sensor MTE 5053.....	33
Figura 18 - Esquemático da produção do torque no motor e suas perdas.....	35
Figura 19 – Roda dentada de 60 dentes menos 2 junto com sensor indutivo.....	36
Figura 20 - FuelTech FT250.....	38
Figura 21 - Sensor de 3,3 k Ω a 20°C, utilizado para medição do ar admitido e do motor.....	39
Figura 22 – Sensor PS-10B.	40
Figura 23 – Exemplo MegaSquirt.....	42
Figura 24 - Exemplo MegaSquirt-II.....	43
Figura 25 – Sensor MAP na MegaSquirt-I em destaque na imagem.....	45
Figura 26 - MoTeC M84.....	46
Figura 27 – Identificação dos pinos do conector C60 do módulo EEC-IV.....	51
Figura 28 – Identificação dos pinos do módulo HIS.....	51
Figura 29 – Esquema de ligação usando parte dos sinais vindo do conector C60 original do veículo.	54

Figura 30 – Placa de adaptação.	55
Figura 31 – Simulador de sinais de sensores para testar ECUs EEC-IV.....	56
Figura 32 – Circuito elétrico de adaptação.....	57
Figura 33 – Simulador com destaque em (a) MAP de Frequência e em (b) o potenciômetro do MAP Analógico e em (c) Chave seletora.	57
Figura 34 - Kit de rotação.....	59
Figura 35 - Kit de Ignição.	59
Figura 36 - HIS conectada à placa adaptadora.	60
Figura 37 – Janela de configuração <i>HISWinXV</i>	61
Figura 38 – Mapa de combustível (rotação X % do sensor TPS).	61
Figura 39 – Mapa de Ignição (rotação X % do sensor TPS).	62
Figura 40 - Parâmetros <i>HISwinXV</i>	62
Figura 41 – Sinal de rotação.....	63
Figura 42 – Sinal de ignição.....	63
Figura 43 – Sinal de injeção.	64
Figura 44 - Simulador de um veículo da montadora Opel desenvolvido pela Dspace.....	65
Figura 45 – Representação de como a ECU “enxerga” um motor digital em HiL.	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Curva de resposta sensor ACT EEC-IV	22
Gráfico 2 - Curva de resposta sensor MAP.	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sinais de Entrada.....	21
Tabela 2 - Resposta sensor ACT.	23
Tabela 3 - Tabela comparativa.	48
Tabela 4 – Pinagem do conector C60.....	50
Tabela 5 - Pinagem do HIS.....	52
Tabela 6 – Correlação dos sinais.	53
Tabela 7 – Sinais que não constam no C60.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
ACT	<i>Air Charge Temperature</i>
A/D	Analógico/Digital
CAM	<i>Content Addressable Memory</i>
CID	<i>Cubic Inch Displacement</i>
ECT	<i>Engine Coolant Temperature</i>
ECU	<i>Electronic Control Unit</i>
EEC	<i>Electronic Engine Control</i>
EEPROM	<i>Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
EFI	<i>Electronic Fuel Injection</i>
EGO	<i>Exhausting Gas Oxygen</i>
EGR	<i>Exhausting Gas Recirculation</i>
FIFO	<i>First in first out</i>
HMOS	<i>High Performance Metal Oxide Semiconductor</i>
HSI	<i>High Speed Input</i>
HSO	<i>High Speed Output</i>
MAP	<i>Manifold absolute pressure</i>
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i>
P&H	<i>Peak and Hold</i>
PIP	<i>Pick up Ignition Profile</i>
PTC	<i>Positive Temperature Coefficient</i>
RALU	Registrador Lógico Aritmético
TPS	<i>Throttle Position Sensor</i>
UEGO	<i>Universal Exhausting Gas Oxygen</i>

SUMÁRIO

1	Introdução	10
1.1	Objetivos	10
1.2	Resultados Esperados.....	11
1.3	Conteúdo	11
2	Revisão Teórica e Histórica da EEC-IV	12
2.1	Histórico das ECU de EFI.....	12
2.2	Histórico da EEC	14
2.3	Arquitetura da EEC-IV	16
2.3.1	Arquitetura da CPU	16
2.3.2	Entradas e saídas.....	16
2.3.2.1	HSI	17
2.3.2.2	HSO.....	18
2.3.2.3	Conversor A/D.	19
2.3.3	Velocidade de execução	19
2.3.4	Outras funções	20
2.4	EEC-IV Volkswagen Gol 95.	21
2.4.1	Sinais de Entrada da EEC-IV	21
2.4.1.1	Sensores resistivos.....	21
2.4.1.2	Sensor MAP	23
2.4.1.3	Sensor PIP	24
2.4.1.4	Sensor EGO.....	25
2.4.1.5	Outros	27
2.4.2	Sinais de Saída da EEC-IV	27
2.4.2.1	Válvula injetora de combustível.....	28
2.4.2.2	Motor de passo da marcha lenta.....	30
2.4.2.3	Válvula Canister.....	30
2.4.2.4	Ignição mecânica.....	30
2.5	Considerações Finais	31
3	Metodologia.....	32
3.1	HIS	32
3.1.1	Entradas do módulo HIS PW6X.....	32
3.1.1.1	Sensor de temperatura	32
3.1.1.2	Sensor de posição da borboleta.	33
3.1.1.3	Sensor de Pressão do ar admitido.....	35
3.1.1.4	Sensor de rotação	35
3.1.2	Saídas do módulo HIS PW6X	36
3.1.2.1	Sistema de injeção.....	36
3.1.2.2	Sistema de ignição do HIS	36
3.1.2.3	Atuador de marcha lenta	37
3.2	FuelTech	37
3.2.1	Entradas do módulo FuelTech FT250	38

3.2.1.1	Sensor de temperatura do ar admitido.....	38
3.2.1.2	Sensor de temperatura do motor.....	39
3.2.1.3	Sensor MAP e MAF.....	39
3.2.1.4	Sensor de pressão de combustível e óleo.....	39
3.2.1.5	Sensor de posição da borboleta (TPS).....	40
3.2.1.6	Sensor de rotação.....	40
3.2.2	Saídas do módulo FuelTech FT250.....	41
3.2.2.1	Acionamento de Injetores.....	41
3.2.2.2	Acionamento de ignição.....	41
3.2.2.3	Saídas auxiliares.....	41
3.3	MegaSquirt.....	42
3.3.1	Entradas do módulo MegaSquirt-II.....	43
3.3.1.1	Sensor de rotação.....	44
3.3.1.2	Sensor de Oxigênio.....	44
3.3.1.3	Sensor MAP.....	44
3.3.2	Saídas do módulo MegaSquirt-II.....	45
3.3.2.1	Ignição na MegaSquirt-II.....	45
3.4	MoTeC.....	45
3.4.1	Entradas do módulo MoTec M84.....	46
3.4.1.1	Sensores de referência e sincronismo.....	46
3.4.2	Saídas do módulo MoTec M84.....	47
3.4.2.1	Injeção.....	47
3.4.2.2	Ignição.....	47
3.4.3	Outras funções.....	48
3.5	Tabela Comparativa.....	48
3.6	Sugestão de adaptação da HIS no Gol 95.....	49
3.6.1	Sinais da EEC-IV no Gol.....	49
3.6.2	Sinais do HIS.....	51
3.7	Correlação dos sinais.....	52
3.8	Esquema de ligação.....	54
4	Resultados e testes.....	56
4.1	Simulador de sinais de sensores para testar ECUs EEC-IV.....	56
4.1.1	Modificações e melhorias.....	57
4.2	Testes em bancada do Módulo HIS.....	58
4.3	Conceito de Hardware in the Loop (HiL).....	64
5	Conclusão.....	66
5.1	Propostas futuras.....	66
6	Referências.....	68

1 INTRODUÇÃO

No final da década de 1950, notou-se que a qualidade do ar no meio urbano nos Estados Unidos estava sendo prejudicada por conta do aumento de veículos em circulação. Por consequência, em 1970, o Congresso americano aprovou a emenda que criava o programa de controle de emissões de veículos automotores. Esse programa fez com que as empresas precisassem desenvolver novas tecnologias para atender os limites impostos (BERTELSEN, 2001). A partir dessa emenda, surgiram novas leis de apoio ao programa para atualizar os limites de poluentes emitidos pelos veículos ao longo dos anos.

Dentro desse cenário, em 1976, a empresa Ford iniciou um projeto de uma unidade de gerenciamento do motor (*Electronic Control Unit - ECU*) conhecida como EEC-I (*Electronic Engine Control I*), que equipou o modelo Lincoln Versailles 1978. Essa unidade tinha como objetivo gerenciar o sistema de injeção de combustível, ignição e sistema de recirculação dos gases de escape (EGR) (POWERS, 1981) (RIVARD, 1986).

Esse projeto deu origem a família EEC, onde um dos seus membros é destaque neste trabalho, a EEC-IV, que continha um microprocessador e memória projetados especificamente para ela (HAGEN & WILKIE, 1982). Essa unidade controla o gerenciamento do motor do veículo Volkswagen Gol 95 que é utilizada em várias disciplinas no curso de Eletrônica Automotiva da Fatec Santo André.

A nossa motivação surgiu pelo fato da EEC-IV se tratar de uma ECU comercial, onde não há possibilidade de alteração de parâmetros de calibração do motor e leitura das variáveis do programa, o que impede a compreensão do gerenciamento realizado por ele.

1.1 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo comparativo entre ECU's de EFI disponíveis no mercado nacional e compatíveis com o veículo Volkswagen Gol que utiliza originalmente uma unidade Ford EEC-IV. Serão realizados comparativos das funções dos sensores e atuadores utilizados e das vantagens e desvantagens de cada módulo estudado.

A partir desse levantamento, será analisado a ECU que mais se adequa as necessidades do veículo e será proposto um esquema de ligação do módulo escolhido com os sensores e atuadores do veículo em estudo.

1.2 Resultados Esperados

Ao final deste trabalho, espera-se que os estudos feitos a respeito da ECU original instalada no veículo Volkswagen Gol, a EEC-IV, e das EFIs encontradas no mercado brasileiro, permita a criação de uma tabela comparativa entre as opções, a fim de realizar a melhor escolha de um módulo programável.

1.3 Conteúdo

No capítulo 2 será apresentado uma revisão bibliográfica com os principais tópicos sobre injeção eletrônica para compreensão deste trabalho. O capítulo 3 trata da metodologia desenvolvida para execução do projeto. No capítulo 4 serão discutidos os resultados obtidos nos experimentos e no capítulo 5 as conclusões e discussões sobre o projeto.

2 REVISÃO TEÓRICA E HISTÓRICA DA EEC-IV

Neste capítulo são apresentados os conceitos básicos necessários para o desenvolvimento deste trabalho, sendo que na seção 2.1 tem-se um breve histórico das Unidades de Gerenciamento Eletrônico do Motor (*Electronic Control Unit*) ou ECU das EFI (*Electroni Fuel Injection*) ou injeção eletrônica; na seção 2.2 apresenta-se brevemente a história da ECU modelo EEC (*Electronic Engine Control*) da Ford Motor Company. Na seção 2.3 discute-se a arquitetura da EEC-IV aplicado no veículo Volkswagen Gol 1995, ilustrado na figura (1). Além disso, na seção 2.4 será descrito os sinais de entrada e saída utilizados pela EEC-IV no veículo Gol 95. E por fim, no capítulo, estão as considerações finais.

Figura 1- Veículo Volkswagen Gol 95 utilizado no trabalho.



Fonte: Autor.

2.1 Histórico das ECU de EFI

Devido às crescentes exigências das normas regulamentadoras para redução de gases poluentes a indústria automotiva começou a pesquisar e desenvolver métodos que possibilitassem o atendimento dessas normas (MARTINO, 1987). A cronologia abaixo sumariza alguns acontecimentos importantes para evolução dos sistemas eletrônicos de gerenciamento do motor e que tornariam possíveis a redução das

emissões (MARTINO, 1987).

- Em 1971, a empresa BorgWarner Inc. demonstrou que um sistema eletrônico para o controle do fornecimento de combustível, que viria ser conhecido como injeção eletrônica, reduzia as emissões dos gases poluentes. No mesmo ano, a empresa Lucas Automotive of Great Britain desenvolveu um sistema de injeção eletrônica que atendia a Lei U.S. 1974 de emissões de poluentes.
- Em 1972, a empresa Bendix descreveu um sistema de injeção eletrônica utilizando teoria de controle, no ano seguinte, a mesma empresa anuncia o desenvolvimento de um sensor de oxigênio para ser utilizado no sistema em malha fechada de injeção de combustível (MARTINO, 1987).
- Em 1973, a empresa Robert Bosch GmbH desenvolveu seu sistema de injeção de combustível *K-Jetronic*. O controle era realizado através de um sistema mecânico-hidráulico que controlava a pressão no distribuidor de combustível para que a massa de combustível injetada fosse proporcional em relação a massa de ar admitida pelo motor. O sistema utilizava um corpo de borboleta para controle da massa de ar admitida. Em 1976, o sistema K-Jetronic se tornaria o primeiro a implantar um controle de lambda em malha fechada (Robert Bosch GmbH, 2000).
- Em 1974, um estudo realizado por Joseph Lucas Ltd. demonstrou que o desempenho do sistema de ignição automotivo, incluindo os que utilizavam transistores ao invés de platinado, é limitado pelo desempenho inadequado dos componentes mecânicos do sistema, sendo necessário reduzir a sofisticação mecânica do sistema e aumentar a sofisticação da parte eletrônica (MARTINO, 1987). No mesmo ano, a Ford Motor Company equipou seus motores 400 CID (*Cubic Inch Displacement*) e 460 CID com um sistema de ignição transistorizado.
- Em 1975, a Chrysler desenvolveu um sistema de injeção eletrônica que utilizava componentes analógicos para controlar a injeção de combustível e assim alcançar uma taxa estequiométrica de 18:1. Esse sistema atendia as especificações federais para emissões de óxidos de nitrogênio (NOx) sem utilizar conversor catalítico ou bomba de ar. No ano seguinte, o sistema foi aprimorado para realizar a medição dos seguintes parâmetros: posição do prato da válvula borboleta, taxa de variação do prato da válvula borboleta, temperatura do ar, rotação do motor, posição angular do motor e carga do motor. Com os dados desses parâmetros, os sistemas atuavam no avanço de ignição, além do controle de injeção de combustível (MARTINO, 1987).

- Segundo a Ford, em 1978, a maior parte do custo em sistemas de gerenciamento e controle do motor estava relacionado aos sensores e atuadores (HAGEN & WILKIE, 1982). Em 1979, a Ford equipou seus modelos *Mercury*, *Marquis* e *Califórnia* com um motor V8 de 5.8L e a unidade de injeção eletrônica denominada EEC-II. A EEC-II combinava o controle de avanço de ignição e da válvula EGR (*Exhausting Gas Recirculation*), originalmente implantados na EEC-I, juntamente com um controle em malha fechada da mistura ar-combustível.
- Em 1979, o sistema Monotronic da empresa Robert Bosch *GmbH* foi introduzido no mercado e se tornou a primeira injeção eletrônica que utilizava microprocessador para o gerenciamento do motor e que permitia o controle do avanço de ignição através de mapas armazenados na memória do dispositivo (MARTINO, 1987).
- Em 1980, a American Microsystems desenvolveu um microprocessador para aplicação específicas no gerenciamento do motor de automóveis e foi concebido para trabalhar nas condições de temperatura e vibração existentes em um automóvel, além de ter um custo de produção razoável (MARTINO, 1987).
- Também em 1980, a Fuji desenvolveu um sistema que utilizava microprocessador para cálculo do avanço de ignição e tempo de carga da bobina de ignição. O sistema utilizava bobina dupla que produziam centelhas em dois cilindros ao mesmo tempo e que continham diodos de alta tensão, ao invés de utilizar distribuidores. Nos testes o sistema obteve uma redução de 3,4% no consumo de combustível (MARTINO, 1987).
- Em 1985, a Motorola Inc. otimizou os microprocessadores da família MC6805 para aplicação automotiva. Um dos modelos MC6805S2 possuía dois temporizadores que o tornava ideal para controle de ignição. Já o modelo MC6805K2 possuía memória EEPROM que podia ser utilizada para armazenar dados para controle adaptativo (MARTINO, 1987).

2.2 Histórico da EEC

O desenvolvimento das unidades de gerenciamento da família EEC iniciou-se em 1976 com a EEC-I, que continha sete sensores e gerenciava o sistema de injeção de combustível, controlava o avanço de ignição e o fluxo do EGR. Em 1978, esse módulo foi utilizado no modelo Lincoln Versailles (RIVARD, 1986) (POWERS, 1981). A EEC-II, por sua vez, controlava a mistura ar combustível em malha fechada, além de conter as mesmas funções de sua antecessora (MARTINO, 1987) (POWERS, 1981).

A EEC-III controlava eletronicamente o avanço de ignição, recirculação dos gases de escape, controle das emissões evaporativas através da válvula de *canister* e a injeção de combustível (MARTINO, 1987).

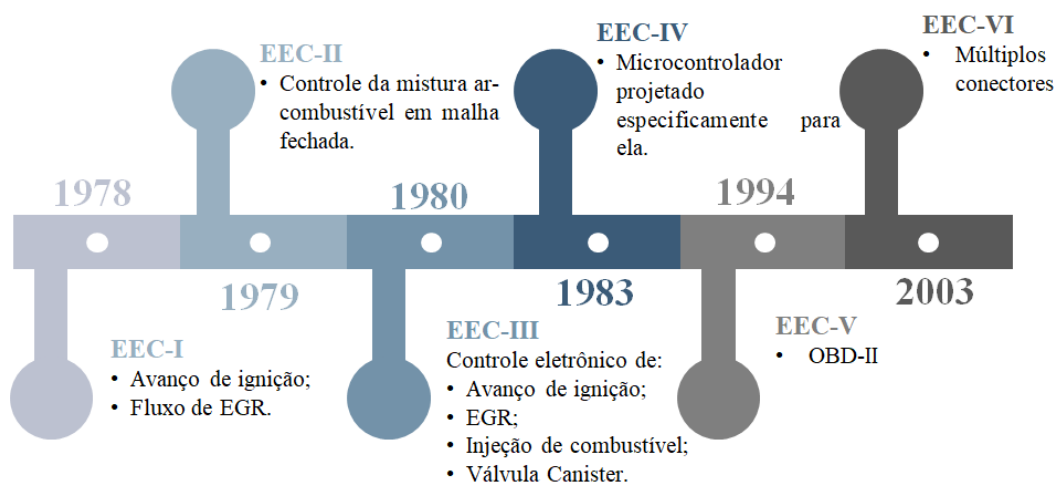
EEC-IV, a quarta geração da família EEC, foi desenvolvida com o objetivo de projetar uma ECU que pudesse atender diferentes modelos de veículos, permitindo que eles cumprissem as futuras legislações federais e do estado da Califórnia relacionadas com a emissão de gases poluentes e que especificava uma emissão máxima de 0,4 gramas de NOx (óxidos de nitrogênio) por milha. Esse limite era medido durante os testes de emissão em ciclo metropolitano quente e frio (HAGEN & WILKIE, 1982).

Para isso os engenheiros da Ford especificaram características que a unidade microprocessada deveria possuir, tais como: processamento de sinais de entrada e saída, leitura de sinais analógicos com alta resolução, *hardware* múltiplos e com funções divididas, interrupções com níveis de prioridade, *watchdog timer*, tipos de dados variáveis (*bit*, *byte*, *word*), arquitetura de *software* otimizado e alta capacidade de endereçamento de memória com o menor tempo possível de acesso a memória externa (HAGEN & WILKIE, 1982).

