

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

**MOISÉS WILLIAM OLIVEIRA SANTIN
RODRIGO ALEJANDRO FUENTES MEDRANO**

**PLATAFORMA DE INSTALAÇÃO DE
MÓDULOS *STAND ALONE***

Santo André – São Paulo
2013

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

**MOISÉS WILLIAM OLIVEIRA SANTIN
RODRIGO ALEJANDRO FUENTES MEDRANO**

**PLATAFORMA DE INSTALAÇÃO DE
MÓDULOS STAND ALONE**

Monografia apresentada ao Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Automotiva da Faculdade de Tecnologia de Santo André, como requisito parcial para conclusão do curso superior de Tecnologia em Eletrônica Automotiva.

Orientador: Prof. MSC. Cleber Willian Gomes

Coorientador: Prof. MSC. Felipe Serafim Albaladejo

Santo André – São Paulo
2013

LISTA DE PRESENÇA

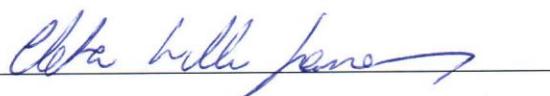
SANTO ANDRÉ, 13 DE DEZEMBRO DE 2013.

LISTA DE PRESENÇA REFERENTE À APRESENTAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO COM O TEMA **PLATAFORMA DE INSTALAÇÃO DE MÓDULOS “STAND ALONE”** DOS ALUNOS DO 6º SEMESTRE DESTA U.E.

BANCA

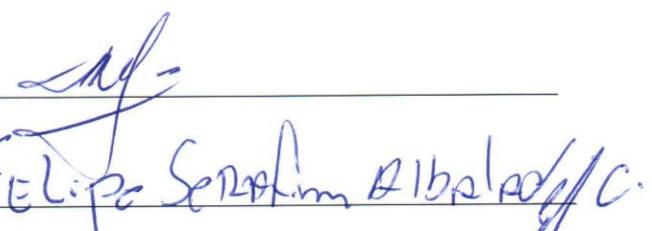
PRESIDENTE:

PROF. Msc CLÉBER WILLIAN GOMES



MEMBROS:

PROF. MARCO AURÉLIO FRÓES



Me. FELIPE SERAFIM ALBALADEJO

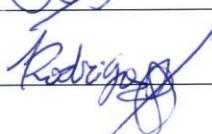


ALUNO:

MOISÉS WILLIAM OLIVEIRA SARTIN



RODRIGO ALEJANDRO FUENTES MEDRANO



Dedicamos este trabalho aos nossos pais, que foram
nossos alicerces durante esta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente aos nossos familiares e amigos que participaram, incisivamente, de nossas vidas. Muitas dificuldades foram superadas por nós com força, honra e humildade, e hoje dedicamos este trabalho como forma de agradecimento a todos eles.

Agradecemos, em especial, ao nosso orientador Cleber Willian Gomes e ao coorientador Felipe Serafim Albaladejo, pelo incentivo, apoio, dedicação e principalmente por nos ajudar a transformar a nossa proposta em realidade. Ao Gustavo Oioli de Campos e à sua empresa HIS, por nos fornecer o material de trabalho e toda a assistência técnica que necessitamos no transcorrer do trabalho.

Agradecemos também, ao Prof. Marco Aurélio Fróes pela orientação redacional, estrutural e pelo tempo dispensado a nos auxiliar.

Gostaríamos de agradecer a todos aqueles que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, assim como os professores, colaboradores e funcionários da Fatec Santo André que sempre estiveram prontos a nos ajudar.

“Não sei dirigir de outra maneira que não seja arriscada. Quando tiver de ultrapassar vou ultrapassar mesmo. Cada piloto tem o seu limite. O meu é um pouco acima do dos outros.”

Ayrton Senna

RESUMO

Atualmente os motores a combustão interna ciclo Otto são amplamente utilizados em veículos de passeio e motocicletas, desde sua concepção e construção, diversos sistemas de formação e ignição da mistura ar combustível veem sendo desenvolvidos. Devido às regulamentações terem se tornado mais rígidas com o passar dos anos, fez-se necessária a inclusão de dispositivos eletrônicos que possibilitem otimizar o rendimento do motor, assim reduzindo o impacto ambiental causado pelo automóvel. Esses sistemas de gerenciamento eletrônico implantados ainda devem ser configurados, ou seja, necessitam passar por uma calibração, para garantir assim um ótimo funcionamento do motor. No caso da variedade de módulos programáveis oferecida pelo mercado, apesar dos diferentes fabricantes existentes, a maioria apresenta um custo elevado, porém uma empresa Brasileira denominada HIS oferece uma solução com melhor custo benefício. Este trabalho visa, fazer a identificação dos principais componentes envolvidos no sistema de gerenciamento do motor do automóvel selecionado (Volkswagen Parati) que possui tecnologias do conceito *Downsizing* e analisar o seu comportamento, posteriormente, instalar, configurar e calibrar o módulo programável *stand alone* HIS, para que ele possa funcionar satisfatoriamente.

Palavras chaves: Sistema de gerenciamento eletrônico programável. Motor de combustão interna. Calibração de motores. *Downsizing*. *Stand Alone*.

ABSTRACT

Currently internal combustion engines Otto cycle are widely used in passenger cars and motorcycles, since its design and construction, many control intake fuel systems and spark systems are being developed. As environmental regulations have become more stringent over the years, it was necessary to include electronic control systems that enables to optimize their efficiency, reducing the impact caused by the vehicle. These implanted electronic management systems must also be configured, ie, need to be calibrated to ensure optimal operation of the engine. In the case of variety of programmable modules offered by the market, despite different manufacturers exist, most have a high cost, however a Brazilian company HIS offers a solution with the best cost-benefit. This work are intend to identify the main components involved in the engine management system of automobile selected (Volkswagen Parati) technology that has the concept Downsizing and analyze their behavior, then, install, configure and calibrate the module programmable stand alone HIS, so it can work satisfactorily.

Keywords: Electronic Control Unit (ECU), Management of internal combustion engines. Engine Calibration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Ciclo de trabalho de um motor Otto	22
Figura 2. Disposição das principais peças mecânicas de um motor	24
Figura 3. Ciclo Otto para um motor de combustão interna (FROES, 2010)	27
Figura 4. Componentes das forças que agem sobre o êmbolo. (Adaptado de BOSCH, 2005)	28
Figura 5. Exemplo de curva de Potência e torque de um motor (VW EA 113 1.6 litro)	29
Figura 6. Referências para cálculo da cilindrada de um motor.....	29
Figura 7. Parâmetros envolvidos no cálculo da eficiência volumétrica.....	30
Figura 8. Sistema de injeção indireta monoponto (ADAPTADO DE PUJATTI, 2007).....	33
Figura 9. Sistema de injeção indireta multiponto (ADAPTADO DE PUJATTI, 2007).....	34
Figura 10. Sistema de ignição convencional	37
Figura 11. Vela de ignição (FROES, 2012).....	38
Figura 12. Dinâmica dos gases do turbocompressor	41
Figura 13. Turbo de geometria variável	42
Figura 14. Sistema VCR (SAE BRASIL, 2013).....	43
Figura 15. Biela Variável (SAE BRASIL, 2013)	44
Figura 16. Circuito de alta pressão do sistema de injeção direta. (Volkswagen, 2005).....	46
Figura 17. Bomba de alta pressão (Volkswagen, 2005)	47
Figura 18. Comando de válvulas variável	50
Figura 19. Mecanismo do VTEC.....	51
Figura 20. Diagrama da ECU (ADAPTADO DE VW, 2005).....	54
Figura 21. Diagrama esquemático de uma Sonda λ	55
Figura 22. Gráfico da tensão de saída do HEGO em função do lambda (Pinto, 2001)	56
Figura 23. Sensor MAF do tipo palheta	58
Figura 24. Sensor MAF do tipo Karman Vortex	59
Figura 25. Sensor MAF	59
Figura 26. Esquema elétrico do sensor MAF	60
Figura 27. Sensor de massa de ar (Volkswagen, 2003)	61
Figura 28. Fluxo de ar nos termosensores (Volkswagen, 2013)	62
Figura 29. Fluxo reverso do ar nos termosensores (Volkswagen, 2003)	62
Figura 30. Sensor de rotação do motor (Fróes, 2013)	64
Figura 31. Princípio de funcionamento do sensor HALL	65
Figura 32. Método de construção do sensor HALL	66
Figura 33. Sensor MAP	66
Figura 34. Esquema do sensor MAP	67
Figura 35. Ponte de wheatstone	67
Figura 36. Cânister	69
Figura 37. Válvula de purga do cânister	69
Figura 38. Sistema PCV	70
Figura 39. Válvula do PCV	71
Figura 40. Corpo de borboleta	72
Figura 41. Atuador de marcha lenta	72
Figura 42. Sistema de engrenagens do atuador de marcha lenta	73
Figura 43. Válvula eletro injetora	74
Figura 44. Geometria dos jatos	75
Figura 45. Sistema do turbocompressor	79
Figura 46. Funcionamento do circuito do turbo	80
Figura 47. Interface do módulo FT488	82
Figura 48. Interface do módulo	83
Figura 49. Funções do Motec m400 (ADAPTADO Motec, 2013).....	84
Figura 50. Diagrama elétrico da Parati (Volkswagen, 2003).....	87
Figura 51. Circuito auxiliar do sistema de combustível	89
Figura 52. Circuito Amplificador operacional na montagem subtratora.....	90
Figura 53. Driver de potência do atuador de marcha lenta.....	91
Figura 54. Esquema elétrico interno do NE555.....	92
Figura 55. Gráfico do momento de carga e descarga do capacitor C2.....	93
Figura 56. Gráfico de sinal de tensão na saída do NE555.....	94

Figura 57. Esquema elétrico do circuito de controle das válvulas do cânister e pressão do Turbo.....	95
Figura 58. Circuito do variador de fase.....	96
Figura 59. Conector e chicote elétrico do módulo PW6X (HIS, 2013).....	97
Figura 60. Conectores do módulo e chicote do HIS PW6X (ADAPTADO DE TRACE PARTS ON LINE, 2011).....	97
Figura 61. Ferramenta de diagnóstico VAS5052.....	100
Figura 62. Estrutura de menus do programa “HISwinXV”.....	102
Figura 63. Configurações principais, “HISwinXV”	102
Figura 64. Estratégia de injeção 4/4 (ADAPTADO DO SENAI, 2011).....	103
Figura 65. Configurações de injeção, “HISwinXV”	104
Figura 66. Configurações das Saída, “HISwinXV”.....	105
Figura 67. Calibração do TPS, “HISwinXV”	106
Figura 68. Ajuste de marcha lenta, “HISwinXV”	107
Figura 69. Sensores e limitadores, “HISwinXV”	107
Figura 70. Ajuste das bombas de TPS, “HISwinXV”	108
Figura 71. <i>BOB (Break Out Box)</i>	109
Figura 72. <i>Layout</i> do circuito das implementações	110
Figura 73. Esquema elétrico do circuito das implementações	110
Figura 74. Interface PW6X – chicote do veículo	111
Figura 75. Variáveis de entrada para o cálculo do tempo de injeção.....	113
Figura 76. Mapa do tempo de injeção – partida	115
Figura 77. Mapa do avanço de ignição – partida.....	115
Figura 78. Gráfico do lambda segundo rotação e tempo de injeção	117
Figura 79. Mapa do tempo de injeção – aceleração sem carga.....	118
Figura 80. Mapa do avanço de ignição – aceleração sem carga	119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Gases presentes no ar atmosférico (Câmara, 2006)	32
Tabela 2 - Características do eletro injetor do VW Parati.	77
Tabela 3 – Especificações do veículo (Volkswagen, 2013).	86
Tabela 4 - Correlação entre a pinagem da <i>ECU</i> original e o módulo PW6X..	98
Tabela 5 - Valores de avanço de ignição aferidos.	101
Tabela 6 – Cálculo do tempo base de injeção.....	114
Tabela 7 – Valores de lambda medidos a 2500 rpm.....	116

LISTA DE TERMOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

Hardware - É toda parte física, como por exemplo, os componentes de um circuito;

Software – É uma sequência de instruções escritas para serem interpretadas por um processador com o objetivo de executar tarefas específicas;

Stand alone – Significa auto suficiência, ou seja, o módulo da HIS controla o motor do veículo por completo sem o auxílio de outros módulos;

Datalogging – É um dispositivo eletrônico que realiza um registro de dados;

Bypass – Significa contornar, desviar, é uma passagem secundária;

Rail – É o tubo de distribuição de combustível propriamente dito;

HEGO – Sensor de oxigênio com aquecedor;

UEGO – Sensor de oxigênio universal;

MAF – (*Mass Air Flow*) Sensor de massa de ar;

MAP – (*Manifold Absolute Pressure*) Sensor de pressão absoluta do coletor de admissão;

NTC – (*Negative Temperature Coefficient*) Sensor de temperatura com coeficiente negativo de resistência;

LED – (*Light Emitting Diode*) Diodo emissor de luz;

Photo-transistor – Transistor que satura quando é incidido por uma luz.;

Schmitt trigger – Circuito comparador utilizado para quadra sinais;

Dash-pot – Estratégia de fechamento gradual da válvula borboleta;

Cut-off – Estratégia de economia de combustível em desacelerações;

Speed x density – Estratégia de cálculo do tempo de injeção;

HFM – (*Hot Film Mass*) Sensor de massa de ar do tipo fio aquecido;

Ponte de *wheatstone* - É um esquema de montagem que permite a medição de uma resistência elétrica desconhecida;

CO_2 – Dióxido de carbono;

CO – Monóxido de carbono;

O_2 – Oxigênio;

H_2O – Água;

Rpm – Rotações por minuto;

CHO – Aldeído;

OHV – (Overhead Valves) Válvulas no cabeçote;

NOx – Óxidos de nitrogênio;

ECU – Electronic Control Unit – Unidade eletrônica de controle. Dispositivo eletrônico que efetua a leitura de entradas, processa os dados e gera sinais de controle para as saídas;

GND – Ground – Terra. Potencial de zero Volts em circuitos elétricos e eletrônicos.

LCD – Liquid crystal display – Display de cristal líquido;

PMI – Ponto Morto Inferior;

PMS – Ponto Morto Superior;

PWM – Pulse With Modulation – Modulação por largura de pulso;

Duty cycle – significa ciclo de trabalho, é utilizado para descrever a fração de tempo em que um sistema está em estado ativo;

PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos. Regulamentação governamental que rege as emissões de gases permitidas para automóveis em comercialização no Brasil;

SAE Brasil – Society Automotive Engineers – Sociedade de Engenheiros da Mobilidade. É uma organização responsável pelos estudos em engenharia da mobilidade, e indústrias montadoras de automóveis;

ZrO₂ – Zircônia;

Range – Faixa de valores aceitáveis para uma operação.

MOSFET - Transistor de efeito de campo metal - óxido – semicondutor.

CI – Circuito integrado.

Driver de potência – Circuito que fornece potência a um sinal de controle.

derivada de TPS – Variação brusca no acionamento da válvula borboleta.

Set – Função lógica que ativa a saída de um circuito eletrônico (sinal alto).

Reset - Função lógica que desativa a saída de um circuito eletrônico (sinal baixo).

Bit – É uma unidade de informação que pode ser armazenada ou transmitida, um *bit* pode assumir dois valores, 0 e 1.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. Objetivos e motivação	17
1.2. Conteúdo	18
1.3. Metodologia.....	18
1.4. Contribuições.....	19
2. CONCEITOS BÁSICOS DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA	20
2.1. A origem dos motores de combustão interna ciclo Otto	20
2.2. Motores de combustão interna.....	21
2.3. Fundamentos dos motores de combustão interna	21
2.3.1. Tempo de admissão	22
2.3.2. Tempo de compressão	22
2.3.3. Tempo de expansão	23
2.3.4. Tempo de exaustão	23
2.4. Principais componentes de um motor de combustão interna	23
2.4.1. O cabeçote	24
2.4.2. O cárter	24
2.4.3. O êmbolo	25
2.4.4. A biela	25
2.4.5. A árvore de manivelas	25
2.4.6. Trem de válvulas	26
2.5. Termodinâmica do ciclo otto	26
2.6. Conceitos básicos de um motor de combustão interna	28
2.6.1. Torque	28
2.6.2. Potência	28
2.6.3. Cilindrada	29
2.6.4. Taxa de compressão	30
2.6.5. Rendimento de um motor	31
2.7. Formação da mistura carburante e os gases presentes na exaustão	31
2.8. Sistema de alimentação de combustível	32
2.8.1. Sistema de injeção indireta monoponto	32
2.8.2. Sistema de injeção indireta multiponto.....	33
2.8.3. Relação ar combustível.....	34
2.8.4. Gases não poluentes	35
2.8.5. Gases poluentes	36
2.9. Sistema de ignição	36
2.9.1. Avanço de ignição	39
2.10. <i>Downsizing</i>	39
2.10.1 Turbocompressor.....	40

2.10.2. O sistema <i>VCR</i> (Variabilidade de compressão do sistema)	42
2.10.3. Injeção direta de combustível	44
2.10.3.1. Circuito de alimentação de combustível.....	45
2.10.3.2. Bomba de combustível	46
2.10.3.3. Estratégias de injeção	47
2.10.4. <i>EGR</i> (sistema de recirculação dos gases de escape)	48
2.10.5. Comando de válvulas variável.....	48
3. ESTUDO DE HARDWARE	53
3.1. Sensores e atuadores.....	53
3.1.1. Sensor de oxigênio (Sonda Lambda) – G39	55
3.1.2. Sensor de massa de ar (<i>MAF</i>) – G70	57
3.1.2.1 Sensor de temperatura do ar/líquido de arrefecimento – G42/G67.....	63
3.1.3. Sensor de posição de borboleta – G39.....	63
3.1.4. Sensor de rotação e PMS - G28.....	64
3.1.5. Sensor de pressão <i>MAP</i> – F96	66
3.1.6. Eletro-ventilador.....	68
3.1.7. Sistema de controle de emissões evaporativas.....	68
3.1.8. Eletroválvula do filtro de carvão ativado – N80.....	69
3.1.9. Sistema de ventilação positiva do cárter.....	70
3.1.10. Atuador de marcha lenta – V60	71
3.1.11. Eletro injetores – N30, N31, N32 e N33	73
3.1.12. Transformador de ignição – N152	77
3.1.13. Sistema de sobrealimentação	78
3.2. Sistemas de gerenciamento <i>stand alone</i>	80
3.2.1. <i>FuelTech</i>	81
3.2.2. MoTec	83
4. METODOLOGIA	85
4.1. O veículo	85
4.2. Implementações	88
4.2.1. Circuito do <i>TPS</i>	89
4.2.1.1. Princípio de funcionamento	89
4.2.2. Circuito do atuador de marcha lenta	90
4.2.2.1. Princípio de funcionamento	91
4.2.3. Controle da válvula de purga do cânister e da válvula de controle da pressão do turbo	92
4.2.3.1. Princípio de funcionamento	92
4.2.4. Circuito do variador de fase.....	95
4.3. Construção do chicote	96
4.3.1. Os Chicotes do PW6X	96
4.3.2. Desenvolvimento do chicote de interface entre o veículo e o PW6X	98
4.4. Cálculo base para o tempo de injeção.....	98

4.5. Determinação do avanço de ignição base	100
4.6. Configuração do PW6X.....	101
4.6.1. Configuração inicial	102
4.6.1.1. Configurações principais.....	102
4.6.1.2. Configurações de injeção.....	104
4.6.1.3. Configurações das Saídas	105
4.6.1.4. Calibração do <i>TPS</i>	105
4.6.1.5. Ajuste de marcha lenta	106
4.6.1.6. Sensores e limitadores	107
4.6.1.7. Ajustes da bomba de TPS	108
5. RESULTADOS	109
5.1. Interface.....	109
5.2. Mapa base para o tempo de injeção	111
5.3. Mapas de partida e marcha lenta	114
5.4. Mapa final.....	115
6. CONCLUSÃO	120
6.1. Oportunidades para desenvolvimentos futuros	121
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
ANEXO I - Esquema elétrico do circuito das implementações.....	125
ANEXO II – <i>Layout</i> do circuito das implementações	126
ANEXO III – Lista de componentes	127

1. INTRODUÇÃO

Desde a concepção do primeiro motor de combustão interna, e sua construção, diversos sistemas de controle da formação e ignição da mistura ar/combustível estão sendo desenvolvidos visando um objetivo comum: fornecer ao veículo torque suficiente para a sua locomoção, através da transformação da energia química do combustível em energia cinética rotacional no eixo de manivelas. A rápida evolução desses sistemas fez com que os sistemas mecânicos, como o carburador e o platinado, se tornassem ineficientes sob o ponto de vista de economia de combustível, eficiência de ignição e controle de emissão de poluentes (Passarini, 1993).

Para superar as limitações dos sistemas mecânicos foram implantados sistemas de gerenciamento eletrônicos, os quais necessitam de uma calibração. O papel do calibrador é executar o processo de configuração do motor para que ele possa funcionar de forma otimizada de acordo com os requisitos, que podem variar desde economia de combustível e dirigibilidade a alto desempenho (torque e potência). O objetivo deste trabalho é analisar o sistema de gerenciamento do veículo Volkswagen Parati, para realizar a implementação de um módulo programável para a injeção e ignição do combustível, mantendo-se os componentes ou realizando as adaptações e implementações necessárias, com enfoque no sistema de controle eletrônico do motor.

1.1. Objetivos e motivação

Fazer a identificação dos principais componentes envolvidos no sistema de gerenciamento do motor do automóvel selecionado (Volkswagen Parati) e analisar o seu comportamento, posteriormente, instalar, configurar e calibrar o módulo programável *stand alone HIS*, permitindo que o motor funcione na faixa de rotação definida entre o valor de marcha lenta e 6200 rpm com carga.

Quem ler o trabalho poderá constatar que é possível através de um estudo do funcionamento de um automóvel, reproduzir suas estratégias de funcionamento em outra *ECU* (*Eletronic Control Unit*) programável.

Academicamente, o tema se mostrou muito abrangente, pois, serão utilizados conhecimentos adquiridos em diversas disciplinas, tais como: motores, eletrônica analógica e digital, sistemas de gerenciamento, calibração e carga e partida.

O fato de utilizar um módulo *Stand alone* em um veículo com motor com tecnologia *downsizing*, (1.0L 16V Turbo), e a utilização de uma ferramenta de diagnóstico, o VAS5052 da Volkswagen, mostra ser de fato um grande desafio, e ao mesmo tempo, bastante motivante pelo ganho de conhecimento que este projeto nos trará.

1.2. Conteúdo

Este trabalho foi dividido em seis capítulos sendo que o primeiro trata da apresentação do nosso projeto, o objetivo principal, o resumo e o que nos motivou a decidir por este tema. No capítulo 2, abordamos uma revisão geral que se inicia com a história do ciclo Otto e em seguida, passamos por definições do motor, seus principais componentes fixos e móveis, termodinâmica e finalmente focamos nas tecnologias que fazem parte do conceito *downsizing*. No capítulo 3, apresentamos o estudo do *hardware* dos principais componentes envolvidos no sistema de gerenciamento do veículo VW Parati, exceto alguns componentes que não fazem parte da estratégia de gerenciamento do módulo PW6X da HIS. Prosseguindo para o capítulo 4, demonstramos toda a metodologia do processo, análise, implementações e configurações básicas do *software* de calibração. Já no capítulo 5 apresentamos um exemplo do cálculo do tempo de injeção e expomos os resultados obtidos com relação as implementações, construção da interface e calibração do motor sem carga. Finalmente no capítulo 6, decorre-se sobre as conclusões obtidas dos resultados construindo um referencial que poderá fundamentar propostas para futuras pesquisas nesta área.

1.3. Metodologia

A metodologia empregada neste trabalho constituiu-se de cinco etapas. Inicialmente fizemos o levantamento do *hardware* do motor do veículo VW Parati, o que inclui o estudo de sensores, atuadores e especificações técnicas. Também foram estudados os componentes envolvidos nas estratégias da unidade de controle *Stand alone*. Durante esse período foi consolidado todo conhecimento teórico e prático necessário para iniciar o desenvolvimento do projeto, verificando se há necessidade de alguma adaptação ou implementação para o funcionamento correto do sistema.

Com a primeira etapa concluída, iniciou-se a segunda etapa que consistiu em aplicar todo conhecimento adquirido na primeira etapa para construção da interface de comunicação entre módulo *stand alone* e o veículo.

A terceira etapa consistiu no estudo do *Software* “HISwinXV”, instalação física do módulo, demonstração dos procedimentos da configuração básica do programa, cálculos respectivos da massa de ar admitida pelo motor, os tempos de injeção e o avanço base de ignição.

Na quarta etapa, utilizando as ferramentas de diagnóstico, partimos para a calibração do motor.

Finalmente, a quinta e última etapa tratou da consolidação da documentação na forma desta monografia, detalhando todos os resultados obtidos e generalizando o tema para futuras pesquisas na área.

1.4. Contribuições

A importante contribuição deste trabalho é o material didático que será disponibilizado para o estudo de como se proceder na adaptação de um sistema de gerenciamento *stand alone* em um veículo original.

A melhoria acadêmica se mostrará possível por meio da calibração do veículo em tempo real e a aquisição das variáveis que influenciam no tempo de injeção, facilitando o estudo. Também disponibilizaremos todas as etapas necessárias para instalação de módulos *stand alone* em veículos.

Com relação ao mercado corporativo o projeto abrange a área de competição automobilística no qual os protótipos utilizam motores de veículos de ruas que necessitam de uma calibração que entregue maior desempenho.

2. CONCEITOS BÁSICOS DE MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA

Para uma melhor compreensão deste trabalho, é desejável que se tenha uma fundamentação teórica sobre a dinâmica e termodinâmica de motores a combustão interna, sistemas de gerenciamento eletrônico e sistemas embarcados, por isso este capítulo traz os principais conceitos sobre os temas mencionados.

2.1. A origem dos motores de combustão interna ciclo Otto

A idéia de converter energia térmica em trabalho surgiu com a invenção da arma de fogo, que segundo Martins (MARTINS, 2005), deu início ao motor de combustão interna.

Durante o ano de 1854 foi construído o primeiro motor de combustão de 2 tempos por DUGALD CLERK, contudo esse motor foi apresentado somente em 1881. GOTTLIEB DAIMLER, alemão que imaginou a diminuição do tamanho do motor de 2 tempos, introduziu a ignição por ponto quente nesse motor (Varella, 2013).

BARSANTI e MATTEUCI (1857) construíram um motor de êmbolo livre que operava da seguinte forma: a expansão dos gases da combustão impulsionava o êmbolo verticalmente para cima e quando o êmbolo descia, pela ação da gravidade, acionava uma catraca, que por sua vez acionava um eixo. Foi comercializado por OTTO e LANGEN até o ano de 1867 (Varella, 2013).

BEAU DE ROCHÁS (1862) propôs e patenteou os princípios de funcionamento dos motores de 4 tempos de combustão interna com êmbolos, que devido suas características apresentava condições de eficiência elevada. Nunca obteve sucesso na aplicação de suas teorias, ou seja, nunca conseguiu construir seu motor (Varella, 2013).

NIKOLAUS AUGUST OTTO (1876), alemão, caixeteiro viajante e sócio de uma fábrica de motores a gás, foi quem construiu depois de ter inventado independentemente o mesmo ciclo, descrito por BEAU DE ROCHÁS, o motor que foi chamado de OTTO silencioso. É interessante saber que OTTO conheceu o projeto e o motor de LENOIR, construindo primeiro um motor semelhante (Varella, 2013).

2.2. Motores de combustão interna

Quando se fala a respeito de motores a combustão interna, é necessário partir do conceito de máquina térmica, conjunto de peças fixas e móveis que transformam a energia química do combustível em energia do calor que por sua vez a transforma em energia mecânica (FROES, 2011).

Desde os primórdios, os automóveis tinham seu funcionamento puramente mecânico, por exemplo, no caso da formação da mistura carburante, o carburador era o principal componente envolvido. Com o passar do tempo, devido à crescente competitividade do mercado e o aumento das restrições das regulamentações ambientais, as calibrações mecânicas já não eram suficientes para garantir ao mesmo tempo bom desempenho do motor respeitando o nível de emissões de poluentes exigidos.

A aposta que foi feita para solução deste problema foi à introdução do gerenciamento eletrônico do motor, inicialmente trabalhando como um carburador eletrônico e depois expandindo para o controle de varáveis que influenciam no resultado final da eficiência de performance do motor. Sendo que, hoje em dia, motores têm sido cada vez mais assistidos pela eletrônica devido às crescentes exigências na questão de eficiência volumétrica e principalmente de emissões.

2.3. Fundamentos dos motores de combustão interna

Os tempos, se referem aos processos sofridos pela mistura ar combustível, que se repetem periodicamente para a obtenção de trabalho útil. Neste caso, o êmbolo percorre quatro tempos, correspondendo a duas voltas da árvore de manivelas do motor, para que seja completado um ciclo. Os quatros tempos estão representados pela figura 1.

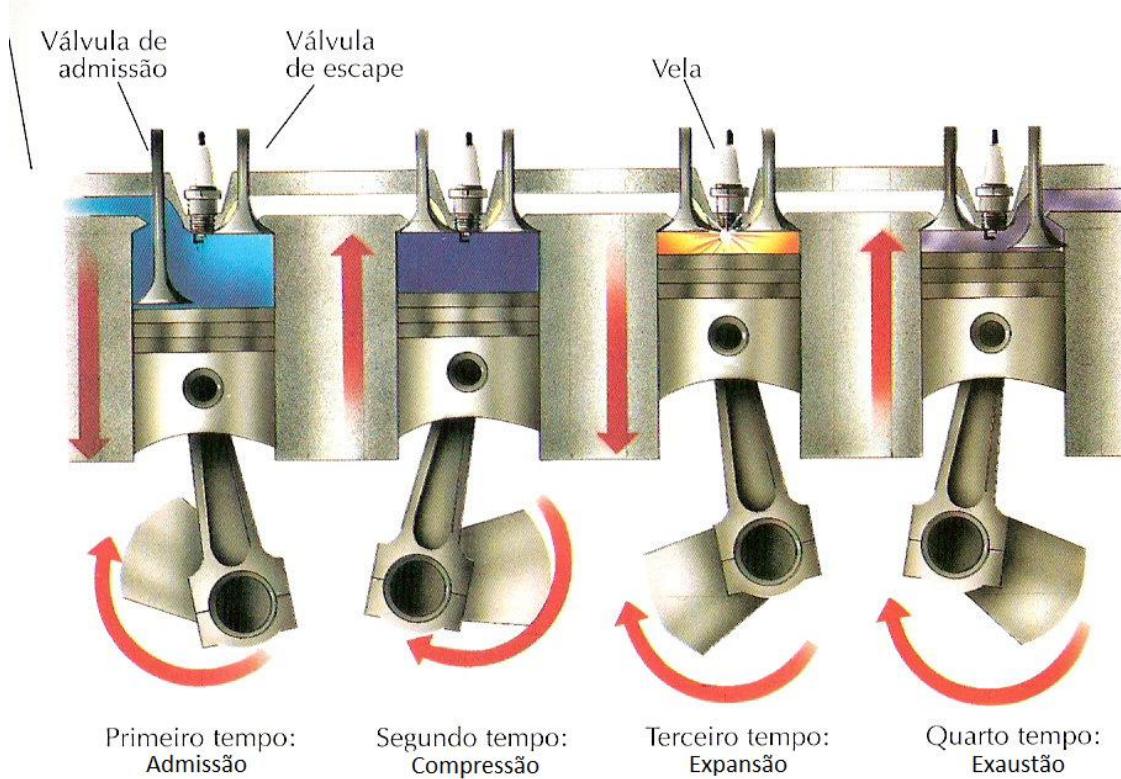


Figura 1 – Ciclo de trabalho de um motor Otto.

O comportamento de um único cilindro executando todos os tempos do funcionamento do motor ciclo Otto pode ser descrito como:

2.3.1. Tempo de admissão

O êmbolo desloca-se do Ponto Motor Superior (PMS) ao Ponto Morto Inferior (PMI), mantendo a válvula de admissão aberta e a de exaustão fechada a maior parte do tempo. Com este movimento, o êmbolo dá origem a uma sucção, ocasionando um fluxo de gases através da válvula de admissão. O cilindro é preenchido com uma mistura de ar e combustível ou somente ar nos motores de injeção direta de gasolina ou nos motores diesel.

2.3.2. Tempo de compressão

Fecha-se a válvula de admissão e a de exaustão permanece fechada, o êmbolo se desloca do PMI ao PMS, comprimindo a mistura ou dependendo do motor apenas ar. No caso de motores ciclo Otto, a centelha é provocada nas imediações do PMS, já para motores diesel,

a compressão deverá ser suficientemente elevada para que seja ultrapassada a temperatura de autoignição do combustível.

2.3.3. Tempo de expansão

A combustão provoca um grande aumento da pressão e temperatura, o que ocasiona uma força na superfície do êmbolo, deslocando-o linearmente no sentido do PMI. O êmbolo por sua vez atua por meio da biela sobre o braço de manivela, assim o movimento linear do embolo é convertido em rotativo (torque girante) na árvore de manivelas, realizando trabalho positivo no motor (Trabalho útil).

2.3.4. Tempo de exaustão

Após certo ângulo da árvore de manivelas, o trabalho gerado pela combustão não é mais significativo, a pressão residual no cilindro é aproveitada para auxiliar no escapamento dos gases com a abertura da válvula de exaustão no término da fase de expansão. No fim da fase de exaustão, ambas as válvulas (admissão e exaustão) permanecem abertas por alguns graus (cruzamento de válvulas) buscando aproveitar a inércia dos gases de escape para auxiliar na admissão da nova mistura.

2.4. Principais componentes de um motor de combustão interna

Em um motor de combustão interna ciclo Otto pode-se separar os componentes em duas categorias, são elas: Peças móveis e fixas (Figura 2).

Começando pela estrutura principal, o bloco do motor, o qual abriga a maioria das peças móveis. O bloco é geralmente feito de ferro fundido cinzento, porém atualmente tem sido substituído por liga de alumínio nos motores mais modernos, visando maior eficiência térmica e diminuição de peso. Em seu interior encontram-se as galerias de lubrificação, refrigeração, e furos para fixação do eixo virabrequim entre outros componentes auxiliares.

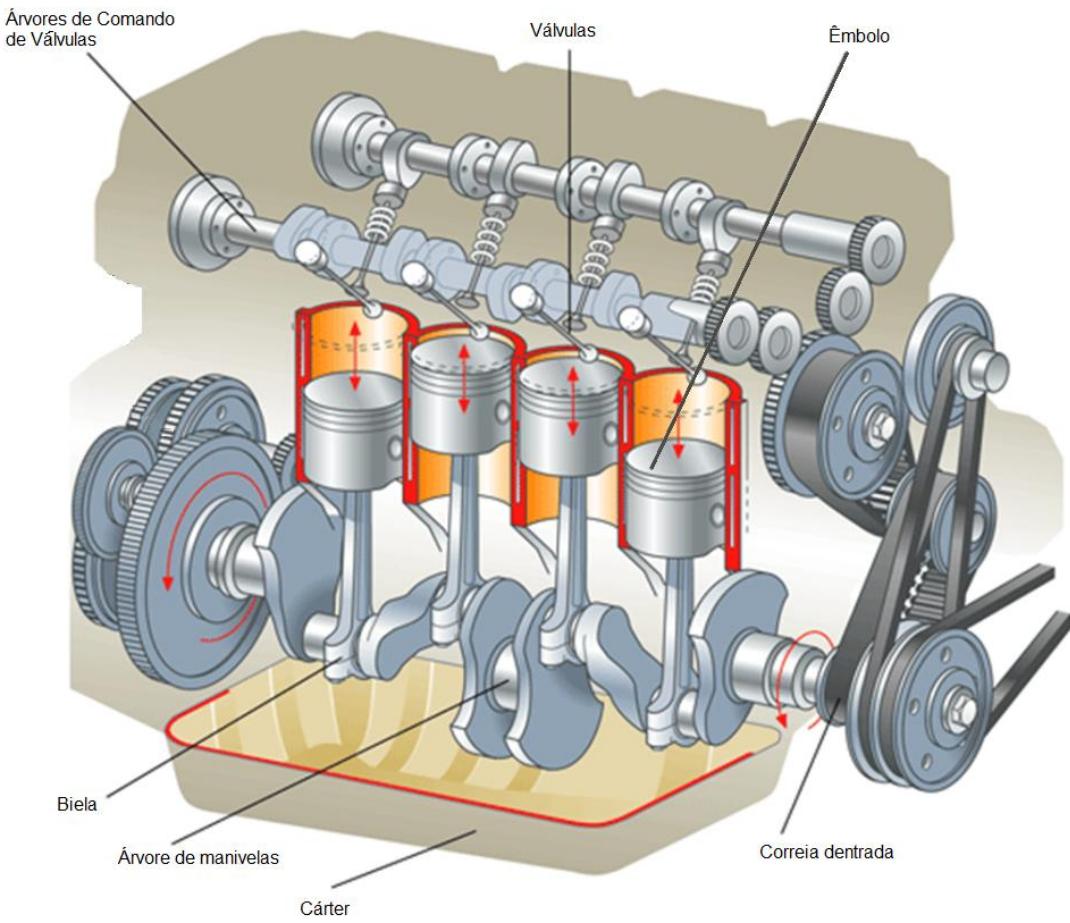


Figura 2 – Disposição das principais peças mecânicas de um motor.