Com essas características na EEC-IV foi possível para a ECU, dentro de um intervalo de 2,5 milissegundos ou menos, interpretar todos os parâmetros de entrada e saída relativos ao avanço de ignição, EGR e calcular o tempo de controle dos injetores de combustível (HAGEN & WILKIE, 1982).

A figura (2), ilustra uma breve linha do tempo das gerações da EEC, assim como as principais funções adicionadas em cada geração.

Figura 2 – Linha do tempo das gerações da EEC.



Fonte: Autor.

2.3 Arquitetura da EEC-IV

O aspecto financeiro também tinha grande relevância na construção da EEC-IV, por isso, foi necessário decidir entre a utilização de um microprocessador comercial ou de um elaborado pela própria empresa. Apesar dos modelos comerciais serem mais viáveis financeiramente, nenhum dos modelos atendia os planos da Ford. Ela, por sua vez, já tinha desenvolvido internamente o conceito para processamento de sinais digitais de entrada e saída, de maneira que atendesse as necessidades da EEC-IV (HAGEN & WILKIE, 1982).

Dessa forma, a Ford e a Intel se juntaram para projetar um microprocessador de 16 *bits* conhecido como 8061 e da memória 8361. Os dois *chips* foram desenvolvidos com a tecnologia HMOS (*High performance Metal Oxide Semiconductor*). Essa tecnologia permitiu ao EEC-IV possuir características que atendiam as suas necessidades (HAGEN & WILKIE, 1982).

2.3.1 Arquitetura da CPU

O processador principal 8061 continha as seguintes funções internamente: registrador de dados, Registrador Lógico Aritmético (RALU) e um registrador de instruções.

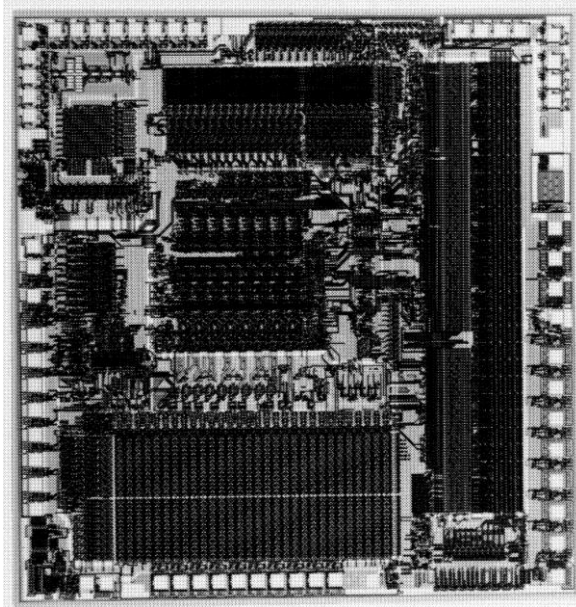
O registrador de dados gerenciava a alocação dos dados e o endereçamento das memórias durante a execução do programa. O RALU realizava operações lógicas e aritméticas do programa. Uma inovação do RALU da EEC-IV é que ele não utilizava o acumulador durante o processamento dos dados, podendo acessar diretamente no registrador de dados. Isto resultou em uma melhoria em relação ao tamanho dos códigos das instruções e tempo de execução. O registrador de instruções era responsável por interpretar o código das instruções e para execução do programa (HAGEN & WILKIE, 1982).

2.3.2 Entradas e saídas

A o microprocessador 8061, ilustrado na figura (3), possui um sistema de entradas e saídas com 28 pinos distribuídos nas seguintes funções:

- Oito entradas de alta velocidade (HSI – *High Speed Input*).
- Dez saídas de alta velocidade (HSO – *High Speed Output*).
- Oito saídas de baixa velocidade.
- Dois canais bidirecionais.

Figura 3 - Vista interna do microcontrolador 8061.



Fonte: Extraído de (Intel, 2018).

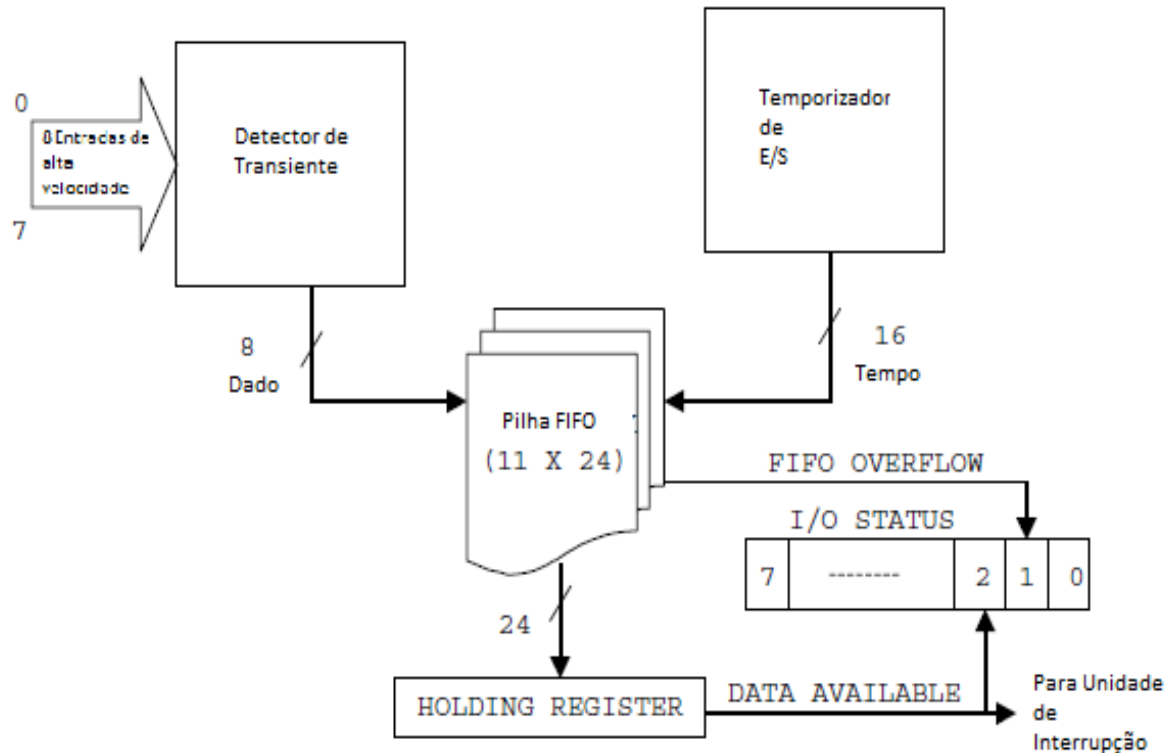
Além disso, contava também com um conversor A/D (*Analog to Digital*) com resolução de conversão de 10 *bits* e 13 entradas analógicas que multiplexadas (HAGEN & WILKIE, 1982).

2.3.2.1 HSI

Para atender as necessidades de processamento com velocidade dos sinais de entrada, a EEC-IV contava com um coprocessador para gerenciamento dos sinais HSI, onde um registrador do tipo FIFO (*First in First Out*) de 11 níveis gerenciava as entradas HSI (HAGEN & WILKIE, 1982). A figura (4) ilustra o funcionamento das entradas tipo HIS.

Quando uma transição de nível acontece em uma das HSI, o registrador armazena a informação do tipo de transiente e o momento do evento no registrador FIFO e a disponibiliza para leitura do processador principal. O coprocessador também pode gerar uma interrupção para o processador principal por dois mecanismos: primeiro quando ocorre a primeira escrita no registrador FIFO ou quando a próxima entrada for sobrescrever o dado mais antigo (HAGEN & WILKIE, 1982). Esse sistema libera o núcleo do processador central da tarefa de gerenciar as interrupções que vem de várias fontes externas.

Figura 4 - Estrutura da entrada HSI.

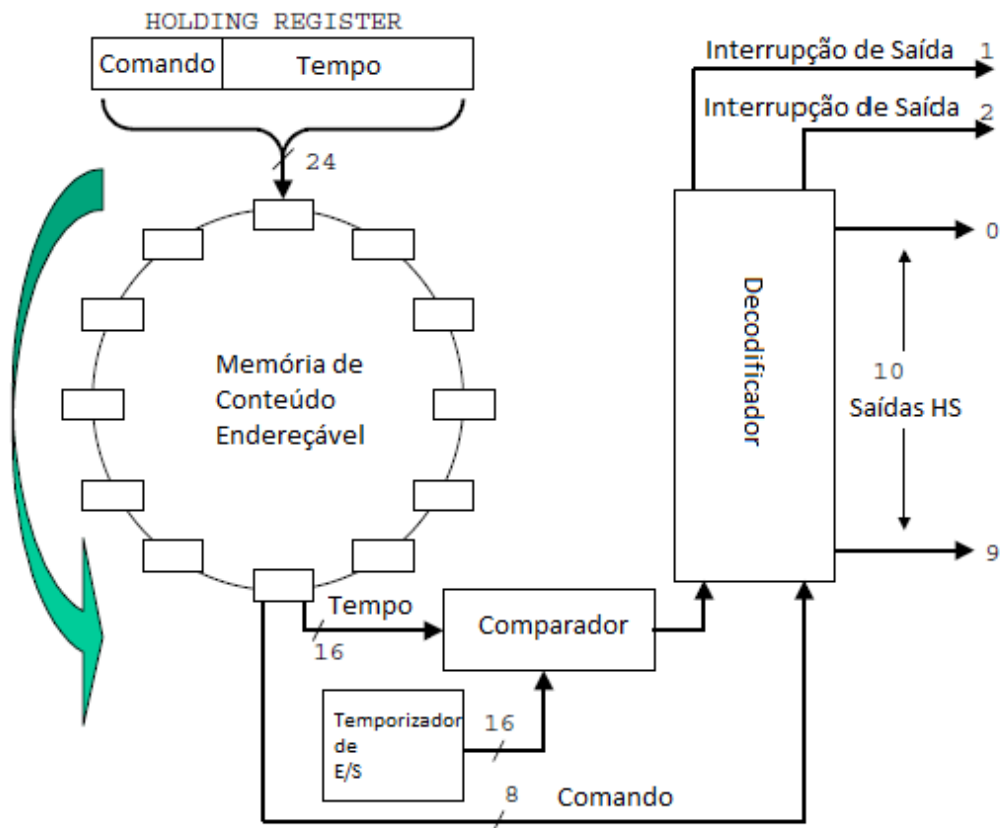


Fonte: Adaptado de (HAGEN & WILKIE, 1982).

2.3.2.2 HSO

No caso do processamento para os sinais de saída, o 8061 utiliza um coprocessador que contém uma memória de conteúdo endereçável ou *Content Addressable Memory* (CAM) de 12 níveis, onde cada nível possui 24 bits, sendo 16 deles responsáveis por armazenar o tempo que o comando deve ocorrer e 8 bits que especificam o nível lógico que a saída HSO deve assumir. Como visto na figura (5), o tempo contido em cada nível do CAM é comparado com o temporizador de saída. Quando o tempo de um nível do CAM for atingido seu conteúdo é enviado a um decodificador que altera o nível lógico da saída solicitada (HAGEN & WILKIE, 1982).

Figura 5 - Estrutura da saída HSO.



Fonte: Adaptado de (HAGEN & WILKIE, 1982).

2.3.2.3 Conversor A/D.

O conversor A/D implementado no 8061 representava uma conquista tecnológica significativa, uma vez que, microcontroladores anteriores somente haviam implementado conversores A/D de 8 bits. O conversor do 8061 precisava ter resolução de 10 bits, ocupando uma área um pouco maior do que os conversores de 8 bits. A solução encontrada pela Intel foi implementar um uma rede de resistores de 8 bits (256 resistores) com interpolação capacitiva de 2 bits. Essa solução aumentava a área do conversor ligeiramente, se comparada a área de um conversor que utiliza uma rede de resistores de 10 bits (HAGEN & WILKIE, 1982).

2.3.3 Velocidade de execução

Além do processamento dos sinais de entrada e saída de maneira mais eficiente, outros fatores contribuíram para que a EEC-IV atendesse os tempos necessários de execução. Entre esses fatores, estava a organização das memórias interna e externa, onde o 8061 poderia endereçar até 64 mil posições, sendo as 256 primeiras usadas para alocar os dados mais

utilizados para que fossem acessados rapidamente. Todas as outras posições estavam contidas na memória externa 8361 (HAGEN & WILKIE, 1982).

Duas implementações permitiram que o acesso a dados na memória externa 8361 fossem realizados sem comprometer a velocidade de execução: a primeira foi o chaveamento dos dados de endereçamento e de dados através do barramento de acesso a memória externa (M-bus) e o segundo foi a implementação de um contador de programa no 8361. Essa função permitia que o 8061 somente precisasse enviar o endereçamento para a 8361 em dois casos: na inicialização do programa ou quando ocorresse uma instrução de salto (HAGEN & WILKIE, 1982).

2.3.4 Outras funções

Outras funções relacionadas ao 8061 são: o gerador de frequência, o *Watchdog timer* e o gerenciamento de interrupções. O circuito gerador de frequência possui um oscilador interno que trabalha com um cristal externo que pode ser de 7,5MHz ou de 15MHz. Internamente, a frequência do cristal é dividida por 3 para gerar um sinal com *duty cycle* de 33%. O tempo base da CPU é dado como três vezes o período do oscilador, como ilustrado na equação (1) (HAGEN & WILKIE, 1982).

$$tb = \left(\frac{1}{F_{cristal}} \right) \times 3 \quad (s) \quad (1)$$

Então uma EEC-IV equipada com um cristal de 15MHz iria ter um tempo base de 200ns.

O *Watchdog timer* é um temporizador de 16 *bits* que incrementa com base no tempo da CPU. Ele conta até 65535 e depois estoura e reinicializa o sistema. No caso de um *software* programado de maneira adequada, ele reinicializa a contagem do *Watchdog timer* periodicamente a fim de nunca estourar. Caso ocorresse um travamento no programa o *Watchdog timer* irá estourar e interromperá a CPU. Sendo assim, o *Watchdog timer* é um módulo de segurança para o sistema.

O gerenciamento de interrupções gera uma interrupção no processador a partir de 8 fontes que podem ser desabilitadas individualmente, além de poder definir prioridades para as interrupções para resolver conflitos quando mais de uma interrupção ocorre no mesmo instante (HAGEN & WILKIE, 1982).

2.4 EEC-IV Volkswagen Gol 95.

Nesta seção será discutido como a EEC-IV foi instalada no veículo Volkswagen Gol 95, sendo detalhado quais são os sinais de entrada lidos pela unidade e quais atuadores a unidade aciona. As informações desta seção se fundamentam na análise do esquema elétrico do veículo e no trabalho de (DE SOUZA, 2013).

2.4.1 Sinais de Entrada da EEC-IV

Os sinais de entrada são utilizados pela ECU para calcular os parâmetros de saída. No caso da EEC-IV, os sinais de entrada que são utilizados no Gol 95 e suas funções são ilustrados de forma resumida na tabela (1) a seguir:

Tabela 1 - Sinais de Entrada.

Sensor	Significado	Função
ACT	<i>Air Charge Temperature</i>	Sensor de temperatura do ar.
ECT	<i>Engine Coolant Temperature</i>	Sensor temperatura do liquido de arrefecimento.
EGO	<i>Exhausting Gas Oxigen</i>	Sensor de oxigênio.
FPM	<i>Fuel Pump Monitor</i>	Monitor da bomba de combustível.
IDM	<i>Ignition Diagnostic Monitor</i>	Monitor de diagnóstico de ignição.
MAP	<i>Manifold Air Pressure</i>	Sensor de pressão absoluta.
PIP	<i>Pick-up Ignition Profile</i>	Sensor de rotação do motor.
PSPS	<i>Power Steering Pressure Switch</i>	Interruptor de pressão de direção.
SPOUT	<i>Spark Output Signal</i>	Sinal de tempo de disparo de ignição.
TPS	<i>Throtle Position Sensor</i>	Sensor de posição da borboleta.
VSS	<i>Velocity Speed Sensor</i>	Sensor de velocidade do veículo.

Fonte: Adaptado de (de Souza, 2013).

2.4.1.1 Sensores resistivos

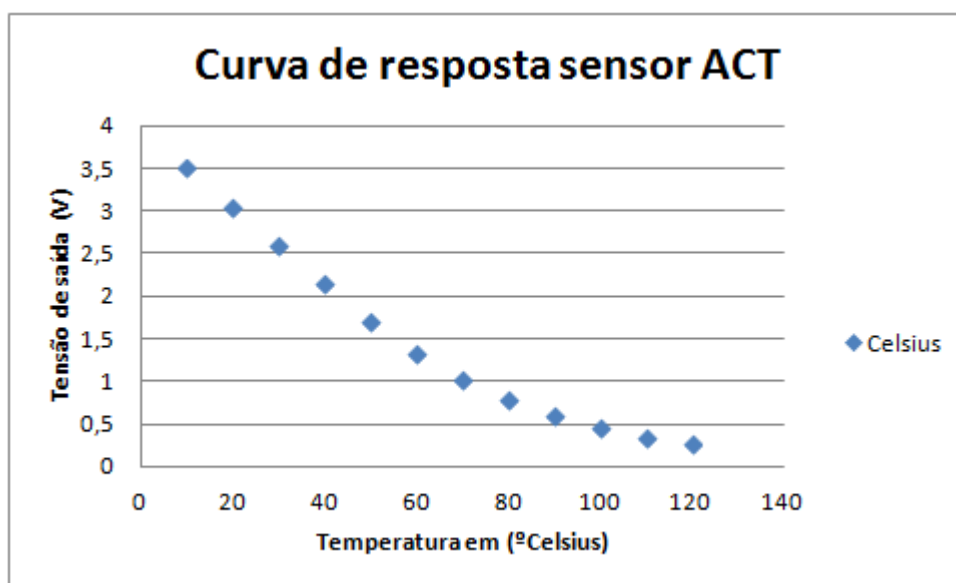
O sensor de temperatura do motor (ECT), sensor de temperatura do ar (ACT) e o sensor da posição da borboleta (TPS), são sensores que variam a sua resistência de acordo com a mudança de uma grandeza física.

Os sensores utilizados para se medir a temperatura são termistores. Os termistores pode ser tanto de coeficiente positivo de temperatura *PTC* (*Positive Temperature Sensor*) ou de coeficiente negativo de temperatura *NTC* (*Negative Temperature Sensor*). O coeficiente define como varia resistência em função da temperatura. Assim, na utilização de termistores de coeficiente negativo quanto maior for à temperatura, menor será o valor da sua resistência ôhmica (DE SOUZA, 2013).

O sensor ECT é um sensor do tipo NTC, instalado junto ao radiador do líquido de arrefecimento do motor. O dado proveniente do sensor é utilizado para correção dos parâmetros quando o motor se encontra frio, em aquecimento ou quente.

O sensor ACT é instalado juntamente com o sensor MAP e informa para EEC-IV a temperatura do ar admitido para que possa estimar a massa de ar que foi admitida. O gráfico (1) ilustra a curva de resposta do sensor (DE SOUZA, 2013). Como a resposta do sensor é não linear, como pode ser observado através do gráfico 1 e dos pontos da tabela (2), sempre será necessário ajustar a curva da relação temperatura×tensão de modo a torna-la linear.

Gráfico 1 - Curva de resposta sensor ACT EEC-IV.



Fonte: Adaptado de (KITANI, 2017).

Tabela 2 - Resposta sensor ACT.

Fahrenheit	Celsius	Volts
50	10	3,52
68	20	3,06
86	30	2,62
104	40	2,16
122	50	1,72
140	60	1,35
158	70	1,04
176	80	0,8
194	90	0,61
212	100	0,47
230	110	0,36
248	120	0,28

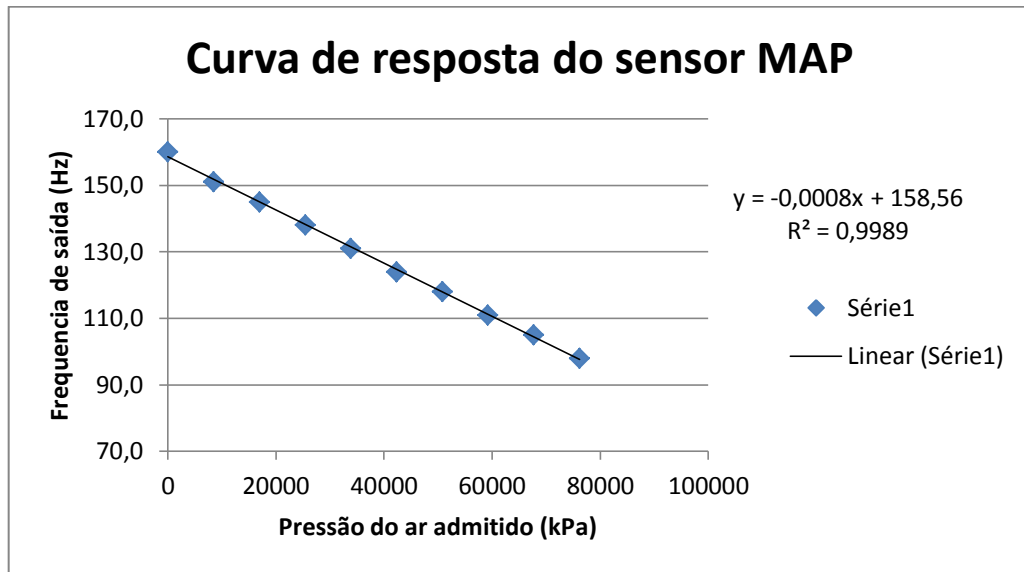
Fonte: Adaptado de (KITANI, 2017).

O sensor TPS é um potenciômetro que é acoplado no eixo de atuação da válvula borboleta. Sua função é informar para a EEC-IV a posição em que se encontra a válvula borboleta bem como informação sobre a taxa de variação da abertura da válvula borboleta. A medida da taxa de variação da borboleta auxilia as ECU de EFI a determinarem o fator de aceleração e um aumento na quantidade de combustível quando o motorista decide acelerar o veículo (DE SOUZA, 2013).

2.4.1.2 Sensor MAP

O sensor de pressão absoluta MAP informa para a EEC-IV o valor da pressão do ar admitido. O veículo Volkswagen Gol 95 é equipado com um sensor MAP do tipo capacitivo, que tem como resposta um sinal de onda quadrada, na qual a frequência é proporcional a pressão na entrada do ar (DE SOUZA, 2013). A frequência do sinal de saída em relação a pressão do ar é ilustrada pelo gráfico (2).

Gráfico 2 - Curva de resposta sensor MAP.



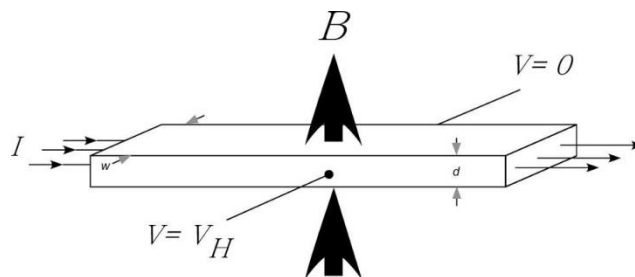
Fonte: Adaptado de (KITANI, 2017).

2.4.1.3 Sensor PIP

O sensor de rotação do motor PIP é responsável por informar para a EEC-IV os seguintes parâmetros: rotação e posição angular do motor.

O PIP utiliza um sensor do tipo Hall instalado no distribuidor de ignição. O efeito Hall é gerado quando um campo magnético transversal B atravessa uma placa condutora, normalmente construída de uma lâmina semicondutora de espessura d , e percorrido por uma corrente I . O surgimento de um campo magnético perpendicular produz um desvio da corrente elétrica para um dos lados da placa, gerando uma diferença de potencial V_H (tensão Hall) em direção perpendicular, tanto da corrente I quanto ao campo magnético (Robert Bosch GmbH, 2005) (MILHOR, 2002). A figura (6) ilustra um elemento Hall submetido a um campo magnético B .

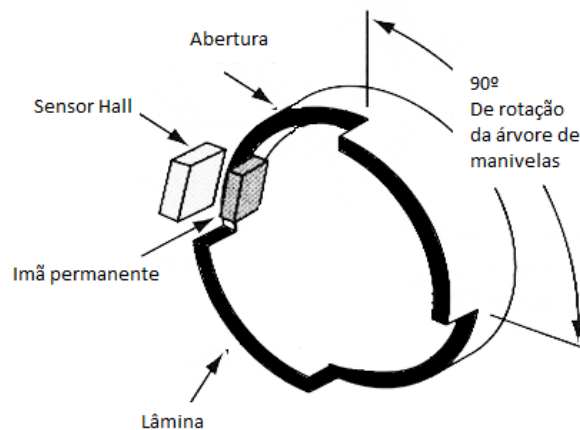
Figura 6 - Princípio do efeito Hall.



Fonte: Extraído de (MILHOR, 2002).

O corpo do distribuidor de ignição possui aberturas simétricas e um ímã permanente internamente como ilustrado na figura (7). O corpo do distribuidor está rodando em seu próprio eixo e as aberturas passam entre o sensor e o ímã permanente dando origem a uma tensão no sensor Hall. Quando o corpo do distribuidor se encontra entre o sensor e o ímã permanente, a tensão do sensor é de zero volts (MILHOR, 2002).

Figura 7 - Esquemático sensor PIP.



Fonte: Adaptado de (HATCH, 2012).

O sinal gerado por esse dispositivo pode ser visto na figura (8), sendo que a sua frequência é linearmente proporcional à rotação do motor. O ciclo de trabalho é fixo e determinado pelo espaço entre as lâminas de bloqueio. O V_{pp} é tensão pico a pico na saída do amplificador de saída do circuito condicionador da tensão Hall, e é próxima da tensão de alimentação do dispositivo (12V).

Figura 8 - Sinal gerado pelo sensor de efeito Hall.



Fonte: Extraído (BONNICK, 2001).

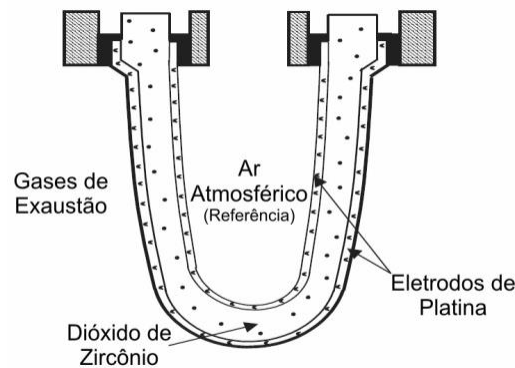
2.4.1.4 Sensor EGO

O sensor de oxigênio EGO (*Exhausting Gas Oxigen*) é responsável por informar a EEC-IV a quantidade de oxigênio presente no gás de escape em relação ao oxigênio contido no ar atmosférico, a fim de determinar se a mistura está rica ou pobre. O estado da mistura é definido pelo fator λ , segundo a equação (2).

$$\lambda = \left[\frac{\left(\frac{\text{massa de ar ideal}}{\text{massa de combustível ideal}} \right)}{\left(\frac{\text{massa de ar real}}{\text{massa de combustível real}} \right)} \right] \quad (2)$$

Quando o fator $\lambda < 1$ significa que a mistura é considerada rica, quando $\lambda > 1$ a mistura é considerada pobre e quando $\lambda = 1$ a mistura é considerada estequiométrica. Esse sensor trabalha através do princípio da difusão de oxigênio de através do Óxido de Zircônio (ZrO_2). Quando adicionamos Óxido de ítrio (Y_2O_3), em concentração adequadas, faz com que o Óxido de Zircônio se torne um eletrólito solido condutor de íons de oxigênio. Então, dois eletrodos de platina são inseridos nos dois lados do material. A diferença de potencial entre esses eletrodos é proporcional a diferença de concentração de oxigênio através do eletrólito (LEE, 2003). Normalmente, o sensor é instalado no tubo de escape do veículo sendo que um eletrodo fica em contato com os gases de escape e o outro fica em contato com o ar atmosférico como representado pela figura (9).

Figura 9 - Sensor de oxigênio EGO de dióxido de zircônio.



Fonte: Extraído de (BRAGA, 2007).

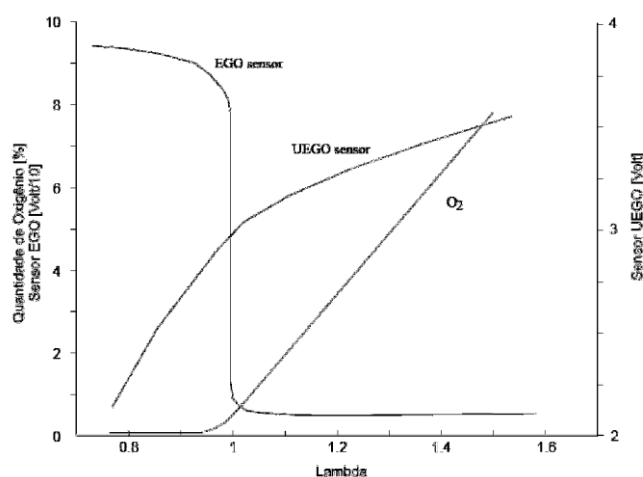
A tensão entre os eletrodos pode ser então definida através da equação (3).

$$V = t_{ion} \frac{RT}{4F} \ln \left(\frac{P_{O_2ar}}{P_{O_2}} \right) \quad (V) \quad (3)$$

onde t_{ion} é o número de transferência iônica, T é a temperatura absoluta em Kelvin, R é a constante universal dos gases ($8.314 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$), F é a constante de Faraday ($96.485 C \cdot mol^{-1}$), P_{O_2ar} é a pressão parcial de oxigênio de referência e P_{O_2} é a pressão parcial do oxigênio medida. Essa equação também é conhecida como Equação de *Nerst* (LEE, 2003).

Quando a mistura ar/ combustível está rica há uma baixa concentração de oxigênio nos gases de escape, gerando uma grande diferença de concentração de O_2 em relação ao ar atmosférico. Com isso, o sensor gera uma tensão de saída em torno 900 mV. Já no caso da mistura pobre ocorre o contrário. A concentração de O_2 é maior e próxima da do ar atmosférico, o que faz o sensor gerar uma tensão de saída é de 100 mV. Para uma condição estequiométrica a tensão entre os eletrodos deve estar em torno 450 mV, mas essa tensão pode variar rapidamente quando a misturas e torna rica ou pobre. A figura (10) compara a resposta de um sensor EGO e *Universal Exhaust Gas Oxygen Sensor* ou UEGO também conhecido como sensor lambda de banda larga (BRAGA, 2007).

Figura 10 - Curvas características dos sensores de oxigênio EGO e UEGO e concentração de oxigênio na exaustão.



Fonte: Extraído (BRAGA, 2007).

2.4.1.5 Outros

Outros sinais lidos pela EEC-IV de menor importância são o sensor de velocidade do veículo (VSS), sinal da chave de ignição, monitor da bomba de combustível e interruptor de pressão de direção.

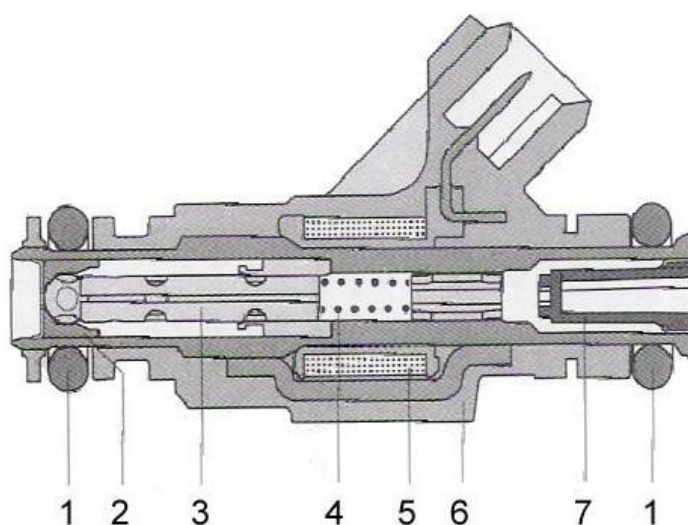
2.4.2 Sinais de Saída da EEC-IV

Os atuadores que a EEC-IV controla no veículo Volkswagen Gol 95 são válvula injetora de combustível, motor de passo de marcha lenta, EGR, relé da bomba de combustível e válvula do filtro de carvão ativado. Esses atuadores serão discutidos na próxima subseção.

2.4.2.1 Válvula injetora de combustível

As válvulas injetoras são válvulas eletromagnéticas ou solenóides pelas quais passa o combustível pressurizado (ANDREOLI, 2009). A pressão do combustível é controlada por um regulador de pressão e a quantidade de combustível injetada é determinada pelo período em que a válvula está aberta (BRAGA, 2007). A válvula é operada eletronicamente obtendo-se uma precisão na quantidade de combustível fornecida para a mistura.

Figura 11 - Vista em corte de uma válvula de injeção Bosch EV5 e os respectivos componentes internos.



Válvula injetora EV6 (exemplo)

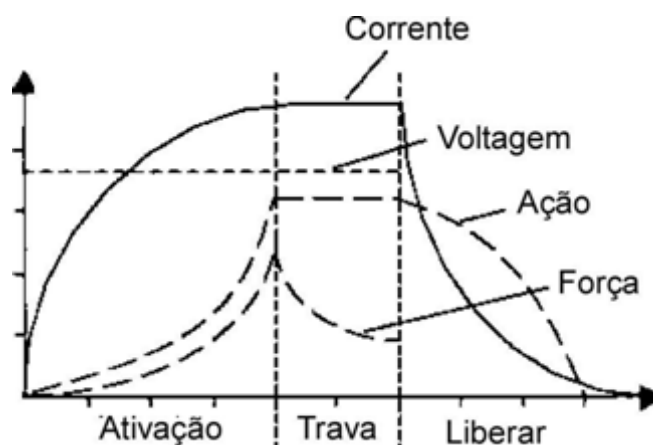
- 1 anéis (O-ring)
- 2 assento da válvula com placa de furos
- 3 válvula da agulha com induzido magnético
- 4 mola
- 5 bobina indutora
- 6 carcaça da válvula com conexão elétrica
- 7 peneira de filtro

Fonte: Extraído (Robert Bosch GmbH, 2005).

Esses injetores são fabricados com elevada precisão. Como podemos ver na figura (11), uma válvula injetora é formada por um corpo que tem no seu interior uma agulha presa a um induzido magnético. Essa mesma agulha do outro lado obtura um pequeno orifício. Quando a bobina, que está no interior do invólucro, é energizada o embolo magnético é atraído e a válvula se abre comprimindo uma mola de retorno. O combustível sob pressão é aplicado na entrada da válvula, e que permanece fechada até que o curso do êmbolo seja iniciado, produzindo um fino spray na abertura de sua saída (DENTOM, 2004) (GONÇALVES, 2004).

Como já citado anteriormente, as válvulas injetoras são solenóides e sendo assim, sua operação é muito simples. Quando a válvula injetora é acionada o seu curso de abertura será em torno de 0,1mm. O período em que uma válvula injetora permanece aberta é muito pequeno, entre 1,5 ms a 10 ms, tipicamente. O tempo de reação de um dispositivo acionado por um solenóide, como válvula injetora, depende muito da indutância do enrolamento. A figura (12) mostra um gráfico de vários parâmetros que determinam ação dos atuadores acionados por solenóides.

Figura 12 - Curva de resposta dos atuadores eletromecânicos formados por solenóides.



Fonte: Extraído de (DENTOM, 2004).

A relação da corrente em função da indutância e resistência da bobina é dada pela equação (4).

$$i = \frac{V}{R} \left(1 - e^{\left(\frac{-Rt}{L} \right)} \right) \quad (4)$$

onde i é a corrente instantânea no enrolamento, V é a tensão de alimentação em Volts, R é a resistência total do circuito em Ω (Ohm), L a indutância do enrolamento da válvula injetora H (Henry) e t o tempo de duração da corrente em segundos.

O sistema de injeção utilizado no veículo Volkswagen Gol 95 é um sistema do tipo monoponto que se caracteriza por utilizar apenas uma válvula injetora para fornecer o combustível para os quatro cilindros do motor. Essa válvula injetora é posicionada antes da válvula borboleta. A válvula injetora deste tipo de sistema apresenta baixa impedância, consequentemente o seu tempo de carga para acionamento é menor. Isso é necessário porque a válvula terá que abrir quatro vezes em um ciclo de rotação do motor, exigindo alta velocidade de comutação (DE SOUZA, 2013).

2.4.2.2 Motor de passo da marcha lenta

O motor de passo da marcha lenta tem a função de corrigir a massa de ar admitida durante a fase da marcha lenta. O motor de passo controla a passagem de ar que circula pelo *by-pass* principal de ar que é controlado pela abertura da válvula borboleta acionado pelo pedal. Dessa forma, o motor de passo da marcha lenta é a única maneira que a EEC-IV tem para atuar sobre a massa de ar admitida. Ele também atua em condições de desaceleração a fim de não permitir que a massa de ar admitida pelo motor seja diminuída de maneira brusca. Essa estratégia é conhecida como *dashpot* (DE SOUZA, 2013).

2.4.2.3 Válvula Canister

Uma das funções da EEC-IV, é controlar a atuação da válvula canister, que tem como objetivo controlar a recirculação dos gases do tanque para o sistema de admissão, ajudando assim a EEC-IV a atender as legislações de emissões relacionadas a emissão evaporativa (HC). Fundamentalmente, na recirculação, parte dos gases que são acumulados no cárter retornam para serem queimados. Existem também o retorno de parte dos gases de exaustão que retornam para ajudar a reduzir a temperatura do motor e prevenir a segunda detonação (DE SOUZA, 2013).

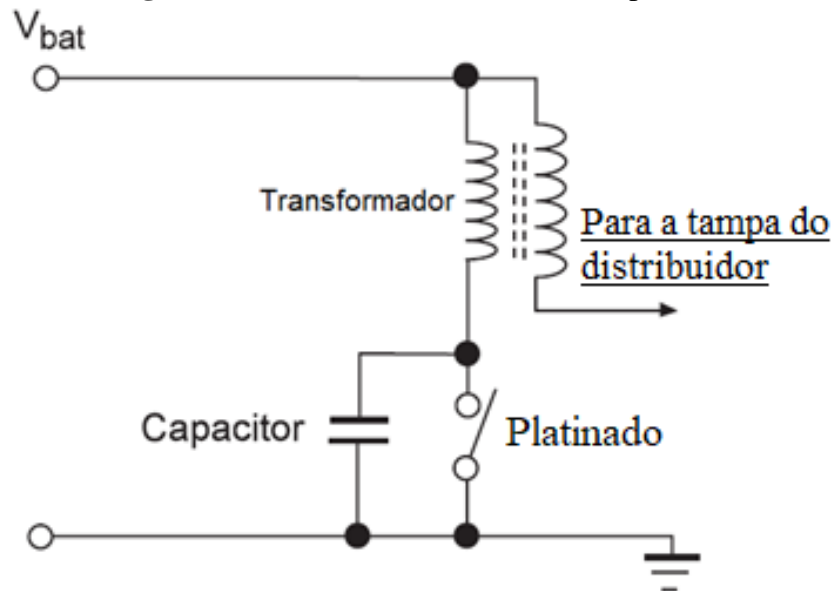
2.4.2.4 Ignição mecânica

O sistema de ignição mecânica é composto pelos seguintes componentes: transformador de ignição, vela e distribuidor.