2.4.1. O cabeçote

Local onde são montadas as válvulas, comando de válvula e as velas de ignição. Geralmente de alumínio, possui numerosas galerias de refrigeração, uma vez que contém as câmaras de combustão, onde elevadas temperaturas são atingidas com a queima de combustível. A câmara de combustão representa o volume final ao que a mistura ar combustível será comprimida, e em alguns casos pode se encontrar na cabeça dos êmbolos e possuir geometria que visa o turbilhonamento da mistura admitida.

2.4.2. O cárter

Está localizado na parte inferior do motor, tem como função armazenar o óleo que escoa do sistema de lubrificação. Nele se encontra succionador de óleo (“O Pescador”) que com o auxílio da bomba de óleo permite a circulação do lubrificante pelo sistema.

2.4.3. O êmbolo

Elemento do motor que participa do ciclo de funcionamento e que inicia o trabalho mecânico a partir da expansão dos gases da combustão que, elevam a pressão no interior do cilindro, impulsionando assim o êmbolo linearmente, e por meio da relação biela e braço de manivela, transmite o movimento linear ao mesmo tempo em que o converte em rotativo na árvore de manivelas. O êmbolo tem o formato aproximado de uma caneca cônica (Devido às altas temperaturas na cabeça do êmbolo seu diâmetro é menor que da saia para compensar a dilatação) e é fabricado em liga de alumínio, podendo ser fundido ou forjado. Também vale ressaltar, que o ponto de fixação da biela é levemente deslocado a esquerda para evitar travamento do motor.

2.4.4. A biela

Como o próprio nome indica, é uma peça do motor que contém dois elos. Compõe-se de cabeça, haste e pé. A biela conecta ao êmbolo à árvore de manivelas no processo de transformar o movimento retilíneo em rotativo. Em geral é produzida em aço forjado, mas existem bielas em liga de alumínio e titânio. Do ponto de vista de suavidade de funcionamento do motor, bielas com menor comprimento geram mais atrito, e quanto mais longa a biela, melhor, porém esbarra-se em problemas geométricos e de resistência da própria biela.

2.4.5. A árvore de manivelas

Um dos principais elementos do motor, mais conhecida como virabrequim (do Francês *Vilebrequin*, árvore de manivelas). Trata-se de um conjunto de manivelas às quais as bielas são conectadas, de maneira a transformar o movimento retilíneo dos êmbolos em rotativo. A força de expansão dos gases nos cilindros do motor movimenta os êmbolos e estes, a árvore de manivelas, que envia a força motriz para a transmissão e para as rodas motrizes. É fabricada em ferro fundido nodular ou aço forjado.

2.4.6. Trem de válvulas

É todo o mecanismo dedicado ao acionamento das válvulas, como árvores de comando, balancins e tuchos, e elas próprias com os seus elementos. As válvulas são hastes de metal em forma de tulipa, sendo que uma das extremidades possui um formato de circunferência e está voltada à câmara de combustão e a outra extremidade tem forma afinada e está voltada para o comando de válvulas. Sua função é vedar a passagem da mistura carburante (ar combustível) aos cilindros do motor, manter dentro do cilindro do motor e permitir a saída dos gases de exaustão logo após a combustão do sistema. Estas válvulas são denominadas válvulas de admissão e válvulas de exaustão, respectivamente (BOSCH, 2004).

O comando de válvulas é uma árvore composta de ressaltos ou excêntricos (cames), destinados a abrir as válvulas do motor e permitir que se fechem sob a ação de mola mecânica ou, no caso dos motores de Formula 1, mola pneumática. É acionado por engrenagem, corrente ou correia dentada, podendo estar localizado no bloco do motor ou no cabeçote.

Os Balancins são pequenas alavancas que se movem entorno de um eixo que recebe movimento do ticho ou do ressalto da árvore de comando e transmite à válvula. Em algumas regiões é chamado de balanceiro.

O ticho é uma peça cilíndrica relativamente delgada que recebe movimento do ressalto da árvore de comando de válvulas quando localizada no bloco do motor. O movimento do ressalto segue para a vareta de válvula, que por sua vez, aciona o balancim de válvula. Essa descrição corresponde ao trem de válvulas típico de um motor OHV (Overhead valves – válvulas do cabeçote). O ticho pode possuir circuito hidráulico alimentado pelo próprio óleo do motor e o êmbolo interno que permite manter todo o mecanismo sem folga por compensar as variações dimensionais em função da temperatura. Nesse caso é chamado ticho hidráulico em oposição ao ticho mecânico descrito no início.

2.5. Termodinâmica do ciclo Otto

O êmbolo ao se deslocar em um movimento retilíneo no interior do cilindro no tempo de admissão (PMS até o PMI, válvula de admissão aberta) aumenta o volume gerando uma depressão para que a mistura carburante seja admitida. Quando o êmbolo está no tempo de compressão (PMI até o PMS), o volume é reduzido e a pressão é elevada devido ao seu movimento, pois as válvulas se encontram fechadas e a mistura carburante está sendo

comprimida. O momento da ignição ocorre devido a reação química do combustível com o ar transformada em energia em forma de calor, fazendo com que ocorra a combustão da mistura. Este momento ocorre poucos graus (em relação a árvore de manivelas) antes do êmbolo alcançar o PMS, devido ao tempo de propagação da chama, pois o pico de pressão da combustão deve ocorrer em até 9° depois do PMS para ter um melhor aproveitamento do trabalho gerado (retardamento químico). Com essa expansão dos gases no interior do cilindro, a pressão é elevada, resultando em uma força sobre a cabeça do êmbolo. Esta força o impulsiona para o PMI, aumentando o volume e diminuindo a pressão no interior do cilindro. Nesta fase, é devido à relação biela e braço de manivela que o movimento linear do êmbolo é convertido em torque girante.

A válvula de exaustão é aberta poucos graus antes do êmbolo alcançar o PMI para aproveitar a pressão interna do cilindro que não gera mais trabalho útil para auxiliar no processo de exaustão dos gases. A pressão é reduzida, o êmbolo se desloca para o PMS fazendo com que os gases de exaustão sejam expelidos para a atmosfera, fechando o ciclo. A figura 3, demonstra de forma gráfica as variações de pressão e volume no interior da câmara de combustão durante um ciclo completo do motor.

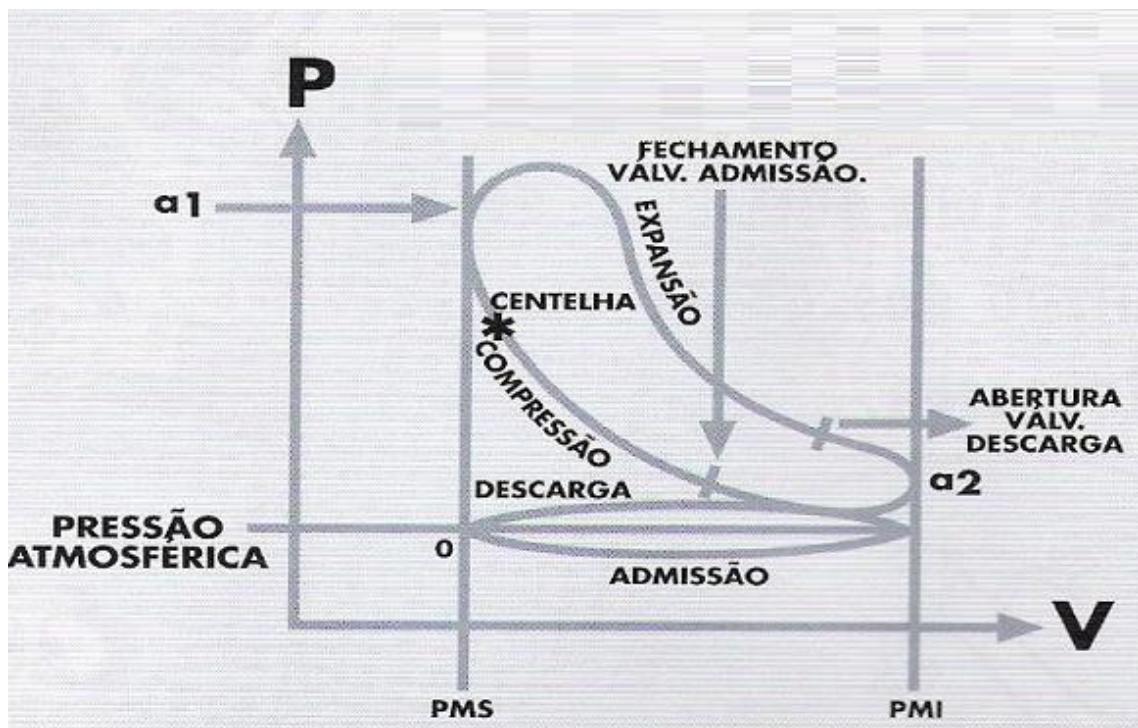


Figura 3 – Ciclo Otto para um motor de combustão interna (FROES, 2010).

2.6. Conceitos básicos de um motor de combustão interna

2.6.1. Torque

O torque em um motor a combustão interna, resulta da expansão elástica dos gases no fenômeno da combustão que acaba por exercer uma força sobre a cabeça do êmbolo na direção do PMI (força F_G), o valor do torque deste motor pode ser obtido através do produto da componente da força sobre a cabeça do êmbolo pelo braço de manivela ($h = 2r$) e finalmente multiplicado pelo cosseno do ângulo β , a representação destas forças e ângulos citados acima podem ser vistos na figura 4.

Componentes da força do gás mostrados em um conjunto básico de árvore de manivelas

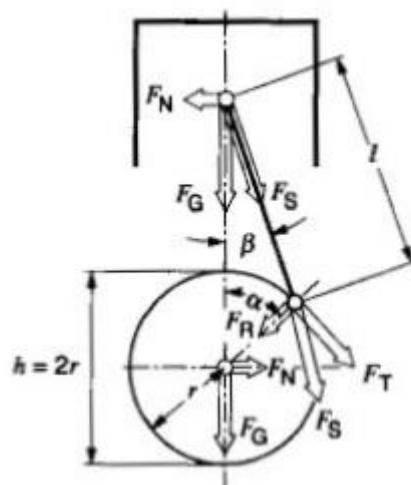


Figura 4 – Componentes das forças que agem sobre o êmbolo. (Adaptado de BOSCH, 2005)

O torque máximo de um motor ocorre no momento de máxima eficiência volumétrica dele, que geralmente acontece em rotações mais baixas que a máxima atingida pelo motor.

2.6.2. Potência

Um motor converte a energia química do combustível em trabalho. A potência é o trabalho desenvolvido pelo motor, em uma determinada unidade de tempo. A potência de um motor é usualmente expressa em Watts ou em CV (Cavalo Vapor), onde $1\text{ CV} \approx 736\text{ Watts}$.

De posse do torque e em que rotação ele ocorre, é possível determinar a potência desprendida pelo motor naquele instante, bastando multiplicar o torque pelo RPM. A potência máxima de um motor ocorre à determinada rotação pouco inferior à rotação máxima admitida pelo mesmo. Na figura 5 podemos ver um exemplo de gráfico com as curvas de potência e torque de um motor aspirado.

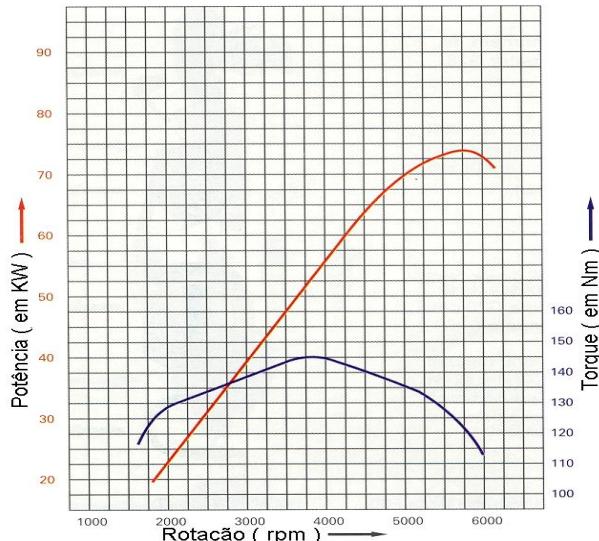


Figura 5 – Exemplo de curva de Potência e torque de um motor (VW EA 113 1.6 litro)

2.6.3. Cilindrada

Representa a eficiência volumétrica do motor, assim, um motor que possui 4 cilindros, onde cada um tem o volume de 250 cm^3 , possui a cilindrada de 1.000 cm^3 ou 1.0 litro. A figura 6 demonstra alguns dos parâmetros utilizados para o cálculo da cilindrada do motor.

A cilindrada representa a quantidade de mistura ar combustível que o motor consegue admitir em seus cilindros. Ela é expressa em centímetros cúbicos ou comercialmente, em litros, e pode ser calculada através da equação (1). Geralmente a cilindrada de um motor é aproximada para o número inteiro superior mais próximo.

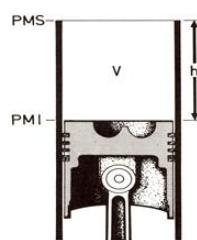


Figura 6 – Referências para cálculo da cilindrada de um motor.

$$\text{Cilindrada} = \frac{\pi \cdot \text{Diâmetro}^2 \cdot h}{4} * \text{Número de cilindros do motor} \quad (1)$$

2.6.4. Taxa de compressão

Especifica quantas vezes a mistura ar combustível é comprimida durante a fase de compressão. É calculada em função da relação entre o volume total (câmara de combustão + volume deslocado pelo êmbolo) e volume da câmara de combustão.

O rendimento de um motor é proporcional à sua taxa de compressão, porém esta é limitada à capacidade antetonante do combustível, dada pela octanagem do combustível. Por isso, as taxas variam conforme o combustível utilizado (FRÓES, 2011).

1. Motores à gasolina – entre 9:1 e 11:1;
2. Motores à álcool e gás natural veicular (GNV) – cerca de 12:1;
3. Motores a Diesel em torno de 20:1;
4. Motores flexíveis – entre 12:1 e 9:1; (FRÓES, 2011)

Os motores equipados com turbocompressor possuem uma menor taxa de compressão devido ao maior enchimento dos cilindros provocada por esse dispositivo. Nesse caso a taxa é reduzida para evitar problemas de detonação causados por excesso de compressão da mistura. Na figura 7 temos os parâmetros para cálculo da eficiência volumétrica de um motor.

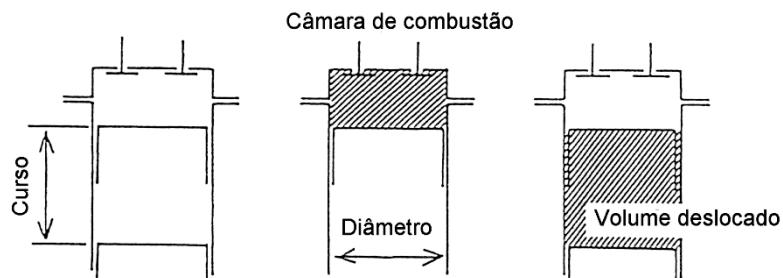


Figura 7 – Parâmetros envolvidos no cálculo da eficiência volumétrica.

Para determinar a taxa de compressão de um motor, utiliza-se a equação (2):

$$\text{Taxa de compressão} = \frac{\text{Volume deslocado} + \text{Volume da câmara}}{\text{Volume da câmara}} \quad (2)$$

2.6.5. Rendimento de um motor

É a relação entre a potência mecânica fornecida pelo motor no eixo virabrequim e a que lhe é disponibilizada pelo combustível durante o seu funcionamento.

O motor de combustão interna aproveita apenas uma pequena parcela da energia resultante da queima do combustível. Quando a força é gerada pela queima da gasolina, por exemplo, tem a seguinte distribuição:

- 35% - calor retirado através dos gases de escapamento;
- 32% - Calor dissipado pelo sistema de arrefecimento;
- 8% - Atritos internos decorrentes do funcionamento do motor;
- 25% - Energia mecânica efetivamente disponível no volante do motor (Senai, 2013).

O motor Diesel possui um rendimento superior, podendo passar dos 35%. Isso se deve à maior taxa de compressão do mesmo (Senai, 2013).

2.7. Formação da mistura carburante e os gases presentes na exaustão

O sistema de alimentação de combustível é responsável por dosar a quantidade correta de combustível para que o motor de combustão interna funcione. Para o bom desempenho do motor, é preciso que essa mistura seja feita em proporções adequadas. A dosagem ideal varia conforme a necessidade de cada regime de funcionamento, garantindo economia de combustível, bom rendimento e baixos índices de emissões de gases poluentes. Esse controle pode ser mecânico ou eletrônico.

A combustão é um processo de oxidação caracterizada pela sua instantaneidade, neste processo uma grande quantidade de energia é liberada em forma de luz e calor. Para ocorrer à combustão é necessário que o combustível, um composto de carbono e hidrogênio, se agrupe com moléculas de oxigênio presentes no ar atmosférico de forma homogenia para facilitar o encontro entre as moléculas de oxigênio e as moléculas do hidrocarboneto. Esta combinação é denominada mistura carburante. Em uma oxidação completa, o hidrogênio (H) combina-se com o oxigênio (O₂) para produzir água (H₂O) e o carbono (C) que se combina com o oxigênio restante para formar dióxido de carbono (CO₂) (ANDREOLI, 2009).

Para que a oxidação ocorra é necessário que seja fornecida uma energia em forma de calor, provida de uma centelha liberada na vela de ignição, tema este que será tratado no subcapítulo 2.9.

A composição do ar atmosférico admitido é composta principalmente de oxigênio 21%, nitrogênio 78% e 1% hidrogênio, CO₂ e Argônio. A seguir, na tabela (1), são indicados os principais gases presentes no ar atmosférico:

Tabela 1 – Gases presentes no ar atmosférico (Câmara, 2006).

Gases não poluentes	Gases poluentes	1%
Nitrogênio	71%	Monóxido de carbono (CO)
Vapor d'água	9%	Partículas Inaláveis (MP)
Dióxido de carbono	18%	Óxido de enxofre (Sox)
Oxigênio e gases inertes	1%	Óxido de nitrogênio (Nox)
		Hidrocarbonetos (HC)

2.8. Sistema de alimentação de combustível

No automóvel, o combustível parte do tanque impulsionado por uma bomba elétrica, passando por um filtro chegando até o tubo distribuidor de combustível. A partir deste ponto é possível obter diferentes configurações de injeção, estas serão abordadas nas próximas subseções.

2.8.1. Sistema de injeção indireta monoponto

Os sistemas classificados como monoponto, apresentam independentemente do número de cilindros do motor, uma única válvula eletro injetora posicionada antes da válvula borboleta, como pode ser visto na figura 8, sendo responsável pelo fornecimento de todo o combustível consumido pelo motor. Devido a sua posição, esse sistema é classificado: injeção indireta.

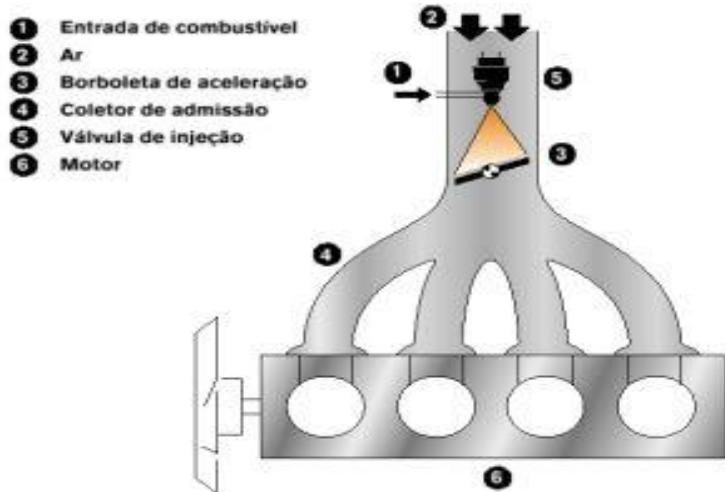


Figura 8 - Sistema de injeção indireta monoponto (ADAPTADO DE PUJATTI, 2007).

2.8.2. Sistema de injeção indireta multiponto

No sistema multiponto, Figura 9, há uma válvula eletro injetora para cada cilindro. Elas ficam posicionadas no coletor de admissão próximas às válvulas de admissão e após a válvula borboleta. Com isso, o caminho do combustível é encurtado, diminuindo as perdas por condensação no coletor de admissão e garantindo uma maior homogeneidade da mistura carburante devido ao turbilhamento da mistura dentro do cilindro. Além disso, a *ECU* (Unidade de Controle Eletrônico) pode controlar individualmente o tempo de injeção de cada cilindro, otimizando o desempenho do motor como um todo, trabalhando em sistemas.

- Sistema de injeção simultânea de combustível (*full group*);
- Sistema de injeção semi-sequencial (banco a banco);
- Sistema de injeção sequencial, sincronizada via sensor de fase;
- Sistema de injeção sequencial, sincronizada via software;

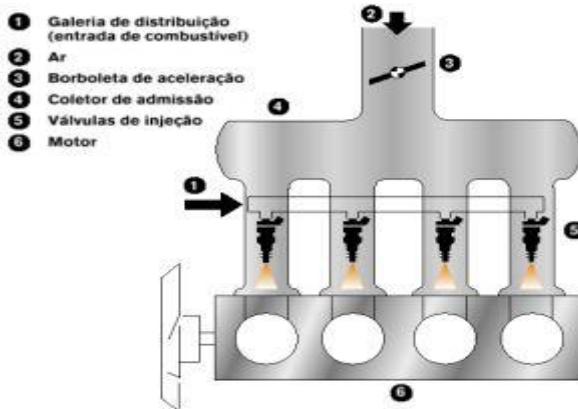


Figura 9 - Sistema de injeção indireta multiponto (ADAPTADO DE PUJATTI, 2007).

Outros fatores de grande influência na quantidade de ar admitido são as configurações das válvulas (dimensões) e suas características de deslocamento, velocidade e aceleração do came que as aciona e a característica pulsativa do escoamento do ar através dos condutos do coletor de admissão (Hanriot, 2001).

2.8.3. Relação ar combustível

A combustão é o processo de reações químicas produzidas durante a oxidação completa ou parcial do carbono, do hidrogênio e do enxofre contidos em um combustível. Esta reação química do oxigênio com materiais combustíveis é um processo que apresenta luz e rápida produção de calor. A diferença entre a reação química de oxidação clássica (ferrugem, zinabre, alumina, etc.) e a de combustão é a espontaneidade com que esta última ocorre independente da quantidade de calor liberado. São características importantes da combustão, o estado, a composição e temperatura do combustível, as pressões em que esta reação ocorre e o formato da câmara de combustão (Blaselbauer, 2013).

Combustão estequiométrica é a reação de oxidação teórica que determina a quantidade exata de moléculas de oxigênio necessárias para efetuar a completa oxidação de um combustível.

Combustão Completa é a reação de combustão em que todos os elementos oxidáveis constituintes do combustível se combinam com o oxigênio, particularmente o carbono e o hidrogênio (H_2), que se convertem integralmente em dióxido de carbono (CO_2) e água (H_2O) independentemente da existência de excesso de oxigênio (O_2) para a reação.

Combustão incompleta ou parcial é a reação que aparecem produtos intermediários da combustão, especialmente o monóxido de carbono (CO) e o hidrogênio, resultado da oxidação

incompleta dos elementos do combustível. Ela pode ser induzida pela limitação na quantidade de oxigênio oferecido para a reação.

Relação Ar Combustível (A/C) é uma relação entre a quantidade de ar e a quantidade de combustível utilizada na reação de combustão, é calculada entre os volumes envolvidos. Um índice muito utilizado em motores de combustão interna é o λ , que significa a razão entre as relações ar/combustível real e estequiométrica (equação 3):

$$\lambda = \frac{(\text{A/C}) \text{ Real}}{(\text{A/C}) \text{ Estequiométrica}} \quad (3)$$

Neste caso, para combustões pobres (falta de combustível) tem-se $\lambda > 1$, e para combustões ricas (excesso de combustível) $\lambda < 1$.

Ar Teórico são as reações de combustão normalmente realizadas com o oxigênio contido no ar atmosférico. O ar teórico é a quantidade de ar atmosférico que fornece a quantidade exata de moléculas de oxigênio necessárias para efetuar a combustão estequiométrica (Morais, 2006).

2.8.4. Gases não poluentes

Pelos gases do escapamento de um veículo sai uma mistura de gases composta por 99% de gases não poluentes, que em sua maioria não trazem problemas à saúde. São eles:

Nitrogênio – parte integrante do ar que respiramos, não participa como fonte de energia na queima, mas faz parte do processo de expansão elástica dos gases no tempo de expansão – 71%;

Vapor d'água – compõe cerca de 9% dos gases de escape;

Dióxido de carbono (CO_2) – compõe cerca de 18% dos gases eliminados. Apesar de não ser considerado poluente, o gás carbônico, como também é chamado, é um dos responsáveis pelo efeito estufa, contribuindo de forma significativa com a elevação da temperatura global;

Oxigênio e gases inertes – cerca de 1% dos gases do escapamento. Corresponde ao oxigênio não utilizado durante a queima e os demais gases que compõe o ar atmosférico em reduzida quantidade (Câmara, 2003).

2.8.5. Gases poluentes

Apesar de comporem apenas 1% dos gases expelidos, temos somente no estado de SP, aproximadamente 25 milhões de veículos segundo informações do mês de outubro provenientes da página do Detran de SP. Estes gases são extremamente danosos à saúde e ao meio ambiente, o que os tornam indesejados e alvos de restrito controle pelas legislações ambientais ao redor do mundo, são eles :

Monóxido de carbono – inodoro e incolor, o CO é extremamente tóxico. Respirá-lo em uma concentração de 0,3% em volume mata em apenas 30 minutos. O gás se combina aos glóbulos vermelhos do sangue, impedindo o transporte de oxigênio. O CO corresponde à maior parte dos gases nocivos emitidos pelos motores (cerca de 18%);

Óxidos de Nitrogênio – o ar, quando submetido a elevadas temperaturas e pressões, propicia a formação dos óxidos de nitrogênio que, combinados com o vapor d'água na atmosfera, pode formar o ácido nítrico. Esses elementos, além de nocivos à saúde, são fatores responsáveis pela formação de chuva ácida;

Hidrocarbonetos – correspondem ao combustível não queimado, ou queimado parcialmente. Além de formarem fuligem – aquela substância que escurece os tubos de descarga dos carros – são cancerígenos.

Partículas sólidas – especialmente vistos em motores Diesel, são uns dos responsáveis pela fumaça preta desse tipo de veículo. Também causam problemas à saúde;

Compostos de enxofre – o enxofre, não totalmente eliminado na produção da gasolina, pode provocar a formação de compostos que, combinados ao vapor d'água, se transformam em ácidos sendo nocivos à saúde e danificando o escapamento e o catalisador;

Aldeídos (CHO) – são voláteis cancerígenos e provocam irritações nas vias respiratórias. São especialmente gerados através da queima do álcool puro (etanol) ou do álcool anidro presente à gasolina (Câmara, 2003).

2.9. Sistema de ignição

Conforme mencionado no tópico anterior, para que a combustão ocorra além de termos a mistura ar combustível é necessário uma tensão mínima de aproximadamente 5 Kv

para que se forneça certa quantidade de calor, isto é feito por meio da liberação de uma centelha em um momento determinado para melhor aproveitamento da combustão.

Como no automóvel a bateria chumbo ácida apenas dispõe de 12,6 V, surge a necessidade da utilização de um segundo elemento neste sistema, conhecido como bobina de ignição. Sua função é elevar a tensão até um valor suficiente para vencer a distância entre os eletrodos da vela de ignição (*gap*). A bobina de ignição nada mais é que um transformador elevador composto internamente de um enrolamento primário, com menos espiras e com um condutor espesso (alimentado pela bateria com alta corrente) e o enrolamento secundário com mais espiras e com condutor mais delgado. O valor de transformação se dá pela relação entre os números de espiras dos enrolamentos, sendo que a tensão no secundário em alguns casos alcança 20 Kv.

Os transformadores trabalham segundo o princípio de indução eletromagnética, onde um sinal alternado no primário gera uma derivada de fluxo magnético, que é conduzido na direção do enrolamento secundário através do núcleo, induzindo uma tensão no enrolamento secundário. Antigamente, para gerar o sinal alternado se utilizava um interruptor mecânico (platinado) para chavear a bobina, atualmente, o tempo de carga da bobina é controlado pela ECU de forma transistorizada, permitindo o ajuste do tempo de carga da bobina (*Dwell*), e por consequência, da energia da centelha segundo as condições presentes na câmara de combustão do motor (pressão, temperatura, combustível e etc). Na figura 10 podemos ver o enrolamento primário e o secundário do transformador de ignição, assim como os outros componentes que fazem parte de um sistema convencional de ignição.

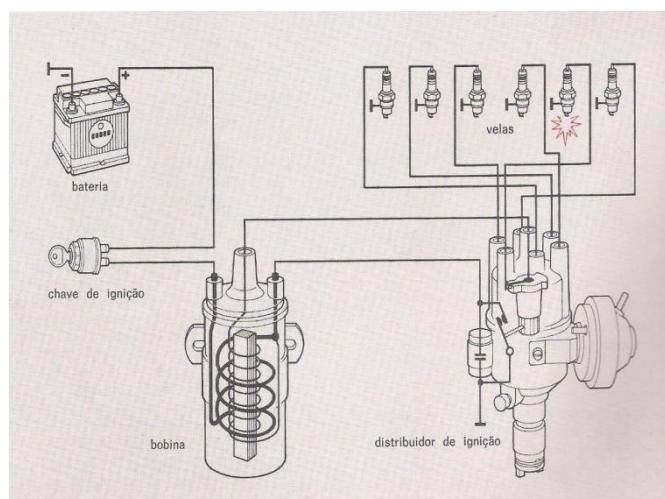


Figura 10 – Sistema de ignição convencional.

A vela de ignição (figura 11) é o componente final do sistema de ignição, encontra-se no cabeçote do motor, sendo que sua extremidade se encontra no interior da câmara de combustão. Ela é composta basicamente de um eletrodo positivo e outro negativo reunidos em um corpo de aço e uma cerâmica isoladora (Al_2O_3) na qual uma centelha rompe o dielétrico devido à alta tensão da corrente produzida pela bobina. Como os eletrodos se desgastam por efeito da centelha, a vela tem vida útil pré-determinada pelo fabricante.

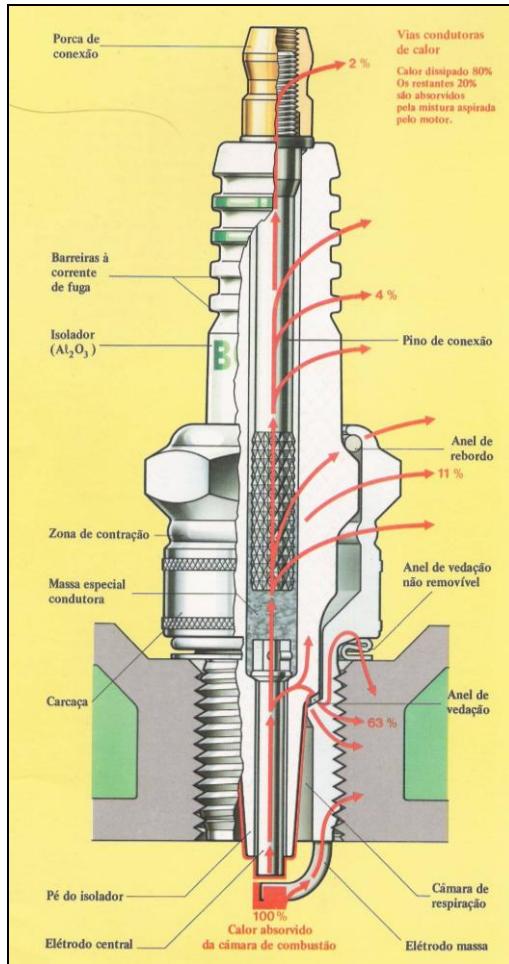


Figura 11 – Vela de ignição (FROES, 2012).

Além da resistência às elevadas pressões e temperaturas, a vela de ignição, em particular a ponta ignífera, tem que ser capaz de resistir às vibrações mecânicas do motor, ao ataque químico provocado pelos gases de combustão.

A razão com que uma vela de ignição transfere calor do eletrodo central para o corpo depende da distância entre um e outro. Quando é longa, a ponta da vela fica mais aquecida (vela quente), e o oposto ocasiona uma vela menos aquecida (vela fria).

A temperatura da ponta da vela durante o funcionamento do motor é um fator determinante para o seu comportamento, sendo que a temperatura ideal deve ficar entre 450°C e 850°C. Abaixo do limite inferior provocará um acúmulo de fuligem da combustão e

carbonização da ponta ignífera, podendo causar mau funcionamento da mesma. Quando o limite superior é excedido, a vela se torna um ponto quente na câmara de combustão e causa pré-ignições, fenômeno que deve ser evitado a todo custo por representar ameaça à integridade física do motor.

2.9.1. Avanço de ignição

Como mencionado no subcapítulo 2.5, existe um retardamento químico no processo de combustão da mistura ar-combustível que exige que a centelha seja liberada pelo sistema de ignição antes do PMS. Quando a centelha é liberada, é gerada uma frente de chama que se propaga pela câmara de combustão com velocidade de queima da mistura ar-combustível praticamente constante, cerca de 50 m/s. Com o aumento da rotação, o tempo disponível para combustão se completar diminui. Com isso, a solução é adiantar o momento de liberação da centelha para permitir que a combustão se processe por completo, garantindo que o maior pico de pressão ocorra quando o êmbolo iniciar a fase de expansão.

A quantidade de avanço de ignição é uma variável dada em graus, (com relação a árvore de manivelas), sendo que cada veículo possui um valor base (Exemplo VW Gol 12° APMS – antes do PMS). No passado, o avanço era conseguido por meio mecânico (avanço centrífugo) e/ou pneumático (avanço a vácuo) instalado no distribuidor. Hoje é determinado eletronicamente pela *ECU* que, segundo a condição da mistura, carga do motor, temperatura, pressão do coletor de admissão, entre outros, garante o melhor rendimento da combustão. Se o sistema de ignição tardar muito para liberar a centelha, acarretará na geração de um trabalho positivo muito pequeno. Em contrapartida, quando está muito adiantado provoca um trabalho negativo grande, além de provocar um efeito no interior da câmara de combustão conhecido como detonação.

2.10. *Downsizing*

A imposição das regulamentações ambientais internacionais cada vez mais restritivas aos níveis de emissões de CO₂ dos veículos automotores tem feito com que as fábricas introduzam novos conceitos de construção e de funcionamento em seus produtos.