O distribuidor está acoplado e sincronizado com o giro do motor, ou seja, conforme o motor gira o platinado fecha os contatos entre o primário do transformador à terra, permitindo a circulação de corrente pelo circuito e conseqüentemente o carregamento da bobina. Este ponto deve coincidir com a fase de compressão do cilindro que vai receber a centelha. À medida que o distribuidor continua a girar, eventualmente o contato do platinado irá se abrir e neste momento a tensão contra eletromotriz será induzida no secundário multiplicada pela relação do transformador alcançando uma tensão suficiente para se quebrar resistência dielétrica da mistura ar/combustível dentro da câmara de combustão, e fornecendo a centelha para o início do processo da queima da mistura. Este ponto da descarga da centelha deve corresponder a posição angular do motor onde há a maior transferência de torque da combustão para o motor (Melito, 1999). A figura (13) ilustra o esquema elétrico do sistema,

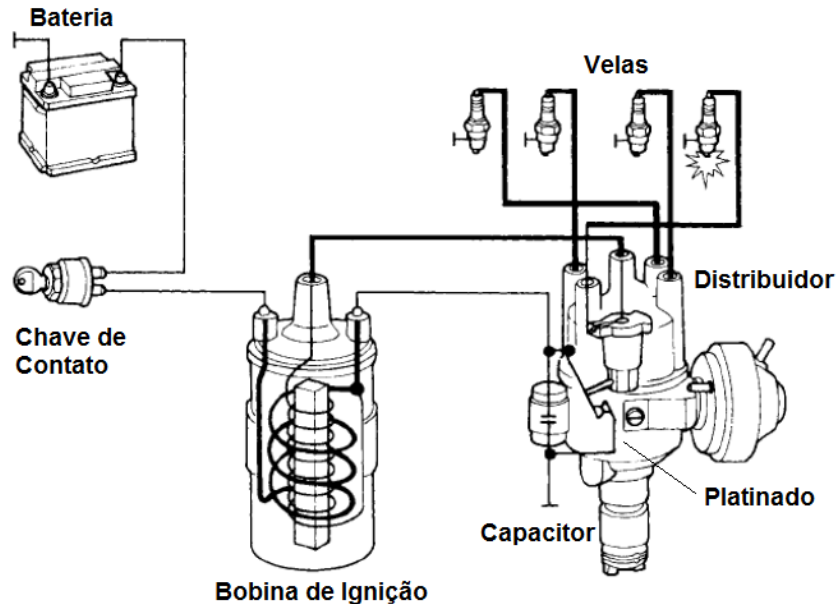
enquanto a figura (14) ilustra um esquemático detalhando cada componente do sistema deste tipo.

Figura 13 – Sistema com distribuidor e platinado.



Fonte: Adaptado de (Melito, 1999).

Figura 14 – Esquemático de uma ignição mecânica.



Fonte: Extraído de Notas de Aulas do Prof. Edson Kitani (2016).

2.5 Considerações Finais

Neste capítulo foi realizado a revisão bibliográfica da arquitetura eletrônica da unidade de gerenciamento EEC-IV e como ela é aplicada ao veículo Volkswagen Gol 95. O conteúdo desta seção é de plena importância para o desenvolvimento e compreensão das seções seguintes.

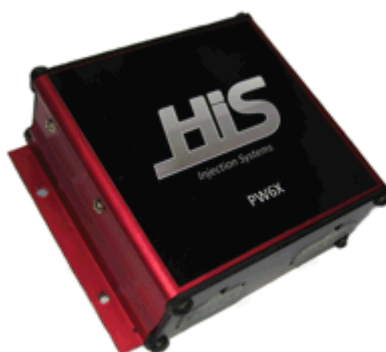
3 METODOLOGIA.

Nesta seção será discutida as diversas EFIs encontradas no mercado nacional, detalhando suas características, funções, configurações e relatando comparações entre elas e a EEC-IV.

3.1 HIS

HIS PW6X é uma ECU, ilustrada pela figura (15), desenvolvida pela empresa nacional HIS Injection System fundada em 1997. Esse módulo é utilizado para modificações em veículos de competição profissionais, sendo utilizado com o *software HISwinXV* para ajustar os parâmetros em tempo real e fazer a leitura da configuração atual da ECU (HIS Injection Systems, 2016).

Figura 15 – HIS PW6X.



Fonte: Extraído de (HIS Injection Systems , 2008).

Nesta seção serão discutidas as entradas e saídas do módulo HIS modelo PW6X discutindo-se brevemente a descrição de suas funções e configurações.

3.1.1 Entradas do módulo HIS PW6X

O PW6X foi projetado para ser usado em diferentes veículos e configurações. Em função disso, existe um conjunto de entrada que recebem os principais sinais de sensores de um veículo.

3.1.1.1 Sensor de temperatura

O módulo HIS faz conexão com os sensores de temperatura de água e temperatura de ar. O módulo é compatível com sensores instalados em alguns modelos de veículos, entre eles o automóvel Volkswagen Gol 95, usado neste trabalho. Além disso, para o sensor de temperatura de água é sugerido pela HIS que se utilize o sensor MTE 4053 (Iguaçu 802) e

para o sensor de temperatura do ar, o sensor MTE 5053 (Iguaçu 901). A informação do sensor de temperatura é utilizada na estratégia de enriquecimento após partida (HIS Injection Systems , 2008). O sensor MTE 4053 é ilustrado na figura (16) juntamente com dados relativos ao diâmetro de sua rosca e tipo de conector.

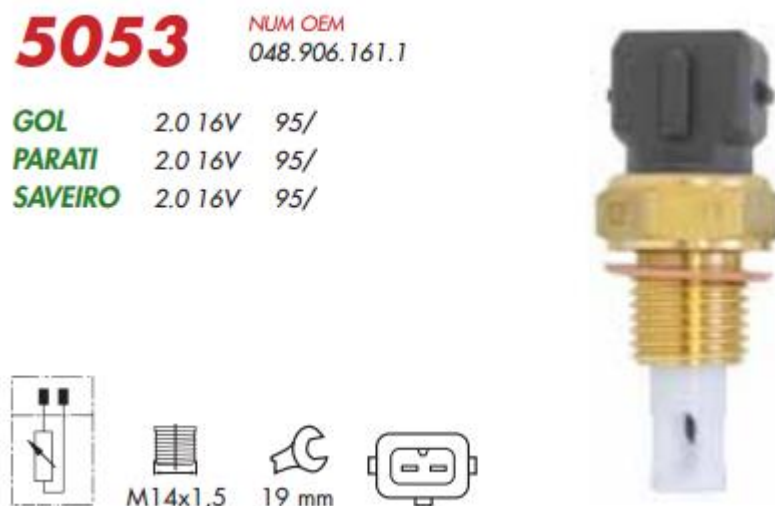
Figura 16- Sensor MTE 4053.



Fonte: Extraído de (MTE-THOMSON, 2013).

O sensor MTE 5053 que é utilizado para medir a temperatura do ar, é ilustrado na figura (17) juntamente com dados relativos ao diâmetro de sua rosca e tipo de conector.

Figura 17- Sensor MTE 5053



Fonte: Extraído de (MTE-THOMSON, 2013)

3.1.1.2 Sensor de posição da borboleta.

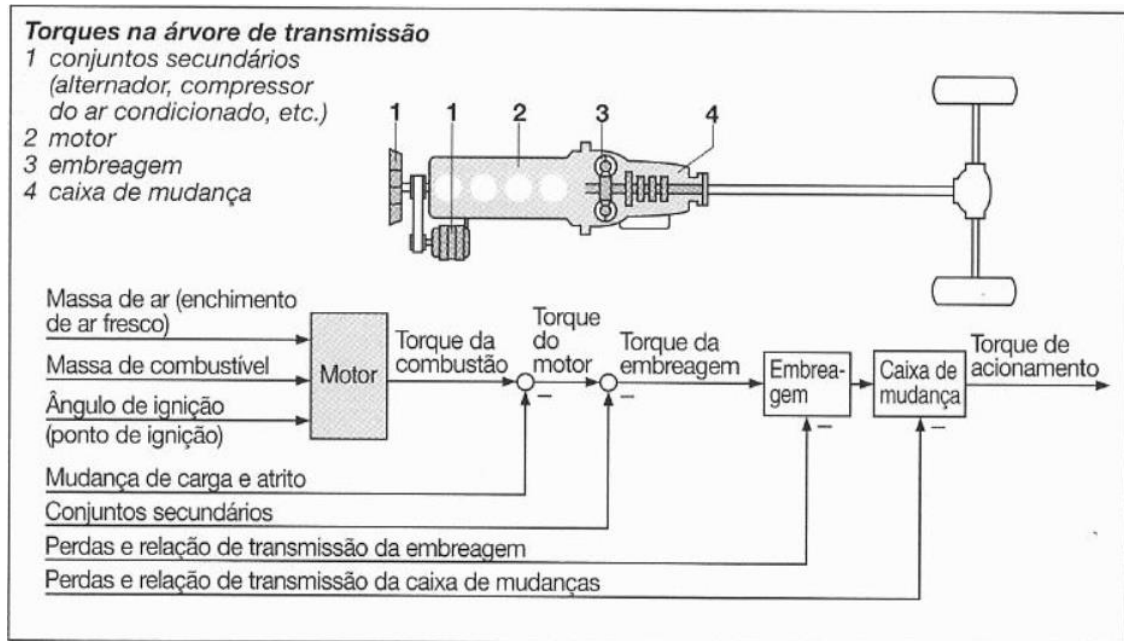
O módulo PW6X tem capacidade de operar com a maioria dos tipos de sensores de posição de borboleta (TPS) existentes no mercado. No entanto, é recomendado pelo fabricante que se utilize, sempre que possível, o sensor TPS já instalado no corpo da borboleta do veículo original. Durante a fase de configuração do módulo, é necessário fazer a configuração dos limites da borboleta totalmente aberta e totalmente fechada. A informação do sensor TPS é utilizado somente na estratégia do mapa de aceleração. Este mapa tem como função definir o tempo de injeção quando o valor do sensor TPS ultrapassar o valor definido pelo parâmetro TPS MÁXIMO. É também usado como método indireto para se calcular a demanda de torque necessário pelo motorista, uma vez que o pedal do acelerador não é do tipo eletrônico, sendo conectado através de um cabo de aço ao acionamento da válvula borboleta (HIS Injection Systems , 2008).

3.1.1.2.1 Demanda de torque

O torque solicitado do motor, pode ser definido como demanda de torque, que é o torque necessário para manter o motor e os seus acessórios em funcionamento mais a demanda de torque solicitado pelo motorista através do pedal de aceleração. A parcela referente para manter o motor e seus acessórios em funcionamento, é composta por compensações como: perdas por atrito das peças móveis do motor, resistência ao rolamento, resistência do ar, resistência ao aclave e da carga solicitada no eixo pelos acessórios como: alternador, compressor do ar condicionado, eletro-ventilador, bomba de óleo. A figura (18) ilustra um esquemático da produção do torque no motor e suas perdas.

A outra parcela é composta pela demanda do motorista, ou seja, quando o motorista solicita através do pedal do acelerador uma aceleração, o gerenciamento entende que é necessário trocar o regime de funcionamento do motor, para isso é necessário que haja um torque para troca dos regimes.

Figura 18 - Esquemático da produção do torque no motor e suas perdas.



Fonte: Extraído de Notas de Aulas do Prof. Edson Kitani (2016).

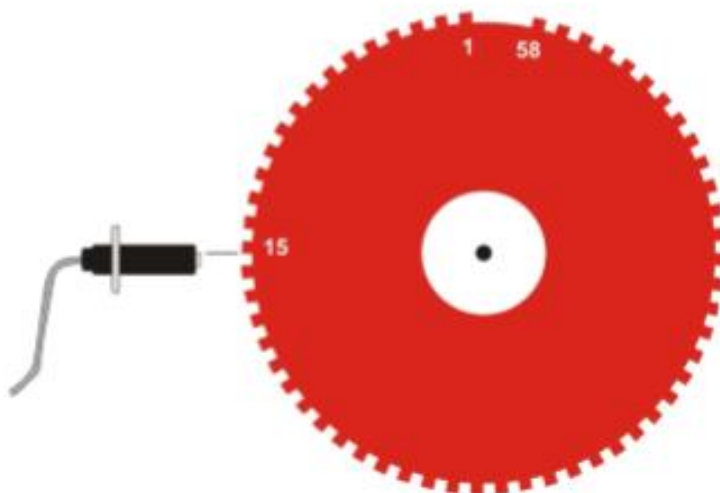
3.1.1.3 Sensor de Pressão do ar admitido

O módulo HIS PW6X tem capacidade de ler diversos tipos de sensor MAP. Dentre eles: sensores de 1 bar para veículos aspirados; sensores de 3 bar para veículos equipados com Turbo ou *Supercharged* de até 200Kpa; sensores de 5 bar, para veículos Turbo ou *Supercharged* de até 500Kpa (HIS Injection Systems , 2008).

3.1.1.4 Sensor de rotação

O módulo HIS PW6X tem a possibilidade de aceitar dois tipos de sensores de rotação: sensores do tipo indutivos e sensores do tipo Hall. Porém, estes sensores devem ser utilizados juntamente com uma roda dentada de 58 dentes mais uma falha, que equivale ao espaço de dois dentes, conforme ilustrado na figura (19). O sinal proveniente do sensor é utilizado pelo módulo para determinar a rotação do motor e sua posição angular (HIS Injection Systems , 2008).

Figura 19 – Roda dentada de 60 dentes menos 2 junto com sensor indutivo.



Fonte: (HIS Injection Systems , 2008).

3.1.2 Saídas do módulo HIS PW6X

Nesta seção serão discutidas as funções de saída do módulo HIS PW6X e como elas são aplicadas ao veículo Volkswagen Gol 95.

3.1.2.1 Sistema de injeção

O sistema de injeção do módulo HIS PW6X tem a possibilidade de trabalhar com dois bancos de quatro injetores cada. Além disso, é possível configurar a frequência de injeção em relação à centelha, pois como o módulo será instalado em um veículo monoponto, a configuração selecionada realizará a injeção de combustível sempre que houver centelha. Uma particularidade do sistema de injeção do veículo Volkswagen Gol 95, é que ele utiliza uma válvula injetora de baixa impedância e, por isso, deve-se utilizar obrigatoriamente um módulo de *Peak and Hold* (HIS Injection Systems , 2008). Esse módulo controla a corrente fornecida para a válvula injetora, pois devido à baixa impedância a bobina consome uma corrente elevada. O módulo fornece uma corrente alta para a abertura da válvula (*Peak*) e depois diminui essa corrente até o nível de manutenção da abertura da mesma (*Hold*).

3.1.2.2 Sistema de ignição do HIS

O sistema de ignição do módulo HIS PW6X pode comandar até três bobinas de ignição sem a necessidade de *drivers* externos, utilizando obrigatoriamente bobinas de ignição do tipo bobina dupla, podendo assim equipar um veículo que conta com até 6 cilindros.

Quando não há necessidade da utilização de todos os comandos como em um motor de 4 cilindros, os comandos não utilizados devem ser deixados desconectados.

Entretanto, é possível realizar uma adaptação para o módulo HIS PW6X em veículos com sistema de ignição por distribuidor como o veículo do presente trabalho. Neste caso os três comandos devem ser conectados ao negativo da bobina (HIS Injection Systems , 2008).

3.1.2.2.1 Ignição com bobina dupla

Em um sistema de ignição com bobina dupla, a centelha é fornecida ao mesmo tempo para dois cilindros, um que está em compressão e outro que está em exaustão. Desta forma, o sistema não precisa identificar qual deles irá ter combustão. Este sistema também é conhecido como centelha perdida.

3.1.2.3 Atuador de marcha lenta

O módulo HIS PW6X somente controla atuadores de marcha lenta do tipo solenóide. Assim, ele somente trabalha com atuadores de marcha lenta de um ou dois fios com corrente máxima de 1 A (HIS Injection Systems , 2008). No veículo do presente trabalho, é utilizado um atuador de marcha lenta que usa um motor de passo de dois enrolamentos que, por sua vez, necessita de 4 sinais de controle. Como o módulo HIS possui somente 2 saídas, não é possível realizar o controle do mesmo. Devido essa limitação o controle de marcha lenta irá ser prejudicado uma vez que não será possível controlar a massa de ar admitida durante a marcha lenta (HIS Injection Systems, 2016).

3.2 FuelTech

A FuelTech FT250, ilustrada pela figura (20), é uma EFI projetada pela empresa FuelTech que pode ser aplicada em diversos tipos de motores de 2 e 4 tempos. Esses por sua vez, podem ser de:1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 e 10 cilindros com rotação máxima de até 16000 rpm. O módulo também dispõe entradas analógicas para leitura dos sensores MAP e TPS. Além disso, o controle de ignição pode ser executado por intermédio do distribuidor sem necessidade de módulos adicionais (Fueltech, 2018).

O módulo conta com 5 mapas de injeção em função da rotação do motor e independentes entre si, ou seja, permitem 5 configurações distintas.

A medida da rotação do motor é realizada através de um sensor Hall em conjunto com o distribuidor, sendo assim, compatível com o conjunto de sensores e atuadores empregados no

veículo Gol 95. Para sistemas que dispõem de roda fônica é fundamental o uso dos módulos complementares *FirePRO* ou *Fire4S*.

Uma das principais características que diferenciam o FT250 do HIS, é a possibilidade de realizar a calibração dos mapas no próprio módulo, sem necessitar de um computador (Fueltech, 2018).

Figura 20 - FuelTech FT250.



Fonte: Adaptado de (Fueltech, 2018).

3.2.1 Entradas do módulo FuelTech FT250

Nesta seção será descrito todas as entradas, suas funções e características do módulo da marca FuelTech modelo FT250.

3.2.1.1 Sensor de temperatura do ar admitido

O propósito deste sensor é monitorar a temperatura do ar admitido em tempo real e registrar a temperatura máxima alcançada. Além de ser utilizado na correção automática da mistura em função da temperatura do ar (Fueltech, 2018).

No entanto, não é de uso obrigatório, porém caso seja utilizado é necessário ser do padrão Delphi / NKT de $3,3k\Omega$ a 20°C como na figura (21), onde pode ser fixado no coletor de admissão ou no de pressurização (Fueltech, 2018).

Figura 21 - Sensor de 3,3 k Ω a 20°C, utilizado para medição do ar admitido e do motor.



Fonte: Adaptado de (Fueltech, 2018).

3.2.1.2 Sensor de temperatura do motor

O sensor de temperatura é de uso necessário para um bom funcionamento do motor em todas as faixas de temperatura, especialmente durante a partida fria. Deve ser o mesmo modelo do sensor de temperatura do ar admitido (Fueltech, 2018).

Quando um motor é refrigerado à água, o sensor deve ser instalado próximo ao cabeçote do motor e quando a refrigeração é feita por ar o mesmo deve ser instalado junto ao carter de óleo do motor (Fueltech, 2018).

3.2.1.3 Sensor MAP e MAF

O módulo FT250 possui sensor MAP integrado que deve ser conectado ao coletor de admissão através de uma mangueira pneumática.

Além disso, a FT250 possui um "*clammer*" para se limitar a tensão dos sensores MAP e MAF originais quando se altera a pressão no coletor de admissão, por exemplo, quando é instalado um turbo. Esta função só deve ser utilizada se a injeção original do automóvel estiver controlando alguma função do gerenciamento motor (Fueltech, 2018).

3.2.1.4 Sensor de pressão de combustível e óleo

A função desses sensores é monitorar a pressão do óleo motor e do combustível, porém seu uso não é obrigatório. São recomendados dois modelos de sensores o PS – 10B da própria FuelTech (figura (22)) e o produzido pela Siemens VDO que, apesar de ter o custo menor, possui menor precisão se comprado ao PS – 10B (Fueltech, 2018).

Figura 22 – Sensor PS-10B.



Fonte: Adaptado de (Fueltech, 2018).

3.2.1.5 Sensor de posição da borboleta (TPS)

Este sensor tem como função informar a posição angular da borboleta. Em alguns casos específicos, o motor pode funcionar sem a existência do sensor de posição da borboleta, entretanto, todas as funcionalidades serão executadas em função do MAP, como tempo de injeção e ajuste na marcha lenta (Fueltech, 2018).

É sugerido pelo fabricante o uso do TPS original do motor, pois é regulado em função do curso da borboleta.

3.2.1.6 Sensor de rotação

Este sensor tem como objetivo medir a rotação do motor. Normalmente é utilizado um sensor de efeito Hall em conjunto com um distribuidor de ignição, sendo que a quantidade de janelas deste distribuidor deve ser igual a quantidade de cilindros do motor (Fueltech, 2018).

Caso o motor utilizado não possua um distribuidor com janelas, é possível adaptá-lo, abrindo janelas de tamanho definidas pela equação (5).

$$TJA = \frac{AJA * P}{AP} \quad (mm) \quad (5)$$

Onde TJA é o tamanho da janela que deve ser aberto em milímetros, AJA é o valor em graus que o motor irá se deslocar durante a janela, P é o perímetro do distribuidor em milímetros e AP é o deslocamento angular do motor a cada volta do distribuidor.

Normalmente AP é 720° uma vez que a relação de rotação do distribuidor para o motor é de 1:2. Já o parâmetro AJA e TJA devem ser informados durante a configuração do FT250 (Fueltech, 2018).

3.2.2 Saídas do módulo FuelTech FT250

Nesta seção será discutido as funções de saídas disponíveis no módulo FT250 como: injeção, ignição e saídas auxiliares, assim como definir algumas das funções auxiliares mais específicas.

3.2.2.1 Acionamento de Injetores

No módulo FT250, o fabricante informa que existem 2 saídas para acionamento de injetores. Cada saída possibilita o acionamento de 6 válvulas injetoras de alta impedância, ou seja, com resistência acima de 10 Ω (Fueltech, 2018).

Outra possibilidade, é a utilização de até 2 injetores de baixa impedância por saída, ou seja, abaixo de 10 Ω mediante o uso de um resistor de 3,3 Ω 20 W em série com o 12 V de cada injetor. No entanto, esta ligação só é recomendada para bancada suplementares, pois pode apresentar irregularidades ou dificuldades no acerto da marcha lenta (Fueltech, 2018).

3.2.2.2 Acionamento de ignição

O FT250 dispõe de uma saída de ignição empregada para controlar a bobina de ignição, através de um distribuidor hall ou de roda fônica. Para sistema com distribuidor hall, 3 tipos de bobinas podem ser aplicados: bobina com módulo de ignição integrado, bobina sem módulo integrado e módulo de ignição capacitiva (Fueltech, 2018).

3.2.2.3 Saídas auxiliares

O módulo possui 4 saídas auxiliares que têm como função acionar cargas opcionais como eletro ventilador, atuador de marcha lenta, *shift alert*, bomba de combustível, comando de válvulas variável, controle de nitrogênio progressivo e controle de pressão do turbo. Entretanto, cada saída tem uma limitação de corrente elétrica de 500 mA e acionam as cargas através do negativo. Além de ser necessário configurar o módulo qual a função de cada saída, através do painel no menu Ajuste Complementares (Fueltech, 2018).

3.2.2.3.1 Shift Alert

Esta função é utilizada para acionar um alerta visual que pode ser uma lâmpada de 12V de até 5W ou um LED com uma resistência em série de 390 Ω . A FT250 irá acionar o alerta quando o motor ultrapassar a rotação programada (Fueltech, 2018).

3.2.2.3.2 Controle de nitrogênio progressivo

Tem como objetivo acionar a válvula injetora de óxido de nitrogênio do motor. No entanto, estes solenóides têm alta potência (da ordem de 90W) e baixa de impedância ($1,6\Omega$) e, por isso, necessitam do uso de um módulo *Peak and Hold 8A/2^a* (Fueltech, 2018).

3.3 MegaSquirt

Desenvolvida por Bruce Bowling e Al Grippo (Hartman, 2004), a ECU MegaSquirt tem como propósito controlar a injeção de combustível de um motor de combustão interna por centelha, através da metodologia de construção do módulo “*Do it yourself*”, ou seja, a montagem física dos componentes eletrônicos da placa é realizada pelo próprio usuário. diferentemente das marcas citadas anteriormente. Além disso, conta com um *software* aberto para calibração da EFI. Ela foi elaborada para fins educacionais e experimentais (MegaSquirt, 2018).

Figura 23 – Exemplo MegaSquirt



Fonte: Extraído (MegaSquirt, 2018).

A MegaSquirt conta com 2 tipos de processadores que podem ser escolhidos pelo usuário. A primeira opção é o MegaSquirt-I (figura (23)) que é um microcontrolador modelo 68HC908, produzido pela Motorola. A segunda opção é a MegaSquirt-II (figura (24)) que possui um microcontrolador MC9S12C64 da Freescale. A principal diferença entre elas é o poder de processamento. Enquanto a MegaSquirt-I conta com apenas 8MHz o MegaSquirt-II possui o triplo de velocidade da outra, ou seja, 24MHz. Além disso, o MegaSquirt-II abrange

as seguintes funções: controle de ignição, *driver* e portas de saída configuráveis para controle do ventilador ou *shift alert* (MegaSquirt, 2018).

Figura 24 - Exemplo MegaSquirt-II



Fonte: Extraído de (Hartman, 2004).

Em ambas versões os códigos são “*open source*” e podem ser modificados e aprimorados pelos usuários. O código da MegaSquirt-I é escrito em *Assembler*, enquanto o da MegaSquirt-II é em C.

Os recursos das duas inclui: cálculo do tempo de injeção em função da lei dos gases ideais para uma rotação de até 16000 rpm, leitura da temperatura do ar admitido e da temperatura do motor, duas saídas de injetores independentes, leitura do sensor MAP *on board*, leitura do sensor de oxigênio, correção da densidade do ar, 64 pontos de correção de eficiência volumétrica, uma saída auxiliar até 500mA, um circuito de relé e uma saída a relé de até 500mA (MegaSquirt, 2018).

3.3.1 Entradas do módulo MegaSquirt-II

As entradas de sensores do MegaSquirt-II são basicamente iguais às encontradas em outros módulos estudados. Porém, a MegaSquirt-II conta com entrada para sensor de oxigênio, também conhecido como sonda Lambda do tipo banda estreita ou de banda larga.

3.3.1.1 Sensor de rotação

Segundo (MegaSquirt, 2018), o sinal de rotação é fornecido para o módulo através do terminal 24 do conector DB37, podendo ser empregados diversos tipos de sensores como, relutância variável, tipo hall, tacômetro, platinado ou sinal proveniente da bobina.

3.3.1.2 Sensor de Oxigênio

De acordo com os desenvolvedores, sua utilização é recomendada, porém não é obrigatória. Quando aplicado, sua informação é muito útil para realizar a configuração da tabela de eficiência volumétrica e para operar o motor em retroalimentação (*closed-loop*) (MegaSquirt, 2018).

A MegaSquirt-II consegue ler 2 sensores desse tipo, enquanto a MegaSquirt-I é capaz de ler somente 1 sensor. Conforme a (MegaSquirt, 2018) sugere, para motores com dois bancos de cilindros, e os que estão utilizando a MegaSquirt-I tem uma das seguintes opções de instalação:

- No cruzamento entre o escapamento de cada bancada;
- Somente no escape de uma das entradas;
- Em cada bancada com uma chave seletora.

O modo de retroalimentação só entra em funcionamento quando o motor está nas seguintes condições:

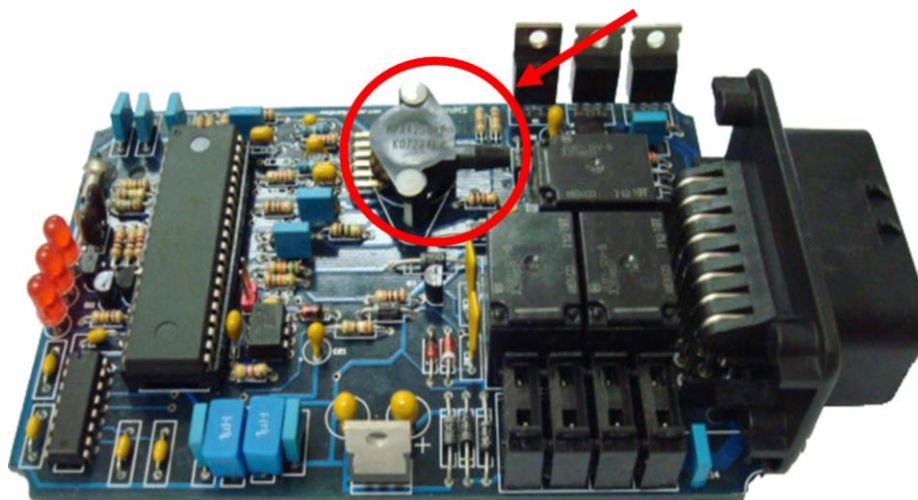
- Quando está em funcionamento a mais de 30 segundos;
- Rotação acima da que está configurada pelo parâmetro *EGO active above RPM*;
- Temperatura do motor elevada em comparação ao parâmetro *Coolant Temp Activation*;
- TPS abaixo de 70%.

3.3.1.3 Sensor MAP

Este sensor normalmente está acoplado no interior do módulo (até 144,7 kPa) como vista na figura (25), porém caso o usuário quiser, ele pode ser montado separadamente (acima de 144,7 kPa).

Para o sensor do próprio módulo, é necessário conectar uma tubulação de vácuo entre o coletor de admissão e o sensor (MegaSquirt, 2018).

Figura 25 – Sensor MAP na MegaSquirt-I em destaque na imagem



Fonte: Adaptado (MegaSquirt, 2018)

3.3.2 Saídas do módulo MegaSquirt-II

Nesta seção será discutido as funções de saídas disponíveis no módulo MegaSquirt-II como: injeção, ignição, controle do atuador de marcha lenta e saídas auxiliares, assim como definir algumas das funções auxiliares mais específicas (MegaSquirt, 2018).

3.3.2.1 Ignição na MegaSquirt-II

A ignição no módulo MegaSquirt-II pode ser utilizada para vários sistemas como: bobinas individuais, sistema com distribuidor e bobina dupla. A programação da MegaSquirt-II permite configurar parâmetros tais como: o tempo de carga e o avanço de ignição em função da rotação, carga e temperatura do motor (MegaSquirt, 2018).

3.4 MoTeC

A MoTeC é uma empresa australiana situada na cidade Melbourne que atua no mercado de modificação de veículos para competição de corrida em categorias como Nascar, Rally Dakar, Fórmula Indy entre outras (MoTeC Pty Ltd, 2018). No seu catálogo de produtos, encontram-se ECUs programáveis, displays, *Data Loggers*, ferramenta de análise, cronômetros por GPS, medição de lambda entre outros.

Dentro da sua de linha de ECUs, foi escolhido o modelo M84, que pode ser vista na figura (26), por ser um modelo de entrada da série MoTeC's *beachmark* M800 (Hartman, 2004) que tem como funções o controle de ignição, injeção de combustível, controle de tração, corte de ignição durante a troca de marchas, sistema de diagnose e controle para sensor lambda de banda larga (MoTeC Pty Ltd, 2018).

Figura 26 - MoTeC M84



Fonte: Extraído de (MoTeC Pty Ltd, 2018).

Além disso, conta com uma caixa em alumínio que o torna leve e robusto. São disponibilizados também *softwares* para calibração e análise de dados, programação das características de injeção, programação dos sinais de referência e sincronização e saídas auxiliares com capacidade de PWM (MoTeC Pty Ltd, 2014).

3.4.1 Entradas do módulo MoTec M84

A M84 conta com 8 entradas analógicas como TPS, MAP, sensor de fluxo de massa de ar (MAF), pressão de combustível, pressão de óleo, temperatura do gás de escape, posição de marcha e uma configurável pelo usuário; 3 entradas analógicas de temperatura para temperatura do ar, do motor e uma que pode ser configurada pelo próprio usuário; 2 entradas para o sensor lambda, podendo ser de banda estreita ou banda larga; 4 entradas digitais para funções como rotação e 1 entrada para medição da temperatura interna do módulo (MoTeC Pty Ltd, 2018).

Analisando a quantidade de entradas, pode-se perceber que a M84 tem uma maior gama de funções não disponíveis nas EFIs estudadas anteriormente como: MAF, temperatura dos gases de escape e posição de marcha.

3.4.1.1 Sensores de referência e sincronismo

A M84 possui entrada para sensor de referência e sincronismo. O sensor de referência é utilizado para o cálculo da rotação do motor da posição angular do mesmo. Já o sensor de sincronismo informa à unidade o ciclo atual do motor. Essa informação é utilizada para

realizar a injeção de forma sequencial e para fazer o acionamento de bobinas de ignição individuais (MoTeC Pty Ltd, 2018).

3.4.2 Saídas do módulo MoTec M84

A M84 dispõe de 8 saídas para válvulas injetoras de baixa impedância com capacidade de *Peak and Hold*; 6 saídas para ignição e 8 saídas auxiliares. Isso possibilita a MoTeC M84 equipar motores de até 8 cilindros tão como motores rotativos, de 2, 3 ou 4 rotores (MoTeC Pty Ltd, 2018).

3.4.2.1 Injeção

Este módulo pode trabalhar em dois modos de funcionamento: *Peak and Hold* ou modo de saturação.

O primeiro modo é utilizado para injetores de baixa impedância (menores que 5Ω), quando é necessário um alto valor de corrente para abertura inicial do injetor, esse valor não é necessário para manter o injetor aberto, podendo ser utilizado uma corrente menor, em torno de 25% do valor da máxima para M84. O termo *Peak* é empregado para determinar a corrente máxima que pode ser programada neste módulo de 0 a 6A, já o termo *Hold* é usado para corrente de manutenção de abertura que será sempre 25% da corrente de máxima. Além dessas características, a M84 tem capacidade de suportar tensão reversa de 60V e possui diagnose de circuito aberto, curto com o terra e corrente máxima atingida (MoTeC Pty Ltd, 2018).

O segundo modo é aplicado para injetores de alta impedância (acima de 12Ω). Nesta configuração, a corrente nominal é de 2A, a corrente máxima é de 4A e possui a mesma característica do modo *Peak and Hold* para tensão reversa e diagnose (MoTeC Pty Ltd, 2018).

3.4.2.2 Ignição

A MoTeC M84 conta com 6 saídas de ignição que podem ser utilizadas para acionamento de bobinas individuais ou de bobinas duplas. Quando utilizado bobinas individuais ela possui capacidade de até 20mA, já quando utilizado bobinas duplas a capacidade é de 40mA (MoTeC Pty Ltd, 2014)

3.4.2.2.1 Ignição capacitiva

Um sistema de ignição capacitiva é composto de cinco estágios. O primeiro é o estágio de alta tensão (HV) que utiliza um conversor DC\DC para fornecer 400V a partir dos 12 V disponíveis da bateria. O segundo é o estágio capacitivo que emprega um capacitor de 0.47 a

2 μF que armazena a carga fornecida pelo estágio de alta tensão que depois é descarregado através do circuito de ignição. O terceiro estágio é o de chaveamento que tem como função transferir a energia contida no capacitor para o primário do transformador de ignição, quando solicitado pelo módulo de gerenciamento. Usualmente, é utilizado um SCR ou TRIAC para realizar esta transferência de energia. O quarto estágio é o de elevação da tensão, onde um transformador eleva a tensão fornecida até um valor suficiente para quebrar a resistência dielétrica do ar. Por fim, o quinto estágio, o da centelha que é fornecida através de uma vela de ignição para início da combustão.

3.4.3 Outras funções

Entre as funções da M84 estão um barramento de comunicação CAN, um barramento de comunicação RS232, captura de dados de até 16 canais, memória de 512 Kb, amostragem máxima de 100 Hz e diagnose (MoTeC Pty Ltd, 2018).

3.5 Tabela Comparativa

Abaixo está a tabela (3) que compara as características de todas as ECUs citadas neste trabalho.¹

Tabela 3 - Tabela comparativa.

	Característica/Modelo	Ford EEC-IV	HIS PW6X	FuelTech FT250	MegaSquirt - II	MoTeC M84
Entradas	Temperatura	Motor/Ar	Motor/Ar	Motor/Ar	Motor/Ar	Motor/Ar/Escape
	TPS	✓	✓	✓	✓	✓
	MAP	✓	✓	✓	✓	✓
	MAF	×	×	×	✓	✓
	Hall	✓	✓	✓	✓	✓
	Relutância	×	✓	×	✓	✓
	Lambda	✓	×	×	✓	2
	Pressão de Óleo	×	×	✓	×	✓
	Pressão de Combustível	×	×	✓	×	✓
Saídas	Tipo de Injeção	Mono	Multi/Mono (P&H)	Multi/Mono (P&H)	Multi	Multi (P&H)
	Quantidade máxima de injetores	1	8	12	2	8
	Tipo de Ignição	Distribuidor	Eletrônica	Distribuidor/ Eletrônica (FirePro)	Distribuidor/ Eletrônica	Eletrônica
	Saídas de Ignição	1	3	1	1	6
	Atuador de Marcha Lenta	✓	✓	✓	✓	✓
	Válvula Canister	✓	×	×	×	✓
	Shift Alert	×	×	✓	✓	✓
Interface	×	PC-RS232	Painel	PC-RS232	PC/CAN-RS232	
Custo ¹	N/A	R\$ 1.700,00	R\$ 1.290,00	\$352,00	\$1760,00	

Fonte: Autor.

Através da análise da tabela, pode-se chegar a algumas conclusões. O módulo MoTeC M84 é o que apresenta maior quantidade de recursos e funções compatíveis com a EEC-IV

¹ Valores de custo coletados no site oficial de cada empresa no dia 20 de março de 2018.

em relação aos outros módulos. No entanto, como visto nos capítulos anteriores, algumas dessas funções não estão presentes na EEC-IV, sendo desnecessária para o caso estudado. Além disso, possui o maior preço entre todas. Em relação a MegaSquirt-II, as vantagens encontradas são a possibilidade de personalizar as funções necessárias, o que é de grande interesse para pesquisas acadêmicas, porém para o presente trabalho que não visa adicionar funcionalidades extras ao veículo, a MegaSquirt-II demandaria mais esforço na instalação e na montagem do módulo, já que seriam necessários realizar a compra e soldagem de todos os componentes do PCB. Além, da dificuldade de aquisição, pois só é encontrada nos Estados Unidos.

A FuelTech por sua vez, se destaca pela *interface* diferenciada, pois ao contrário dos outros módulos, este não precisa de computador para se alterar os parâmetros já que conta com um painel. Outra vantagem é o método de ignição que é igual a EEC-IV, ou seja, por distribuidor. No entanto, ela demanda modificação do chicote para utilização de injetores de baixa impedância como os encontrados no veículo de estudo.