Simultaneamente ao desenvolvimento de tecnologias baseadas no uso da eletrônica ou de sistemas híbridos, elas têm buscado, incisivamente, explorar todas as possibilidades de

otimização da eficiência dos atuais motores de combustão interna. Nesse sentido, a principal tendência tecnológica, hoje, é a diminuição da cilindrada do motor, recurso conhecido como *downsizing*, combinada com compressor ou turbocompressor e injeção direta de combustível. Entretanto, paralelamente às suas já conhecidas vantagens, como a redução significativa do consumo de combustível e, consequentemente, dos níveis de emissões de poluentes e de CO₂, o *downsizing* apresenta limitações decorrentes da detonação em regimes de alta carga do motor, provocada pelo aumento da taxa de compressão e pela perda de eficiência termodinâmica em função da elevação da pressão de sobrealimentação.

Uma forma de vencer esses impedimentos é a adoção de mecanismos conhecidos como *VCR* (sigla, em inglês, de *Variable Compression Ratio*, taxa de compressão variável), os quais ajustam automaticamente a taxa de compressão em função da variação da carga exigida do motor. Em outras palavras, esses sistemas promovem a variação do volume da câmara de combustão por meio da mudança da posição do êmbolo no cilindro quando no PMS. Dessa forma, ao mesmo tempo em que uma taxa de compressão mais baixa em carga total reduz a pressão e a temperatura ao final da compressão, melhorando a eficiência térmica, a elevação dessa mesma taxa em cargas parciais (sem a limitação de detonação) resulta em melhor aproveitamento termodinâmico da combustão. Com isso, independentemente do regime de carga exigida, o motor funciona sempre em condições de temperatura e pressão mais próximas do ponto ótimo para cada situação, permitindo que se mantenha, de forma otimizada, a melhor eficiência térmica possível. E é esse aproveitamento máximo da combustão que proporciona atingir o objetivo final de todo esse desenvolvimento, que é principalmente reduzir as emissões de CO₂ como consequência do menor consumo de combustível. A seguir, apresentaremos algumas tecnologias aplicadas nos motores dentro do conceito *downsizing*.

2.10.1. Turbocompressor

Nos motores aspirados, a admissão de ar ocorre devido à depressão gerada pelo deslocamento dos êmbolos do motor em direção ao PMI, porém, em altas rotações, o tempo disponível para admissão não é suficiente para que os cilindros sejam preenchidos pela mistura carburante, o que diminui a eficiência volumétrica do motor. Por este motivo, os motores aspirados a partir de certa rotação, tem uma queda do torque.

Um dos métodos utilizados para melhorar a eficiência volumétrica dos motores é a instalação de turbocompressores. Este equipamento aproveita a energia dos gases de escape

(antes desperdiçada) para pressurizar o ar admitido, diminuindo a dependência da admissão de ar com a depressão gerada pelos êmbolos.

O turbocompressor consiste de um eixo com dois rotores. Um deles, a turbina, impulsionado pelos gases de escapamento, faz girar o outro rotor, compressor, que admite o ar externo e o força para dentro do cilindro (figura 12).

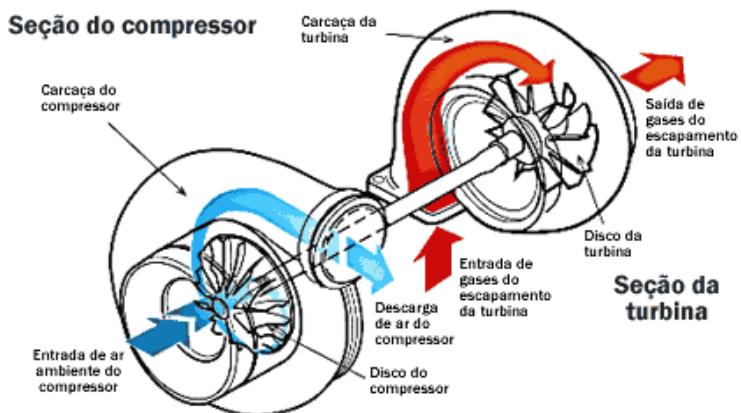


Figura 12 – Dinâmica dos gases no turbocompressor.

Quanto mais ar, mais combustível pode ser queimado, ou seja, maior poder calorífico. Dessa forma, o turbocompressor pode aumentar a potência do motor em até 40%. Ainda vale ressaltar que no funcionamento do motor, o fenômeno conhecido como cruzamento de válvulas garante uma pressão extra para o acionamento da turbina, pois a válvula de escape é aberta anteriormente ao PMI porque neste ponto a pressão residual já não gera trabalho útil.

A utilização da energia dos gases de escape altera o balanço energético do motor, possibilitando um aumento de sua eficiência térmica. Neste caso o compressor não tem ligações mecânicas com o motor, não consumindo potência de seu eixo. Diz-se que o turbocompressor é apenas “termodinamicamente” acoplado ao motor. Tem como maior desvantagem o fato de que tanto o compressor quanto a turbina normalmente possuem uma faixa de operação com altas eficiências ligeiramente mais restrita que a faixa de operação do motor, isto é, o turbocompressor opera de maneira mais efetiva em médias e altas rotações e cargas do motor (Brunetti, 2013).

Contudo, ao ser comprimido e por passar próximo ao rotor quente turbina, o ar admitido tem sua temperatura elevada, ou seja, densidade do ar é menor, o que não é favorável para o funcionamento do motor, por isso é comum que junto ao turbo seja instalado um resfriador de ar de admissão (*intercooler* ou *aftercooler* ou ainda *charge air cooler*) que promove a troca calor reduzindo a temperatura do ar em relação aos valores na saída do compressor, assim,

mais combustível é injetado, possibilitando maior carga no motor sem alterações em suas geometrias, aumentando a potência do motor (Brunetti, 2013).

Como citado anteriormente, em baixas rotações o turbocompressor não possui boas respostas, pois neste regime o fluxo de gases de exaustão não é suficiente para movimentar a turbina e, consequentemente, o compressor ao ponto de pressurizar o ar admitido, isto tem sido solucionado mais comumente com o uso de dois pequenos turbos (*Twin-turbo*) o que consegue melhorar a resposta em baixas rotações. Também é possível encontrar outros arranjos com turbos pequenos e grandes, ou até motores com 4 turbos. Outra variação de turbocompressor utilizada é o *VTG* (*Variable Turbo Geometry*, Turbo de Geometria Variável), em que a diferença está no rotor, que possui aletas que podem ser controladas para direcionar o fluxo de gases mais diretamente em situações de baixas rotações ou o inverso em altas (figura 13).



Figura 13 – Turbo de geometria variável.

2.10.2. O sistema VCR (Variabilidade de compressão do sistema)

O sistema *VCR* é a tecnologia que melhora a eficiência do motor em várias faixas de carga e com outros tipos de combustível que possuam octanagens diferentes. Por exemplo, em cargas reduzidas pode ser utilizada uma maior taxa de compressão de até 16:1, de modo a melhorar a eficiência térmica de um motor a gasolina em aproximadamente 10%. Porém motores não podem trabalhar sempre com uma taxa elevada, pois condições de grande esforço como o anda para do trânsito podem provocar a auto-ignição do combustível. Sendo assim, a

taxa de compressão deve ser fixada de modo a atender a uma variada gama de regime de carga do motor.

Um exemplo de sistema pode ser visto na figura 14, que varia o deslocamento do êmbolo no interior do cilindro, onde o primeiro grupo (à esquerda) usa sistemas de transmissão de força (*cranktrains*) não convencionais. Existem diferentes conceitos cinéticos de configurações de componentes, mas que acrescentam mais massa às partes móveis do motor. No segundo grupo ao centro possibilitam a mudança da compressão variando a distância entre o virabrequim e o cabeçote. O sistema usa o virabrequim com ajuste excêntrico dos mancais principais, enquanto outro tipo de sistema inclina o bloco em relação ao berço do virabrequim. Ambos os sistemas, entretanto, requerem intensas modificações no desenho de uma arquitetura do motor já existente. Dessa forma, sua aplicação é mais indicada para novas famílias de motores. Já os sistemas de comprimentos cinéticos variáveis (à direita), onde se inclui o conceito de biela de comprimento variável, utilizam componentes do trem de força que podem ter sua medida longitudinal ajustada (SAE BRASIL, 2013).

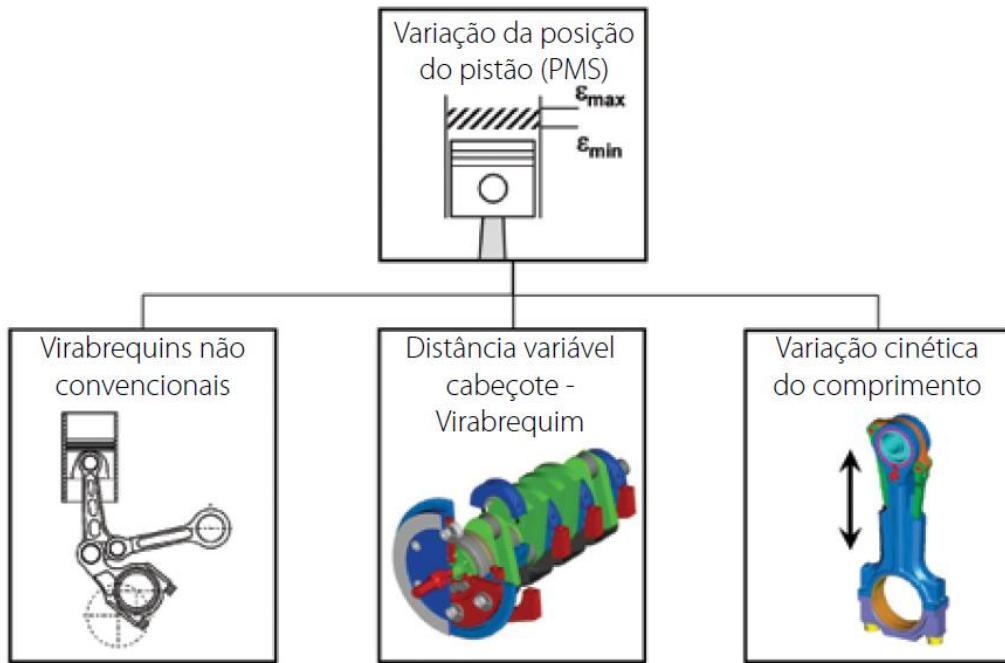


Figura 14 – Sistema VCR. (SAE BRASIL, 2013).

A variabilidade da compressão do sistema *VCR* de dois estágios com biela variável é composto, basicamente, por uma bucha excêntrica inserida no olhal menor (pé) da biela. Utilizando as forças geradas pela pressão sobre o êmbolo e pela massa do mesmo, o dispositivo efetua uma transição simples entre duas posições (alta ou baixa compressão),

controlada pela pressão do óleo, que permite ou bloqueia o movimento do mecanismo. A figura 15 mostra o desenho esquemático da biela variável atual. Na extremidade menor, onde se acopla o pino do êmbolo, é adicionada uma bucha excêntrica, a qual abriga o pino do êmbolo. É por meio da rotação dessa bucha excêntrica que ocorre a alteração no comprimento da biela, permitindo a variabilidade da taxa de compressão (SAE BRASIL, 2013).

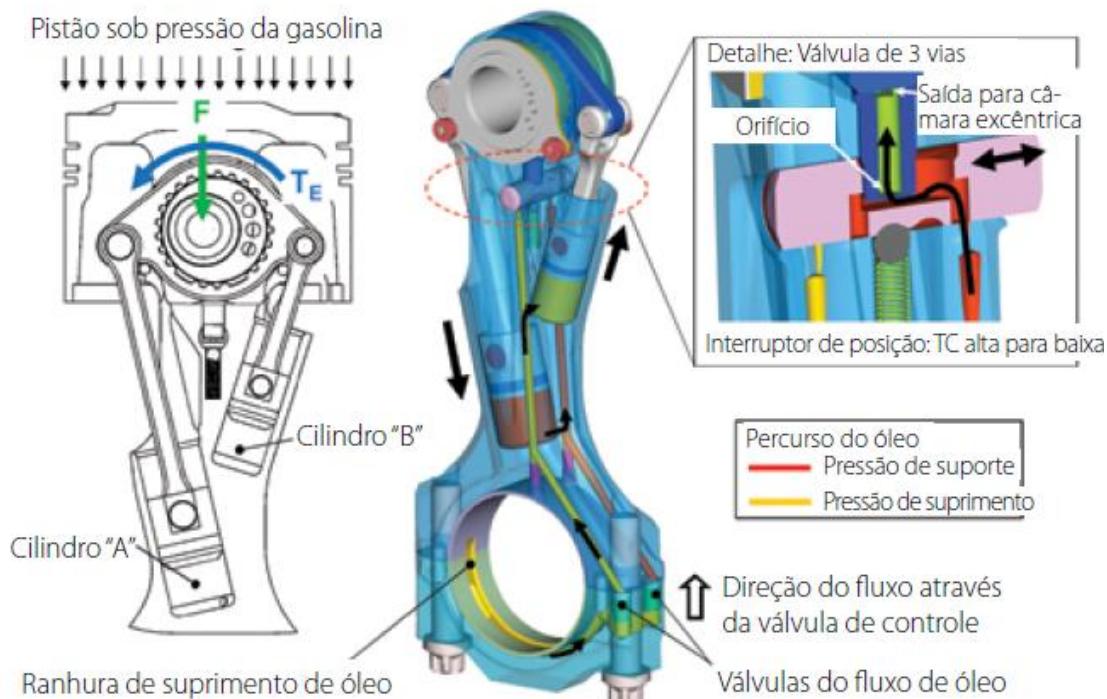


Figura 15 – Biela Variável (SAE BRASIL, 2013).

2.10.3. Injeção direta de combustível

Com o objetivo de reduzir o consumo de combustível e emissões, nas últimas duas décadas, a injeção direta de combustível vem sendo aplicada também nos motores de ciclo Otto. Essa configuração já havia mostrado suas vantagens nas aplicações Diesel, o que motivou sua introdução nos motores de ciclo Otto. Historicamente, os motores de ciclo Diesel vêm apresentando eficiência térmica ligeiramente superior aos motores de ciclo Otto. Duas diferenças básicas são responsáveis por essa maior eficiência do Diesel: menos perdas por bombeamento e maiores taxas de compressão. Essas diferenças se devem às propriedades de cada combustível (BRUNETTI, 2009).

Os motores de injeção direta propiciam mais força por unidade de combustível usada, por dois principais motivos: primeiro, utilizam uma mistura de ar e combustível mais “pobre”;

segundo, a maneira pela qual o combustível se dispersa no interior da câmara permite que ele seja queimado de forma mais eficiente. A relação ar-combustível durante a queima em um motor exerce efeitos previsíveis sobre o desempenho do propulsor, as emissões de poluentes e o consumo de combustível. Os motores de injeção direta usam uma mistura de 40 ou mais partes de ar para cada parte de combustível. Em um motor a gasolina convencional, a relação é de 13,8:1. Uma mistura mais pobre permite que o combustível seja queimado de maneira muito mais econômica. Uma segunda vantagem em termos de eficiência, para os motores de injeção direta, é que eles podem queimar seu combustível de forma mais completa. O combustível pode ser injetado diretamente na parte mais quente da câmara de combustão o que significa o mais próximo possível da vela de ignição. Em um motor a gasolina convencional, a mistura de combustível e ar se dispersa amplamente pela câmara, o que deixa quantidade substancial de gasolina não queimada, resultando em ineficiência. (Volkswagen, 2005).

2.10.3.1. Circuito de alimentação de combustível

Na injeção direta de combustível na câmara de combustão, o combustível deve ser injetado com pressões maiores do que na injeção no coletor de admissão. Além disso, a janela de tempo disponível para injeção é menor. Sistemas de combustível para injeção direta de gasolina necessitam, portanto, de uma pressão de combustível maior. O sistema de combustível divide-se em circuito de baixa pressão e circuito de alta pressão.

No circuito de baixa pressão, o combustível é transportado pela bomba elétrica do tanque de combustível até a bomba de alta pressão, (3 – 5,8 Bar de pressão). Em seguida, entrando no circuito de alta pressão (figura 16), o combustível é bombeado para o tubo de distribuição (50 – 100 Bar) por uma bomba mecânica de alta pressão, a injeção do combustível é efetuada pelas eletroválvulas que são gerenciadas pela *ECU*.

O circuito de alta pressão é composto de bomba de alta pressão, galeria de combustível (*rail*), sensor de alta pressão e de acordo com o sistema, válvula de controle de pressão ou válvula limitadora de pressão (ADAPTADO de BOSCH, 2004).

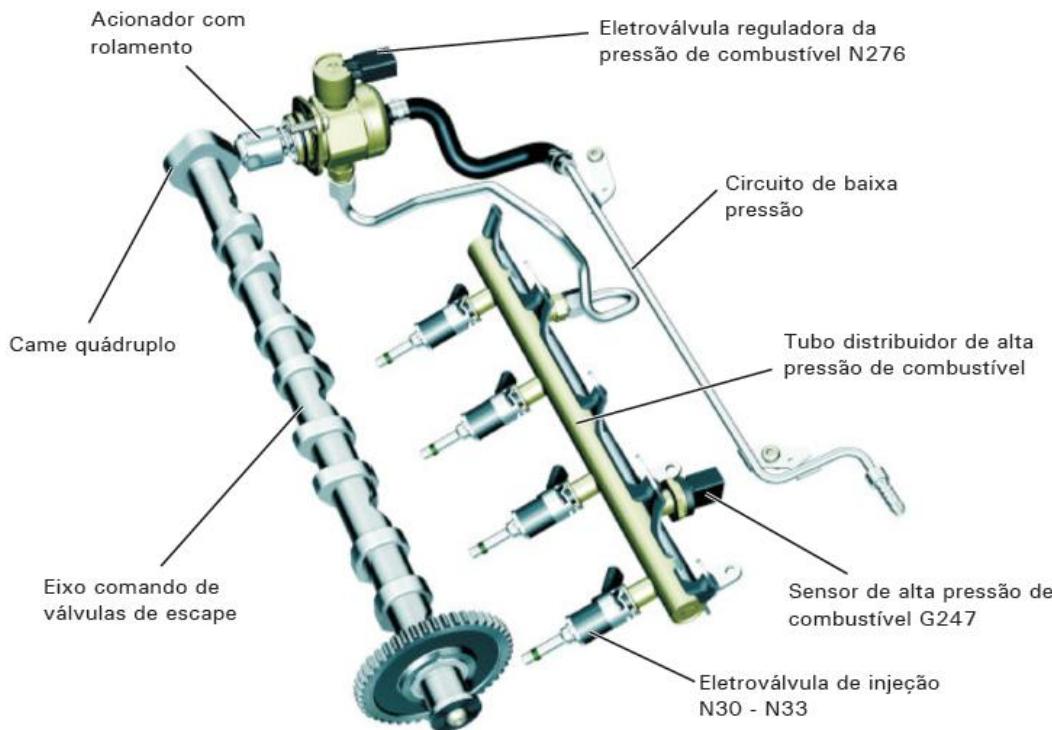


Figura 16 – Circuito de alta pressão do sistema de injeção direta (Volkswagen, 2005).

2.10.3.2. Bomba de combustível

Mencionando como exemplo os motores Volkswagen com sistema de injeção direta, a bomba de alta pressão encontra-se aparafusada no cabeçote, possui 3 cilindros radiais, ou seja, 120° entre cada cilindro, o que garante baixas oscilações da pressão do tubo de distribuição de combustível. A pressão máxima da bomba é de 100 Bar.

O eixo de acionamento da bomba de combustível de alta pressão (figura 17) é acionado pelo comando da admissão. No eixo de acionamento há um came excêntrico no qual o anel do curso é fixado. No giro do eixo de acionamento o came excêntrico com o anel de curso realiza o movimento oscilante do êmbolo da bomba.

- No movimento para baixo o combustível é admitido do sistema de combustível de baixa pressão.
- No movimento para cima o combustível é bombeado no tubo de distribuição do combustível.

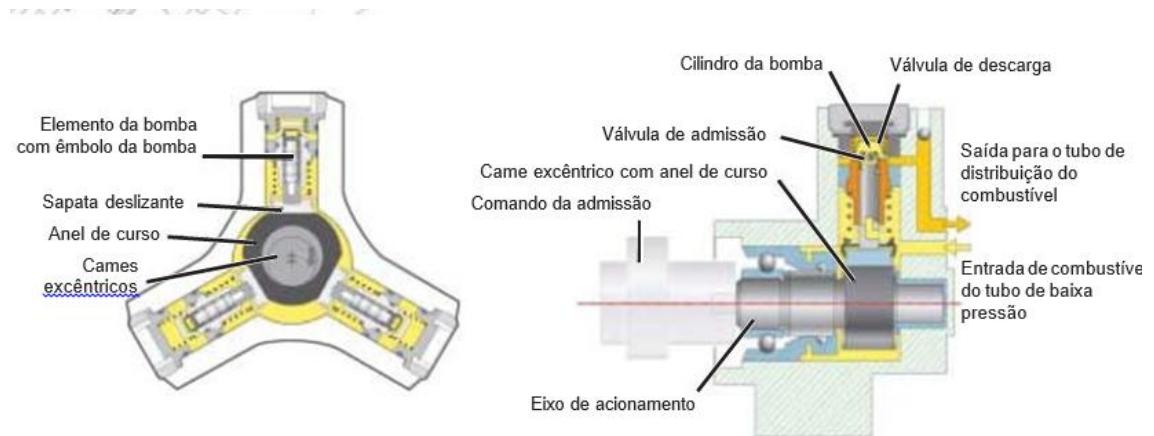


Figura 17 – Bomba de alta pressão (Volkswagen, 2005).

2.10.3.3. Estratégias de injeção

Os motores com sistema de injeção direta de combustível costumam trabalhar principalmente em dois modos de operação “estratificado” e ”homogêneo” sendo que a *ECU* seleciona o modo de operação mais conveniente segundo a exigência de torque/potência, segurança e emissões.

Modo estratificado: É o modo de funcionamento do motor quando está em regime de rotação e carga baixas, nesta estratégia o fator lambda varia entre 1,6 até 3. Para que a *ECU* mude para o modo estratificado devem ser observadas algumas condições:

- O motor deve trabalhar na faixa de carga e de rotações baixas
- Não deve haver falha no sistema em relação ao gás de escape e;
- A temperatura do líquido de arrefecimento deve estar acima de 50 °C;
- O sensor Nox deve estar pronto para operar e;

A temperatura do catalisador do acumulador de Nox estar entre 250 °C e 500 °C. Se todas as condições forem cumpridas pode ser realizado o modo estratificado (Volkswagen, 2005).

A ideia é que nessa condição exista uma mistura de fácil ignição na câmara de combustão, e que ela esteja coberta por uma camada de ar fresco e gases recirculados através do sistema *EGR*.

Modo Homogêneo: Já com carga e rotações elevadas, o motor trabalha no modo homogêneo, em que o fator lambda é igual a um. Este modo é muito semelhante à operação comum de um motor com sistema de injeção indireta, claro que excetuando a injeção direta na

câmara de combustão. Nesta estratégia, o torque do motor é definido pela massa de ar admitido e o momento de ignição.

2.10.4. EGR (sistema de recirculação dos gases de escape)

Mais comumente utilizado em motores diesel, o *EGR* é um sistema que visa diminuir as emissões de Nox. No caso de motores com injeção direta de combustível, faz-se necessária a utilização deste sistema porque estes motores trabalham com altas pressões e, consequentemente, altas temperaturas, o que geralmente ocasiona a combinação do nitrogênio com o oxigênio, formando um gás nocivo.

A recirculação externa de gás de escapamento pode ser utilizada para gerenciar a carga do cilindro e, consequentemente, o processo de combustão. Existe uma conexão entre a tubulação de escapamento e o coletor de admissão. Devido ao diferencial de pressão, o coletor de admissão pode aspirar os gases de escapamento através desta conexão, sendo que o fluxo de gases é controlado por uma eletroválvula (que ajusta a abertura da secção transversal) que em um momento oportuno permite que os gases de escape retornem à câmara de combustão ocupando parte do volume que seria preenchido com a mistura carburante, e assim, com menos oxigênio para reagir, a temperatura da câmara de combustão diminui juntamente com a produção de Nox.

Atualmente esta mesma função está sendo implementada sem a necessidade da válvula do *EGR*, apenas com o cruzamento de válvulas, como citado anteriormente é possível reter parte dos gases de exaustão na câmara de combustão para o ciclo seguinte.

A recirculação de gás de escapamento desempenha um papel importante para a redução de emissões de poluentes em motores a diesel e com ignição por centelha. Como parte dos esforços para reduzir ainda mais as emissões de Nox, sistemas projetados para arrefecer o gás de escapamento recirculado, através de um radiador, têm sido cada vez mais valorizados.

2.10.5. Comando de válvulas variável

O comando de válvulas é um eixo dotado de vários excêntricos, denominados cames, responsáveis por sincronizar a abertura e o fechamento das válvulas em relação ao movimento dos êmbolos. O acionamento era totalmente de maneira mecânica, ou seja, com tempo fixo de abertura das válvulas, por esse motivo cada montadora optava por ter um motor mais potente ou mais econômico.

Uma derivação deste componente é o Comando de Válvula Variável, que permite variação do ângulo de abertura da válvula e/ou a duração da abertura, resultando assim em melhor desempenho em torque, economia de combustível e emissões nas diversas condições de carga e rotação. Algumas grandes montadoras têm diferentes estratégias de comando de válvulas variáveis, outras delas utilizam um variador de fase. Nestes modelos, o variador atua apenas no comando de válvulas de admissão, serão citados alguns exemplos a seguir.

O sistema *VTEC* (*Variable Valve Timing and Lift Electronic Control System*) da HONDA, que foi lançado em 1989 no veículo “Integra R 1.8 8v”, funciona com duas válvulas de admissão e duas de escape, cada válvula tem três cames, dois iguais nas pontas, e um diferente no meio, figura 18, onde came rápido se refere a um came de perfil baixo e came lento se refere a um came de perfil alto. O motor *VTEC* pode ser projetado de diferentes maneiras, pode ser visando o aumento de potência, ou visando o melhor desempenho ou à redução de consumo de combustível.

Os cames das pontas são utilizados em rotações baixas e médias, visando à melhoria nesse regime. Em altas rotações, um dispositivo eletro hidráulico com comando eletrônico desliza a haste dentro dos balancins, acionando o came central, o qual controla o movimento das válvulas. Permite-se que se utilizem dois tipos de perfis, um para baixas rotações e outro para altas rotações.

Nas baixas rotações, a haste está alojada dentro dos balancins que são comandados pelos cames de baixo perfil, os quais fazem com que as válvulas tenham menor curso e tempo de abertura, permitindo assim que o motor seja utilizado em condições normais. Nas altas rotações, a pressão do óleo aumenta, alterando a posição da haste dentro dos balancins, obrigando que as válvulas sejam guiadas por cames mais altos, aumentando o tempo de abertura e o curso da válvula, para que possa entrar mais mistura carburante no cilindro durante a admissão e que os gases possam ser removidos mais facilmente no tempo de exaustão.

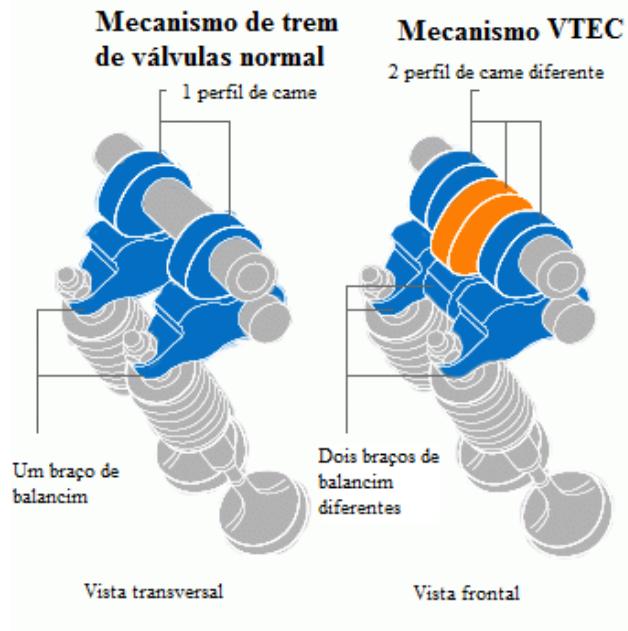


Figura 18 – Comando de válvulas variável.

O sistema *VTEC*, simplificadamente, atua com dois cames para cada válvula, porém, somente um deles atua de cada vez, dependendo do que é solicitado. Um cale é utilizado para oferecer alto desempenho do motor e o outro é utilizado para economia de combustível. Essa variação é executada por um pino de seleção do cale, acionado hidraulicamente pelo próprio óleo do motor e é acionado considerando a velocidade, rotação e temperatura do óleo do motor.

A Honda aprimorou o sistema e o transformou em *i-VTEC*. Esse “i” remetia a um sistema inteligente que, além de selecionar os cames de desempenho e de economia, era capaz de variar-se continuamente em sua posição.

O sistema de *VVT – Variable Valve Timing* (Comando Válvulas Variável) da TOYOTA equipado no modelo Corolla é gerenciado pela *ECU* que, embasada nos sinais de diversos sensores controla a polia do comando de válvulas de admissão. Esta possui um mecanismo interno, acionado hidraulicamente através da pressão do óleo que, quando ativado, gira o comando em relação à polia de acionamento. Este controle se dá através de válvulas solenoides, que em função das condições de carga e rotação determina o quanto deve variar a posição do comando de válvulas em relação ao virabrequim, figura 19. Avaliando o tempo de cruzamento das válvulas, pode se obter uma condição de funcionamento quase ideal entre a máxima economia de combustível e a aceleração potente e com bom torque.

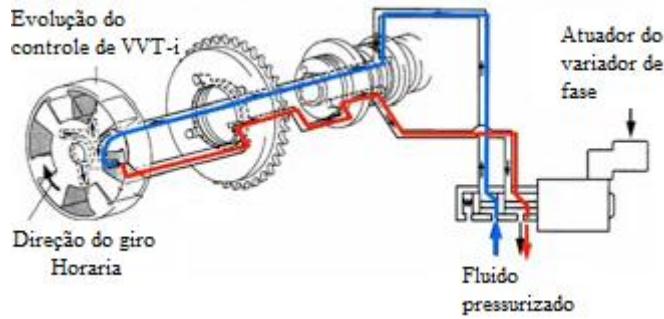


Figura 19 – Mecanismo do VTEC.

O sistema VANOS (*Variable Nockenwellen Steuerung ou variable adjustment of the camshafts*) da BMW é bem mais sofisticado eletronicamente do que os outros sistemas. Os primeiros sistemas VANOS eram acionados por solenóides com apenas duas posições, *ON/OFF* (LIGA/DESLIGA). Já nos sistemas mais atuais, as solenóides são acionadas por um sinal tipo *PWM* (*Pulse-Width Modulation*), ou seja, com largura de pulso modulado. O ajuste da posição da válvula de admissão e escape é feita pelo módulo de controle do motor que possui um mapa cruzando informações de velocidade, carga, temperatura de água e óleo do motor, e posição dos comandos de válvulas. O módulo aciona uma válvula solenóide, neste caso com sinal tipo *PWM*, que direciona o fluxo do óleo para o êmbolo que está integrado à engrenagem do comando de cames, retardando ou adiantando a posição do comando em relação a ela. Sendo assim, as válvulas têm múltiplas posições possíveis e a posição do comando de válvulas pode ser continuamente variável, atendendo a todas as condições de funcionamento do motor (BMW, 2009).

O sistema Valvetronic, é utilizado nos motores 1.6 da BMW desde 2001 e agora já se estendeu para uma maior gama de motores da marca. Difere-se dos anteriores, pois possui a capacidade de variação contínua da abertura de todas as válvulas. Uma peculiaridade deste sistema é que ele elimina a utilização de borboleta de aceleração porque as próprias válvulas executam essa função.

Ao levantar, controlam a mistura A/C que entra no cilindro ou simplesmente fecham vedando essa entrada. Isso permite a diminuição nas perdas por bombeamento que ocorre nas aberturas parciais do acelerador. Na teoria nada disso é uma grande novidade, porém, a precisão do sistema Valvetronic é o que torna inovador. Para comandar todo esse sistema, há um motor elétrico de resposta rápida, que precisa de 300 milissegundos para movimentar a válvula fechada e aberta ao máximo.

Para que tudo funcione adequadamente, este sistema da BMW possui uma *ECU* própria. A precisão de construção dos itens chega aos 8 milésimos de milímetro. A BMW considera o

sistema Valvetronic quase como equivalente em eficiência aos motores de injeção direta. Tem como principais benefícios o arranque com motor frio, sem “engasgos”, funcionamento linear e resposta rápida às acelerações bruscas.

3. ESTUDO DO HARDWARE

A calibração de um motor deve ser feita para se obter o melhor desempenho, eficiência volumétrica, economia de combustível e menores níveis de emissões de poluentes. O calibrador necessariamente deve conhecer toda a fundamentação teórica e dinâmica de toda a gama de sensores e atuadores incorporada no motor a ser calibrado.

3.1. Sensores e atuadores

Os motores da família EA111 1.0 16V turbo utilizam o sistema de gerenciamento eletrônico *Motronic M3.8.3* que trabalha de forma a sempre otimizar o torque em todas as faixas de rotação. As principais características deste sistema são o controle eletrônico da pressão do turbo e do variador de fase do comando de válvulas de admissão *VVT (Variable Valve Timing)*, que tem como função melhorar o torque do motor em baixas rotações (Volkswagen, 2003).

Com toda a tecnologia da atualidade, o sistema de gerenciamento da Parati utiliza o sistema de ignição do tipo *DIS (Distribution Ignition Static)*, ou seja, não existem peças móveis, que possam gerar desgastes ou necessidade de regulagens. A unidade de comando possui inúmeras funções de emergência (sistema autoadaptativo), que logram minimizar os problemas de dirigibilidade, que possam aparecer devido a avarias, nos sensores do sistema (Volkswagen, 2003).

A alta tecnologia que incorpora o motor 1.0 16V turbo exige um sistema de gerenciamento eletrônico que satisfaça as condições de conforto e suavidade. A M3.8.3 se caracteriza por:

- Sistema de injeção multiponto sequencial autoadaptativo;
- Ignição estática de transformador duplo com regulagem anti-detonação individual por cilindro;
- Controle de emissões evaporativas autoadaptativo;
- Estabilidade digital da rotação de marcha-lenta;

- Controle da pressão de sobrealimentação do turbocompressor;
- Controle do sistema variador de fase (VVT);
- Autodiagnóstico de sensores e atuadores através de memória de avarias;
- Conector duplo de 80 pinos;

Esta gestão incorpora novidades como o sensor de rotação no flange do volante do motor, medidor de massa de ar a filme quente, o sensor de altitude, a eletroválvula de controle de pressão do turbo e a eletroválvula do variador de fase (Volkswagen, 2003). Segue abaixo o diagrama de entradas e saídas da *ECU* (figura 20), onde temos os sensores e atuador dereferenciados por nomenclaturas utilizadas somente pela Volkswagen.