E por fim, em relação ao módulo HIS, pode-se citar as seguintes deficiências encontradas que são a necessidade de alteração do sistema de ignição para um sistema de bobina dupla, pois como visto nos capítulos anteriores, o HIS não utiliza distribuidor para ignição. Outra dificuldade é a modificação do motor para se instalar um sistema de roda fônica de 60-2 e de um sensor de relutância magnética, pois o HIS não é compatível com o padrão do sinal de rotação fornecido pelo sensor Hall em conjunto com o distribuidor. Tirando esses problemas, o módulo em conjunto com o auxiliar *Peak and Hold* atende todas as necessidades do veículo, além de estar disponível para a utilização na instituição. Como consequência, o HIS PW6X foi escolhido para ser objetivo de estudo no veículo de forma prática.

3.6 Sugestão de adaptação da HIS no Gol 95

Nesta seção será identificada a função de cada terminal do módulo presente no veículo Gol e do módulo HIS a fim de realizar uma correlação das funcionalidades entre os dois módulos para que assim seja feito um esquema de ligação do HIS no Gol.

3.6.1 Sinais da EEC-IV no Gol

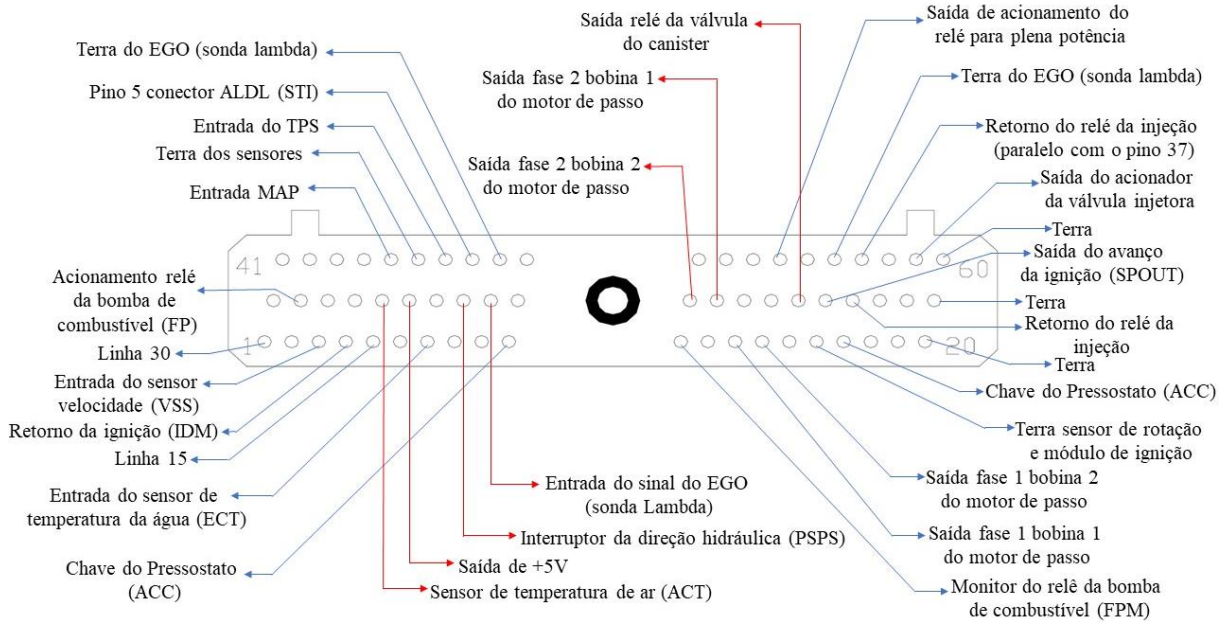
Conforme (AUTODIAGNOS, 1997), foi identificada a função de cada terminal do módulo EEC-IV. A figura (27) mostra o conector C60 da EEC-IV com a identificação das funções de cada pino. Estas informações também estão contidas na tabela (4).

Tabela 4 – Pinagem do conector C60.

EEC-IV	
Terminal	Função
Pino 1	Linha 30
Pino 3	Entrada do sensor velocidade (VSS)
Pino 4	Retorno da ignição (IDM)
Pino 5	Linha 15
Pino 7	Entrada do sensor de temperatura da água (ECT)
Pino 10	Chave do Pressostato (ACC)
Pino 11	Monitor do relê da bomba de combustível (FPM)
Pino 13	Saída fase 1 bobina 1 do motor de passo
Pino 14	Saída fase 1 bobina 2 do motor de passo
Pino 16	Terra sensor de rotação e módulo de ignição
Pino 17	Pino 4 do conector ALDL (STO)
Pino 20	Terra
Pino 22	Acionamento relê da bomba de combustível (FP)
Pino 25	Sensor de temperatura de ar (ACT)
Pino 26	Saída de +5V
Pino 28	Interruptor da direção hidráulica (PSPS)
Pino 29	Entrada do sinal do EGO (sonda Lambda)
Pino 31	Saída fase 2 bobina 2 do motor de passo
Pino 32	Saída fase 2 bobina 1 do motor de passo
Pino 35	Saída relê da válvula do canister
Pino 36	Saída do avanço da ignição (SPOUT)
Pino 37	Retorno do relê da injeção
Pino 40	Terra
Pino 45	Entrada MAP
Pino 46	Terra dos sensores
Pino 47	Entrada do TPS
Pino 48	Pino 5 conector ALDL (STI)
Pino 49	Terra do EGO (sonda lambda)
Pino 54	Saída de acionamento do relê para plena potência
Pino 56	Entrada do sensor de rotação (PIP)
Pino 57	Retorno do relê da injeção (paralelo com o pino 37)
Pino 59	Saída do acionador da válvula injetora
Pino 60	Terra

Fonte: (AUTODIAGNOS, 1997), (KITANI, 2017).

Figura 27 – Identificação dos pinos do conector C60 do módulo EEC-IV.

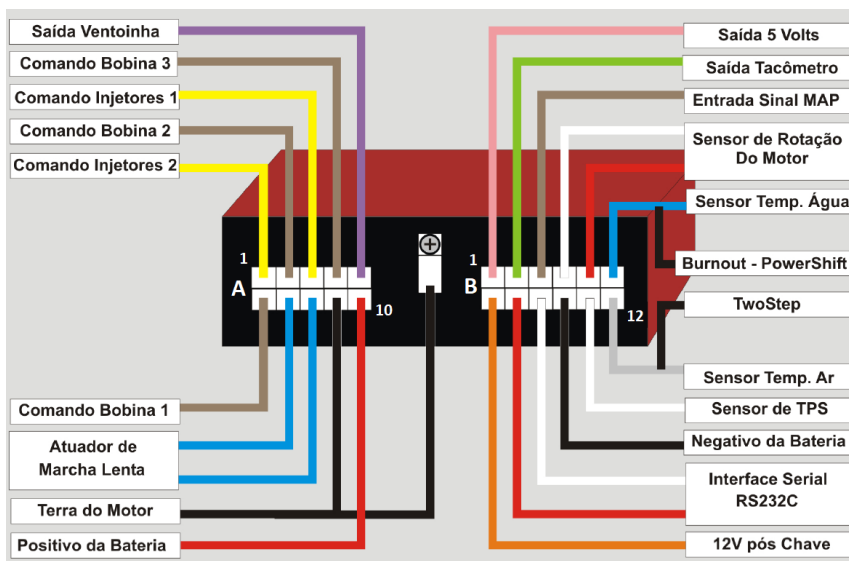


Fonte: Autor.

3.6.2 *Sinais do HIS*

Através da informação contida no manual de instalação do módulo HIS PW6X e do módulo *Peak and Hold* PHS 01 foi identificado a função de cada terminal do módulo, e essas informações estão ilustradas na tabela (5). A figura (28) ilustra a função de cada terminal do módulo HIS PW6X.

Figura 28 – Identificação dos pinos do módulo HIS.



Fonte: Extraído de (HIS Injection Systems , 2008).

Tabela 5 - Pinagem do HIS.

HIS	
Terminal/Conector	Função
1-A	Comando Injetor 2
2-A	Comando bobina 2
3-A	Comando Injetor 1
4-A	Comando bobina 3
5-A	Saída Ventoinha
6-A	Comando bobina 1
7-A	Atuador de marcha lenta
8-A	Atuador de marcha lenta
9-A	Terra do motor
10-A	Positivo da bateria
1-B	Saída de 5V.
2-B	Saída Tacômetro
3-B	Entrada sinal MAP
4-B	Sensor de rotação do motor
5-B	Sensor de rotação do motor
6-B	Sensor Temperatura da Água
7-B	12 V após a chave
8-B	Interface Serial RS232C
9-B	Interface Serial RS232C
10-B	Negativo da bateria
11-B	Sensor TPS
12-B	Sensor Temperatura do Ar

Fonte: Extraído de (HIS Injection Systems , 2008)

3.7 Correlação dos sinais

A tabela (6) organiza a correlação dos sinais presentes no módulo EEC-IV e que são semelhantes com as funções do HIS. Dessa maneira, identifica-se claramente quais são os sinais presentes no conector C60 que são compatíveis com os sinais de entrada / saída da HIS.

Tabela 6 – Correlação dos sinais.

Funções	Terminais do HIS	Pinos da EEC-IV
Comando Injetor 1 ²	3-A	59
Positivo da bateria	10-A	1
Saída de 5V.	1-B	26
Entrada sinal MAP	3-B	45
Sensor Temperatura da Água	6-B	7
12 V após a chave	7-B	5
Negativo da bateria	10-B	20/40/60
Sensor TPS	11-B	47
Sensor Temperatura do Ar	12-B	25

Fonte: Autor.

Como pode ser observado na tabela acima, nem todos os sinais e funcionalidades necessários para o HIS estão presentes no veículo Gol. Por esse motivo, foram feitas algumas adaptações elétricas e mecânicas no automóvel. Essas funções que não estão presentes foram agrupadas na seguinte tabela (7) que justifica o motivo de sua ausência e como será adaptado.

Tabela 7 – Sinais que não constam no C60.

Funções	Terminais do HIS	Justificativa
Comando Injetor 2	1-A	Não se aplica, pois o veículo utiliza um sistema do tipo monoponto
Comando bobina 2	2-A	Não se aplica, pois o Gol utiliza um sistema de ignição por distribuidor
Comando bobina 3	4-A	Não se aplica, pois o Gol utiliza um sistema de ignição por distribuidor
Saída Ventoinha	5-A	A EEC-IV não controla a ventoinha diretamente
Comando bobina 1	6-A	Não se aplica, pois o Gol utiliza um sistema de ignição por distribuidor
Atuador de marcha lenta	7-A	O veículo utiliza um motor de passo
Atuador de marcha lenta	8-A	O veículo utiliza um motor de passo
Terra do motor	9-A	Deve ser conectado diretamente ao terra do motor.
Saída Tacômetro	2-B	A EEC-IV não controla diretamente o tacômetro
Sensor de rotação do motor	4-B	Não se aplica, pois o veículo utiliza sensor Hall, enquanto o HIS necessita de um sensor de relutância em conjunto com a roda fônica 60-2
Sensor de rotação do motor	5-B	Não se aplica, pois o veículo utiliza sensor Hall, enquanto o HIS necessita de um sensor de relutância em conjunto com a roda fônica 60-2
Interface Serial RS232C	8-B	Esta entrada é utilizada para conectar o HIS no PC
Interface Serial RS232C	9-B	Esta entrada é utilizada para conectar o HIS no PC

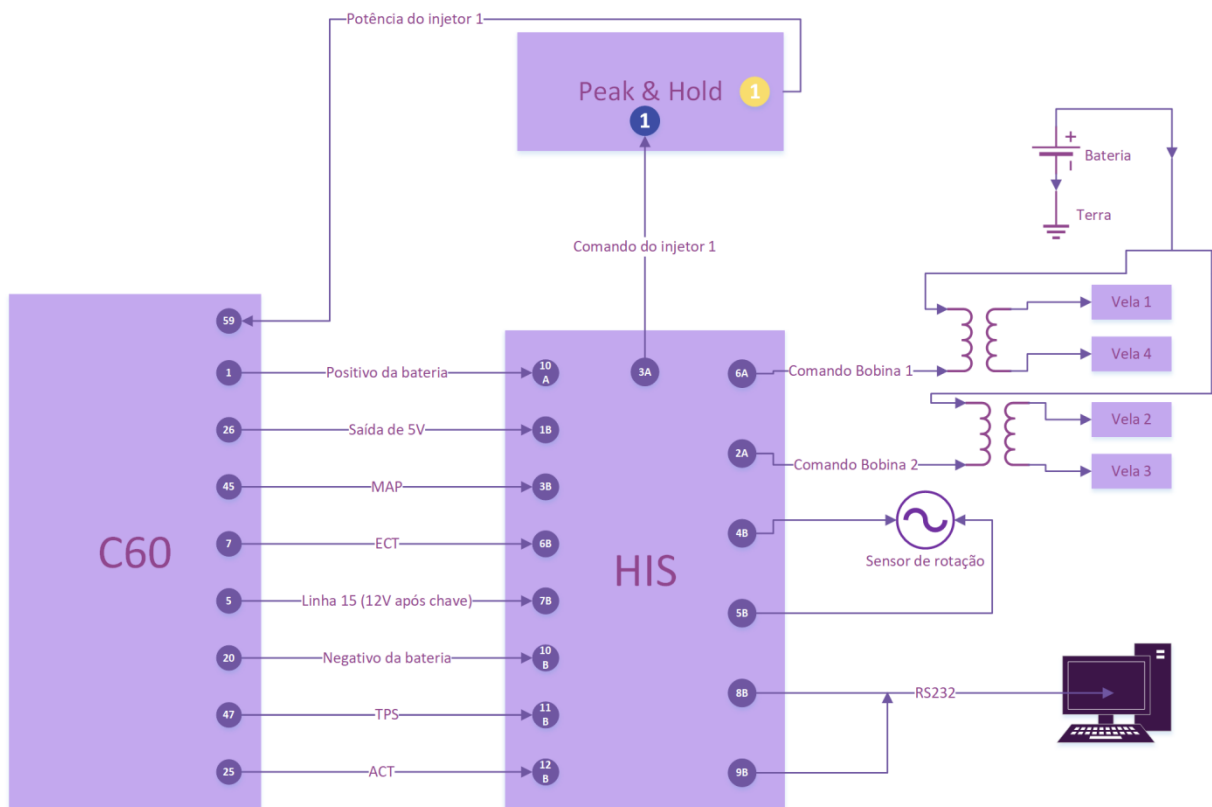
Fonte: Autor.

² É necessário utilizar o módulo *Peak & Hold* entre a conexão.

3.8 Esquema de ligação

A partir dos dados levantados na seção 4.1, o esquema de ligação ilustrado pela figura (29) foi elaborado. A imagem representa a conexão entre o HIS e o conector C60, o comando do injetor 1 (pino 3A) que é enviado ao *Peak & Hold* onde aciona o injetor 1, os comandos 1 e 2 para as bobinas duplas (pinos 6A e 2A, respectivamente), a leitura do sensor de rotação (pinos 4B e 5B) e a comunicação RS-232 com o PC (pinos 8B e 9B).

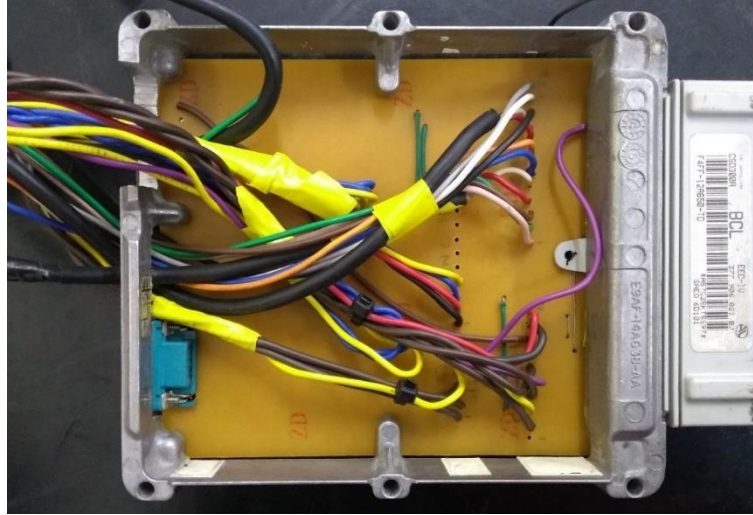
Figura 29 – Esquema de ligação usando parte dos sinais vindo do conector C60 original do veículo.



Fonte: Autor.

A partir do esquema de ligação proposto, foi projetado uma placa adaptadora confeccionada pelo aluno Fábio Pires Lana como trabalho de conclusão de curso dele. A placa de circuito impresso é ligada ao conector de 60 pinos, igual ao original EEC-IV, tem como objetivo trazer mais praticidade e agilidade na troca dos módulos. Esta placa pode ser vista na figura (30).

Figura 30 – Placa de adaptação.



Fonte: Autor.

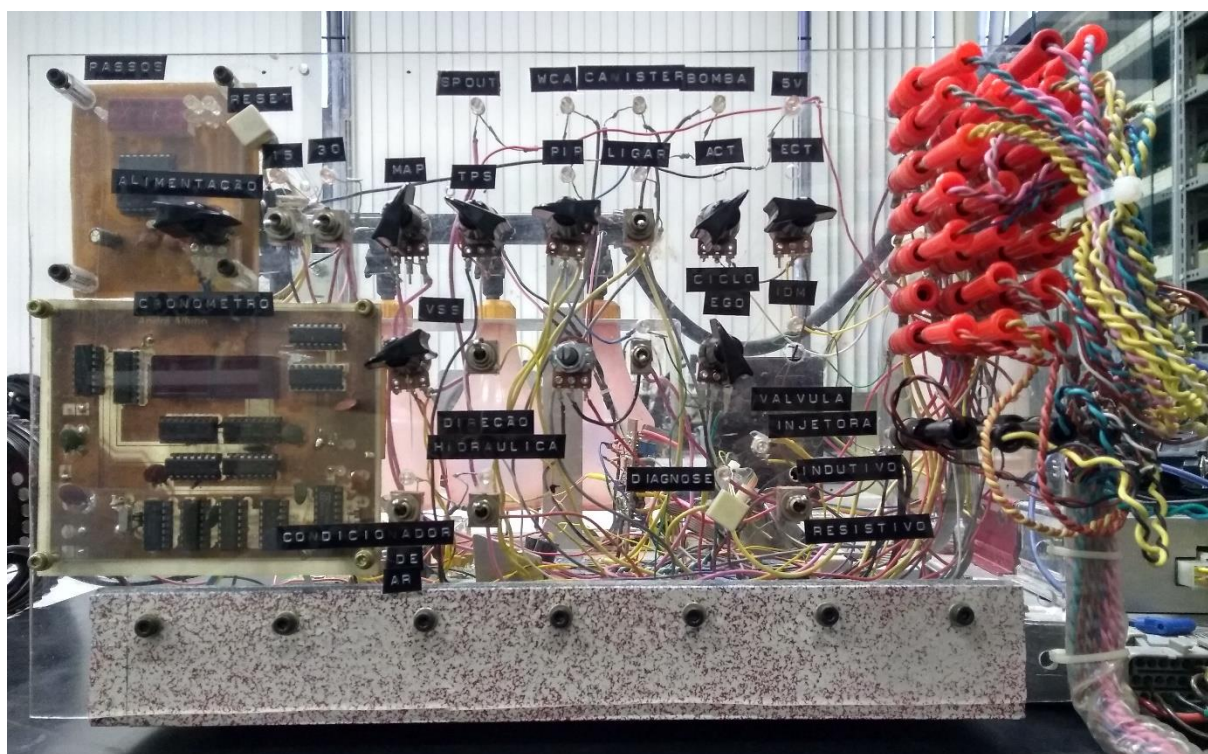
4 RESULTADOS E TESTES

Neste capítulo será descrito uma breve explicação do simulador de sinais de sensores que foi utilizado para fazer os testes em bancada, além de relatar os testes realizados e discutir os resultados obtidos.

4.1 Simulador de sinais de sensores para testar ECUs EEC-IV

O simulador de sinais de sensores para testar ECUs EEC-IV foi desenvolvido por (De Souza, 2013), este tem como objetivo simular os sinais dos sensores do veículo Volkswagen Gol, a fim de estimular a EEC-IV e então medir a reação dos atuadores a partir do sinal fornecido pela ECU. O conjunto desenvolvido pelo trabalho anterior pode ser visto na figura (31).

Figura 31 – Simulador de sinais de sensores para testar ECUs EEC-IV.



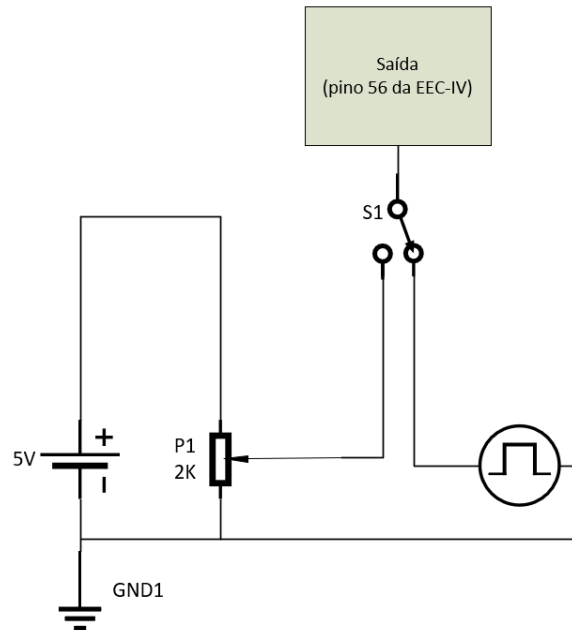
Fonte: Autor.

Pode-se classificar os sensores simulados como de comutação digital, sinais analógicos e com saída onda quadrada. Os de comutação são as linhas 30, 15, do condicionador de ar e interruptor da direção hidráulica. Os sensores analógicos são o TPS, ECT e ACT. Os sensores com saída de onda quadrada são o MAP, VSS, PIP e o EGO.

4.1.1 Modificações e melhorias

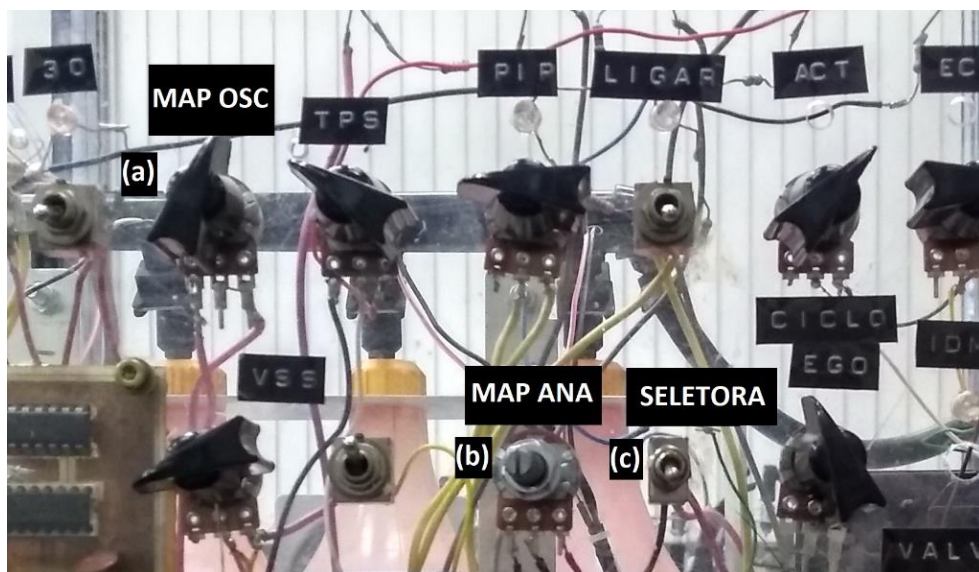
Para realizar a leitura do sensor MAP foi necessário fazer uma modificação no projeto original, pois o sinal gerado originalmente era do tipo onda quadrada enquanto o HIS é apenas compatível com o sinal analógico. Conforme ilustrado na figura (32) e (33) foram instalados uma chave seletora e um potenciômetro para simulação do sinal analógico.

Figura 32 – Circuito elétrico de adaptação.



Fonte: Autor.

Figura 33 – Simulador com destaque em (a) MAP de Frequência e em (b) o potenciômetro do MAP Analógico e em (c) Chave seletora.



Fonte: Autor.

A chave seletora tem a função de selecionar a opção de trabalhar com o sinal analógico ou onda quadrada (também conhecido como MAP Digital) na simulação do sinal de MAP. Foi também realizado a reorganização do chicote para que pudesse facilitar a inspeção visual da giga de teste. Foram executados também pequenos reparos na Giga pelo fato do equipamento ter ficado muito tempo sem uso.

4.2 Testes em bancada do Módulo HIS

Foram realizados testes a fim de validar o esquema de ligação proposto e verificar o funcionamento do módulo HIS. O objetivo deste teste é medir o tempo de injeção e sinal de ignição em função de sinais fornecidos nas entradas de sensores do módulo. Para este teste as seguintes ferramentas foram utilizadas:

- Giga de teste - Simulador de sinais de sensores
- Kit de rotação da FATEC Santo André
- Kit de ignição da FATEC Santo André
- Placa adaptadora (Projetada pelo aluno Fábio Pires Lana)
- PC com o *software HISwinXV*

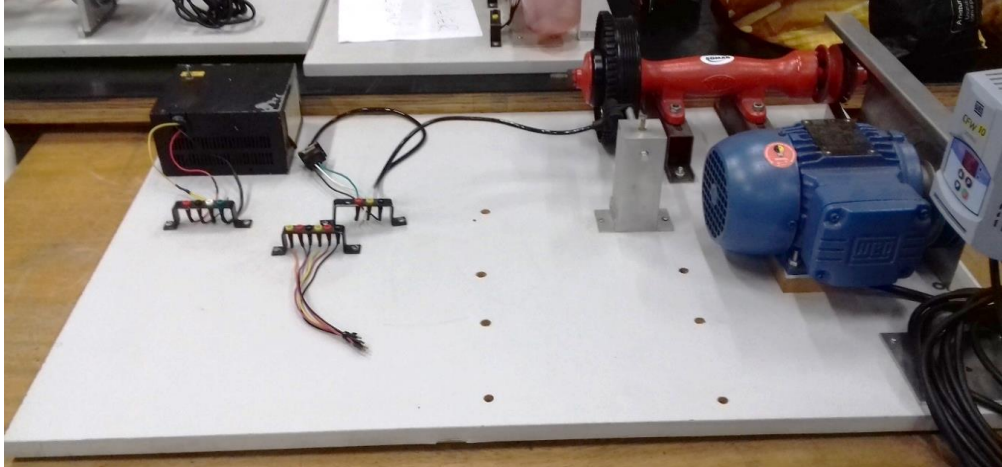
4.3 Ferramentas

Nesta seção é apresentada uma breve descrição das ferramentas utilizada no teste.

4.3.1 Kit de Rotação FATEC

O kit de rotação (figura (34)) conta com uma roda fônica conectada por uma correia a um motor elétrico trifásico controlado por um inversor de frequência modelo WEG CFW10 e um sensor de relutância magnética. O sinal gerado pelo sensor é utilizado pelo módulo HIS para calcular a rotação do motor e posição angular. Esse conjunto permite simular variação de rotação no sensor de relutância magnética.

Figura 34- Kit de rotação.

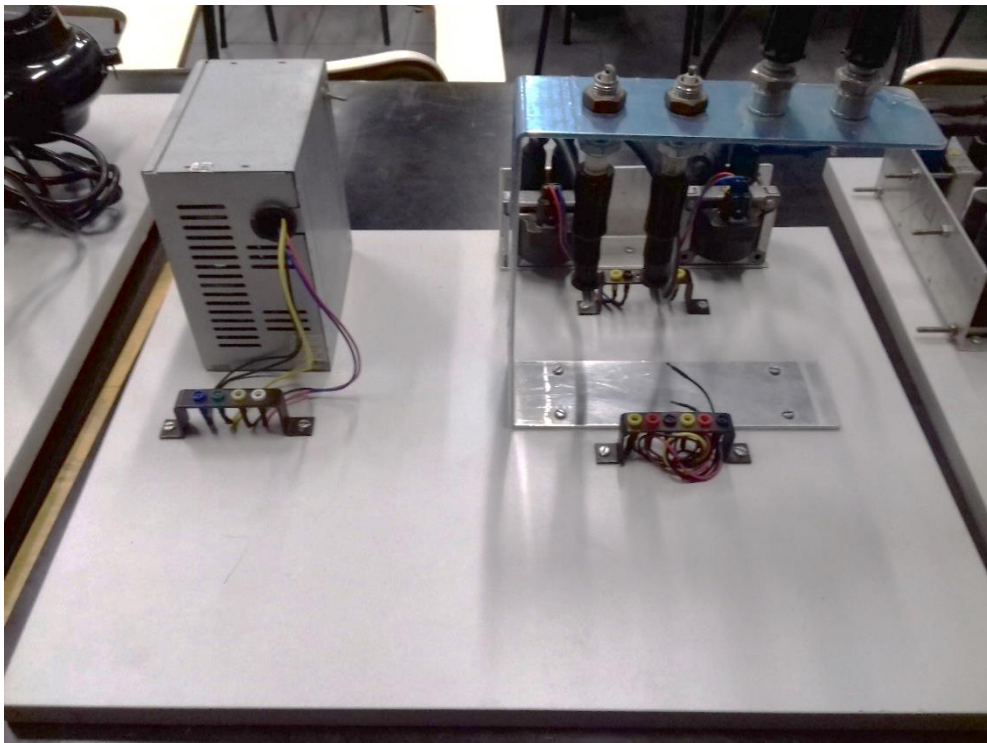


Fonte: Autor.

4.3.2 *Kit de Ignição FATEC*

O kit de ignição, ilustrado na figura 35, conta com uma fonte chaveada de 12V, dois transformadores de ignição do tipo bobina dupla e 4 velas de ignição. Os comandos de ignição 1 e 2 do módulo HIS são conectados a este, a fim de se verificar o funcionamento do mesmo.

Figura 35- Kit de Ignição.

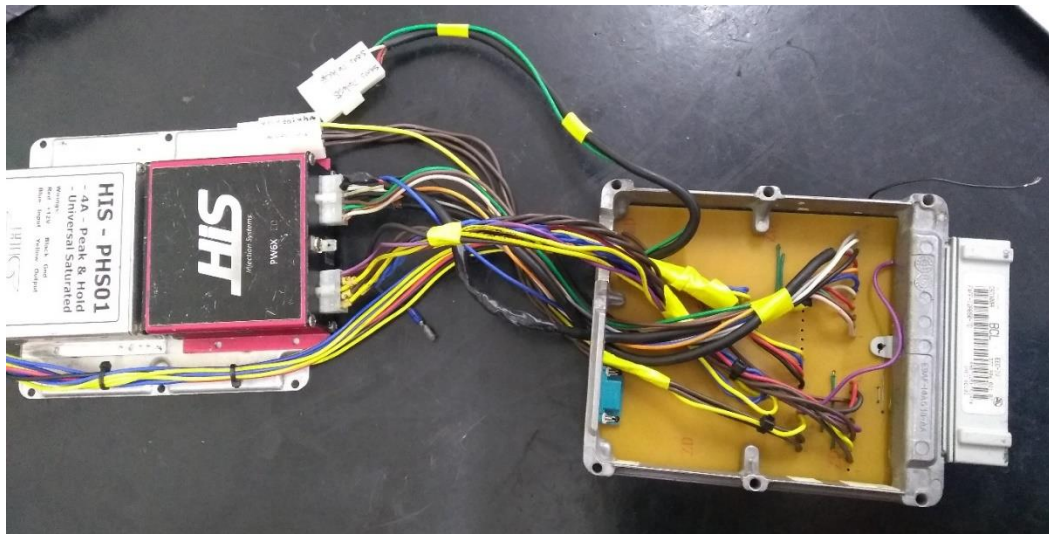


Fonte: Autor.

4.3.3 Placa Adaptadora

A placa adaptadora é utilizada para conectar o HIS ao simulador de sinais de sensores através do conector C60, além de fazer ligação com os kits de rotação e ignição com chicotes externos. A figura (36) ilustra o conjunto entre o HIS, módulo *P&H* PHS01 e a placa adaptadora que interliga os principais sinais dos dois módulos diretamente no conector C60 do Gol.

Figura 36- HIS conectada à placa adaptadora.



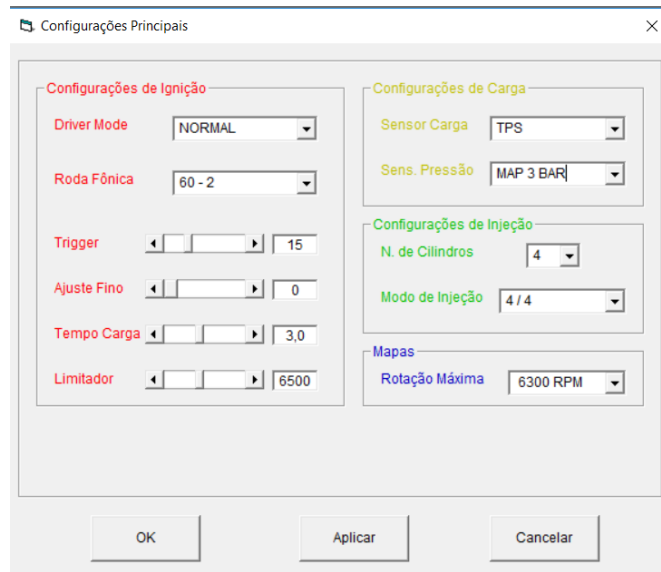
Fonte: Autor.

4.3.4 HISwinXV

Um computador PC e o *software* *HISwinXV* são utilizados para fazer a comunicação e programação dos parâmetros do módulo HIS. Esses parâmetros incluem o ajuste do tipo de roda fônica, quantidade de injeções por ignição, tempo de carga das bobinas, limitador de rotação, número de cilindros do motor, tipo do sensor MAP (figura 37) e os mapas de tempo de injeção e avanço de ignição em função da rotação e porcentagem do sensor TPS (Acelerador) como ilustrado nas figuras (38) e (39)³.

³ Os valores utilizados foram somente para validação entre o valor do mapa e o valor real.

Figura 37 – Janela de configuração *HISWinXV*.



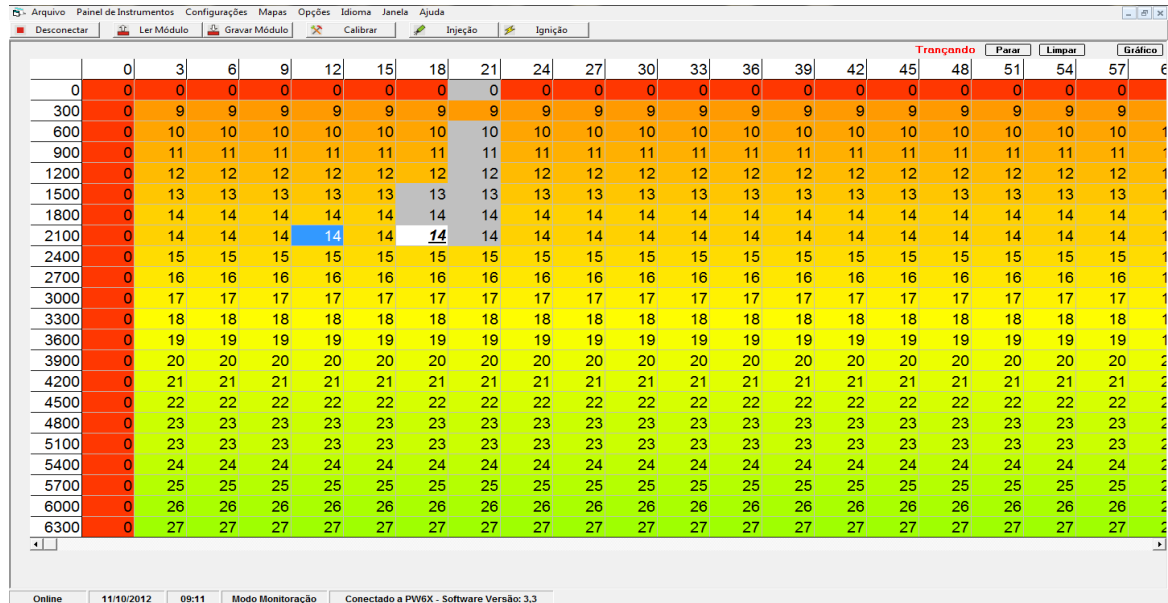
Fonte: Autor.

Figura 38 – Mapa de combustível (Rotação do motor X % abertura do sensor TPS).

	0	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	€
0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
300	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.3	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	0.6	0.5	0.4	0.2	0.1	0
600	1.8	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	0.7	0.6	0.4	0.3	0.1	0
900	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	0.8	0.7	0.5	0.3	0.2	0
1200	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8	1.9	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0	2.1	2.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.2	0
1500	1.5	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3	2.4	2.4	2.5	1.1	0.9	0.6	0.4	0.2	0
1800	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	1.9	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	1.2	0.9	0.7	0.5	0.2	0
2100	1.3	1.5	1.6	1.7	1.9	2.0	2.2	2.3	2.5	2.6	2.7	2.9	3.0	3.1	3.3	1.3	1.0	0.8	0.5	0.2	0
2400	1.2	1.4	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.4	2.6	2.8	2.9	3.1	3.3	3.5	3.6	1.4	1.1	0.8	0.6	0.3	0
2700	1.1	1.3	1.6	1.7	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	1.5	1.2	0.9	0.6	0.3	0
3000	1.1	1.3	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.2	3.4	3.7	3.9	4.2	4.4	1.6	1.3	1.0	0.7	0.3	0
3300	1.0	1.2	1.5	1.8	2.1	2.3	2.6	2.9	3.2	3.4	3.7	4.0	4.2	4.5	4.8	1.7	1.4	1.0	0.7	0.3	0
3600	0.9	1.1	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.2	4.5	4.9	5.1	1.8	1.5	1.1	0.7	0.3	0
3900	0.8	1.1	1.5	1.8	2.1	2.5	2.8	3.1	3.5	3.8	4.1	4.5	4.8	5.2	5.5	1.9	1.6	1.1	0.8	0.4	0
4200	0.7	1.0	1.4	1.8	2.2	2.5	2.9	3.3	3.7	4.0	4.4	4.8	5.1	5.6	5.9	2.0	1.7	1.2	0.8	0.4	0
4500	0.6	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.1	3.4	3.9	4.3	4.6	5.1	5.5	5.9	6.3	2.2	1.8	1.3	0.9	0.4	0
4800	0.5	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.2	3.6	4.1	4.5	4.9	5.4	5.8	6.3	6.7	2.3	1.8	1.3	0.9	0.4	0
5100	0.4	0.8	1.4	1.8	2.3	2.8	3.3	3.7	4.2	4.7	5.1	5.6	6.1	6.6	7.0	2.4	1.9	1.4	1.0	0.4	0
5400	0.3	0.8	1.3	1.8	2.3	2.9	3.4	3.9	4.4	4.9	5.4	5.9	6.4	6.9	7.5	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0
5700	0.2	0.5	0.9	1.2	1.5	1.9	2.3	2.6	2.9	3.3	3.6	3.9	4.3	4.6	5.0	2.6	2.1	1.5	1.1	0.5	0
6000	0.1	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.1	2.3	2.5	2.7	2.2	1.6	1.1	0.5	0
6300	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0

Fonte: Autor.