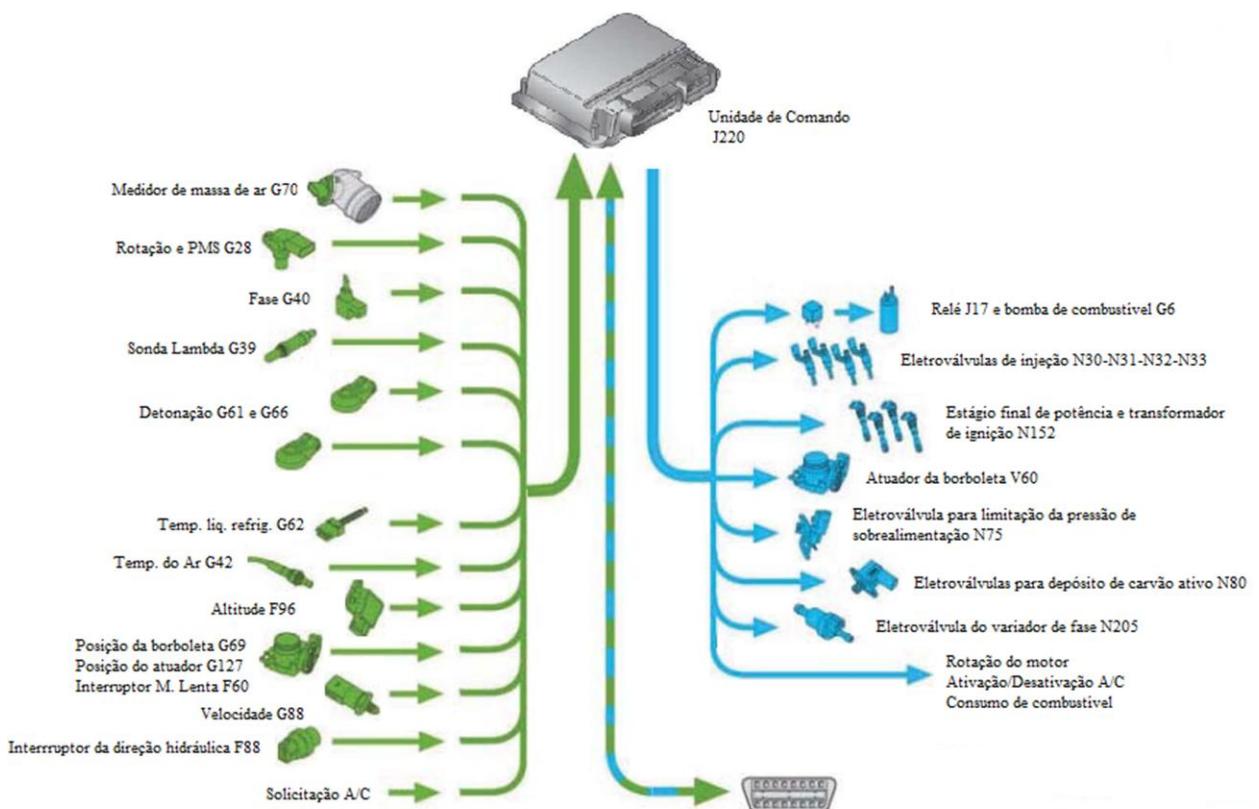


Figura 20 – Diagrama da *ECU* (ADAPTADO de VW, 2005).

3.1.1. Sensor de oxigênio (Sonda Lambda) – G39

O sensor de oxigênio é capaz de medir a concentração de oxigênio dos gases de exaustão, e com base nesta informação, a *ECU* pode estimar o valor real do λ . O sensor mais utilizado atualmente é o *EGO* (*Exhaust Gas Oxygen*), figura 21, também conhecido como sonda lambda ou sensor lambda de banda estreita (*Narrow Band Lambda Sensor*), outro tipo de sensor de oxigênio é o *UEGO* (*Universal Exhaust Gas Oxigen*), também conhecido como sonda lambda ou sensor lambda de banda larga (*Wideband Lambda Sensor*), este tipo de sensor trabalha em malha fechada e por isso requer um gerenciamento eletrônico. Ambos os sensores citados, apresentam variação da curva de calibração em função da temperatura do elemento sensor, essa variação ocorre principalmente em temperaturas inferiores a 300 °C, a partir das quais os óxidos aplicados ao sensor conduzem os elétrons livres presentes no O₂ (Pujatti, 2007). Deste modo, a maioria dos sensores utilizados atualmente são pré-aquecidos (*HEGO* – *Heated Exhaust Gas Oxigen*) para ter a vantagem de atingir, rapidamente, sua temperatura de trabalho durante a fase fria de funcionamento do motor, que é o caso do sensor G39 do motor da Parati.

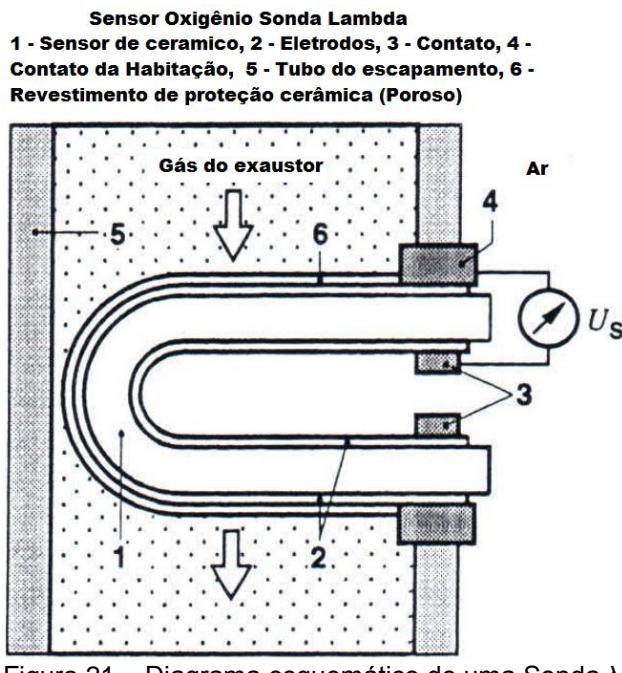


Figura 21 – Diagrama esquemático de uma Sonda λ .

O sensor funciona da seguinte maneira, dois eletrodos, um exposto a referência (Ar ambiente, cuja porcentagem de oxigênio é da ordem de 18%) e outro aos gases de exaustão,

sendo geralmente feitos de platina, o que lhes conferem propriedades catalíticas. Entre os eletrodos, utiliza-se um material cerâmico com capacidade de transferir íons de oxigênio entre eles, geralmente dióxido de Zircônio, ZrO_2 . Cria-se uma célula eletroquímica cuja tensão muda com a diferença de pressão parcial de oxigênio entre os dois eletrodos. A diferença de potencial gerada é uma medida da concentração de oxigênio nos gases de exaustão (BRAGA, 2007).

É possível demonstrar que a diferença de potencial entre as paredes interna e externa será dada pela expressão (4):

$$U_s = \frac{R * T}{4 * F} * \ln \frac{P_{O''}}{P_{O'}}$$
 (4)

Onde T = Temperatura em K.

$P_{O''}$ = Concentração de oxigênio no ar ambiente.

$P_{O'}$ = Concentração de oxigênio nos gases de escape.

Este comportamento pode ser visualizado graficamente.

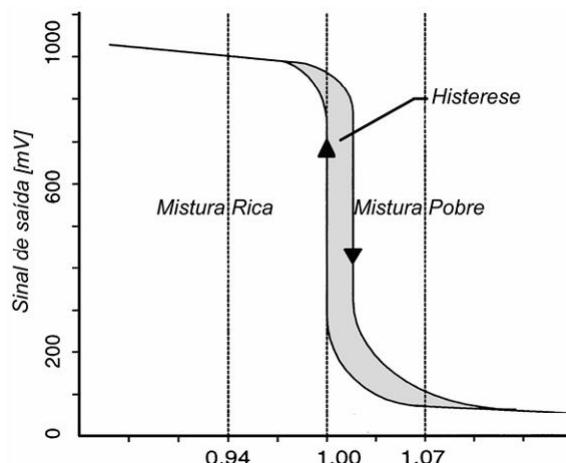


Figura 22 – Gráfico da tensão de saída do *HEGO* em função do lambda (Pinto, 2001).

O gráfico da figura 22 mostra a função do fator λ , um comportamento não linear na resposta em sinal de tensão do sensor *HEGO*. A tensão nominal de saída desse sensor é da ordem de 100 a 1000 mV. Na condição de mistura rica ($\lambda < 0,95$), praticamente todo o oxigênio é transformado em CO_2 nos gases de escape, portanto, a diferença de pressão parcial de oxigênio em relação à atmosfera é alta, a razão de concentração $P_{O''}/P_{O'}$ atingirá valores da

ordem de 10^{17} , originando valores de U_s na faixa de 900 a 1000 mV. No caso de mistura pobre ($\lambda > 1,05$), a diferença de pressão parcial é menor e a tensão de saída fica em torno de 100 mV. Essas são as condições de saturação do sensor nas extremidades de sua curva de calibração (Laganá, 2012).

Na região delimitada pelos valores citados ($0,95 \leq \lambda \leq 1,05$), o sensor *HEGO* apresenta uma mudança brusca nos níveis de sinal, principalmente em torno da condição próxima da estequiométrica ($\lambda = 1$), onde a tensão de saída é de aproximadamente 450 mV mas varia rapidamente quando a mistura se torna rica ou pobre, além da histerese entre a transição de mistura.

Detectar o teor de oxigênio nos gases de escape informa a *ECU* se todos os parâmetros que são comandados por ela estão de acordo com o regime de funcionamento do motor, como forma de diagnóstico.

3.1.2. Sensor de massa de ar (*MAF*) – G70

O sensor *MAF* converte o fluxo de massa de ar aspirado para dentro do motor em um sinal de tensão. A *ECU* precisa saber a massa do ar de admissão para calcular a carga do motor, ou seja, para determinar a quantidade de combustível a ser injetado, de forma equivalente ao sensor *MAP*, que através das medidas de pressão e temperatura permite a obtenção da massa de ar admitido, através da expressão (5).

$$\text{Fluxo} = n * \frac{\text{pressão}}{R * \text{temperatura}} * \text{cilindrada} * \frac{\text{rpm}}{120} \quad (5)$$

O sensor de massa de ar está localizado diretamente no fluxo de ar de admissão, entre o filtro de ar e o corpo de borboleta. Existem diferentes tipos de sensores *MAF* o sensor de fluxo de massa de ar de palhetas (potenciômetro) e o KarmanVortex são dois estilos mais tradicionais, que podem ser identificados pelos seus formatos.

O sensor do fluxo de massa de ar do tipo Potenciômetro (figura 23), trata-se de um sensor que informa a massa de ar a partir do deslocamento de uma palheta a qual compartilha seu eixo com o cursor de um potenciômetro. Composto por Palhetas (medição e amortecedor), potenciômetro, mola de retorno, parafuso de ajuste da marcha lenta, *bypass* e sensor de temperatura do ar admitido.

O fluxo de massa de ar, ao passar pelo sensor, movimenta a palheta de medição que irá permitir a passagem de certo volume de ar, ligada à ela existe outra palheta, chamada de amortecedora. Diferente da de medição, a amortecedora fica em uma câmara, sua função é evitar que a palheta de medição mova-se muito rápido ou vibre, o que pode gerar sinais incorretos. O fluxo de ar sobre a palheta de medição força esta a mover-se, e em comum a ela, um cursor se desloca sobre a pista resistiva do potenciômetro. Esse deslocamento altera a posição do cursor do potenciômetro, e por sua vez a tensão de saída para a *ECU*. O retorno da palheta de medição a sua posição inicial é garantido por uma mola de retorno ligada ao eixo da palheta.

Durante a marcha-lenta, o fluxo de ar é insuficientemente forte para movimentar a palheta de medição, por isso há um *bypass* (Desvio) para que uma quantidade suficiente de ar para este regime seja obtida. O *bypass* já vem calibrado de fábrica, e vem com seu parafuso lacrado.

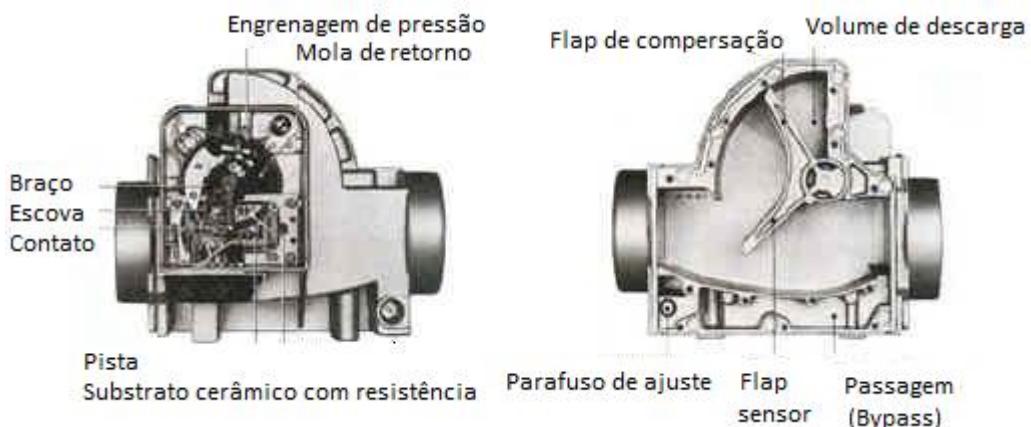


Figura 23 – Sensor *MAF* do tipo palheta.

Sensor de massa de ar KarmanVortex (figura 24): Há poucos exemplos de sistema com esse sensor no Brasil, porém sua diferença para o tipo potenciômetro está apenas no princípio de funcionamento. Ele é composto por gerador de vórtice, Espelho, *LED* e *PhotoTransistor*.

Um sensor de vórtice Karman funciona pela interrupção do fluxo laminar de ar por um arco perpendicular, que causa uma perturbação no fluxo criando um efeito turbilhão, ou seja, uma sequência de vórtices. Este efeito é chamado de KarmanVortex, pois Karman foi um estudioso que deu continuidade as conclusões de Leonardo Da Vinci sobre vórtice. Depois de

passar pelo gerador de vórtice, eles chegam ao orifício direcionado de pressão, onde colidem sobre uma lâmina de metal espelhada.

O metal passa a oscilar proporcionalmente a frequência dos vórtices, é importante ter em mente que esta frequência depende totalmente da velocidade do fluxo de ar. O movimento do espelho desvia a luz de um LED que incide em um *Photo Transistor* ou *Photo Diodo*, abrindo e fechando um ciclo de 5 volts, de modo que, gera um sinal de onda quadrada para *ECU*.

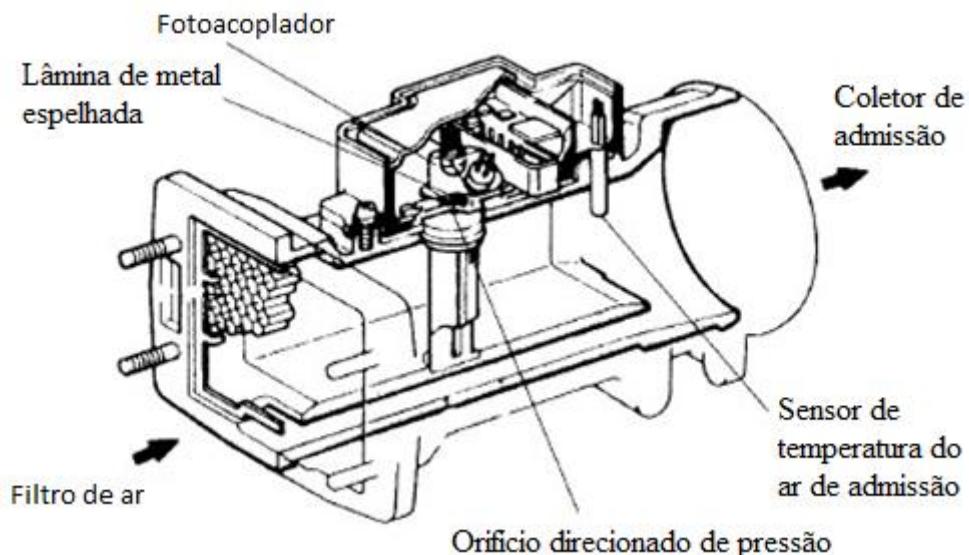


Figura 24– Sensor *MAF* do tipo *Karman Vortex*.

Sensor *MAF* de película aquecida (figura 25): Esse tipo de sensor consiste de uma ponte de *Wheatstone*, que possui alguns de seus elementos resistivos submetidos ao fluxo de ar. A passagem do ar provoca o resfriamento de um desses elementos, o que desequilibra a ponte, provocando uma passagem de corrente maior por um elemento aquecedor, que procura reaquecer a película. Um circuito eletrônico dedicado transforma esse desequilíbrio da ponte em uma tensão elétrica que é proporcional à vazão mássica de ar que flui pelo sensor (HEISLER, 2002).



Figura 25 – Sensor *MAF*.

Observando o circuito da figura 26, a ponte formada pelas resistências R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , e R_5 , que na ausência de fluxo de ar está devidamente equilibrada mantendo o transistor no limiar de condução, com o fluxo de massa, o resistor R_1 terá o seu valor reduzido, diminuindo o potencial na entrada não inversora (+) do operacional (da direita) e consequentemente diminuindo o potencial na base do transistor e aumentando a corrente no resistor R_H , que tem a função de aquecer o resistor R_5 , aumentando seu valor. Esta condição de novo equilíbrio (da realimentação, não da ponte) é atingida com a tensão sobre R_H aumentada e consequentemente a tensão U_A no pino 4. Desta forma o potencial U_A será uma função do fluxo de massa de ar. O resistor R_T tem a função de realizar a compensação de temperatura do circuito (Laganá, 2012).

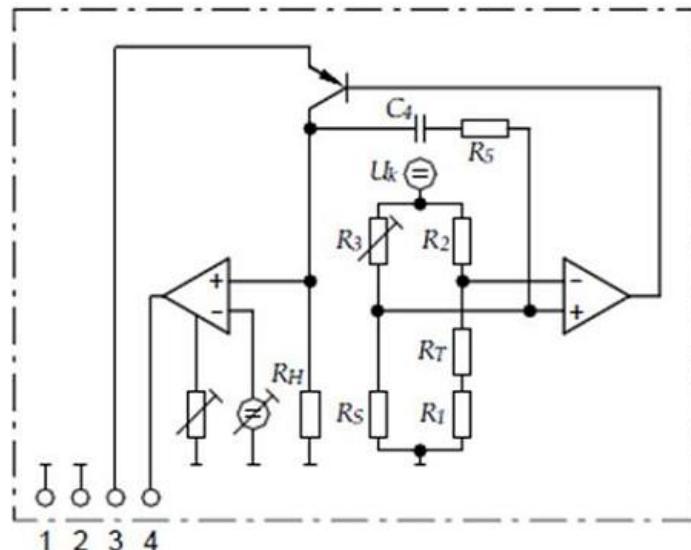


Figura 26 – Esquema elétrico do sensor MAF.

O medidor de massa de ar (*HFM – Hot Film Mass*) utiliza as tecnologias de medição por filme aquecido e detecção de fluxo reverso. Está localizado na tubulação de admissão do compressor, logo após filtro de ar. O circuito eletrônico e o elemento sensor encontram-se acomodados em um alojamento compacto de plástico.

Na extremidade inferior do alojamento existe um duto de medição do qual se sobressai o elemento sensor. O duto de medição extrai parte do fluxo de ar de admissão e de retorno, direcionando-os ao elemento sensor. O sinal transmitido pelo elemento sensor é processado pelo circuito eletrônico do próprio sensor, e analisado pela unidade de comando do motor.

Assim, é assegurada uma medição altamente apurada da massa de ar, essencial para o funcionamento do motor com baixa emissão de poluentes e alto rendimento de potência.

No caso do veículo VW Parati o sinal do sensor *MAF G70* (figura 27) é utilizado para, controle do volume de injeção, controle do avanço de ignição, controle das emissões evaporativas e controle da pressão de sobrealimentação do turbocompressor.

Em caso de avaria no sensor, a unidade de comando utiliza o sinal do sensor de posição da borboleta G69, para estimar a massa de ar admitida pelo motor e, a pressão de sobrealimentação é limitada a 0,4 bar. A estratégia de auto adaptação da mistura é desativada (Volkswagen, 2003).

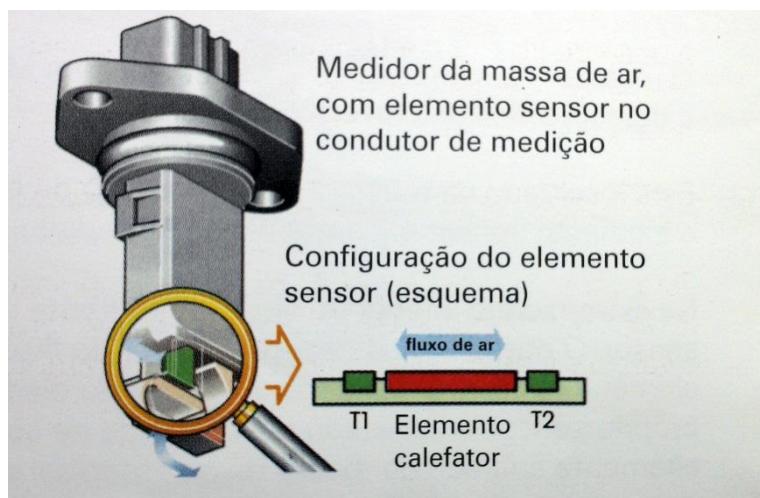


Figura 27 – Sensor de massa de ar (Volkswagen, 2003)

No elemento sensor existem dois termossensores ($T_1 + T_2$) e um elemento calefator. A base em que estão fixados os sensores e o elemento calefator é uma membrana de vidro, pois o mesmo tem má condutividade térmica. Desta forma, evita-se que o calor do elemento calefator passe através da membrana de vidro para os sensores, o que causaria erros na medição (Volkswagen, 2003).

O ar acima da membrana de vidro é aquecido pelo elemento calefator. Quando não há fluxo de ar, o calor se propaga uniformemente. Os dois sensores, por estarem à mesma distância do elemento calafetado, registram a mesma temperatura (Volkswagen, 2003).

Durante a admissão, passa um fluxo de ar de T_1 para T_2 sobre o elemento sensor, figura 28. O ar esfria o sensor T_1 . Sobre o elemento calefator o ar se aquece, de modo que o sensor T_2 , não se esfria tão intensamente como o sensor T_1 . Deste modo, a temperatura T_1 é mais baixa do que a de T_2 . Com ajuda desta diferença de temperaturas, o circuito eletrônico reconhece a massa de ar que foi aspirada (Volkswagen, 2003).

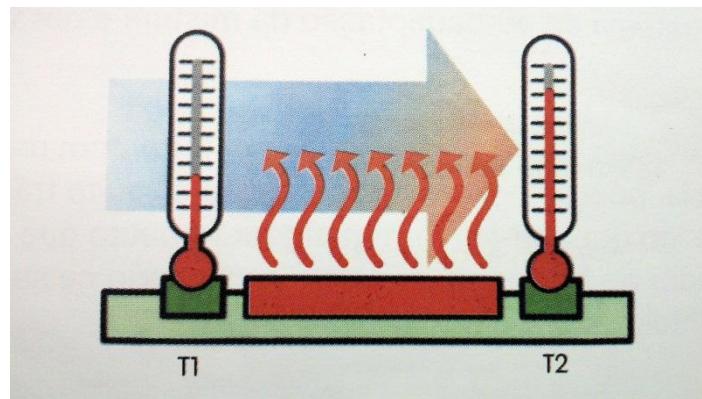


Figura 28 – Fluxo de ar nos termosensores (Volkswagen, 2003)

A ação de abertura e fechamento das válvulas de admissão produz um fluxo reverso (onda de pressão) no ar de admissão no interior do coletor. Esta onda de pressão cria um efeito de pulsação do ar, dentro do coletor de admissão, que falsifica o valor real de massa de ar admitido pelo motor. Se o ar fluir no sentido oposto (figura 29) através do elemento sensor. T2 se esfria mais intensamente que T1. Devido a isto, o circuito eletrônico detecta a massa de ar em fluxo inverso. Neste caso, subtrai a massa de ar refluente, da massa de ar aspirada e transmite o resultado à unidade de comando do motor (Volkswagen, 2003).

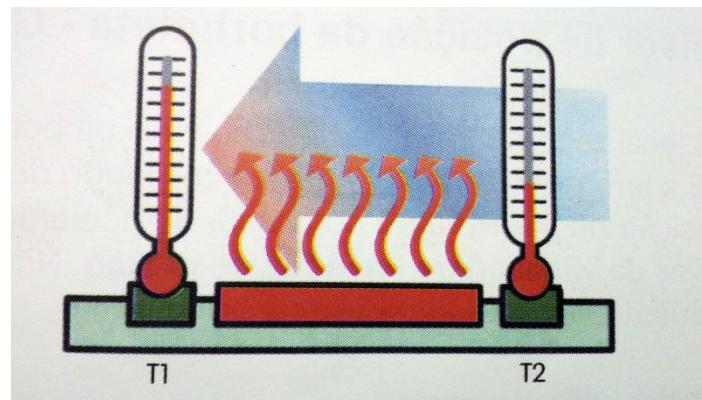


Figura 29 – Fluxo reverso do ar nos termosensores (Volkswagen, 2003).

A unidade de comando do motor recebe assim, um sinal eletrônico equivalente à massa de ar efetivamente aspirada e pode dosar com maior exatidão, a quantidade de combustível correspondente (Volkswagen, 2003). Assim como o sensor do tipo de potenciômetro e o Karman Vortex, este também possui um sensor de temperatura do ar combinado a ele.

3.1.2.1. Sensor de Temperatura do ar/líquido de arrefecimento – G42/G67

Medições de temperatura em veículos com motores de ciclo Otto são realizadas pela exploração da sensibilidade à variação de temperatura, encontrada na resistência elétrica dos materiais com coeficiente de temperatura positivo (*PTC*) ou negativo (*NTC*), como termômetros de contato (BOSH, 2004).

Uma resistência *NTC* geralmente é construída de óxidos de metais. Termistores (termo resistor) de óxidos de metais são formados pela junção de vários óxidos de metais moldados na forma que for desejada e posteriormente são sinterizados a uma temperatura de aproximadamente 1000°C. Dessa forma, os óxidos formam um material semicondutor cuja resistência varia rapidamente com a variação da temperatura (TRIETLEY, 1986).

Como mencionado anteriormente, o sensor de temperatura do ar G42 do veículo VW Parati está integrado ao sensor *MAF*, já o sensor do líquido de arrefecimento G67, está localizado na saída do líquido de arrefecimento do cabeçote (carcaça da válvula termostática). Ambos sensores são do tipo *NTC*, ou seja, conforme aumenta a temperatura, suas resistências diminuem.

3.1.3. Sensor de posição de borboleta – G39

Está localizado na unidade de comando da borboleta J338, elemento atuador que controla a quantidade de ar admitido, e informa para a unidade de comando do motor, a posição angular de abertura da válvula borboleta, através da variação de um sinal de tensão. É basicamente constituído por um potenciômetro circular cujo cursor é solidário ao eixo do *TPS* (*Throttle Position Sensor*).

O cursor pode deslocar-se de um extremo ao outro do resistor (que constitui a pista do potenciômetro). Em função disto, verifica-se que, alimentando com uma tensão de referência os terminais extremos, é possível medir entre o terminal do cursor e qualquer um dos extremos, uma tensão variável que depende da posição do cursor.

O sinal é utilizado para controle do volume de injeção, controle do avanço de ignição, controle de emissões evaporativas, controle do variador de fase (*VVT*) e controle de pressão de sobrealimentação do turbo compressor.

Em caso de avaria no sensor, a unidade de comando utiliza o sinal, do medidor de massa de ar, para estimar as relações de abertura da borboleta e, como consequência, o

compressor do ar condicionado somente pode ser ligado acima de 2000rpm. A estratégia de auto adaptação da mistura é desativada e a pressão de sobrealimentação do turbo compressor é limitada a 0,4bar (Volkswagen, 2003).

3.1.4. Sensor de rotação e PMS – G28

Está localizado na flange do volante do motor, fixado por um parafuso, e trabalha em conjunto com uma roda dentada de 60-2 dentes (falha de 2 dentes), fixada por pressão no virabrequim. Este sensor trabalha segundo o princípio *Hall*, que será descrito em seguida.

A falha dos 2 dentes serve para dar a referência angular do virabrequim à unidade de comando. Quando esta falha passa pela frente do sensor, a unidade de comando reconhece que o 1º cilindro estará em PMS após a passagem do 14º dente, figura 30.

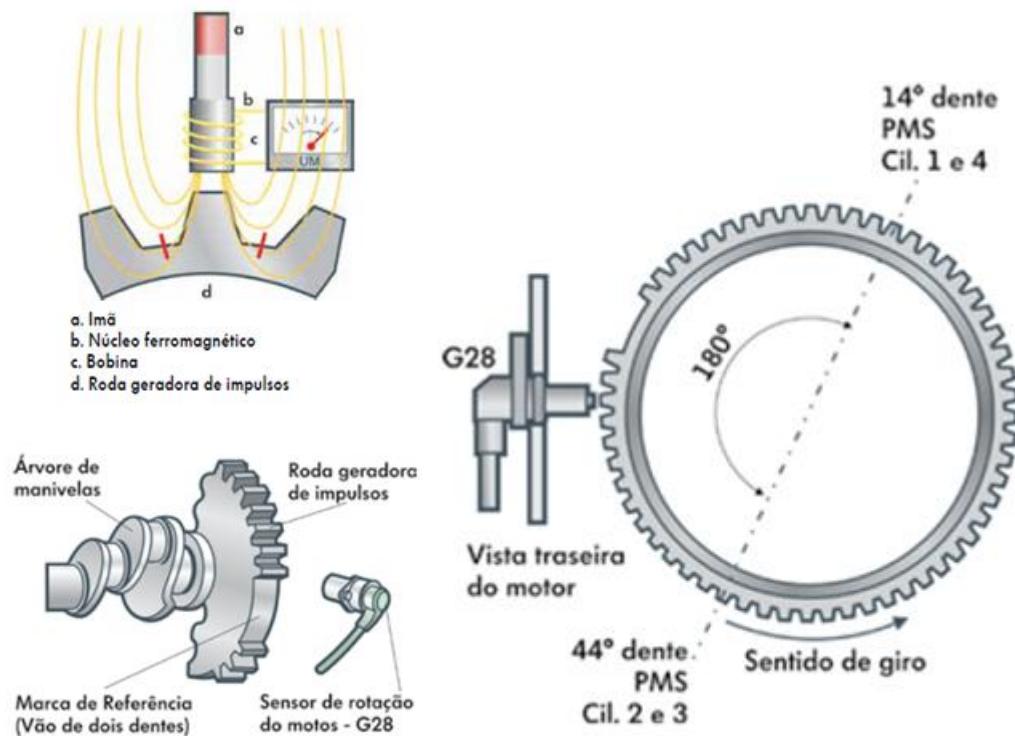


Figura 30 – Sensor de rotação do motor (Fróes, 2013)

O sensor é utilizado para:

- Controle da massa de ar admitida.
- Determinação do momento de injeção.
- Controle do avanço de ignição.
- Estabilização digital da marcha-lenta.

Em caso de avaria no sensor, o motor não arranca ou, para se estiver funcionando. Não existe função de emergência para este sensor (Volkswagen, 2003).

Basicamente, no sensor *Hall* são geradas tensões nos terminais de saída com o passar das janelas (espaço entre os dentes do volante do motor) na frente do sensor, internamente temos um condutor que intermitentemente exposto a um campo magnético segundo o movimento do volante do motor.

Admitindo um material condutor que é percorrido por uma corrente, quando ele é submetido a um campo magnético perpendicular, uma corrente transversal proporcional ao produto vetorial entre a corrente e a intensidade de campo surgirá. Com a exposição ao campo magnético, os elétrons recebem a ação de uma força que desvia sua trajetória, o que acaba por gerar uma diferença de potencial entre as extremidades, conforme a figura 31.

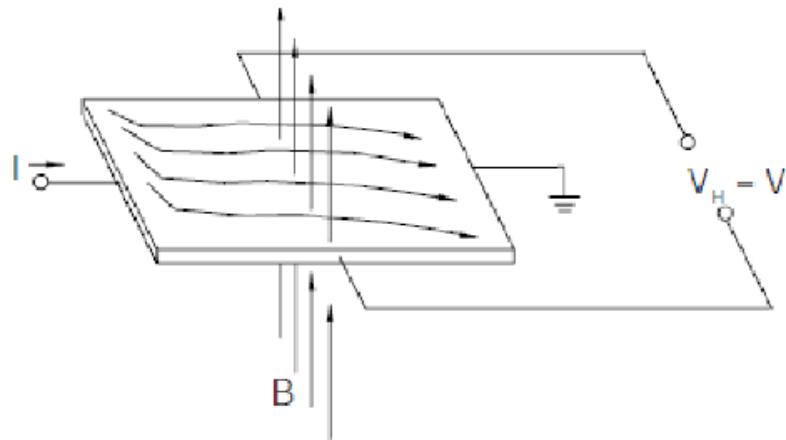
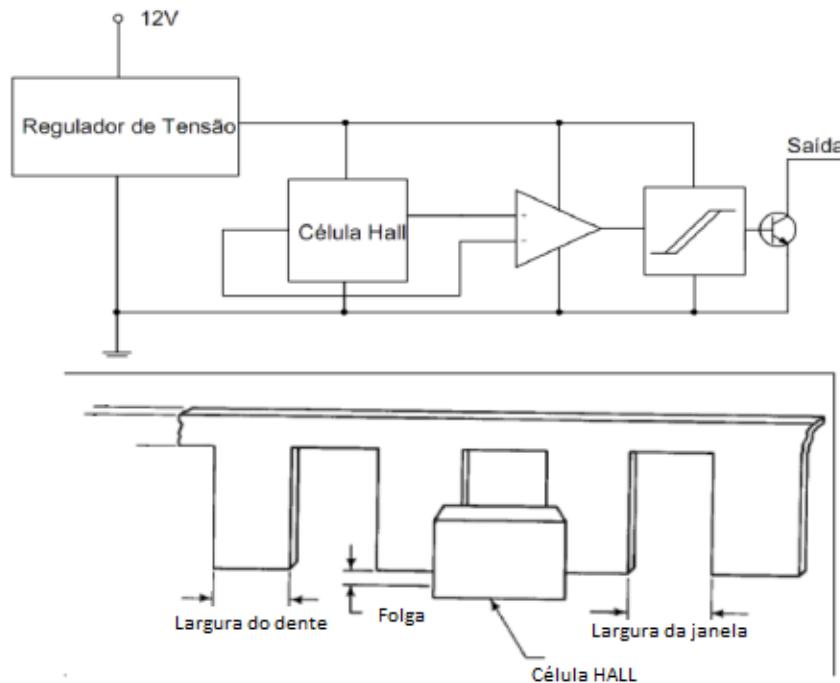


Figura 31 – Princípio de funcionamento do sensor *HALL*.

A tensão gerada pela célula *Hall* é muito baixa, por isso geralmente se utilizam circuitos para elevar a tensão com amplificadores operacionais, e posteriormente o sinal é quadrado por um *schmitt trigger*, finalmente para fornecer corrente, o sinal quadrado vai para base de um transistor que leva a Saída a nível lógico zero quando há tensão na saída da célula *Hall*.

O método de construção mais utilizado em sensores do tipo *Hall*, como pode ser visto na figura 32, é o que os dentes e janelas se alternam, bloqueando ou permitindo a passagem do campo magnético na direção da célula *Hall*.



Carlos Eduardo Milhor, Sistema de desenvolvimento para controle eletrônico dos motores de combustão interna ciclo Otto, 2002 Prof. Edson - 2012

Figura 32 – Método de construção do sensor *HALL*.

3.1.5. Sensor de pressão MAP –F96

Usualmente localizado no coletor de admissão, o sensor de pressão absoluta (*MAP*), figura 33, tem um papel muito importante quando se fala em determinar o tempo de injeção de combustível, pois os valores de pressão aferidos entram como uma variável importante da estratégia *speed x density*. Nesta estratégia, através dos sinais do sensor *MAP*, *TPS* dentre outros, a *ECU* pode identificar a densidade do ar admitido assim como o regime de carga do motor, o que permite a ela determinar o tempo de injeção.



Figura 33 – Sensor *MAP*.

Em alguns casos, o sensor *MAP* vem com o sensor de temperatura do ar no mesmo encapsulamento, o que acrescenta mais um terminal ao conector do sensor. O sensor é alimentado com 5V pela *ECU* e é composto por uma cápsula barométrica que é separada por uma membrana piezoresistiva, sendo que, de um lado há pressão atmosférica (pressão de referência) e do outro lado, a câmara está conectada ao coletor de admissão, esta configuração pode ser vista na figura 34.

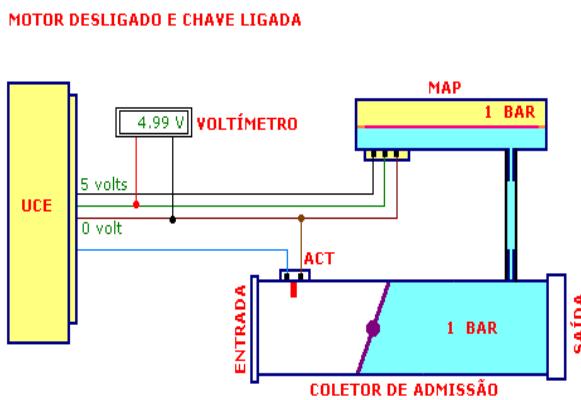


Figura 34 – Esquema do sensor *MAP*.

A diferença de pressão entre os dois lados da câmara acaba por deformar a membrana, modificando sua resistência e por consequência modificando as quedas de tensão em um circuito denominado ponte de *wheatstone*, conforme a figura 35.

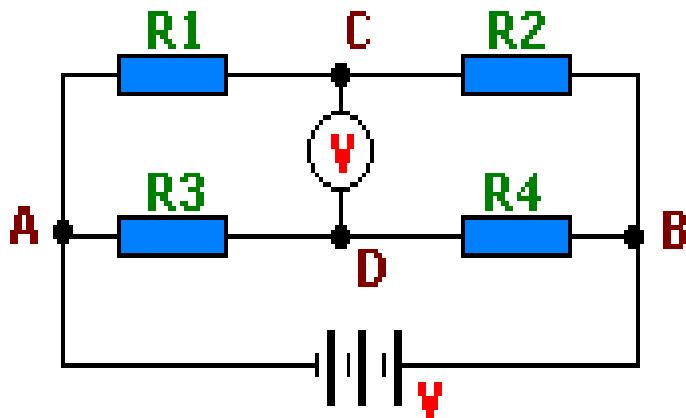


Figura 35 – Ponte de *wheatstone*.

Um sinal resultante de tensão é enviado à unidade de comando com seu valor proporcional a pressão aferida pelo sensor.

3.1.6. Eletro-ventilador

No sistema de arrefecimento do motor, o radiador possui a função de transferir o calor do fluido de arrefecimento para o ambiente através da troca de calor que ocorre com o fluxo de ar que passa pelas aletas do radiador, porém, os veículos também necessitam de uma capacidade substancial de arrefecimento em baixas velocidades, visto que, esse fluxo depende da movimentação do veículo, uma ventilação do ar forçado também é necessária para o radiador.

Apesar de fazer parte da cessão de atuadores, o eletro-ventilador do radiador no caso do veículo Volkswagen Parati 1.0 16v turbo, possui um acionamento mecânico independente. Neste caso o eletro-ventilador é controlado por um interruptor acionado por temperatura (bimetálico). Ele possui duas tiras de metal que em determinada temperatura dilatam de forma que, acionam o relé ligando o eletro-ventilador.

3.1.7. Sistema de controle de emissões evaporativas

Antigamente, não havia preocupação com relação as emissões evaporativas originadas dos veículos automotores, porém, no Brasil a partir de janeiro de 1989, como parte do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve), determinado pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) pela Resolução nº 18/86, todos os veículos a gasolina e a álcool passaram a ter um dispositivo para controlar as emissões evaporativas de combustível. Para cumprir as normas de emissões de poluentes, foi implantado em todos os veículos, um filtro de carvão ativado (figura 36) que recebe os vapores provenientes do tanque de combustível por uma tubulação criada especificamente para esta função.

O carvão ativado absorve o combustível contido no vapor de combustível, permitindo que apenas o ar seja liberado na atmosfera. Devido ao vácuo existente no coletor de admissão, o ar fresco é aspirado através do carvão ativado, quando a válvula de purga do cânister libera a linha entre o cânister de carvão e o coletor de admissão (Bosch, 2005).

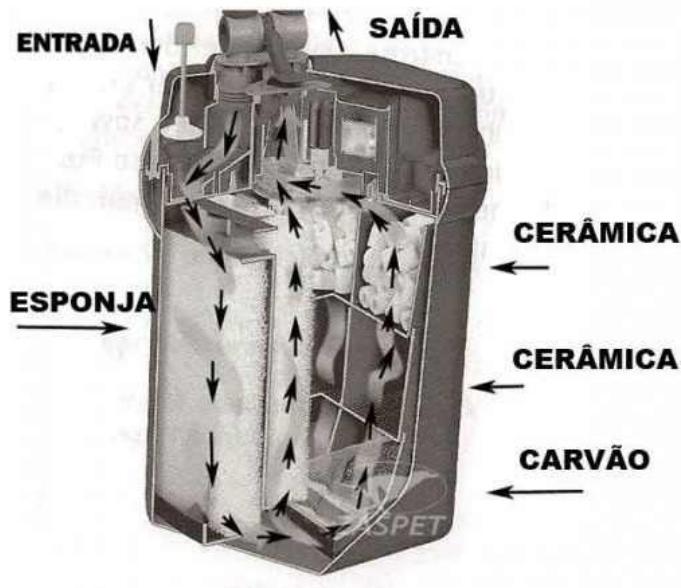


Figura 36 – Câmister

3.1.8. Eletroválvula do filtro de carvão ativado – N80

Está localizada próximo ao filtro de carvão ativado, debaixo do para-lama dianteiro direito do veículo. A unidade de comando a excita com um sinal negativo de onda quadrada e período variável. O positivo é proveniente do relé auxiliar da injeção. Em repouso esta válvula (figura 37) deve permanecer fechada, ou seja, não pode haver nenhuma passagem de vapores de combustível para o motor. Atua em rotações de marcha lenta ou de cargas parciais. Não atua em situações de plena carga, freio motor, aceleração e fase de aquecimento do motor até 40°C (Volkswagen, 2003).

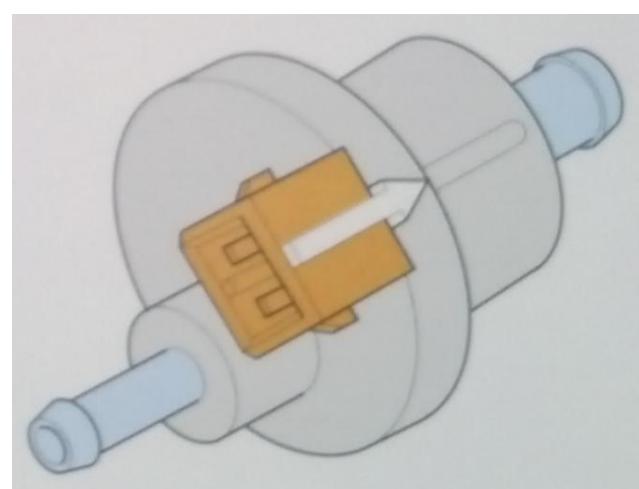


Figura 37 – Válvula de purga do câmister.

3.1.9. Sistema de ventilação positiva do cárter

Durante o funcionamento dos motores a combustão interna é inevitável que ocorra um fenômeno que é conhecido como *blow-by*, que consiste no escape de gases da câmara de combustão para o cárter por meio das folgas previstas no *design* dos cilindros, êmbolos, anéis e das válvulas. O problema é que esses gases contém produtos da combustão completa e incompleta o que acaba por contaminar o óleo lubrificante com fuligem e resíduos de carbono.

Antigamente, o cárter possuía um respiro para o ambiente, ou seja, não havia nenhum controle em relação a este tipo de emissão evaporativa, da mesma forma como foi mencionado no tópico anterior “Cânister”, o *PCV* (*Positive Carter Ventilation*) foi uma medida adotada para atender as normas estabelecidas pelo Proconve.

O sistema de Ventilação Positiva do Cárter (*PCV*), figura 38, é utilizado para remover estes gases do cárter e direcioná-los de volta para a câmara de combustão, onde os mesmos podem ser queimados, em vez de liberá-los para a atmosfera. O ar proveniente do filtro de ar é suprido ao cárter onde é misturado aos gases do *blow-by*. A mistura de ar e gases passa através da válvula do *PCV* para o coletor de admissão sendo admitida pelos cilindros e em seguida participam da combustão.

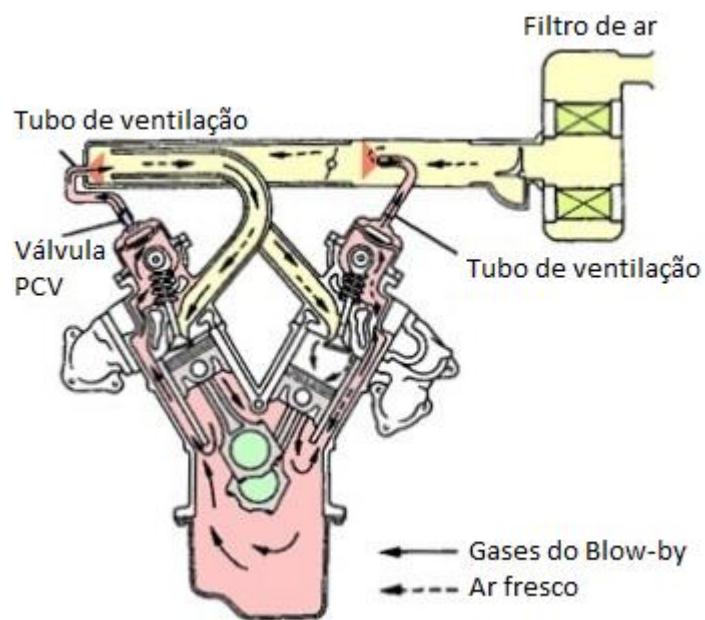


Figura 38 – Sistema *PCV*.

A maioria dos sistemas usam uma válvula mecânica (figura 39) que se movimenta segundo a diferença de pressão entre o cárter e o coletor de admissão para controlar a velocidade do fluxo, enquanto outros usam um conjunto separador de óleo.

A tensão da mola da válvula controla o fluxo de vapores do cárter é projetada especificamente para cada motor. Isto impede a formação de pressão no cárter e o consumo excessivo de óleo.

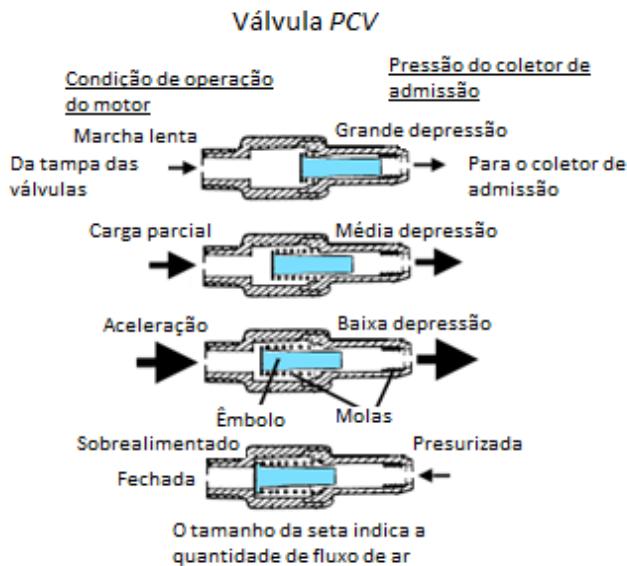


Figura 39 – Válvula do PCV

3.1.10. Atuador de marcha lenta – V60

O motor, para funcionar em condição de marcha lenta, necessita de certa quantidade mistura carburante para vencer os atritos internos e manter uma rotação baixa, sem causar danos ao motor. O atuador de marcha lenta, contido no corpo de borboleta (figura 40) tem a finalidade de controlar o ar que é admitido no motor quando o mesmo se encontra no regime de marcha lenta ou em fase de aquecimento do motor.

O regime de trabalho de marcha lenta ocorre quando o acelerador se encontra em posição de repouso, e é identificado pelo sinal do interruptor de marcha lenta, que no caso do veículo VW Parati é o F60, então a *ECU* monitora constantemente a rotação do motor para verificar a ocorrência de algum desvio (queda) do valor nominal pré-estabelecido. Caso o desvio ocorra, como por exemplo, ligam-se os faróis, a Unidade de Comando exercerá ação corretiva modificando o “ciclo de trabalho” do atuador da marcha lenta.

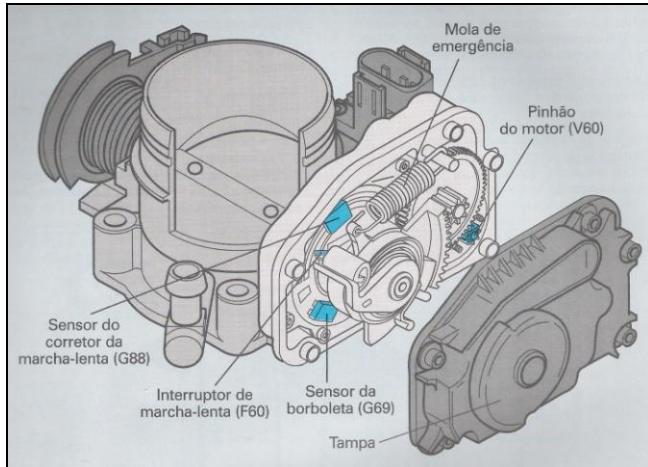


Figura 40 – Corpo de borboleta.

O interruptor de marcha lenta está localizado na unidade de comando da borboleta J338 e informa à unidade de comando do motor, com um sinal de negativo, quando a borboleta encontra-se na posição fechada. O sinal é utilizado para controle do volume de injeção, controle do avanço de ignição e controle de emissões evaporativas (Volkswagen, 2009).

O controle da marcha lenta é constituído basicamente de um motor de passo que possui duas bobinas que formam seu estator, um rotor de imã permanente com um eixo que avança ou recua conforme os comandos enviados da *ECU*. Este movimento vai atuar na redução ou avanço da haste do obturador (figura 41) que se projeta abrindo ou fechando a passagem de ar existente no corpo de borboleta denominada “*bypass*”, conforme o regime de funcionamento do motor.

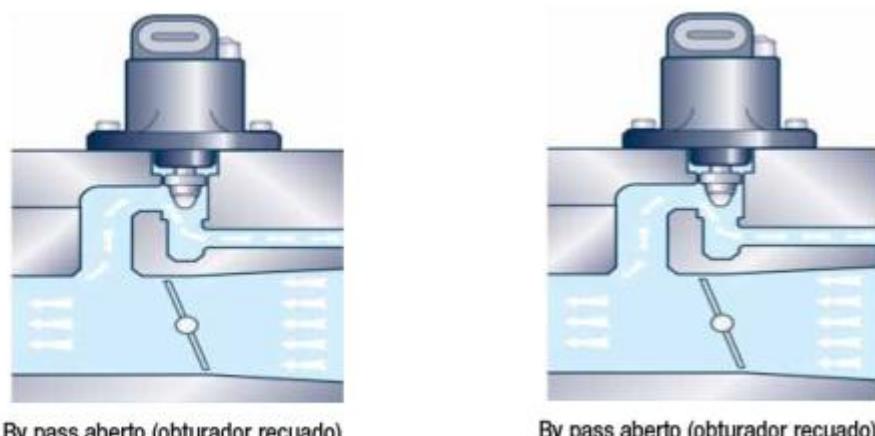


Figura 41 – Atuador de marcha lenta

Existem também sistemas que controlam o fluxo de ar pela variação do ângulo de abertura da válvula, através das relações de transmissão entre a engrenagem do atuador de marcha lenta e da semi-engrenagem acoplada ao eixo da válvula borboleta, como pode ser visto figura 42 abaixo, o mesmo utilizado no motor do veículo VW Parati.

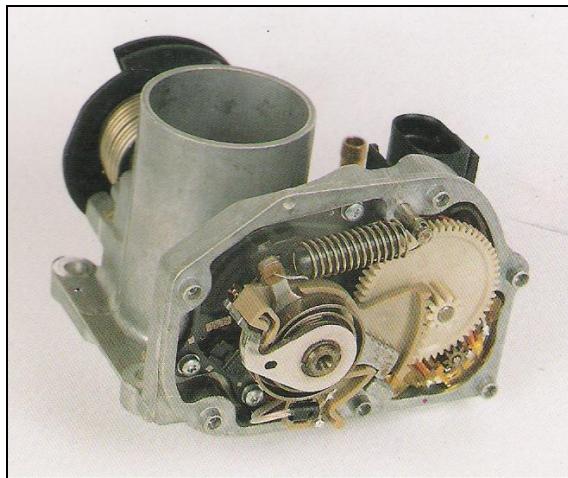


Figura 42 – Sistema de engrenagens do atuador de marcha lenta.

Um detalhe interessante desses sistemas é que, ao desligar o motor, a *ECU* envia comandos para o atuador para avançar a haste até o fim de curso e depois retorna, para assim poder calcular o desgaste do sistema e também obter a quantidade ideal de passos para o próximo ciclo de trabalho do motor. Outro ponto a se ressaltar é que no momento de partida do motor, o atuador de marcha lenta controla a vazão do ar para dentro do motor, de modo a garantir a quantidade suficiente de ar de modo a facilitar a partida do mesmo.

Atualmente os sistemas de gerenciamento contam uma nova estratégia que busca melhor eficiência do motor e reduzir emissões de poluentes. Na estratégia *dash-Pot*, ocorre nas desacelerações bruscas sem o acionamento do sistema de freio, o fechamento gradual da válvula borboleta através do atuador comandado pela *ECU*, com o intuito de minimizar a produção de HC (hidrocarbonetos) e amortecer os solavancos que ocorreriam quando a válvula borboleta se fechava instantaneamente.

3.1.11. Eletro injetores – N30, N31, N32 e N33

Normalmente instalados nos cabeçotes, tem a finalidade de prover o suprimento de combustível pulverizado em forma de névoa. As válvulas injetoras (figura 43) consistem principalmente de uma carcaça de válvula com bobina magnética e conexão elétrica, um

assento de válvula com placa de furos e uma válvula de agulha móvel com induzido magnético.

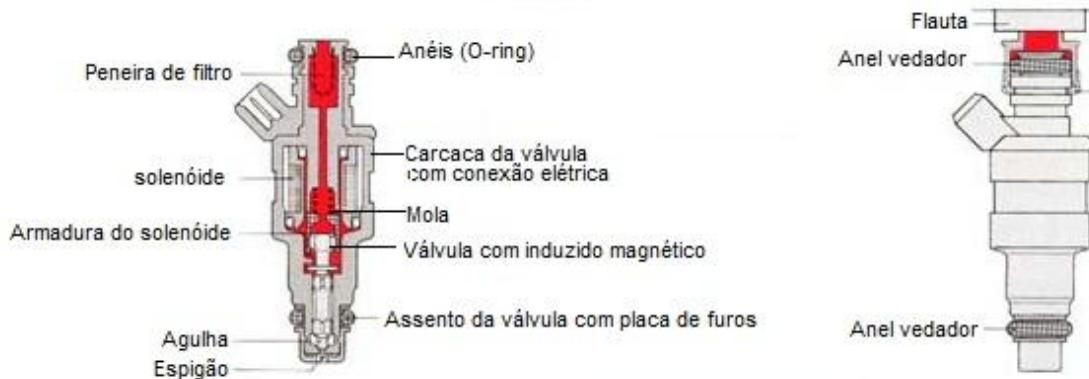


Figura 43 – Válvula eletro injetora.

O combustível impulsionado pela bomba chega e é distribuído às válvulas através do tubo distribuidor que ao entrar na válvula injetora passa por um pré-filtro antes alcançar os furos calibrados. O objetivo é filtrar, por uma última vez, o combustível e impedir que partículas realmente pequenas entrem na válvula. Dois anéis vedam a válvula contra galeria de combustível e o coletor de admissão. No caso de bobina sem corrente, as molas e a força resultante de pressão do combustível pressionam a agulha da válvula sobre o assento da válvula e vedam o sistema de alimentação de combustível contra o coletor de admissão (Bosch, 2004).

O volume de combustível injetado por unidade de tempo é determinado principalmente pela pressão do sistema e do diâmetro livre dos furos de injeção, e é em função da massa de ar admitida e o regime de funcionamento do motor que o tempo de injeção é calculado pela *ECU* do motor.

Quando a válvula injetora é energizada, a bobina produz um campo magnético que movimenta o induzido, que por sua vez traz consigo a agulha que está vedando os furos calibrados da válvula, a agulha se levanta do assento e o combustível flui pressurizado e pulverizado através da válvula eletro injetora de forma a se atomizar com o ar admitido da forma mais homogênea possível. Quando a corrente de excitação é desativada, a agulha da válvula fecha novamente.

Outro fator importante na definição dos injetores refere-se à geometria do jato de injeção, porque o formato do leque, o ângulo e o tamanho das gotículas influenciam diretamente na qualidade da mistura ar combustível. Tudo depende da geometria do coletor de

admissão e do cabeçote para exigir diferentes formatos geométricos dos jatos dos injetores, figura 44.

Geometria dos jatos

a jato em linha, b jato cônico, c jato duplo, d ângulo gama.

Definição da geometria do jato:

α_{80} : 80% do combustível encontra-se dentro do ângulo α

α_{50} : 50% do combustível encontra-se dentro do ângulo α

β : 70% do combustível no jato individual encontra-se dentro do ângulo β

γ : ângulo da direção do jato

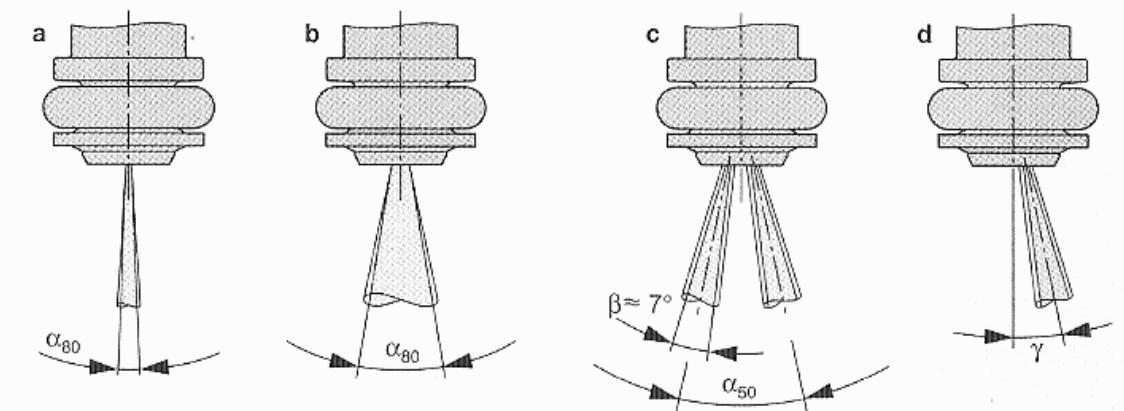


Figura 44 – Geometria dos jatos.

Um jato cônico, por exemplo, formado a partir da somatória dos jatos dos diversos orifícios de injeção, é típico para motores com uma válvula por cilindro cujo alvo de injeção está entre o prato da válvula de admissão e a sede da válvula de admissão.

Um jato duplo é aplicada em motores que possuem duas válvulas de admissão por cilindro. Para isto, as aberturas da placa de orifícios são dispostas de forma que os dois jatos saiam simultaneamente da válvula injetora e sejam direcionados para as válvulas de admissão.

Na válvula com a admissão de ar, há um aproveitamento da queda de pressão entre as pressões do coletor e a ambiente para melhorar a formação da mistura. O ar é conduzido para a área de saída da placa de furos de injeção através de um adaptador de ar adicional. Em uma fenda estreita o ar atinge uma velocidade muito alta e o combustível é finamente pulverizado na mistura com o ar (Bosch, 2004).

Além das características esperadas das válvulas eletro injetoras como capacidade de atendimento à demanda de combustível solicitada, estanqueidade, capacidade de atomização do combustível e geometria do leque de pulverização, elas também são classificadas tendo como referência a impedância da bobina cuja classificação pode ser de baixa ou alta impedância.

As válvulas eletro injetoras de baixa impedância possuem um menor tempo de abertura, e geralmente são utilizadas em controladores com *drivers* tipo “*peakandhold*”. Esses *drivers* funcionam com uma alta corrente, criando o impulso de abertura e outro mais baixo que mantém a agulha do induzido na posição aberta até que o sinal do tempo de injeção seja encerrado fechando o injetor.

As válvulas de alta impedância possuem um maior tempo de abertura e são utilizadas nos controladores que possuem *drivers* saturados. A grande maioria dos sistemas com injeção sequencial utiliza circuitos 12 Volts nos eletro injetores para criar o impulso de abertura com uma corrente elétrica baixa. Isto faz com que o sistema trabalhe em temperaturas mais baixas, protegendo a *ECU* e os eletro injetores.

Geralmente, os eletro injetores de alta impedância são os que possuem resistência superior a 12Ω e os de baixa, inferior a 8Ω . Estes dados dependem da resistência elétrica da bobina do injetor, portanto, para classificar um injetor como sendo de alta ou baixa impedância deve-se medir a resistência elétrica da bobina.

Com esta informação é importante entender que, quanto maior é a impedância, menor é a corrente elétrica em circulação e, quanto menor for a impedância, maior será a corrente elétrica demandada do sistema.

Para entender melhor, é importante saber que o tempo de injeção é resultado do somatório de alguns parâmetros: o primeiro é o tempo de injeção básico definido pelo valor de pressão atmosférica e pela rotação do motor; a segunda adição considera a tensão de alimentação do eletro injetor, corrigindo o tempo de injeção em função da demanda energética da bateria e pela capacidade de suprimento do alternador; o terceiro parâmetro aditivo do cálculo do tempo de injeção é definido pelas variáveis de controle do motor, como as temperaturas do ar e do líquido de arrefecimento, o enriquecimento da aceleração, o fator lambda e finalmente temos que considerar o tempo de *offset* da válvula injetora, que é o tempo de resposta do solenóide para ter força suficiente para começar a movimentar a agulha de vedação, este fator depende da impedância da bobina.

A limitação da rotação máxima do motor é feita, através da redução e desativação, dos pulsos de injeção, dos eletro injetores (Válvula de injeção). Ao alcançar o limite de rotação é reduzido o tempo de injeção e, posteriormente, são desativados, aleatoriamente os impulsos, assim que for superado 200 rpm do regime máximo (Volkswagen, 2005).

Os eletro injetores (N30, N31, N32 e N33) do veículo VW Parati são fabricados pela Bosch, e possuem as dimensões de 10 x 5,5 x 4 cm e peso de 50 gramas. Outras especificações dos eletro injetores podem ser conferidas na tabela 2.

Tabela 2 – Características do eletro injetor do VW Parati.

Número do eletro injetor	Veículo	Combustível	Resistência (Ω)	Pressão (Bar)	Volume (ml) Min.	Volume (ml) Máx.
0280156054	Parati 1.0 16V Turbo	Gasolina	12,0 a 16,5	3,0	23,0	27,0

3.1.12. Transformador de ignição – N152

Para diminuir custo e complexidade, foram desenvolvidos os sistemas de ignição estática de centelha perdida. Estes se caracterizam pelo fato que uma mesma bobina gera a alta tensão para as velas de ignição de dois cilindros. A condição fundamental é que sejam cilindros gêmeos, ou seja, que tem seus movimentos sincronizados. Desta maneira, o número de bobinas necessárias diminui pela metade.

O funcionamento se baseia no fato que, quando um êmbolo está na fase final do tempo de compressão, o êmbolo do cilindro gêmeo está no fim do ciclo de exaustão. Visto isso, a alta tensão é consumida principalmente pela vela de ignição do cilindro em compressão, já que no outro a tensão necessária para a quebra do dielétrico é consideravelmente inferior, devido às condições favoráveis de pressão, temperatura dentre outras. Assim, quando utilizase transformadores de ignição do tipo centelha perdida, a centelha será sempre liberada simultaneamente nos cilindros gêmeos, como é o caso do veículo VW Parati.

Neste veículo, o transformador de ignição está localizado acima do coletor de admissão e constitui um corpo só. O estágio final de potência é incorporado aos transformadores sendo, uma bobina para os cilindros 1-4 e outra para os cilindros 2-3. Cada bobina dispõem de duas saídas de alta tensão para as velas de ignição. A unidade de comando excita com negativo de forma independente cada uma das bobinas, o positivo é proveniente da linha 15.

O momento e a duração da excitação dependem do avanço de ignição e do tempo de carga das bobinas, sendo realizada pelo estágio de potência, mediante dois sinais de controle gerados pela *ECU*, uma para gerar centelha para os cilindros 1-4 e o outro para os cilindros 2-3.

3.1.13. Sistema de sobrealimentação

No caso do veículo VW Parati, a unidade de comando controla a pressão de sobrealimentação do motor através da excitação da eletroválvula de limitação da pressão (N75), que atua sobre uma cápsula pneumática (*Waste Gate*), controlando um desvio (*Bypass*) localizado na carcaça quente do turbocompressor (figura 45).

Esta pressão varia de 0,4 até 1,0 bar (efetivos) dependendo da carga imposta ao motor, analisando a informação dos sensores:

- Sensor de rotação do motor;
- Sensor de posição da borboleta;
- Sensor de massa de ar (corta a injeção no caso de sobrealimentação acima de 15% do valor máximo especificado, durante 1,5 segundos);
- Sensor de temperatura da água (reduz a pressão de sobrealimentação na fase de aquecimento e em caso de superaquecimento do motor);
- Sensor de altitude (adequa a pressão de sobrealimentação conforme a altitude do local);
- Sensor de temperatura do ar (reduz a pressão de sobrealimentação, em caso de temperaturas excessivas);
- Sensores de detonação (reduz a pressão de sobrealimentação, se detectada detonação, em algum cilindro do motor) (Volkswagen, 2003);

A pressão teórica de sobrealimentação é calculada em função do sinal do sensor de posição da borboleta e corrigida pela informação dos demais sensores. Já a pressão real de sobrealimentação é calculada em função do sinal do medidor de massa de ar e, do sensor de rotação, segundo a massa de ar aspirada pelo motor (Volkswagen, 2003).

A unidade de comando diminui a pressão de sobrealimentação em altitudes elevadas para evitar que, com a diminuição da carga sobre o compressor devido à pressão atmosférica menor o eixo da turbina ultrapasse a rotação máxima (*Over Speed*), podendo vir a destruí-la completamente. Por outro lado, se a pressão atmosférica aumentar com a diminuição da altitude, a unidade de comando aumentará a pressão de sobrealimentação (Volkswagen, 2003).

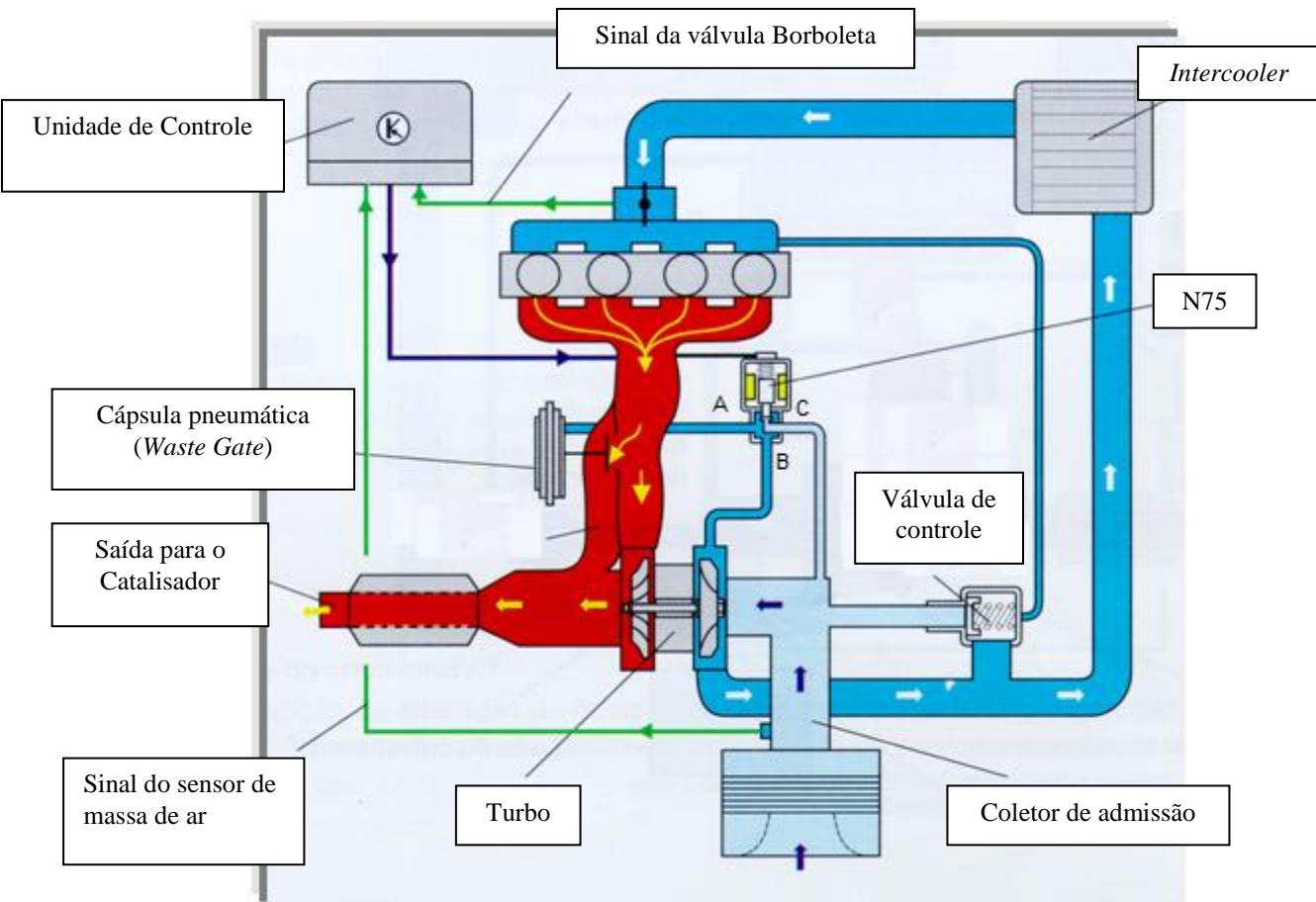


Figura 45 – Sistema do turbocompressor.

Ainda na figura 45, o canal A está diretamente ligado com o canal B. Conforme aumenta a pressão do ar dentro do compressor, este atua diretamente na cápsula pneumática que possui mola com pressão de 0,4 bar. Assim que esta pressão for atingida, a portinhola é acionada pela cápsula pneumática, desviando parte dos gases de escapamento por um “bypass” na carcaça da turbina fazendo com que esta diminua sua rotação, consequentemente, limitando a pressão de sobrealimentação (Fróes, 2012).

Caso a unidade de comando determine que seja necessário aumentar a pressão de sobrealimentação, a válvula N75 é energizada com uma frequência constante e período proporcional à pressão desejada criando um “vazamento controlado” através do canal C. Este vazamento controlado faz fechar a portinhola do “bypass” obrigando o compressor a gerar mais pressão para poder vencer o vazamento e abrir novamente a portinhola, limitado assim a pressão de sobrealimentação a um valor mais elevado. A eletroválvula é excitada com negativo pela unidade de comando e positivo proveniente do relé auxiliar da injeção. (Volkswagen, 2003).

Quando a válvula borboleta está fechada, ou quando ocorre o seu fechamento repentino, a válvula pneumática se abre devido à depressão do coletor de admissão, recirculando o ar pressurizado pelo turbocompressor ao invés de simplesmente liberar esse ar para atmosfera como outros sistemas mais comuns. Esta situação pode ser observada na figura 46.