Figura 39 – Mapa de Ignição (Rotação do motor X % de abertura do sensor TPS).



Fonte: Autor.

Também é possível verificar os valores dos sensores, tempo de injeção, avanço de ignição, rotação, tensão da bateria, se o limitador de rotação está ligado e se a ventoinha esta ligada como visto pela figura (40).

Figura 40 - Parâmetros *HISwinXV*.



Fonte: Autor.

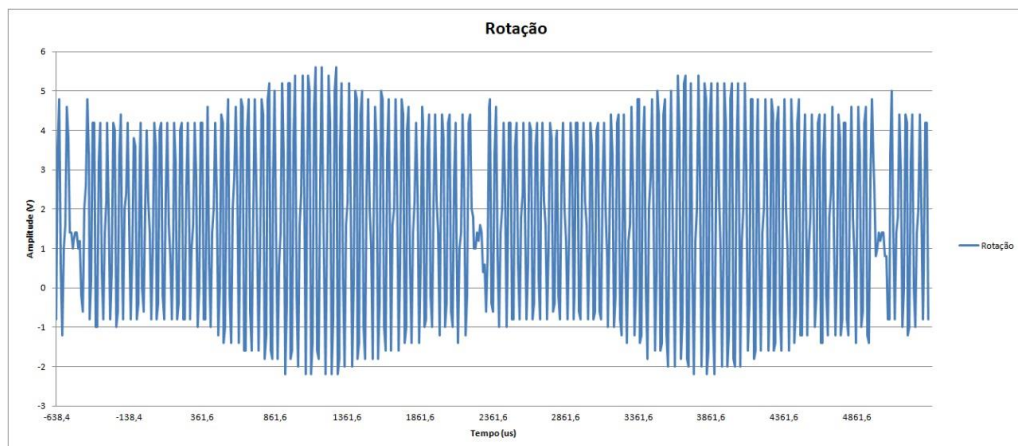
4.4 Resultados

A partir do teste, foi validado o funcionamento do sensor de temperatura da água e do ar, tensão da bateria e acelerador a partir dos sinais fornecidos pelo simulador. No entanto, foi observado que o simulador produz um sinal que varia sua frequência em relação à pressão, enquanto o HIS espera um sinal que varie a tensão. Assim foi realizada a modificação citada em 4.4.1.

Além disso, foi verificado que o módulo realiza a leitura do sinal de rotação (simulado) e controla o tempo de injeção e avanço de ignição tais como programados. Tais resultados podem ser vistos nas figuras (41), (42) e (43).

A figura (41) ilustra o sinal do sensor de rotação durante duas voltas do motor, representando um ciclo completo. A variação na amplitude do sinal fora da região da falha da roda fônica foi provocado pelo desalinhamento radial no acoplamento entre a roda fônica e o suporte. Esse desalinhamento gera um batimento em relação ao centro de giro, provocando afastamento e aproximação do diâmetro da roda fônica em relação ao sensor de relutância.

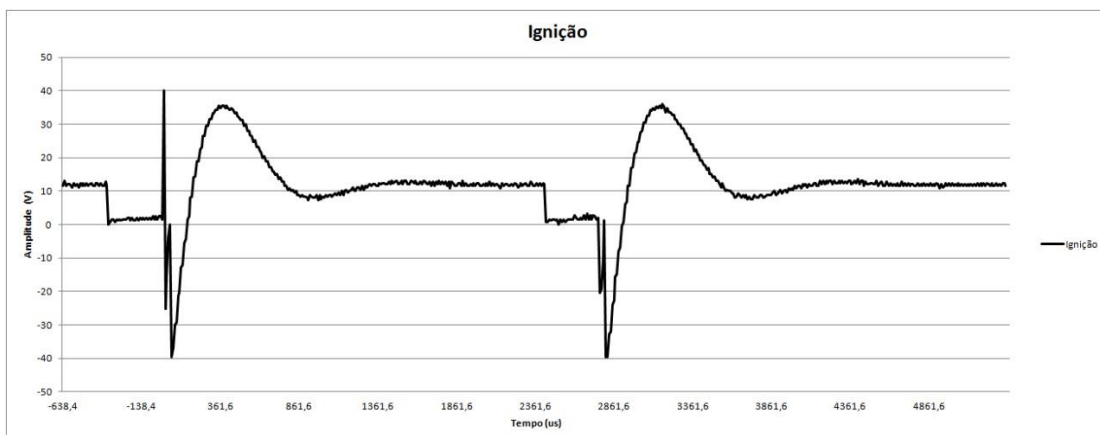
Figura 41 – Sinal de rotação.



Fonte: Autor.

A figura (42) ilustra o comando de ignição 1. O sinal foi medido na saída de comando do módulo HIS, ou seja, a tensão VCE do transistor interno do módulo HIS. Este sinal representa a ignição para o cilindro 1 e 4, sendo o primeiro sinal relativo a ignição do cilindro 1 e o segundo sinal é relativo a ignição do cilindro 4.

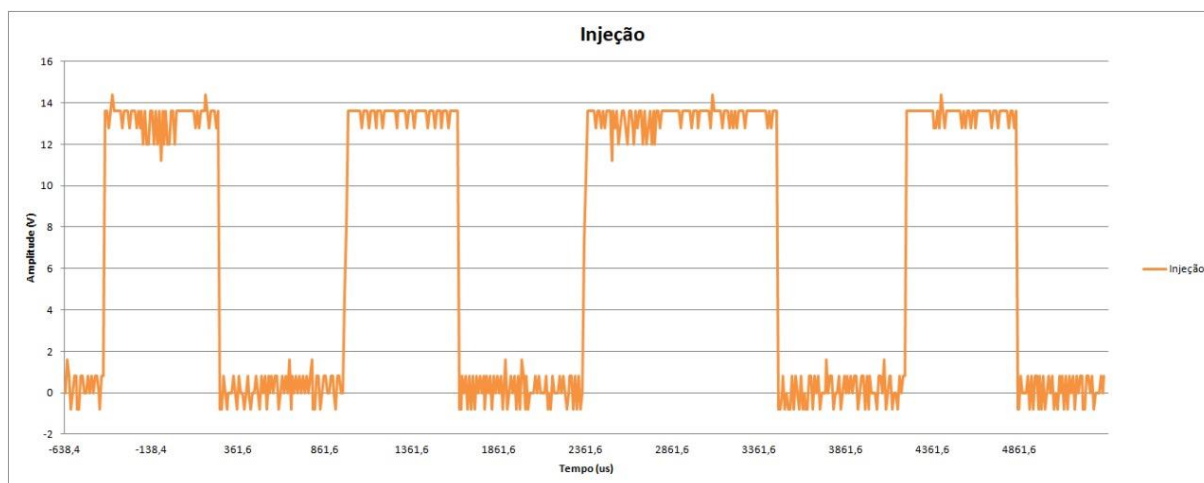
Figura 42 – Sinal de ignição.



Fonte: Autor.

Como pode ser observado pela figura (43), o HIS foi programado para que o comando de injeção 1 forneça uma injeção a cada pulso de ignição. Assim, em um período de duas voltas da roda fônica (um ciclo completo do motor) o comando fornece quatro sinais de injeção. Isso é devido ao fato da injeção do motor ser monoponto e assim, o mesmo bico injetor realiza quatro injeções por ciclo do motor.

Figura 43 – Sinal de injeção.



Fonte: Autor.

4.5 Conceito de Hardware in the Loop (HiL)

Para concluir este capítulo, discute-se brevemente o conceito de HiL que tem crescido muito no mercado automotivo. Esse conceito objetiva reduzir custos e *time-to-market*⁴ de novos produtos. Fundamentalmente, o HiL é uma simulação virtual ou eletrônica de algum sistema física. Na indústria automotiva, o sistema HiL tem sido usado para testar diversos módulos eletrônicos e inclusive a integração desses módulos em rede.

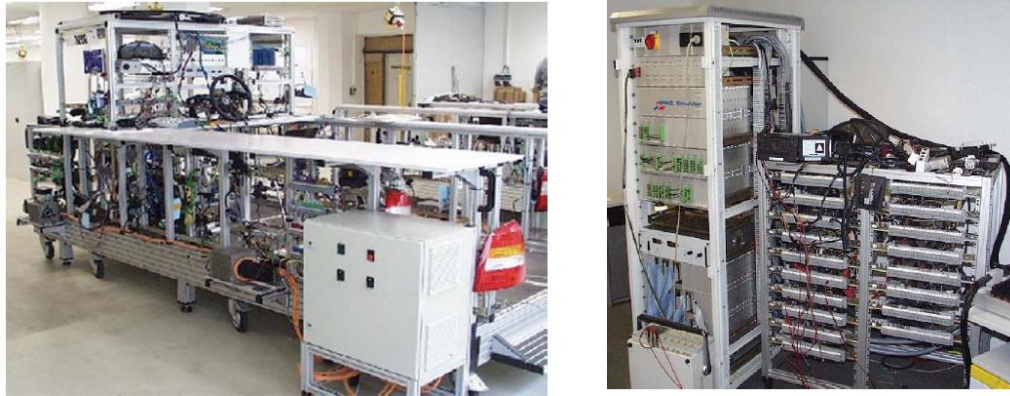
No caso do HiL para ECU de EFI, deseja-se que o sistema sob teste responda exatamente como se estivesse montado no motor de um veículo. Para isso é necessário modelar matematicamente o comportamento de um motor de combustão interna.

O grande benefício de um sistema de testes com HiL é a possibilidade de realizar testes nos algoritmos de estratégia para além dos limites físicos, ou então impor condições que raramente aparecerão em condições reais. Isso tudo com todo conforto e segurança de um ambiente laboratorial. A representação dessa ideia está ilustrada na figura (44) a seguir.

⁴ Refere-se há o tempo entre desenvolvimento de um projeto e o seu lançamento para o mercado consumidor.

Portanto, o projeto proposto neste trabalho realizou testes numa ECU comercial usando o princípio de HiL. Naturalmente, com todas as limitações impostas por uma trabalho acadêmico, principalmente em virtude de pouco tempo e recursos.

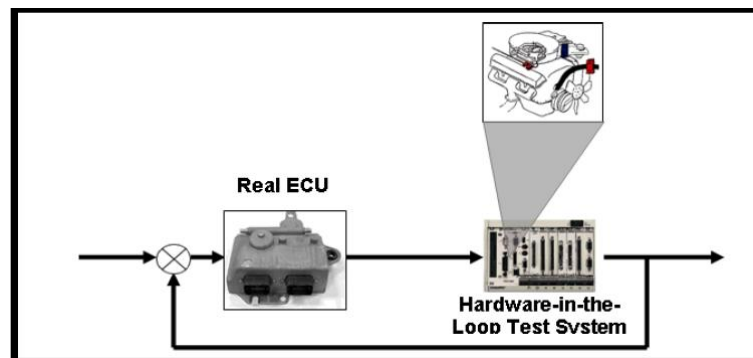
Figura 44- Simulador de um veículo da montadora Opel desenvolvido pela Dspace.



Fonte: Extraído de Notas de aula do Prof. Edson Kitani de FC (2017).

A figura (45) mostra como seria uma malha de controle usando o conceito de HiL com um motor digital. Observe que para a ECU é indiferente onde suas saídas estão atuando. O importante é avaliar a reação dos algoritmos de controle em função dos estímulos que são enviados pelo simulador, assim como foram realizados nos testes deste trabalho.

Figura 45– Representação de como a ECU “enxerga” um motor digital em HiL.



Fonte: Extraído de Notas de aula do Prof. Edson Kitani de FC (2017).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho estudou a história e tecnologias da unidade EEC-IV, assim como pesquisou e comparou outros modelos de ECU *open source* a fim de encontrar a melhor alternativa para a substituição da EEC-IV no veículo GOL. A partir da realização de um tabela comparativo das ECUs escolhidas, pudemos concluir que a melhor opção encontrada localmente seria o módulo HIS PW6X, pois apesar das deficiências deste módulo, havia algumas características em comum a EEC-IV. Além de ser o único módulo disponível na instituição, o que acabou sendo uma característica decisiva para a escolha. A partir deste resultado foi proposto e elaborado um esquema de ligação entre o módulo HIS e o veículo Gol e o simulador de sinais.

Para validar o esquema proposto, foi realizada a configuração do módulo HIS, então o mesmo foi submetido a testes em bancada utilizando o simulador de sinais de (de Souza, 2013) e a resposta do módulo foi analisada.

Sendo assim, concluímos que o trabalho alcançou seu objetivo proposto de definir a melhor escolha para substituição da ECU original, levando em conta também qual seria a dificuldade ou problemas possíveis com essa adaptação.

O trabalho também permitiu criar um sistema de teste em bancada do módulo, utilizando o simulador de sinais de sensores de (DE SOUZA, 2013), pois com essa ferramenta não houve necessidade em realizar adaptações no veículo além de ilustrar o conceito de *Hardware in the Loop* (HiL) para ECUs de EFI, que são muito comuns para realizar ensaios em módulos eletrônicos automotivos.

5.1 Propostas futuras

Como proposta futura para este trabalho é sugerido realizar um estudo prático no veículo com os outros módulos, pois este trabalho somente abordou o módulo HIS PW6X e como fazer essa adaptação. Entretanto, como foi visto anteriormente, os outros modelos estudados também possuem vantagens que podem apresentar resultados diferentes e que podem ser comparados com deste trabalho. Além disso, pode-se propor a calibração no veículo dos mapas de tempo de injeção e avanço de ignição com o módulo HIS.

Também é sugerido como proposta futura realizar um estudo com os módulos dos fabricantes ProTune e Pandoo, pois estes também são encontrados no mercado nacional e podem apresentar vantagens relativas aos módulos estudados.

Além disso, propomos o desenvolvimento do gerenciamento do motor do Gol 95 utilizando a CPU Fatec desenvolvida pelo Prof. Edson Caoru Kitani, que seria a melhor opção por permitir que o aluno trabalhe na calibração dos parâmetros e no desenvolvimento de *software*.

Propõe-se também desenvolver sistemas HiL mais complexos e que possam realizar simulações mais reais e em malha fechada.

6 REFERÊNCIAS

- HIS Injection Systems . (2008). *PW6X – Manual de Instalação e Operação*.
- ANDREOLI, A. G. (2009). Injeção Eletrônica Programável para Automóveis. *Monografia de Graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul*.
- AUTODIAGNOS. (1997). Operation - FORD EEC IV. Em *Operation - FORD EEC IV* (p. 52).
- BERTELSEN, B. I. (2001). The U.S. Motor Vehicle Emission Control Programme. *Platinum Metal Review*.
- BONNICK, A. (2001). *Automotive Computer Controlled Systems*. Butterworth-Heinemann.
- BRAGA, G. T. (2007). Uma Contribuição ao Controle de Motores de Combustão Interna de Injeção por Centelha em Marcha Lenta. *Dissertação de Mestrado - Univesidade de Minas Gerais*.
- De Souza, A. S. (2013). SIMULADOR DE SINAIS DE SENSORES PARA. *Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Eletrônica Automotiva - Fatec Santo André*.
- DE SOUZA, A. S. (2013). *Simulador de Sinais de Sensores Para Testar ECU EEC-IV*. Santo André: FATEC Santo André.
- de Souza, A. S. (2013). SIMULADOR DE SINAIS DE SENSORES PARA TESTAR ECUS EEC-IV. *[Trabalho de Conclusão de Curso] Fatec Santo André, Tecnologia em Eletrônica Automotiva*. Fonte: FRAM.
- DENTOM, T. (2004). *Automobile Electrical and Electronic* (3ª Edição ed.). Jordan Hill, Oxford, United Kingdon: Butterworth-Heinemann.
- Fueltech. (2018). *Fueltech - Injeção Eletrônica FT250*. Acesso em 3 de Abril de 2018, disponível em Fueltech: <https://www.fueltech.com.br/injecao-eletronica-ft250-prod-587.html>
- GONÇALVES, S. S. (2004). *Injeção Eletrônica sem Segredos*. Rio de Janeiro: Antena. Edições Técnicas.
- HAGEN, D. F., & WILKIE, D. F. (1982). EEC-IV Tomorrow's Electronic EGINE Controls Today. *International Congress on Transportation Electronics* (pp. 59-69). SAE.
- Hartman, J. (2004). *How to Tune and Modify Engine Management Systems (Motorbooks Workshop*. Motorbooks.
- HATCH, S. (2012). *Computerized Engine Controls*. Delmar Cengage Learning.
- HIS Injection Systems. (2016). *Sobre a Empresa: HIS Injection Systems*. Acesso em 20 de Abril de 2017, disponível em Site da HIS Injection Systems: <http://piggyback.com.br/>
- Intel. (2018). *Intel at 50: EEC-IV Automotive Computer & Ford*. Acesso em 2018 de 07 de 12, disponível em Intel - Articles: <https://newsroom.intel.com/articles/intel-50-eec-iv-automotive-computer-ford/>
- KITANI, E. C. (20 de 04 de 2017). *Download Gerenciamento de Motores*. Acesso em 16 de novembro de 2016, disponível em Prof Edson FATEC Santo André Eletrônica Automotiva e Mecatrônica Industrial: <https://sites.google.com/site/profedsonfatecsa/Home/download-gerenciamento-de-motores>
- LEE, J. H. (2003). Review on Zirconia Air-Fuel Ratio Sensors for Automotive Applications. *Journal of Materials Science*, 38(21).
- MARTINO, J. P. (1987). Using Precursors as Leading Indicators of Technological Change. *Technological Forecasting and Social Change* , pp. 341-360.
- MegaSquirt. (2 de 3 de 2018). *Perguntas Frequentes (FAQ) - MegaSquirt*. Acesso em 16 de novembro de 2016, disponível em MSBR: <http://manual.msbr.com.br/>
- Melito, M. (1999). *CAR IGNITION WITH IGBTs*. Fonte: STMicroelectronics APPLICATION NOTE.

- MILHOR, C. E. (2002). Sistema de Desenvolvimento para Controle Eletrônico dos Motores de Combustão Interna Ciclo Otto. *Dissertação de Mestrado Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*.
- MoTeC Pty Ltd. (2014). *M84 Manual*. Acesso em 14 de Março de 2018, disponível em <http://www.motec.com/downloads/downloadmanuals/>
- MoTeC Pty Ltd. (2018). *MoTeC About Us*. Acesso em 8 de Março de 2018, disponível em MoTeC: <http://www.motec.com/corporate/aboutUS/>
- MoTeC Pty Ltd. (2018). *Product Datasheet M84 #13084 rev 1.1*. Fonte: Motec.
- MTE-THOMSON. (09 de 2013). <http://www.mte-thomson.com.br>. (MTE-THOMSON) Acesso em 2017, disponível em Catálogo Temperatura 2013: <http://www.mte-thomson.com.br/site/catalogos/>
- POWERS, W. F. (1981). INTERNAL COMBUSTION ENGINE CONTROL SYSTEM RESEARCH AT FORD. *Decision and Control including the Symposium on Adaptive Processes, 1981 20th IEEE Conference on*.
- RIVARD, J. (20 de 10 de 1986). Automotive Electronics in the Year 2000. *SAE Paper*, p. 18.
- Robert Bosch GmbH. (2000). *Gasoline Fuel Injection System K-Jetronic* (4ª ed.). Stuttgart: Robert Bosch GmbH.
- Robert Bosch GmbH. (2005). *Manual de Tecnologia Automotiva* (25ª Edição ed.). São Paulo: Edfard Blucher.