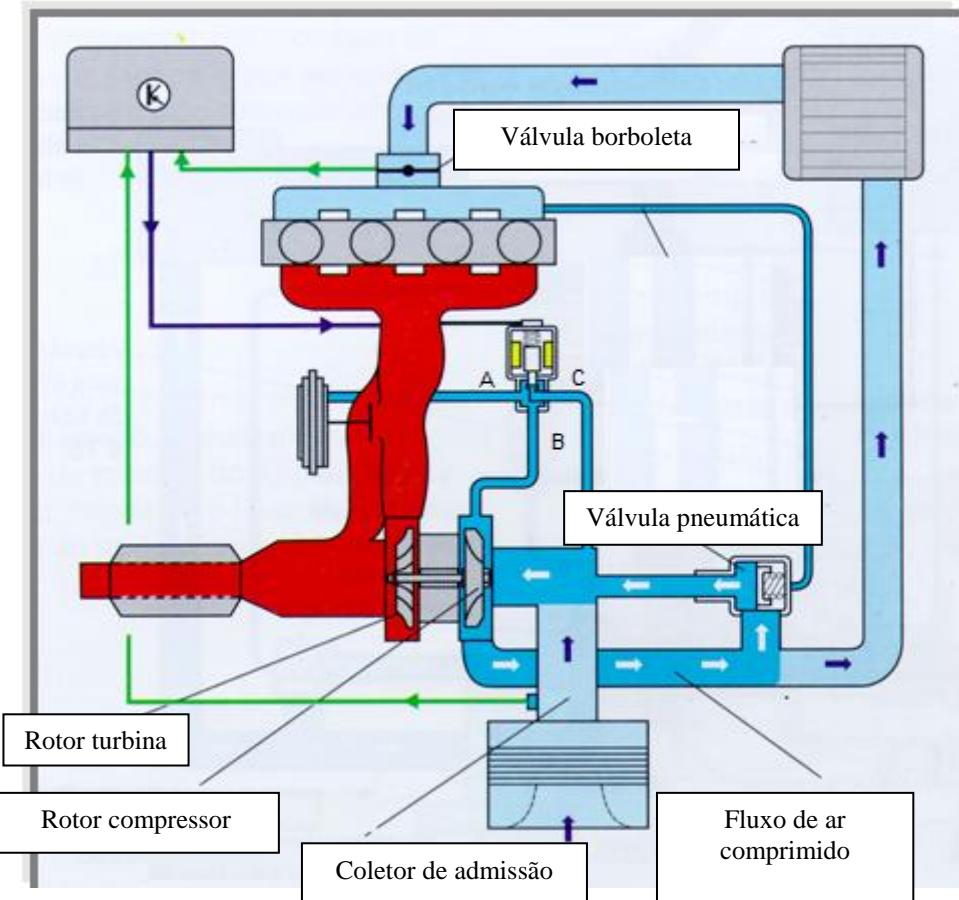


Figura 46 – Funcionamento do circuito do turbo.

3.2. Sistemas de gerenciamento *Stand alone*

Antes de focar no módulo da HIS, trazemos uma breve pesquisa sobre as duas maiores empresas que fabricam unidades de controle do motor *stand alone*, são elas a FuelTech e a Motec.

3.2.1. FuelTech

A FuelTech é uma companhia de tecnologia automotiva embarcada especializada em equipamentos de alta performance. Nos últimos dez anos, as principais soluções da marca estão no segmento de gerenciamento eletrônico para motores a combustão interna. Os produtos são amplamente utilizados em veículos de competição, automóveis customizados entre outros, seja uma alimentação extra de combustível para um 4 cilindros turbo, ou o controle total de um V12 com borboleta eletrônica através dos sistemas de injeções e ignições programáveis. Além desses módulos, a empresa também oferece sistemas de controle eletrônico da pressão do turbo (*booster eletrônico*), troca rápida de marchas do câmbio (sem uso da embreagem), produtos para aquisição de dados, medidores, sensores e chicotes elétricos (FuelTech, 2013).

A principal característica dos equipamentos FuelTech é o manuseio simples, fácil de instalar e usar. Com muitos títulos de automobilismo, participações em desenvolvimentos e quatro exposições na *PRI* (*Performance Racing Industry Trade Show*). Fora das pistas, participa cada vez mais do segmento acadêmico nas pesquisas de universidades e grandes fabricantes automotivos que usam os seus produtos em seus laboratórios.

Os produtos oferecem inúmeras funções que possibilitam o controle ideal do motor. Como, auto mapeamento dos mapas de injeção, controle de Lambda por malha fechada, controle de borboleta eletrônica, controle de marcha lenta através de motor de passo, corte de ignição e fechamento da borboleta eletrônica, corte de combustível na desaceleração (*Cut-Off*), corte de arrancada com atraso de ponto e enriquecimento (*Two-Step*), modo *burnout*, controle eletrônico do eletroventilador por temperatura do motor, controle temporizado da bomba elétrica de combustível, acionamento de comando de válvulas variável (VTEC), controle de nitro progressivo com enriquecimento de mistura e retardo de ponto, controle de pressão de turbo por rotação com enriquecimento de mistura, sensores de pressão de combustível e óleo, ajuste da intensidade da iluminação do display de cristal líquido e até mesmo memórias para gravar diferentes ajustes dos conjuntos de mapas, são exemplos de funções.

Um exemplo de módulo de injeção eletrônica programável é o FT400 (figura 47), que em tempo real, permite a alteração de todos os mapas de injeção e ignição conforme a necessidade do motor.



Figura 47 – Interface do módulo FT488.

A programação pode ser feita diretamente no módulo, através de sua tela *touchscreen* de 4,3” que mostra todos os mapas e correções em 2D e dá acesso as outras as funções e configurações, ou através da plataforma de software de computador com comunicação via adaptador *CAN-USB*, que dá acesso aos mapas 2D e 3D que facilitam a visualização e a calibração do motor. Pode ser aplicada em qualquer tipo de motor de ciclo Otto (carros de passeio, carros de corrida, motocicletas 2T e 4T, veículos aquáticos com motores automotivos, estacionários, entre outros). É possível também programar alertas para situações perigosas para o motor em situações como de excesso de rotação, pressão de óleo/combustível, temperatura do ar e do motor, entre outros. Estes alertas podem ser programados para cortar o motor trazendo mais segurança ao usuário. A injeção conta também com 5 mapas totalmente independentes, que permitem 5 configurações diferentes de motores e/ou carros (FuelTech, 2013).

A instalação deve ser realizada com o chicote elétrico desconectado do módulo e com a bateria desligada do veículo. É muito importante que o chicote seja do menor tamanho possível.

A navegação através da tela *touchscreen* (figura 48) é bastante intuitiva, pois o display do equipamento facilita o acesso às informações e menus, eliminando os botões, sendo que para acessar os menus, pressione a tela duas vezes, como se fosse um duplo-clique. Isto facilita a operação do módulo com o veículo em movimento, evitando erros ao navegar pelas opções.

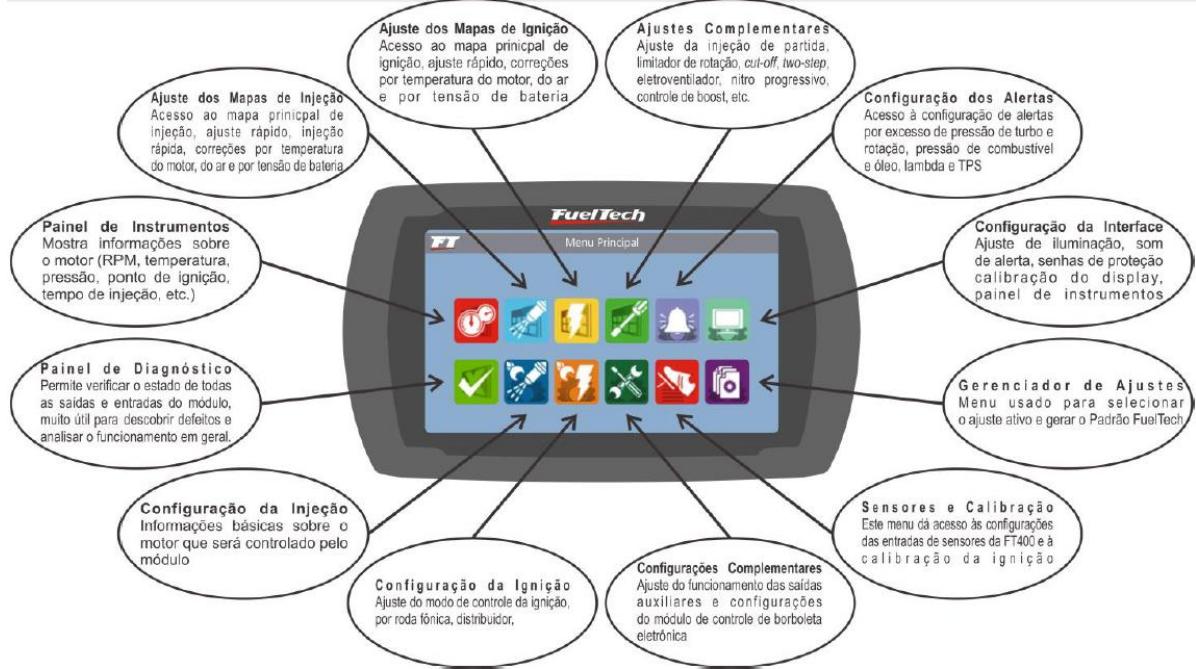


Figura 48 – Interface do módulo.

3.2.2. Motec

Com seu distintivo de ouro em *ECU's* e uma filosofia de excelência em engenharia, a Motec cresceu de uma oficina modesta produzindo *ECU's* simples no final de 1980 a um líder mundial em tecnologia de automobilismo século XXI. Agora ostentando uma rede de mais de duas centenas de revendedores autorizados em todo o mundo, e com sede na Europa e nos EUA, a inovadora marca australiana tornou-se sinônimo de sucesso no automobilismo em quase todas as categorias em todo o mundo. Inicialmente adotado por sedans esportivos e veículos rodoviários registrados, a demanda por tecnologia Motec espalhou-se rapidamente. Hoje em dia, é difícil encontrar uma avenida do automobilismo intocado pela marca, com clientes em séries como *Le Mans*, *ALMS*, *NASCAR*, *FIA GT*, *Australian V8 Supercars*, *Indy Car*, *Rally Dakar*, *Mundial de Superbikes*, *Drag Racing Professional*, incluindo *Top Fuel* e do esporte compacto, *Porsche Carrera Cup*, *Star Mazda EUA*, *TC2000 Argentina*, *WorldRally*, *Rally Grupo N*, *GP Masters* de Fórmula 4000, Fórmula Ford, Toyota *RacingSeries* Nova Zelândia, Formula Campus China, V8 *jetboats*, *Powerboats F1/Offshore* e toda forma de competição de clubes. Sistemas Motec também foram colocados em uso em veículos militares e instalações de teste de automóveis comerciais (Motec, 2013).

Sempre um líder em tecnologia, Motec foi o primeiro a introduzir o registro de dados e telemetria ao vivo de esporte ao motor brasileiro no início de 1990 por meio de seu início de

geração de *ECUs* (Motec, 2013). Abaixo temos a carta de apresentação do produto m400, figura 49:

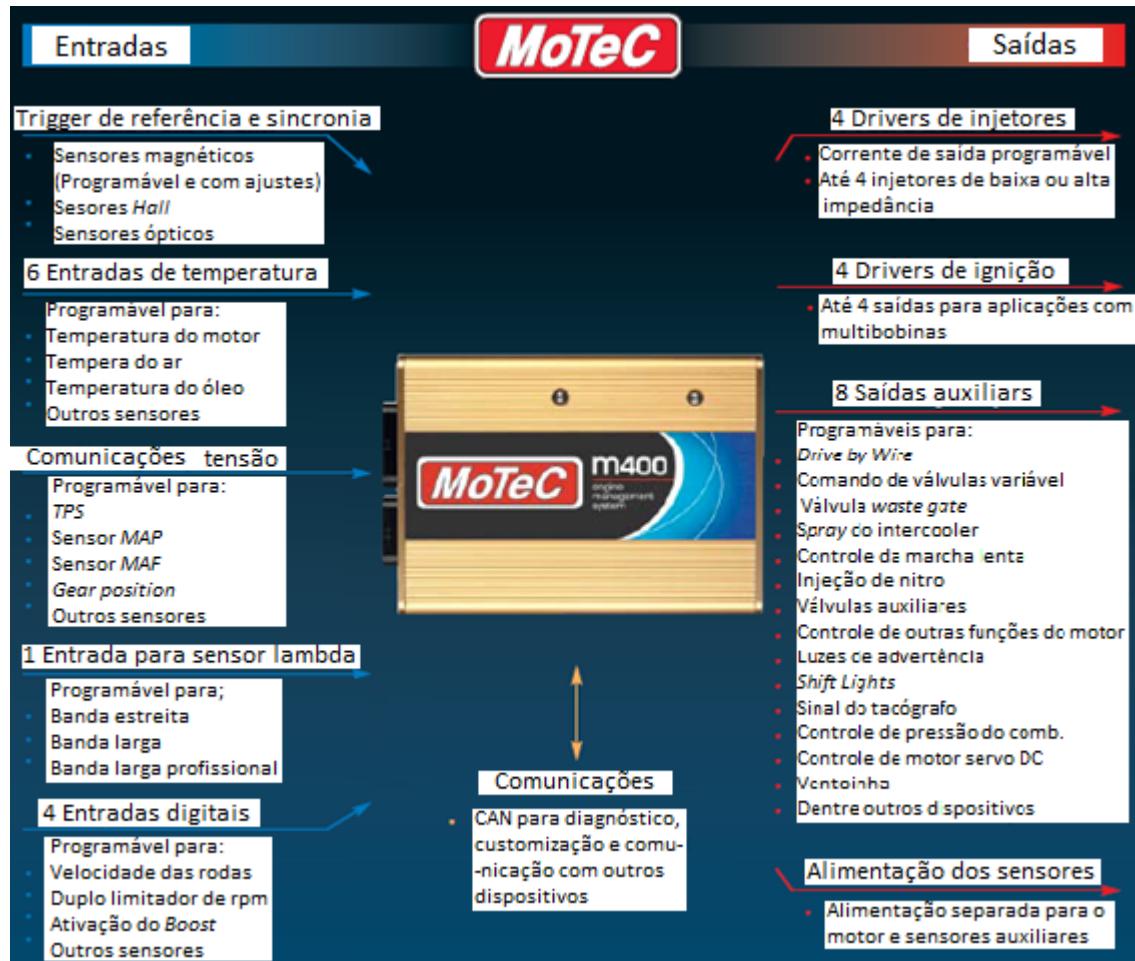


Figura 49 – Funções do Motec m400 (ADAPTADO Motec, 2013).

Da mesma forma que analisamos o *hardware* do produto, verificamos que o *software* de calibração da Motec possui um padrão próximo ao da HIS, ou seja, utiliza mapas de injeção e ignição que são compensados e sincronizados segundo as variáveis fornecidas pelos principais sensores. A diferença é que no Motec é possível trabalhar com mais sensores/atuadores através das portas analógicas e digitais extras que estão disponíveis.

4. METODOLOGIA

Visto que já abordamos sobre os conceitos de motores a combustão interna e fizemos o estudo do *hardware* do veículo (sensores e atuadores), neste capítulo demonstraremos as etapas para a instalação da plataforma de gerenciamento do módulo PW6X da empresa HIS, a qual nos forneceu o pacote que contém um módulo HIS PW6X , sensor *MAP* de 5 bar e conectores.

A instalação do módulo deve ser realizada com o chicote elétrico desconectado e com a bateria desligada do veículo. É muito importante que o chicote seja do menor tamanho possível e sempre que algum fio estiver sobrando deve-se cortar o excedente, pois assim diminui a atenuação do sinal e as possibilidades de interferências eletromagnéticas. Escolha um lugar apropriado para a fixação do módulo na parte interna do veículo, evitando passar os fios do chicote perto de chicotes de ignição, cabos de vela, bobinas e outras fontes de ruído elétrico. Não instale sob nenhuma hipótese o módulo de injeção próximo ao estágio de potência da vela de ignição, sob o risco de perturbação eletromagnética. É muito importante definir um padrão de cores para os fios do chicote, para facilitar a identificação em uma eventual manutenção. Também vale salientar que os aterramentos de potência e de sinal devem ser separados para evitar interferências entre referências de potência e de sinal.

O chicote elétrico deve ser protegido de contato com partes afiadas da lataria que possam vir a danificar algum fio e causar curto-circuito. Preste atenção especial na passagem por furos, sempre colocando borrachas ou outras proteções. No cofre do motor, passe os fios por locais onde não recebam calor excessivo e não obstruam nenhuma peça móvel do motor.

A seguir, temos as especificações técnicas do veículo Volkswagen Parati, construção da interface entre *ECU*, implementações, e validação, cálculo base do mapa de injeção, aquisição do avanço de ignição via diagnose, estudo do *software* de calibração.

4.1. O veículo

O nosso projeto se embasou no veículo VW Parati, equipado com um motor de quatro cilindros, de aproximadamente 1000 cilindradas, com injeção de combustível multiponto, módulo de gerenciamento *Motronic M3.8.3* e atinge a pressão de sobrealimentação gerada pelo turbocompressor de até 1Bar. As outras especificações do veículo, e o diagrama elétrico do motor podem ser visualizados na tabela 3 e na figura 50, respectivamente.

Tabela 3 – Especificações do veículo (Volkswagen, 2013).

PARATI – MOTOR 1.0 – 16V TURBO DE 82 kw (112cv)	
DADOS DO MOTOR (PARA TODAS AS VERSÕES)	
Potência (a RPM)	82 KW (112 cv)/ 5500
Torque máximo em Nm (em Kgfm) a rpm	155 (15,8) / 2000
Número de cilindros, cilindrada	4 cilindros, 999 cm ³
Relação de compressão	8,5
Velas de ignição	Bosch F6 DP0R, NGK PFR7N-E
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	
Na cidade em km/l	11,3
Na estrada em km/l	16,5
Médio em km/l	13,6
VELOCIDADES MÁXIMAS INDICADAS	
1 ^a Marcha em km/h	39
2 ^a Marcha em km/h	73
3 ^a Marcha em km/h	113
4 ^a Marcha em km/h	158
5 ^a Marcha em km/h	191

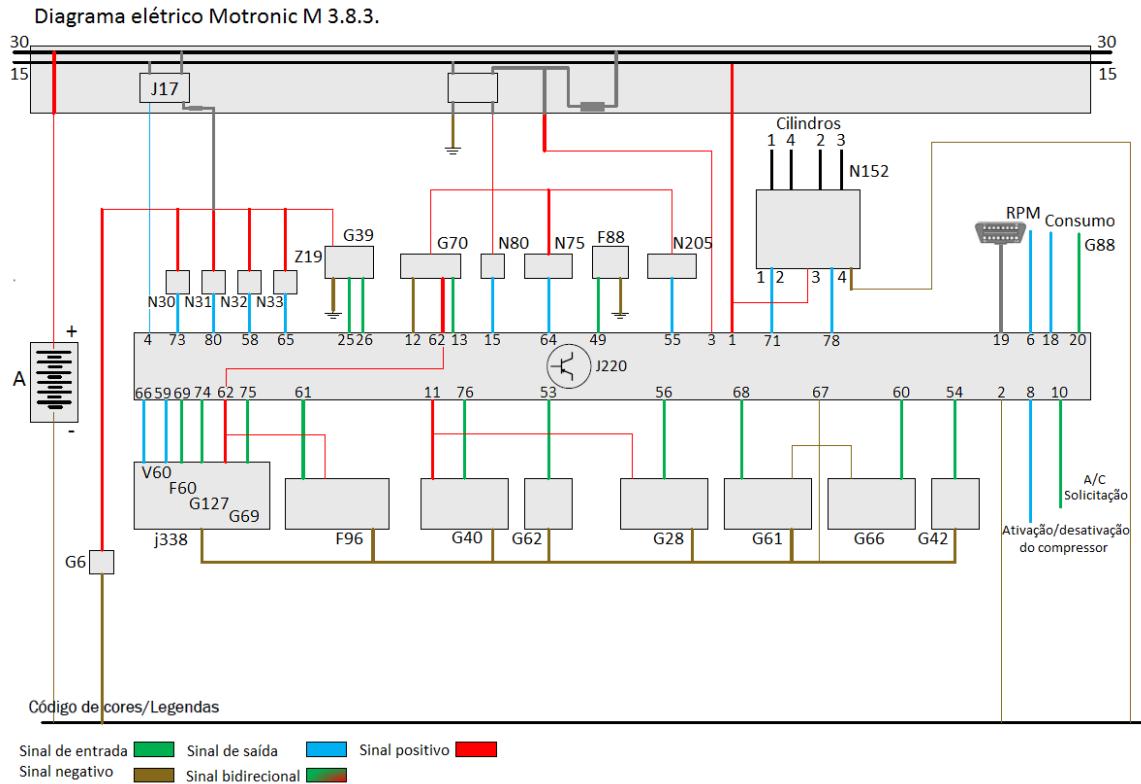


Figura 50 – Diagrama elétrico da Parati (Volkswagen, 2003).

Legenda:

- J17 – Relé da bomba de combustível
 - N30 a N33 – Eletro injetores
 - G39 – Sonda Lambda
 - Z19 – Aquecedor da Sonda Lambda
 - G06 – Bomba de combustível
 - J338 – Corpo de Borboleta
 - V60 – Atuador de macha lenta
 - F60 – Interruptor de macha lenta
 - G127 – Posição do atuador de macha lenta
 - G69 – TPS
 - F96 – Sensor de pressão absoluta
 - G70 – Sensor de massa de ar
 - N80 – Válvula de purga do cânister
 - N75 – Válvula limitadora de pressão do turbo compressor
 - G40 – Sensor de fase
 - G62 – Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento
 - F88 – Interruptor da direção hidráulica

N205	– Eletroválvula do variador de fase
N152	– Transformador de ignição
G26	– Sensor HALL
G61e G66	– Sensor de detonação
G42	– Sensor de temperatura do ar

Este motor possuí um sistema embarcado que busca, incisivamente, explorar todas as possibilidades de otimização da eficiência volumétrica do motor. O primeiro fabricante a produzir no Brasil veículos de passeio turbocompressores foi a Fiat, com os modelos Uno, Tempra e o Marea. Mas a Volkswagen partiu na frente ao levar a tecnologia ao motor 1000, recurso conhecido atualmente como *downsizing*.

A potência se elevou de 69,4 cavalos para 112 cavalos. Esse valor colocou o propulsor Volkswagen entre aqueles de maior potência específica (cavalos produzidos por litro de cilindrada) que eram produzidos na época, superando os modelos Audi S3, Volvo S70 e Saab 9-3 Viggen, todos sobrealimentados.

Utilizamos este veículo, pois foi cedido pela nossa instituição de ensino e também devido ao fácil acesso à literatura técnica, e justamente era compatível com a nossa proposta de trabalhar com um sistema de gerenciamento eletrônico de um motor desenvolvido com tecnologia *downsizing*.

4.2. Implementações

Após o estudo de *hardware* do veículo VW Parati, verificamos que o módulo PW6X da HIS não oferecia suporte para controle e leitura de sinais de alguns sensores e atuadores do automóvel. A partir disso, desenvolvemos circuitos dedicados a essas funções, os quais apresentaremos a seguir.

A primeira incompatibilidade que encontramos foi em relação ao sensor *MAP*, que no caso do veículo VW Parati tem a função de identificar a pressão atmosférica, e mesmo que o adaptássemos no coletor de admissão, ainda teríamos problemas com as sobrepressoões geradas pelo turbocompressor, pois danificaria o sensor pelo fato dele trabalhar fora do seu *range* de operação. Como solução, utilizamos um sensor *MAP* de 5 bar fornecido pela empresa HIS, adaptado em um *bypass* conectado ao coletor de admissão, pois era a única solução viável.

Outro fator importante é que o PW6X não possuí o controle do relé (J17) de alimentação dos componentes do sistema de combustível. No sistema original, o relé é acionado pela *ECU* através do aterramento do terminal 4, logo, implementamos um circuito que, quando a linha 15 (KL15) do motor estiver ativa, alternamos a posição do contato de um relé aterrando assim o sinal do terminal 4, como pode ser visto na figura 51. Em seguida trataremos das implementações mais específicas que foram efetuadas no veículo VW Parati.

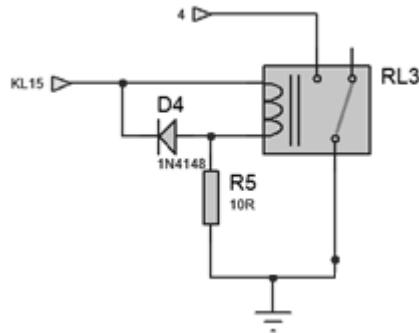


Figura 51 – Circuito auxiliar do sistema de combustível.

4.2.1. Circuito do *TPS*

Quando realizamos o estudo dos sensores, notamos que o sensor *TPS* do veículo VW Parati utilizava só uma trilha resistiva no sensor como referência, sendo que, o sinal de saída tinha uma resposta de tensão decrescente, diferente do que geralmente se encontra na maioria dos veículos e o que é ideal para o software da HIS. Sendo assim, desenvolvemos um circuito com um amplificador operacional para realizar a inversão do sinal desse sensor, ou seja, torna-lo crescente.

4.2.1.1. Princípio de funcionamento

Para isso, o circuito da figura 52, através de uma montagem subtratora, decrementa o sinal de uma referência de 5V do sinal original do *TPS*, segundo a equação 6.

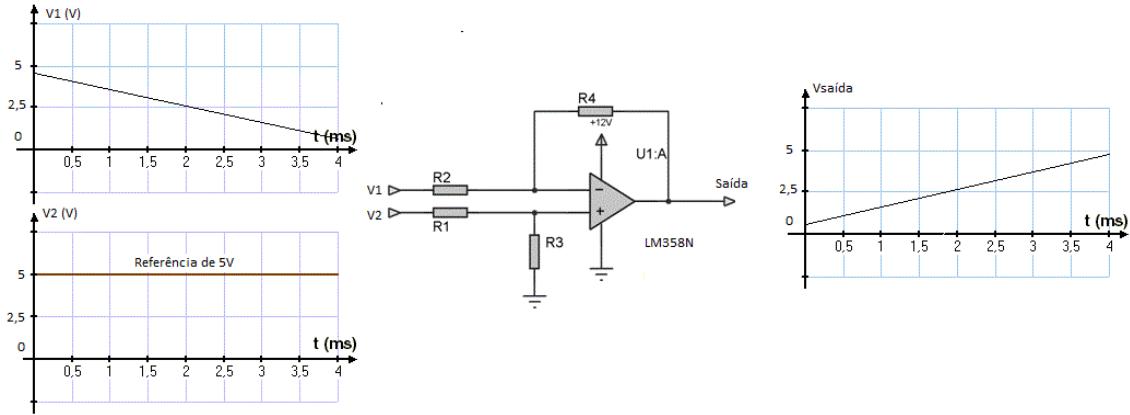


Figura 52 – Circuito Amplificador operacional na montagem subtratora.

$$V_{Saída} = \left(\frac{R3}{R3 + R1} * \frac{R2 + R4}{R2} \right) * V1 - \left(\frac{R4}{R2} \right) * V2 \quad (6)$$

Na posição de inércia, o sinal do *TPS* possuía um valor de tensão de aproximadamente 4,5V e totalmente aberta, da ordem de 0,5V, ao subtrair este sinal com uma referência de 5V, estes valores de tensão se invertem, mas para isto, todas as resistências do circuito tem que possuir os mesmos valores, para que não haja nenhum ganho e obtemos o seguinte resultado (equação 7).

$$V_{Saída} = \text{Tensão de referência} - \text{Sinal do TPS} \quad (7)$$

4.2.2. Circuito do atuador de marcha lenta

Apesar do módulo PW6X ter suporte para o tipo de atuador de marcha lenta do veículo VW Parati, ele não tem potência suficiente para seu acionamento. Visto isto, desenvolvemos um *driver* de potência com dois circuitos integrados (U1) BTS555 que contém um transistor *MOSFET*. O esquema elétrico deste circuito pode ser visto abaixo na figura 53:

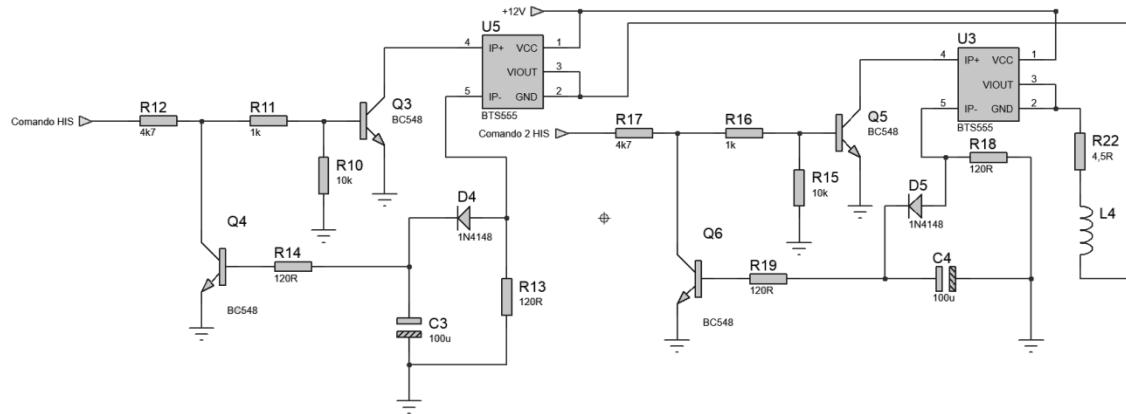


Figura 53 – Driver de potência do atuador de marcha lenta.

4.2.2.1. Princípio de funcionamento

O PW6X envia os comandos de acionamento do atuador de marcha lenta, esses sinais passam pelo resistor R12 até chegar a um divisor de tensão formado pelos resistores de R11 e R12, chaveando assim o transistor Q3 que por sua vez, aciona o CI (circuito integrado) U5 quando estiver conduzindo, e não aciona quando estiver cortado, fazendo com que chaveie o MOSFET, drenando os 12 Volts para o atuador de marcha lenta, representado por uma resistência de 10Ω em série com um indutor, fornecendo assim a potência necessária para o motor.

Este CI possui uma saída denominada *Isense*, ela é um espelho de corrente da que é drenada entre os +12V e o atuador de marcha lenta, ou seja, a corrente de *Isense* é proporcional a corrente que passa pelo atuador de marcha lenta, então quando ocorrer um surto de corrente sobre o atuador, a queda de tensão sobre o R13 aumenta de tal maneira a polarizar o diodo D4 e o transistor Q4, desviando assim o sinal de acionamento do PW6X e protegendo o atuador de marcha lenta. O capacitor C3 e o resistor R14 tem a função de manter este desvio por certo tempo, dado pela constante do tempo de descarga do capacitor.

Ressaltamos que, o funcionamento do circuito à direita (circuito do CI U3) é o mesmo do que abordamos para o circuito da esquerda e é conectado ao outro terminal de controle do atuador de marcha lenta do PW6X.

4.2.3. Controle da válvula do cânister e da válvula de controle da pressão do turbo

Neste caso, tivemos que desenvolver um circuito de controle à parte, pois o PW6X não possui uma saída que poderia executar estas funções. Segundo a VW, as válvulas do cânister e do controle da pressão do turbo possuem resistência de $30\ \Omega$ e devem ser controladas por um sinal *PWM* (*Pulse width modulation*, pulsos com modulação de largura) para ajustar sua abertura. Para gerar o sinal de controle, foi utilizado o CI NE 555, o qual permitirá o ajuste do *duty cycle* (ciclo de trabalho) enviado as válvulas.

4.2.3.1. Princípio de funcionamento

O circuito de temporização 555 é um controlador monolítico altamente estável, capaz de produzir atrasos precisos, ou oscilação. No modo de funcionamento de atraso de tempo, para uma operação estável como um oscilador, a frequência ajustada e o ciclo de trabalho ambos são controlados com precisão com duas resistências externas e um capacitor. Sua saída pode fornecer até 200 mA.

Conforme a figura 54, a alimentação do CI NE555 é de 12V, sendo o terminal 8 próprio para alimentação positiva e o terminal 1 para o aterrimento. O terminal 4, conectado ao terminal 8 e consequentemente a alimentação positiva, é o *Reset*, e só opera em nível lógico baixo.

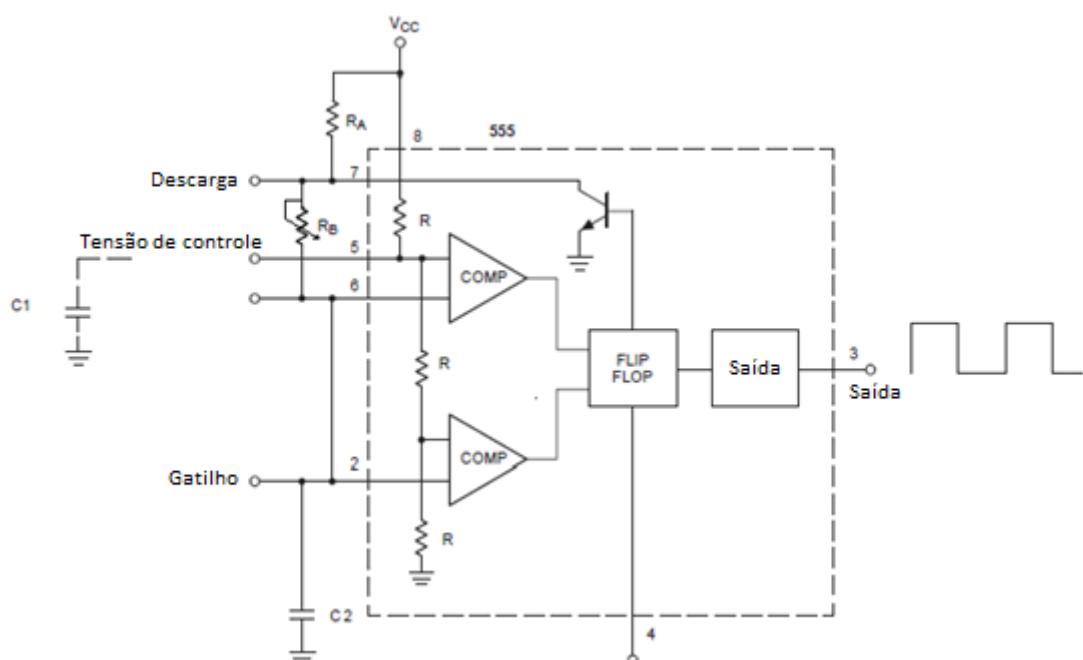


Figura 54 - Esquema elétrico interno do NE555.

Ainda mencionando o circuito da figura 54, os dois comparadores internos ao integrado trabalham com uma configuração do tipo “janelada”, e tem como referência as tensões provenientes dos divisores de tensão internos do 555. As tensões de referência são $2/3$ e $1/3$ de Vcc.

As saídas dos comparadores são conectadas as entradas de *Set* e *Reset* que operam no flip-flop, sendo que a saída controla o nível lógico do sinal e o transistor de descarga.

Inicialmente, o capacitor C2 inicia sua carga através de Ra e Rb, quando a tensão do mesmo ultrapassa $2/3$ de Vcc, temos a inversão das saídas dos comparadores e do flip-flop. Com a alteração do nível lógico da saída do flip-flop, o transistor que conecta o terminal 7 ao GND passa a conduzir, descarregando o capacitor até $1/3$ de Vcc por meio de Rb, momento em que novamente é invertido o sinal de saída dos comparadores. O processo de carga e descarga do capacitor pode ser visto na figura 55.

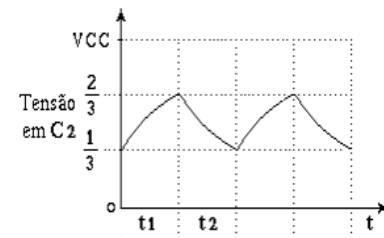


Figura 55 - Gráfico do momento de carga e descarga do capacitor C2.

A relação dos valores de frequência do sinal de saída podem ser obtidas através do inverso da soma dos períodos de carga e descarga do capacitor C2, equação (8), a soma dos períodos de carga e descarga deve ser obtida através da equação (9):

$$f = 1 / (\text{Período de carga} + \text{Período de descarga}) \quad (8)$$

$$f = 1 / [0,693 \times (R_a + 2 R_b) \times C_2] \quad (9)$$

A repetição deste ciclo gera no terminal 3 um sinal de onda quadrada (figura 56), utilizando na equação (10) os valores de $R_a = 1k\Omega$ e $R_b = 50k\Omega$, obtemos uma frequência na ordem dos 150 Hz , aproximadamente.

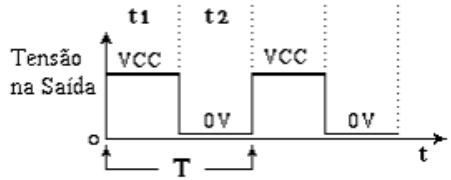


Figura 56 - Gráfico de sinal de tensão na saída do NE555.

Finalmente, para ajustar o *duty cycle* do sinal de saída do 555, substituímos as resistências fixas R_a e R_b por um potenciômetro mais dois diodos em série, para que a corrente de carga e descargas circulem por caminhos diferentes. A válvula de purga do cânister e a de controle da pressão do turbo estão representadas no circuito final da figura 57 como uma resistência de $30\ \Omega$ e um indutor, os quais representam os solenóides propriamente ditos.

Para fornecer a potência de acionamento, utilizamos o transistor *MOSFET* IRFZ48N como *driver* de potência. Já que estes solenóides possuem características físicas e de acionamento similares, utilizamos o interruptor de marcha lenta (que está contido no corpo de borboleta) para acionar e desacionar um relé, (que pode ser visto na figura 26) por meio de outro transistor *MOSFET*, alternando o controle do circuito entre a válvula do cânister e a de controle da pressão do turbo, conforme a rotação do motor. Neste caso, em marcha lenta a válvula do cânister é aberta, já com altas rotações o circuito passa a atuar no controle da pressão da turbocompressor, permitindo que seja atingido 1 Bar de pressão. Esta implementação foi estruturada para trabalhar de forma equivalente ao que encontramos no sistema de gerenciamento original do motor.

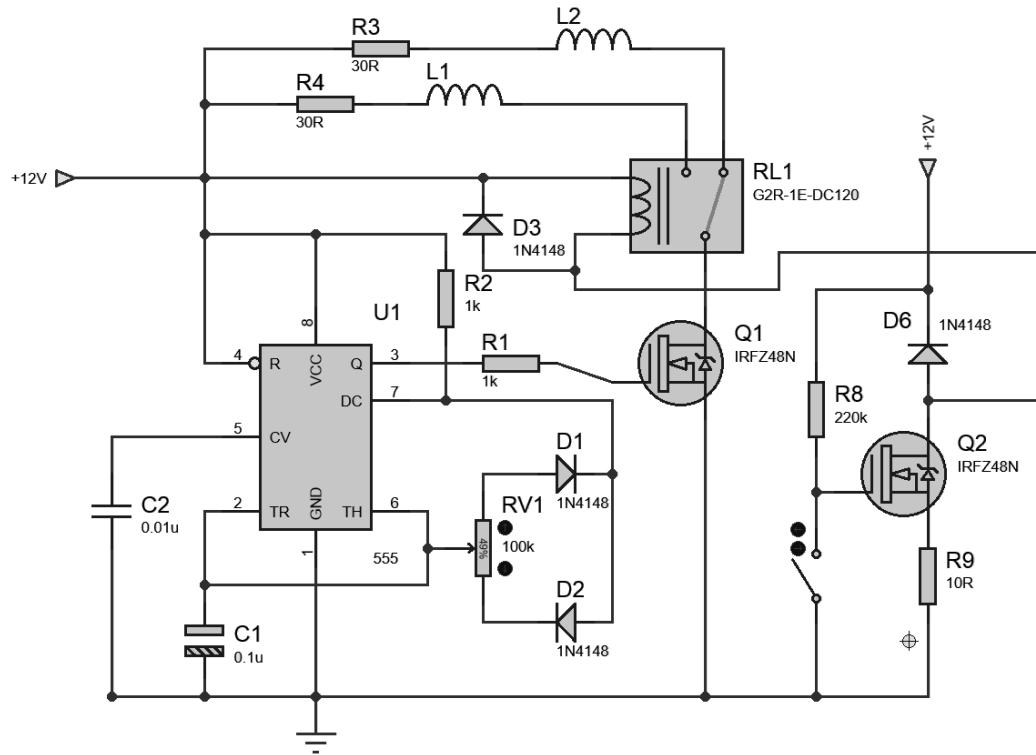


Figura 57 – Esquema elétrico do circuito de controle das válvulas do cânister e pressão do Turbo.

4.2.4. Circuito do variador de fase

Como última implementação para finalizarmos o controle dos atuadores do sistema de gerenciamento do motor, temos o comando de válvulas variável, dispositivo que adianta a abertura das válvulas de admissão em até 26°, favorecendo a geração de torque no motor em baixas rotações. Para fazer seu acionamento, desenvolvemos um circuito que ativa o variador de fase sempre que o veículo estiver na condição de marcha lenta, a qual é informada pelo interruptor que se encontra no corpo de borboleta.

Em marcha lenta, o interruptor aterra o *gate* do *MOSFET*, o que não permite a energização da bobina do relé mantendo-o desacionado, como o variador de fase encontra-se na posição NF (normalmente fechada), ele fica ativo.

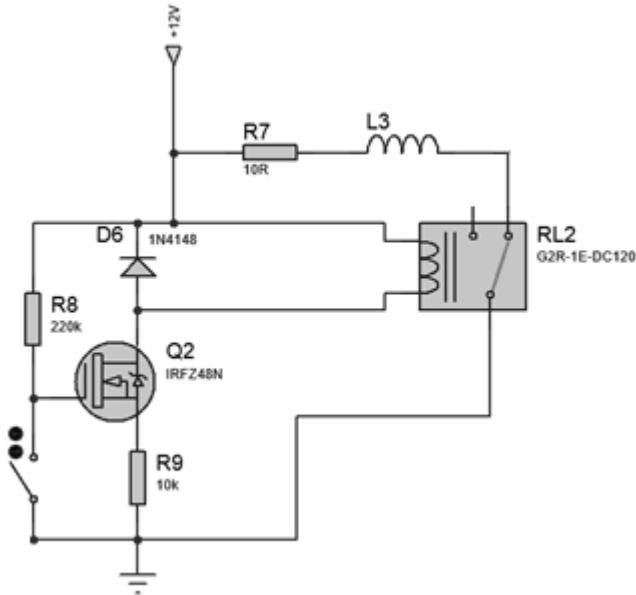


Figura 58 – Circuito do variador de fase.

4.3. Construção do chicote

Antes de iniciar a construção do chicote, deve-se estudar quais os parâmetros utilizados pelo módulo programável para gerenciar o funcionamento do motor.

4.3.1. Os Chicotes do PW6X

O módulo da HIS PW6X possui dois chicotes, onde na figura 59, são identificadas de forma ilustrativa as conexões entre estes chicotes e o módulo PW6X, detalhando também a função de cada um de seus cabos.

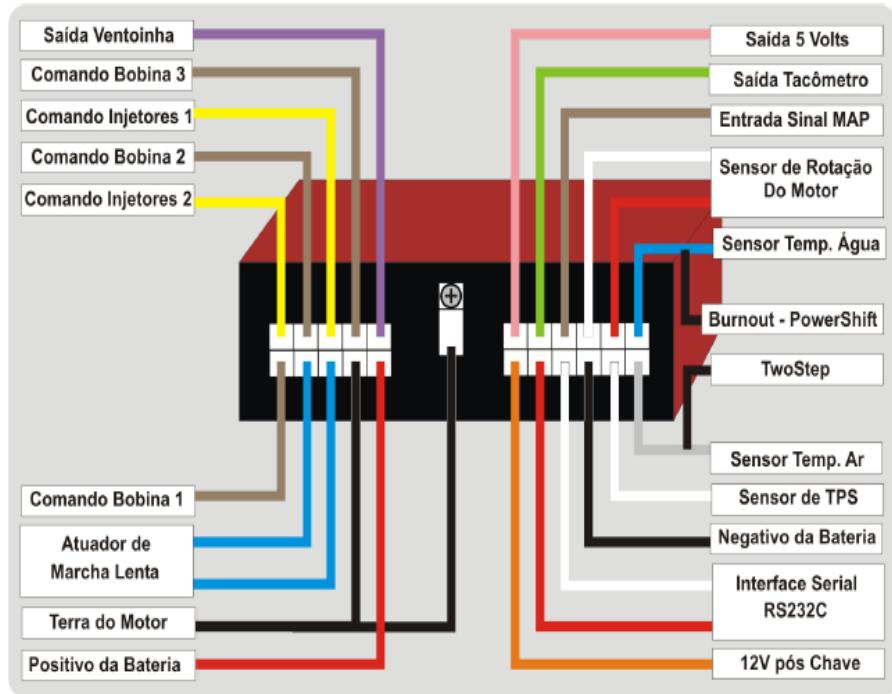


Figura 59 – Conector e chicote elétrico do módulo PW6X (HIS, 2013).

Do lado esquerdo da figura 59, temos o chicote de potência, composto de cabos para conexão dos eletro injetores, bobinas de ignição, ventoinha, +12 volts da bateria, aterramento e atuador de marcha lenta. Já o chicote de sinais, composto de cabos para conexão dos sensores, tensão de 5 volts, saída de tacômetro, fio terra, sinal pós-chave e interface serial é conectado ao módulo no conector do lado direito (ADAPTADO DE HIS, 2013). A figura 60 demonstra o modelo dos conectores do módulo e chicote do PW6X.

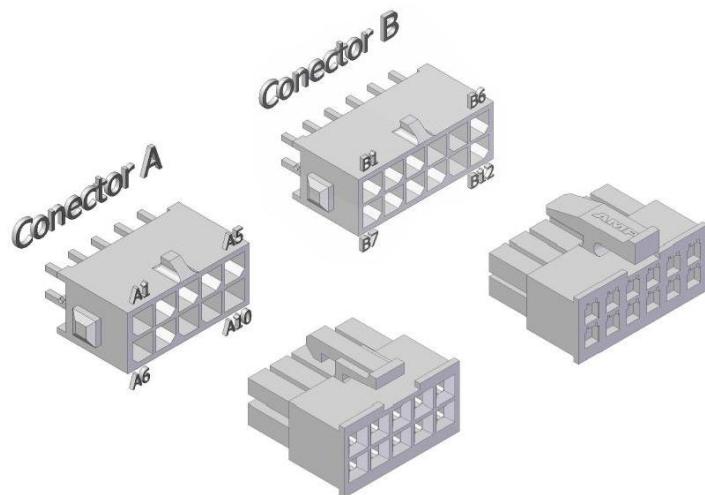


Figura 60 – Conectores do módulo e chicote do HIS PW6X (ADAPTADO DE TRACE PARTS ON LINE, 2011).

4.3.2. Desenvolvimento do chicote de interface entre o veículo e o PW6X

Como o veículo não possui todos os sensores e atuadores necessários para a instalação e perfeito funcionamento do módulo HIS PW6X, foi efetuada uma correlação entre o *hardware* disponível no veículo e o necessário para a sua instalação. Esta correlação está descrita na tabela 4.

Tabela 4 – Correlação entre a pinagem da *ECU* original e o módulo PW6X.

Conecotor HIS	Descrição HIS	Pinout J220	Descrição j220
A1	Comando dos injetores 2	80,58	Eletro injetores N32 e N33
A2	Comando da bobina 2	78	Acionamento da bobina cilindros 2 e 3
A3	Comando dos injetores 1	73,65	Eletro injetores N30 e N31
A4	Comando da bobina 3	--	
A5	Saída para a ventoinha	--	
A6	Comando da bobina 1	71	Acionamento da bobina cilindros 1 e 4
A7	Atuador de marcha lenta	66	Sinal de controle do atuador de marcha lenta
A8	Atuador de marcha lenta	59	Sinal de controle do atuador de marcha lenta
A9	Terra do motor	67,2	Aterramento
A10	12 V da bateria (+)	3	12V da bateria
B1	Saída de 5V	62	Alimentação dos sensores (5V)
B2	Saída para tacômetro	6	Saída para tacômetro
B3	Entrada do Sinal do MAP	61	MAP 5 Bar HIS
B4	Sensor de rotação	76	Sensor de fase
B5	Sensor de rotação	56	Sensor de rotação (<i>HALL</i>)
B6	Sensor de temp. da água	53	Sensor de temperatura da água
B7	12V pós chave	1	12V pós chave
B8	Interface serial RS232	-----	-----
B9	Interface serial RS232	-----	-----
B10	Terra da bateria	2	Aterramento
B11	Sinal do sensor do TPS	74 ou 75	Sinal do sensor <i>TPS</i>
B12	Sensor de temp. do Ar	54	Sensor de temperatura do ar

Com o objetivo de facilitar a instalação e remoção do PW6X, foi fornecido pelo nosso orientador um módulo *Motronic M.3.8.3*, o qual se encontrava com defeito, para retirada do conector. Após correlacionarmos os terminais do PW6X com os equivalentes do veículo, efetuamos as ligações diretamente no conector, como descritas na tabela 4, tomando-se o devido cuidado de isolação dos fios.

4.4. Cálculo base para o tempo de injeção

Uma parte muito importante na calibração de motores, sobre tudo na preparação do *hardware*, é o cálculo do tempo base em que a válvula eletro injetora permanecerá aberta para fornecer a quantidade mássica de combustível necessária para que a combustão ocorra de

acordo com o regime do motor. Para isso, utiliza-se a equação 10, onde calculamos a vazão de combustível necessária da válvula eletro injetora.

$$\text{Vazão do eletro injetor } \left[\frac{\text{g}}{\text{s}} \right] = \frac{\text{Potência [hp]} * \text{BSFC}}{\text{Nº de eletro injetores} * 8,44} * \text{IDC [\%]} \quad (10)$$

Potência = Potência estimada do motor em Hp.

BSFC = “Brake Specific Fuel Consumption”.

IDC = “Injector duty cycle” (%).

8,44 = Valor de conversão de lb/h para g/s.

O BSFC é aferido em testes no dinamômetro, e significa quanto combustível em Lb/h o motor consome por HP. Pode ser atribuído um valor médio e estimado de 0,68 para motores sobrealimentados. Motores mais eficientes terão um valor menor do que este, quando colocados em teste, mas aquela estimativa média é o suficiente para o devido emprego no cálculo base (FROES, 2011).

IDC (*injector duty cycle*) é o ciclo de trabalho do injetor, que por margem de segurança tem o seu valor de trabalho máximo de 80%.

O gerenciamento eletrônico do motor utiliza os sinais dos sensores descritos nas subsecções anteriores para calcular a exata quantidade de massa de ar admitida pelos cilindros e posteriormente o volume de combustível que deve ser injetado. Para isso é utilizada uma estratégia conhecida como *speed x density* (velocidade x densidade). Essa estratégia utiliza os sinais dos sensores de temperatura e pressão do ar admitido para calcular a densidade do ar, equação 11 (Albaladejo, 2012).

$$\text{Massa de ar (g)} = n * \frac{\text{Pressão}}{\text{Constante real dos gases} * \text{Temperatura}} * \frac{\text{Cilindrada (cm}^3\text{)}}{4} \quad (11)$$

n = massa molar (29g/mol).

Constante Real dos gases = $0,082 \frac{\text{atm} * \text{l}}{\text{k} * \text{mol}}$ ou $62,3 \frac{\text{mmHG} * \text{l}}{\text{k} * \text{mol}}$.

Temperatura = Temperatura absoluta do ar (graus Kelvin).

Pressão = Pressão do coletor de admissão (atm ou mmHG).

Multiplicando a densidade do ar pela cilindrada do motor (capacidade volumétrica) e dividindo pela quantidade de cilindros existentes, encontramos a massa de ar admitida

individualmente por cilindro. Neste cálculo ainda estaria faltando a área relacionada com a posição da válvula borboleta, porém esse cálculo não é realizado internamente em um microcontrolador, pois devido a sua complexidade o tempo de processamento para executá-lo seria consideravelmente grande (ADAPTADO de Albaladejo, 2012).

Posteriormente devemos calcular a quantidade de combustível que deve ser injetada em função da massa de ar que está sendo admitida e pelo regime de funcionamento do motor (equação 12), que é dado pelo fator lambda, que em nosso caso, estamos utilizando o 0,8, o que representa um fator de estequioimetria de 11,04:1 para gasolina.

$$\text{Massa de combustível (g)} = \frac{\text{Massa de ar (g)}}{11,04} \quad (12)$$

Finalmente, ao dividirmos o valor de massa de combustível calculado (equação 12), pela vazão da válvula eletro injetor teremos o tempo de injeção base, equação 13.

$$\text{Tempo de injeção (s)} = \frac{\text{Massa de combustível (g)}}{\text{Vazão do eletro injetor (g/s)}} \quad (13)$$

4.5. Determinação do avanço de ignição base

Outro fator muito importante é o avanço de ignição, (tema que já foi abordado no tópico 2.9.1.). Neste caso, apesar de existirem cálculos para sua determinação, eles dependem de variáveis específicas as quais não temos acesso, como tempo de propagação da chama.

Assim, partimos para opção mais viável, que no caso seria utilizar a ferramenta de diagnóstico que está disponível em nossa faculdade, o VAS5052 da Volkswagen (figura 61), para obter uma relação da faixa de valores de avanço de ignição que o motor trabalha usualmente.



Figura 61 – Ferramenta de diagnóstico VAS5052.

Após conectar o VAS ao veículo, utilizamos a função de leitura de parâmetros, e assim aferimos o valor em graus do avanço de ignição para diversas faixas de rotação do motor nas condições de temperatura ambiente de 26°C, temperatura do motor de 90°C e pressão atmosférica de 0,92 Atm, gerando os dados contidos na tabela abaixo:

Tabela 5 – Valores de avanço de ignição aferidos.

Rotação (rpm)	Avanço de ignição (graus)
1000	0° - 9°
1500	25°
2000	26,3°
2500	31,5°
3000	33°
3500	34,5°
4000	35,3°
4500	36°

Analizando o funcionamento do motor da VW Parati, notamos que quando o variador de fase do coletor de admissão está ativo, o avanço é nulo devido ao adiantamento de 26 graus em relação ao virabrequim do comando de válvulas o que favorece o torque do motor.

4.6. Configuração do PW6X

Já que o padrão das configurações do software já são bem exploradas no manual do módulo PW6X, partiremos para o nosso exemplo prático.

O PW6X permite a customização dos parâmetros de controle do motor através do software fornecido “HISwinXV”. O módulo possui protocolo de comunicação serial RS232 e permite que os parâmetros sejam alterados mesmo com o motor ligado, apesar de não ser recomendável, pois neste processo o processamento do módulo PW6X se torna instável. A seguir demonstraremos as configurações básicas e a calibração do motor. Abaixo na figura 62, demonstramos os menus.

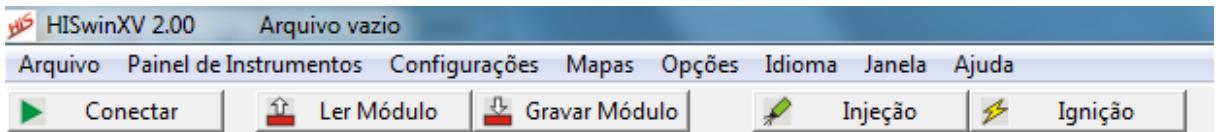


Figura 62 – Estrutura de menus do programa “HISwinXV”.

4.6.1. Configuração inicial

No *software* HISwinXV, iniciaremos pelo menu configurações, onde são apresentadas as opções de configuração do módulo de controle, tais como:

- Configurações Principais
- Configuração das Saídas
- Configuração do *TPS* (sensor de posição de borboleta)
- Configurações da Interface Serial

4.6.1.1. Configurações principais

Como pode ser visto na Figura 63, através do sub-menu “Configurações Principais” pode-se alterar os principais parâmetros de ignição, carga do motor e os modos injeção utilizados pelo programa.

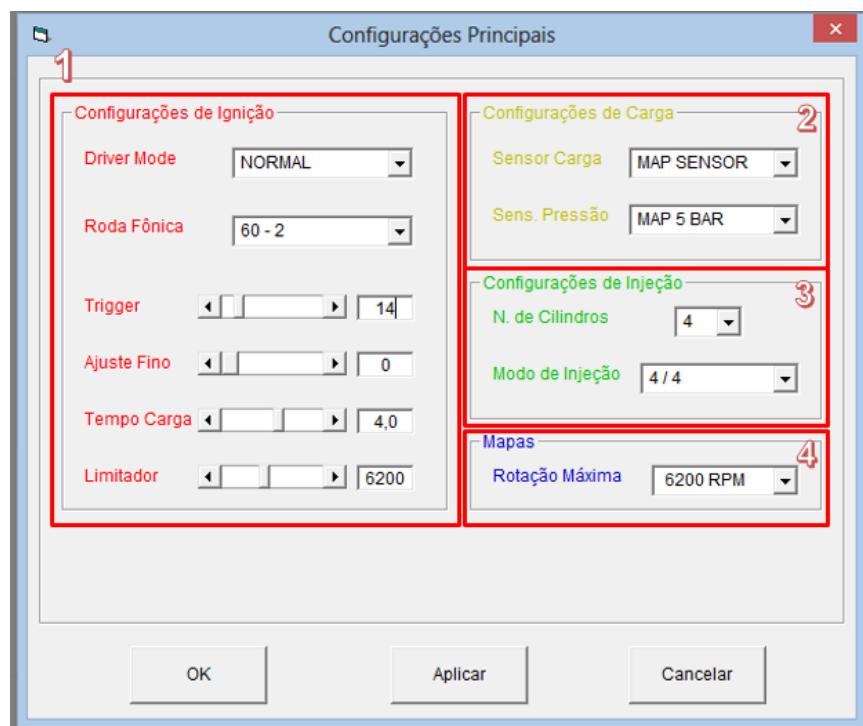


Figura 63 – Configurações principais, “HISwinXV”.

No primeiro quadrante (1) da figura 63, temos as configurações de ignição, onde partimos do tipo de roda fônica, que no caso do veículo VW Parati é de 60 dentes sendo 2 deles ocupados pela falha. No ajuste seguinte (*trigger*), informamos a posição em que o sensor de rotação está fixado, o que segundo o estudo de *hardware*, seria em frente ao 14º dente do volante do motor. Como sua posição é exata, não foi necessário realizar nenhum ajuste fino. O tempo de carga do transformador de ignição foi definido em 4ms após diversas amostragens do sinal da *ECU* original por meio do osciloscópio Tektronix TDC 1001C. A limitação de rotação em 6200 rpm foi tomada por medida de segurança.

O segundo quadrante (2) trata das configurações de carga, as quais são utilizadas como eixo horizontal nos mapas de tempo de injeção e avanço de ignição por rotação do motor. Nossa referência é o sensor *MAP* de 5 Bar.

No terceiro quadrante (3) inserimos as configurações de injeção, onde temos o número de cilindros e o modo de injeção, 4/4. Segundo o manual do *software*, os pulsos de injeção são referenciados segundo os comandos de ignição, neste caso, no método escolhido, a cada comando de ignição será realizada uma injeção de combustível em cada cilindro, o que resulta em quatro injeções em cada um antes da admissão da mistura ar combustível, conforme a figura 64:

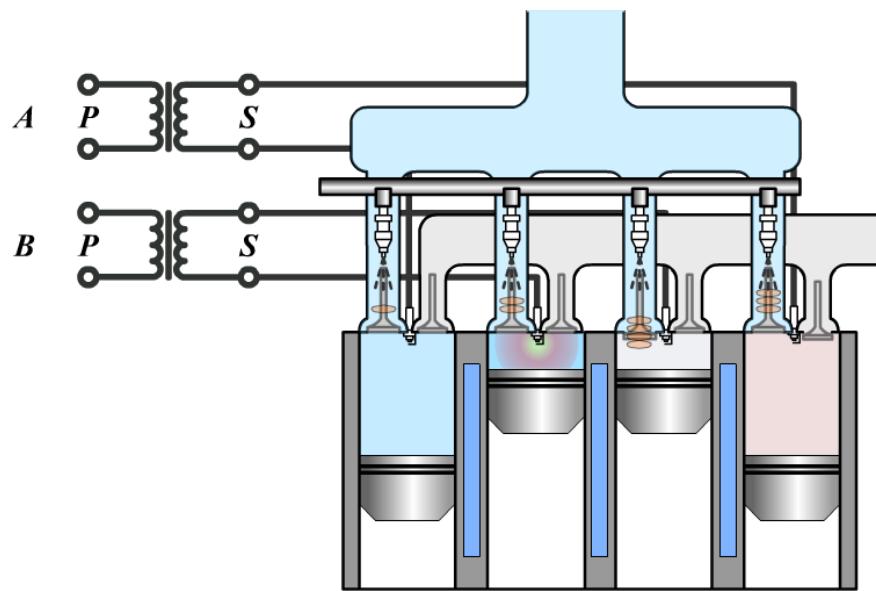


Figura 64 – Estratégia de injeção 4/4 (ADAPTADO DO SENAI, 2011).

Dentro das opções de configurações de injeção (1/4, 2/4 e 4/4), avaliamos que a 4/4 seria a mais favorável para nossa aplicação, pois assegura que, sempre haverá combustível no momento da admissão, além disso, a quarta injeção ocorre com a válvula aberta garantindo

uma melhor atomização, já que o combustível injetado anteriormente pode ter condensado no coletor de admissão.

O quarto quadrante (4) foi definido em concordância com as configurações de ignição e representa o limite de rotação dos mapas de calibração.

4.6.1.2. Configurações de injeção

Esta janela apresenta as configurações auxiliares de injeção (figura 65), sendo que a estratégia *cut-off* foi configurada para ocorrer somente acima de 3000 rpm e após 2 segundos. O enriquecimento após partida foi definido para ocorrer quando a temperatura do motor estiver abaixo dos 45°, e tem a duração de 60 segundos, valor máximo permitido pelo software da HIS. As configurações seguintes não serão utilizadas.

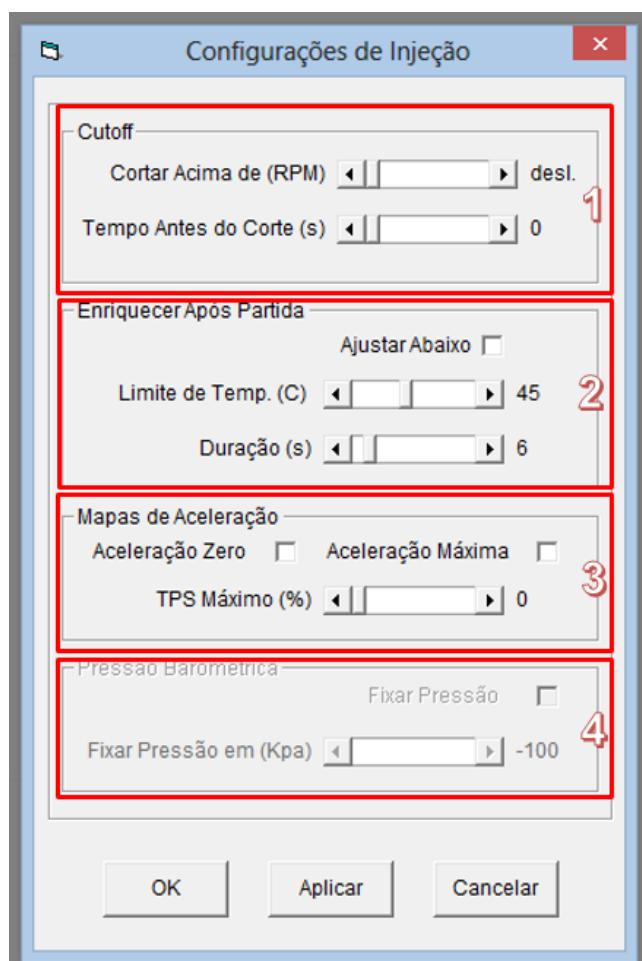


Figura 65 – Configurações de Injeção, “HISwinXV”.

4.6.1.3. Configurações das Saídas

No primeiro quadrante (1) da figura 66, definimos a frequência do sinal do tacômetro como normal, já que é compatível com o cluster do veículo VW Parati. Em seguida (2), temos os controles da ventoinha, que estão desligados porque como já foi citado no estudo de *hardware*, este sistema do veículo é independente e totalmente mecânico.

No terceiro quadrante (3) temos as configurações de saídas auxiliares, as quais estão desativadas, finalmente no quarto quadrante (4) temos a configuração do tipo de atuador de marcha lenta (PWM 2 fios) e a frequência do sinal de controle (100Hz).

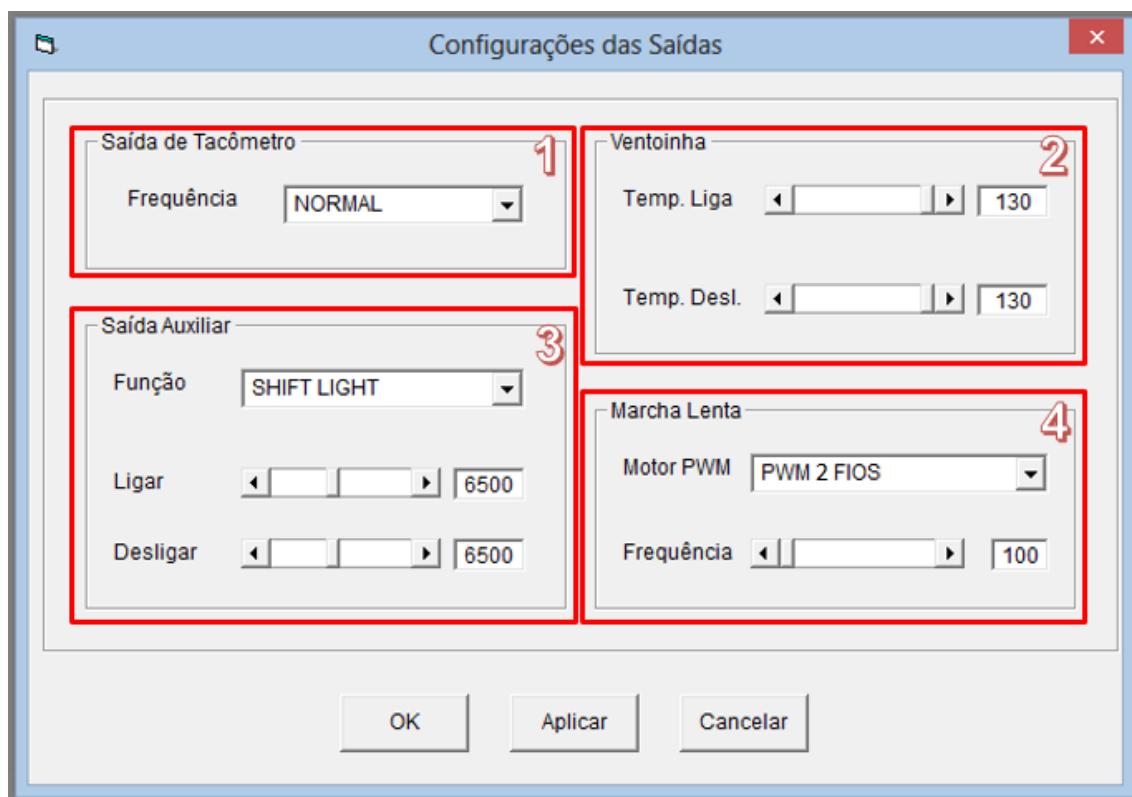


Figura 66 – Configurações das Saída, “HISwinXV”.

4.6.1.4. Calibração do *TPS*

Como os módulos *stand alone* são projetados para atender diversos tipos de veículo, que podem possuir diferentes características de construção do *TPS*, por isso deve ser calibrada de maneira a ter os seus valores de funcionamento, e limites, memorizados pela unidade de controle, figura 67. Desta forma, o sistema reconhece de maneira adequada a faixa de trabalho do componente, mantendo o funcionamento estável do sistema. Obtendo assim o máximo desempenho do sensor de posição da borboleta.

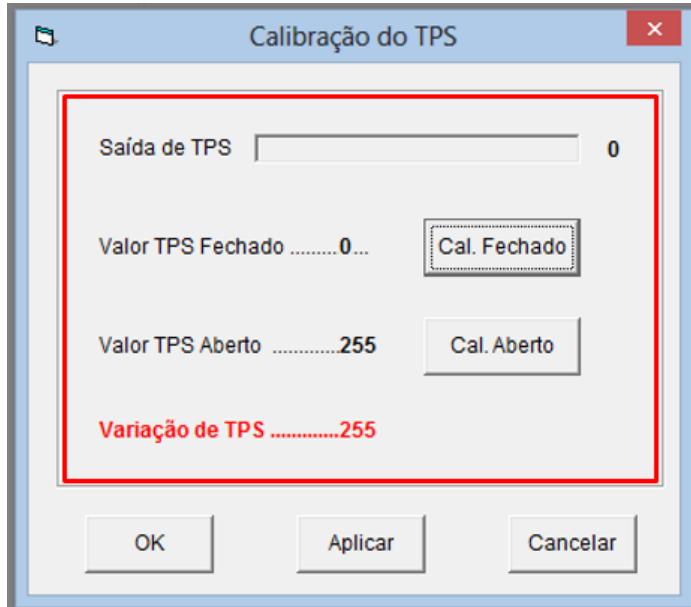


Figura 67 – Calibração do TPS, “HISwinXV”.

Neste sub-menu (figura 67), o sinal da posição do *TPS* é convertido em um valor digital de 8 *bits* (de 0 à 255). De acordo com o manual do produto, para valores de posição totalmente aberta, devem ser superiores a 200 e para completamente fechada devem estar abaixo de 40, o que não seria possível sem a implementação de um circuito auxiliar abordado anteriormente (sub-secção 4.2.1.1.).

Nesta etapa, o módulo deve estar conectado ao chicote do veículo com a ignição ligada, no modo online, porém com o motor preferencialmente desligado. Com a válvula borboleta completamente fechada, ao clicar em “Cal. Fechado” calibra-se a posição de sensor fechado, posteriormente, fazer a abertura completa do TPS e clicar no botão “Cal. Aberto” para calibrar a posição de sensor aberto. Informando assim a faixa útil de variação do sensor.

4.6.1.5. Ajuste de marcha lenta

Após configurarmos o tipo do atuador e a frequência de seu sinal de controle, temos uma janela dedicada aos ajustes específicos, figura 68. Definimos qual deve ser o valor de rotação objetivo (900 rpm), em sequência seguimos com as correções por temperatura, taxa de amostragem de leitura do *TPS*, e o *range* de trabalho. Os fatores de compensação K_p, K_i e K_d já vem pré-configurados e não necessitam de ajustes.



Figura 68 – Ajuste de marcha lenta, “HISwinXV”.

4.6.1.6. Sensores e limitadores

Nesta janela (figura 69) inserimos os tipos de sensores de temperatura do ar e do líquido de arrefecimento do motor, não efetuamos as configurações de sonda lambda e sensor de pressão 2 pois estas não estão disponíveis no PW6X.

Em seguida, configuramos a limitação da rotação do motor que esta embasada nos fatores de pressão do turbocompressor e temperatura.

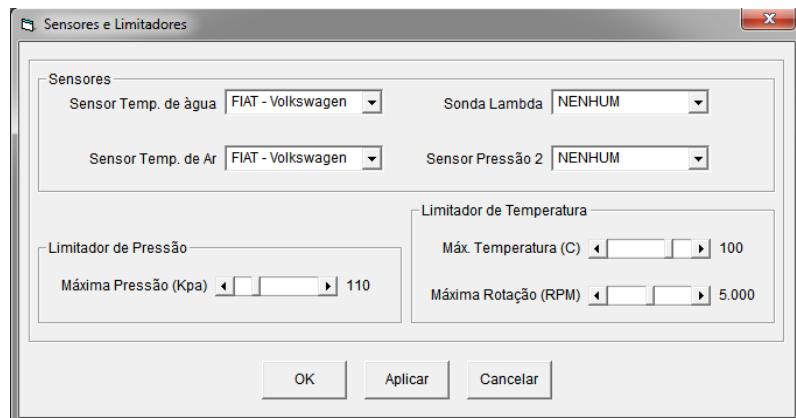


Figura 69 – Sensores e limitadores, “HISwinXV”.

4.6.1.7. Ajustes da bomba de *TPS*

Além do mapa base para o tempo de injeção, necessitamos ainda garantir que quando exigidas rápidas respostas do motor, ele tenha o fornecimento de combustível necessário para desenvolver o torque e a potência esperada. Esta configuração (figura 70) é feita por intervalos de rotações, onde em cada faixa definimos uma porcentagem adicional do tempo base e qual será o decaimento a cada pulso de injeção posterior a derivada de *TPS* até retornar ao tempo inicial.

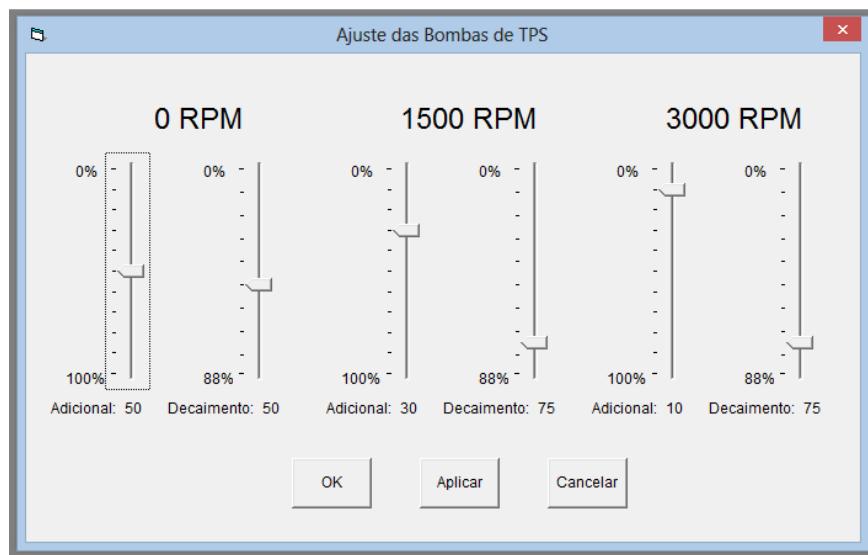


Figura 70 – Ajuste das bombas de *TPS*, “HISwinXV”.

5. RESULTADOS

Neste capítulo serão expostos os resultados obtidos, estratificando-os para um estudo comparativo entre o desejado e o realizado. Verificamos se a metodologia empregada neste projeto é válida e se os circuitos eletrônicos desenvolvidos atendem a necessidade presente no gerenciamento eletrônico do motor da VW Parati.

5.1. Interface

Inicialmente, desenvolvemos um interface que interliga o chicote do motor do veículo VW Parati ao módulo PW6X, e com o auxílio de outra *interface* denominada *BOB (Break Out Box)*, figura 71, foi possível testar todos os circuitos de implementação de uma forma mais interativa, pois tínhamos todos os sinais do motor à disposição.

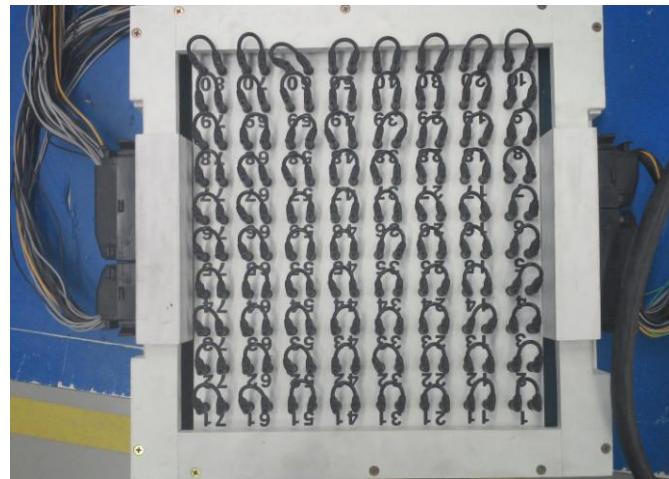


Figura 71 – *BOB (Break Out Box)*.

O *BOB* (Caixa de saída) é uma peça fundamental em testes elétricos ou de integração, pois disponibiliza o acesso a todos os sinais de um chicote que, podem ser desconectados, monitorados ou substituídos por outros, se necessário.

Após desenvolvermos os circuitos das implementações separadamente, recorremos ao *software* Proteus 8, (ferramenta de simulação de circuitos eletrônicos e geração de *layout's*, desenvolvido pela empresa inglesa *Labcenter Electronics*) o qual utilizamos em nosso curso, para reunir as implementações em um único *layout* (figura 72), com o intuito de facilitar a instalação do módulo PW6X e dispensar o uso do *BOB*.

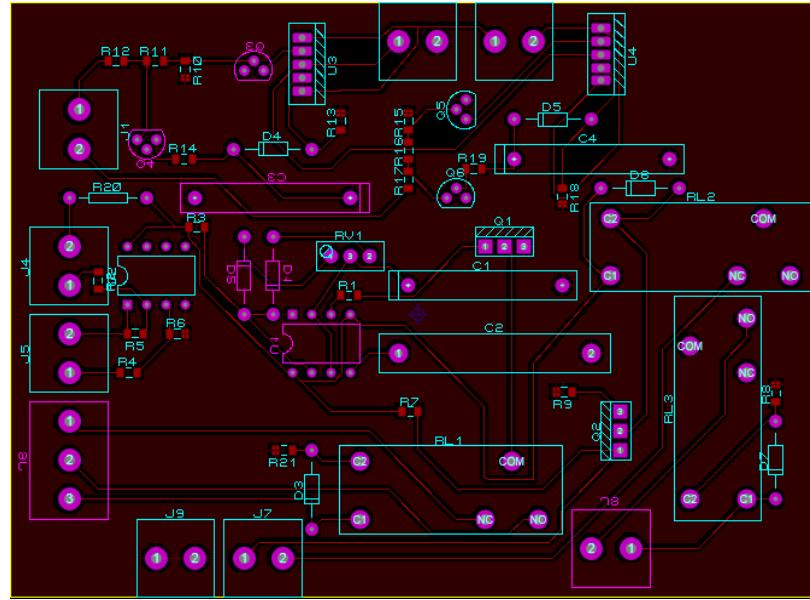


Figura 72 – Layout do circuito das implementações.

Como forma de proteção ao chicote do motor, foi projetado um fusível de 5A na linha de alimentação, como pode ser visto no esquema elétrico do circuito na figura 73, o circuito do *driver* de potência para o atuador de marcha lenta consome 3A e os demais circuitos consomem no máximo os 2A restantes, pois são para tratamento de sinais ou controle. Todas as funções foram simuladas individualmente por meio da ferramenta ISIS do software e posteriormente, foram testadas como um todo para validar esses circuitos auxiliares, figura 73.

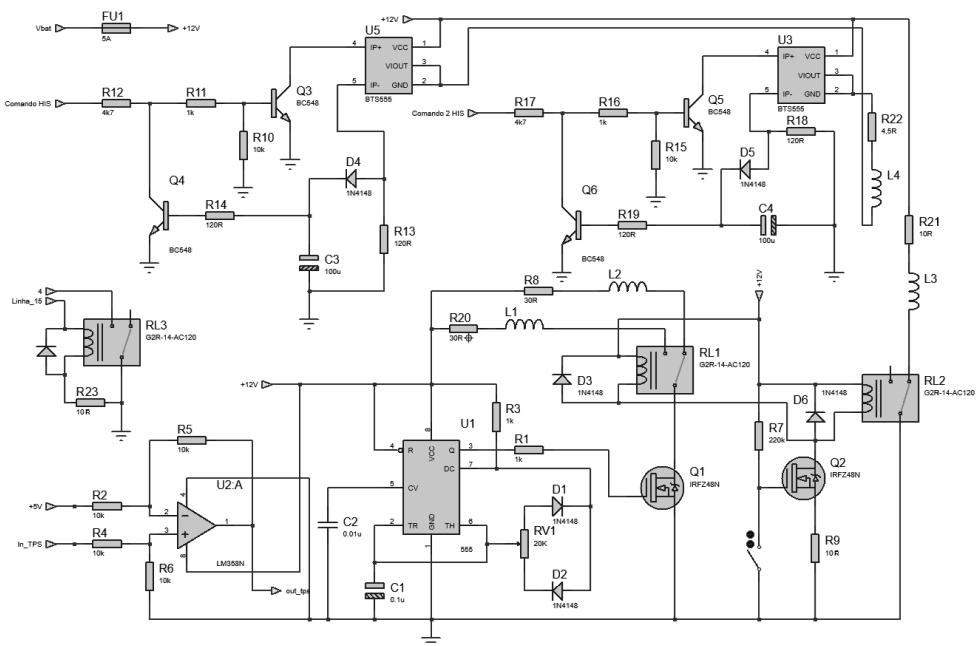


Figura 73 – Esquema elétrico do circuito das implementações.

Assim, após os testes do nosso chicote e integração dos circuitos auxiliares, possibilitamos a otimização do controle do motor, consolidando uma única *interface* robusta (figura 74). O *layout* da placa de circuito impresso que, denominamos “implementações”, foi acoplado ao chicote do módulo *stand alone*.



Figura 74 – Interface PW6X – chicote do veículo.

Deste modo, qualquer pessoa ao utilizar nossa interface no veículo VW Parati, irá somente se preocupar com a calibração do motor, deixamos nossa interface como forma de contribuição a aula de Unidades de Gerenciamento II do curso de Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André.

5.2. Mapa base para o tempo de injeção

Conforme mencionado no capítulo 4, o tempo de injeção ideal pode ser obtido por meio de algumas expressões matemáticas que relacionam a capacidade volumétrica do motor com a densidade do ar admitido.

Como exemplo, faremos o cálculo do tempo de injeção tomando como referência uma pressão de 0,8 atm e temperatura de 25°C. A primeira etapa é determinar a vazão do eletro injetor, obtida através da equação (10), e demonstrada na equação (14).

$$\text{Vazão do eletro injetor } \left(\frac{\text{g}}{\text{s}}\right) = \frac{110,4656 * 0,68}{4 * 8,44} * 0,8 = 1,78 \text{ g/s} \quad (14)$$

Visto que já determinamos a vazão do eletro injetor, antes de calcular o tempo de injeção, temos que encontrar a quantidade de massa de ar admitida utilizando a equação (11) e transcrita na equação (15).

$$\text{Massa de ar [g]} = 28,96 * \frac{1}{0,082 * (273,15 + 25)} * \frac{999}{4} = 0,2968 \text{ g} \quad (15)$$

Dando sequência, dividindo o valor da massa de ar admitida pela relação estequiométrica, equação (12), obtemos a massa de combustível que deve ser injetada, expresso pela equação (16).

$$\text{Massa de combustível (g)} = \frac{0,23702 \text{ g}}{11,04} = 0,02079 \text{ g} \quad (16)$$

E finalmente, relacionando a massa de combustível com a vazão do eletro injetor, equação (13), obtemos o tempo teórico de injeção, demonstrado na equação (17). Salientamos que no exemplo prático utilizamos o tempo de injeção dividido por quatro, como forma de adaptação a estratégia do modo de injeção do módulo PW6X.

$$\text{Tempo de injeção (s)} = \frac{0,02079 \text{ g}}{1,78 \text{ g/s}} = 0,01168 \text{ s} \quad (17)$$

Utilizando a ferramenta de trabalho Excel, realizamos os cálculos do tempo de injeção várias faixas de rotações e pressões de trabalho previstas no funcionamento do motor. Para chegarmos nestes resultados, introduzimos os valores correspondentes nas células do Excel, que podem ser vistas na figura 75.

Parâmetros de entrada	Parâmetros de saída
Pressão (atm)	Vazão do eletro injetor (g/s)
0,8	1,780014408
R (atm.l/mol.K)	
0,082	
Massa molar	Massa do Ar (g)
28,96	0,237027337
Relação estequiométrica	
11,4	
BSFC (Turbo)	Massa de combustível (g)
0,68	0,020791872
Cilindrada /4 (l)	
0,25	
Potencia do motor	Tempo de injeção
110,4656	0,011680732
Temperatura (°C)	
25	
Numero de eletro injetores	Tempo de injeção HIS
4	0,002920183
IDC (% de utilização do eletro injetor)	
0,8	

Figura 75 – Variáveis de entrada para o cálculo do tempo de injeção.

Dentre as variáveis da equação, temos a temperatura e a pressão, as quais necessitaram passar por conversões para as grandezas de graus Kelvin e Atm.

Os valores fixos são:

- Cilindrada: 999 cm³ ou 1 litro;
- Relação estequiométrica: $\lambda 0,8 = 11,04:1$
- Vazão dos eletro injetores: 15,02 Lb/h ou 1,78 g/s;
- Capacidade da bomba: 90,13 LB/h;
- Ciclo de trabalho dos eletro injetores: 80%;
- BSFC: consumo específico de motores turbo, 0,68;

A tabela 6, mostra o resultado de todos os cálculos realizados no Excel, os quais, relacionam os tempos de injeção (ms) conforme a rotação (rpm) e a pressão no coletor admissão (KPa).

Tabela 6 – Cálculo do tempo base de injeção.

Rpm/KPa	-100	-82	-64	-46	-28	-10	8	26	44	62	80	98
0	0,00											
500	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
1000	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
1500	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
2000	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
2500	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
3000	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
3500	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
4000	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
4500	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
5000	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
5500	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58
6000	3,65	2,99	2,34	1,68	1,02	0,37	0,29	0,95	1,61	2,26	2,92	3,58

Devido às limitações de tempo de acionamento dos eletro injetores, não utilizamos tempos de injeção pequenos, pois eles possuem alta impedância, ou seja, necessitam de um maior intervalo de tempo para sua abertura.

5.3. Mapas de partida e marcha lenta

Para iniciar a primeira tentativa de partida do veículo, utilizamos um tempo de injeção um pouco mais elevado (mistura rica) na região de pressão de -28 a 26 KPa e valores de avanço de ignição que eram comuns na partida do motor segundo os valores aquisitados nos testes com o VAS. O mapas utilizados na partida do motor podem ser vistos nas figuras 76 e 77.

	-64	-46	-28	-10	8	26	44	62	80	98
0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
300	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
600	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
900	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1200	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1500	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
1800	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2100	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
2700	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3000	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3300	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3600	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
3900	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
4200	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
4500	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
4800	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5100	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5400	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
5700	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
6000	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
6300	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Figura 76 – Mapa do tempo de injeção – partida.

	-100	-82	-64	-46	-28	-10	8	26	44	62	80	98
0	0	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6
300	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	7
600	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	8
900	8	8	8	8	8	8	8	8	9	9	9	9
1200	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
1500	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1800	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2400	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
2700	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3000	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3300	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3600	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
3900	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4200	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4500	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
4800	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5100	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5400	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
5700	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6000	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
6300	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Figura 77 – Mapa do avanço de ignição – partida.

5.4. Mapa final

Após finalizarmos toda fundamentação teórica para o tempo de injeção e obtermos sucesso na partida, partimos para a calibração em marcha lenta e aceleração, onde utilizamos

o *BOB* em série com o nosso chicote para que pudéssemos aferir os valores de tensão gerados pelo sensor lambda do próprio veículo, os quais nos forneceram um *feedback* de como estava a estequiometria da mistura e a qualidade da queima. Apesar da sonda lambda não ser do tipo *wide band*, sua resposta em tensão ajudou a estabelecer fatores de correção para o tempo de injeção e avanço de ignição que, poderiam se fazer necessários devido a condensação de combustível no coletor, desgaste das peças, fugas de pressão, dentre outros fatores. Os valores de lambda aferidos podem ser vistos na tabela 7.

Tabela 7 – Valores de lambda medidos a 2500rpm.

Tempo de injeção [ms]	Avanço de ignição [º]	λ [mV]
1,3	6	395
1,3	9	440
1,3	10	405
1,3	12	408
1,3	15	412
1,3	18	415
1,3	19	450
1,3	21	417
1,4	6	392
1,4	9	440
1,4	10	397
1,4	12	395
1,4	15	400
1,4	18	400
1,4	19	400
1,4	21	398
1,5	6	438
1,5	9	443
1,5	10	420
1,5	12	400
1,5	15	444
1,5	18	450
1,5	19	441
1,5	21	400

Para análise dos resultados obtidos medindo o lambda, foi utilizado um método de planejamento de experimentos, chamado DOE (*design of experiments*), o qual define quais dados, em que quantidade e em que condições devem ser coletados durante um determinado experimento, buscando, basicamente a maior precisão estatística possível na resposta (GOMES, 2011).

A grande maioria das técnicas utilizadas no planejamento de experimentos requer uma quantidade exaustiva de cálculos, tornando fundamental o emprego de uma ferramenta computacional de análise estatística, como o Minitab, o qual foi utilizado para se realizar a análise das variáveis da tabela 7. O Minitab, além do DOE, oferece diversos tipos de análises estatísticas. Neste trabalho foi utilizada a análise fatorial como técnica do planejamento de experimentos (ADAPTADO DE GOMES, 2011).

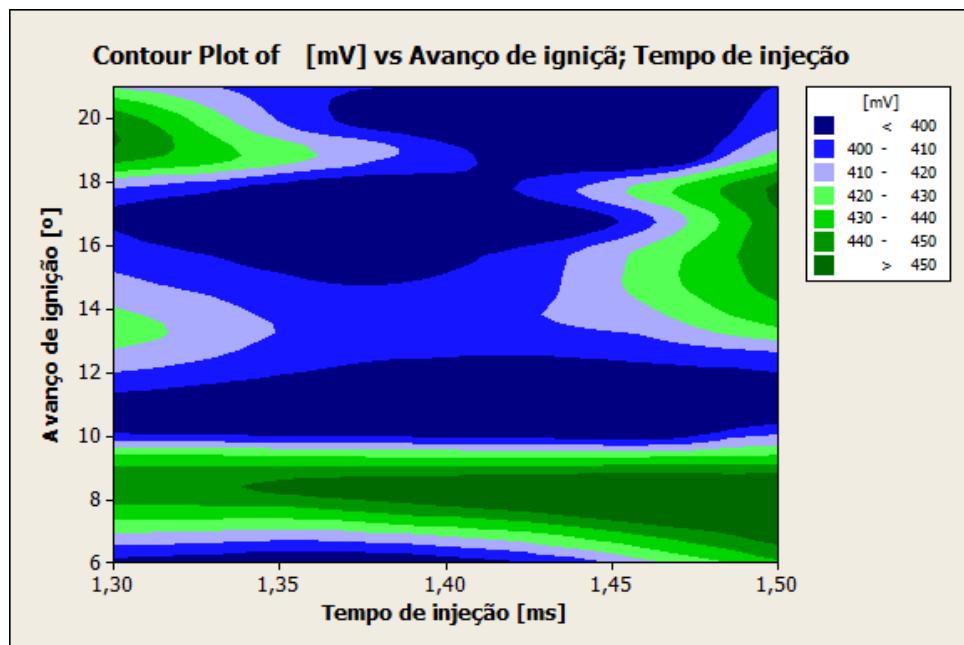


Figura 78 – Gráfico do lambda segundo rotação e tempo de injeção.

Analizando o gráfico da figura 78, podemos verificar que as melhores condições de mistura, conforme o lambda, podem ser obtidas principalmente na região onde temos o tempo de injeção entre 1,3 e 1,35 ms e avanço entre 8 e 10 graus. Também é possível perceber que ainda existem pequenas faixas na parte superior do gráfico que possuem um lambda próximo do ideal.

Cruzando os dados calculados, *feedback* da sonda lambda e a analise realizada com o Minitab, montamos o mapa com os tempos de injeção (figura 79) que nos resultaram na melhor resposta do motor, para propiciar a partida do motor, utilizamos uma mistura rica, com o tempo de injeção de 1,5 ms. Em marcha lenta, a mistura segue rica (1,4 ms), mantendo o motor na condição de resposta rápida a solicitações imediatas, conforme o aumento da rotação, trabalhamos com o tempo de injeção (segundo os resultados do Minitab) para obter o fator lambda de 0,8. A partir de 3900 rpm, o tempo de injeção passa a ser acrescido devido a sobrepressão que começa a ser gerada pelo turbocompressor, atingindo até 1,5 ms.

Mapa de Combustível - Modo Texto												
	-100	-82	-64	-46	-28	-10	8	26	44	62	80	98
0	<u>1,5</u>	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
300	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
600	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
900	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
1200	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
1500	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
1800	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
2100	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
2400	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
2700	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
3000	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
3300	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
3600	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
3900	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
4200	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
4500	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
4800	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
5100	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
5400	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
5700	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
6000	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
6300	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5

Figura 79 – Mapa do tempo de injeção – aceleração sem carga.

Com as informações aquisitadas com o aparelho de diagnose VAS e os resultados do Minitab, formamos o mapa de ignição, onde primeiramente realizamos o acréscimo do avanço de ignição em função da rotação e posteriormente, aplicamos as correções conforme o aumento da pressão no coletor de admissão, estes valores de avanço mostraram ter uma melhor resposta do motor estando sem carga, como pode ser visto na figura 80.

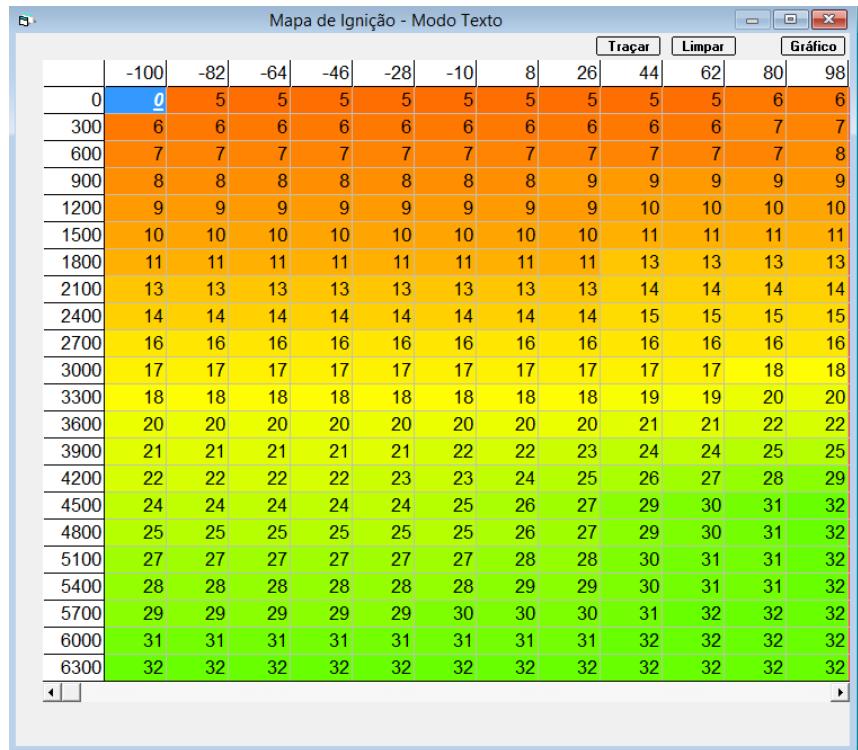


Figura 80 – Mapa do avanço de ignição – aceleração sem carga.

6. CONCLUSÃO

Conforme o conteúdo exposto neste trabalho, descrevemos em nossa metodologia os pontos de relevância da instalação de um sistema de gerenciamento eletrônico *stand alone*, assim como apresentamos as características fundamentais de todas as etapas, fornecendo um material que serve de referência para a implementação de outras plataformas de gerenciamento em aplicações veiculares.

Mesmo com a instalação do módulo *stand alone* no motor, a otimização do controle só foi possível após realizarmos todo o estudo e análise dos principais comportamentos do veículo original e quais são as estratégias e componentes utilizados pelo gerenciamento do módulo PW6X, posteriormente, com o desenvolvimento dos circuitos auxiliares. Com isso, conseguimos aplicar os mais diversos conhecimentos adquiridos nas disciplinas do nosso curso.

Com relação ao objetivo de calibração do motor, foi parcialmente atendido, pois devido às indisponibilidades no uso dos espaços da faculdade, assim como de equipamentos que foram compartilhados e ainda a ocorrência de uma pane no funcionamento do módulo PW6X, impossibilitaram a realização dos testes finais e a calibração do veículo com carga.

Como mencionado na introdução, deixaremos a interface desenvolvida como forma de contribuição para a disciplina de Unidades de Gerenciamento II, do curso de Eletrônica Automotiva da Fatec Santo André.

Desta maneira, como forma de contribuição, o presente trabalho será submetido em forma de artigo para o congresso da SAE de 2014.

6.1. Oportunidades para desenvolvimentos de estudos futuros

Conforme todo o conteúdo exposto neste trabalho, percebemos que existem um grande número de possibilidades de pesquisa, portanto, deixaremos como sugestão para projetos futuros algumas ideias que nos parecem plausíveis:

- Implementação de uma sonda lambda (*wide band*) no veículo, desenvolvimento de um circuito que monitore o fator λ ;
- Calibração do veículo com carga nos regimes de carga parcial, plena carga e partida a frio visando o desempenho;
- Calibração do veículo dentro dos limites de emissões;
- Efetuar testes de consumo de combustível;
- Teste em dinamômetros;
- Comparação com o veículo equipado com *ECU* original;

7. Referências Bibliográficas

Albaladejo, Felipe Serafim Albaladejo. Desenvolvimento de uma unidade de gerenciamento eletrônico para motores de combustão interna do ciclo Otto, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012

ANDREOLLI, Alexandre Giordani. Injeção eletrônica programável para automóveis. 2009. 129 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre.

Blaselbauer, Engenheiro mecânico Harald Blaselbauer. Combustão de madeira e controle de poluição em cerâmicas.

BOSCH. Manual de tecnologia automotiva. 25. Ed. São Paulo. Edgard Blucher. 2004
Brunetti, Franco Brunetti. Motores de Combustão Interna - Volume 1. 2013

CÂMARA, Julio César Chaves. Monitoramento eletrônico da mistura ar/combustível em motores de combustão interna ciclo Otto. 2006. 171 f. Dissertação (Mestrado em Mecatrônica) – Escola Politécnica, Universidade federal da Bahia, Salvador.

FRÓES, Marco Aurélio. Notas de aula de Motores I. FATEC Santo André. 2011

FRÓES, Marco Aurélio. Notas de aula de Motores II. FATEC Santo André. 2012

FuelTech. Unidade de gerenciamento eletrônico programável. Disponível em: <<http://www.fueltech.com.br/>>. Acessado em 19/09/2013.

GOMES, Cleber Willian. Notas de aula de Unidades de Gerenciamento. FATEC Santo André. 2010

HIS POWER. Unidade de gerenciamento eletrônico programável. Disponível em: <www.his-power.com.br/>. Acessado em 23/08/2013.

Laganá, Armando Antonio Maria Laganá. Notas de aula de Sensores e Atuadores. FATEC Santo André. 2012

Motec. Unidade de gerenciamento eletrônico programável. Disponível em: <<http://www.motec.com/>>. Acessado em 10/09/2013.

Orlando, Orlando de Savio Junior. Notas de aula de Inspeção Veicular. FATEC Santo André. 2012

PASSARINI, L. C. Projeto e análise de válvulas eletromagnéticas injetoras de combustível: uma nova proposta. Tese de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos - USP. São Carlos. 388p. 1993.

PUJATTI, Fabrício José Pacheco. Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico para motores de ignição por centelha. 2007. 221 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. SAE BRASIL. Conheça o sistema de VCR através da biela de comprimento variável. Disponível em: <<http://www.saebrasil.org.br/>>. Acessado em 13/06/2013.

Senai, Fabiano de Andrade Souto, Instrutor de Formação Profissional do Centro Automotivo - Senai MG, Belo Horizonte/Minas Gerais, 2003

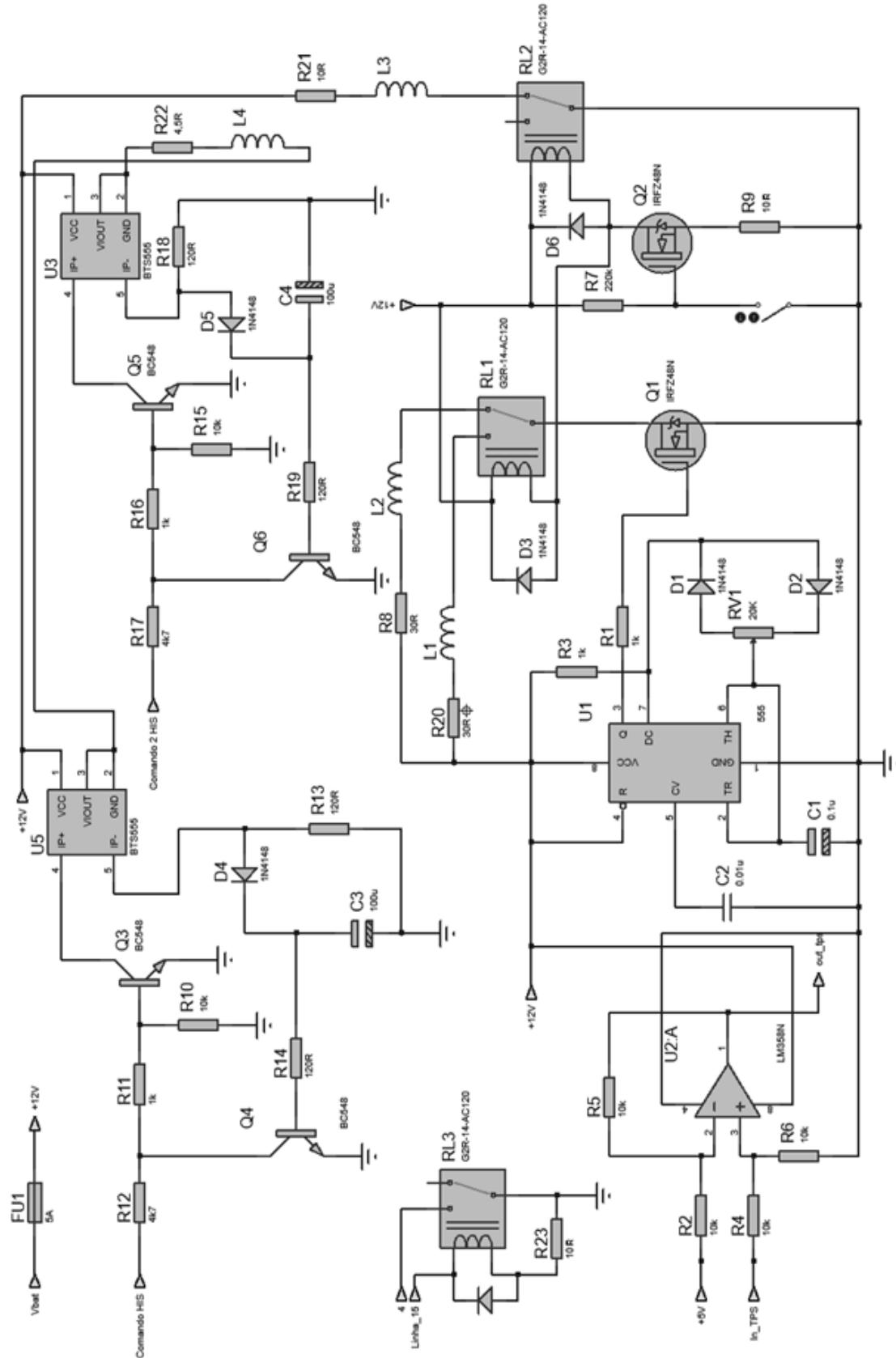
TRACE, Parts on line. Figuras em 3D. Disponivel em:
[http://www.tracepartsonline.net/\(S\(daz4dcfnhuidjpnsvkgjcj45\)\)/partdetails.aspx?PartID=10-15062010-165164&sk_Reference=&Class=TRACE&ClsID=/ROOT/C31/&fwsid=](http://www.tracepartsonline.net/(S(daz4dcfnhuidjpnsvkgjcj45))/partdetails.aspx?PartID=10-15062010-165164&sk_Reference=&Class=TRACE&ClsID=/ROOT/C31/&fwsid=). Acessado em 23/09/2013.

Varella, Carlos Alberto Alves Varella. HISTÓRICO E DESENVOLVIMENTO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA, UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO. <http://www.ufrj.br/>. Acessado em 9/04/2013.

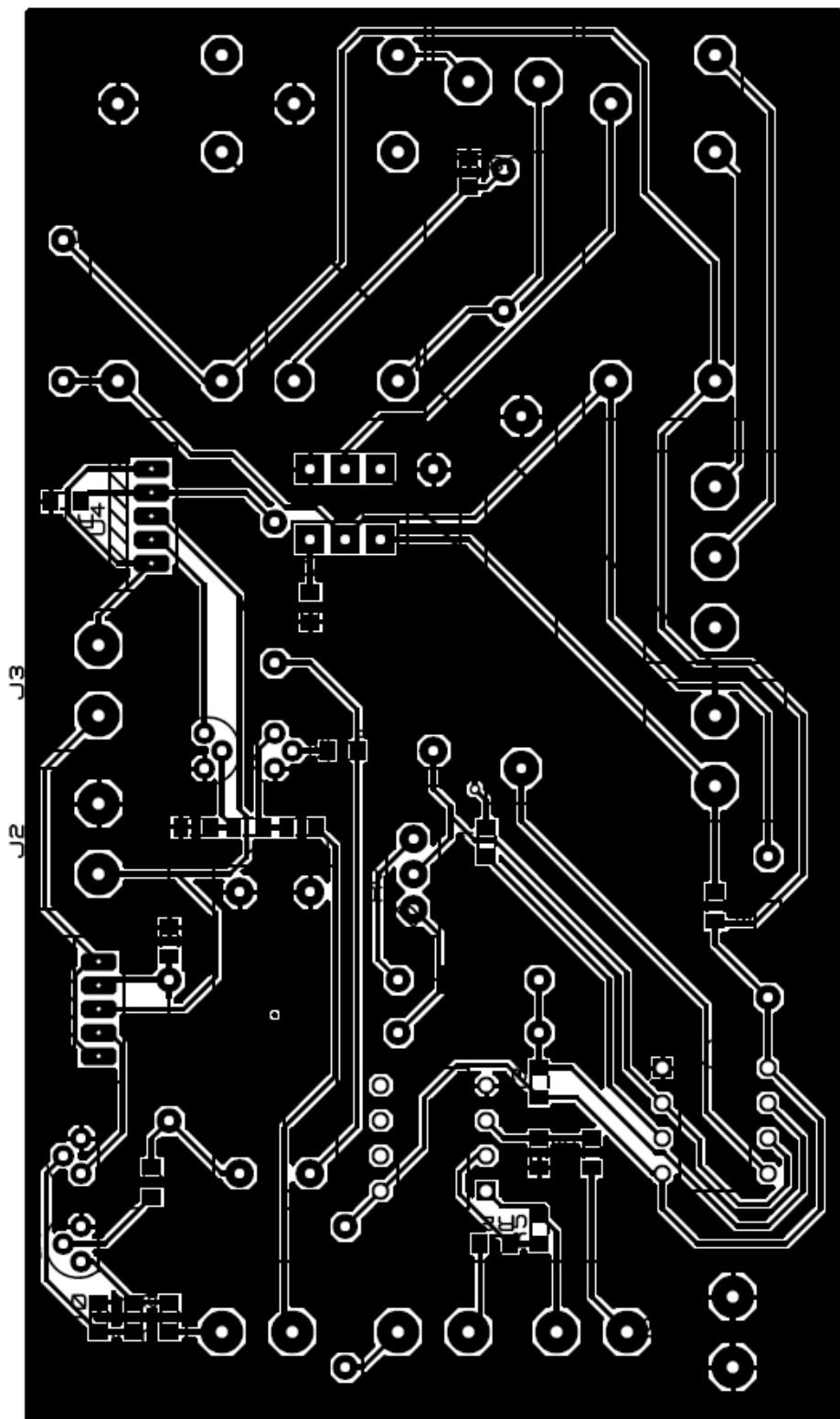
Volkswagen, Injeção direta de gasolina Bosch Motronic. Apostila de treinamento – Assistência Técnica. 2005

Volkswagen, Gerenciamento Eletrônico do Motor Motronic. Apostila de treinamento –
Assistência Técnica. 2002

Anexo I – Esquema elétrico do circuito das implementações



Anexo II – *Layout* do circuito das implementações



Anexo III – Lista de componentes

Categorias	Quantidade	Referências	Valores
Capacitores	1	C1	0.1u
Capacitores	1	C2	0.01u
Capacitores	2	C3-C4	100u
Resistores	4	R1,R3,R11,R16	1k
Resistores	6	R2,R4-R6,R10,R15	10k
Resistores	1	R7	220k
Resistores	2	R8-R9	10R
Resistores	2	R12,R17	4k7
Resistores	4	R13-R14,R18-R19	120R
Circuitos Integrados	1	U1	555
Circuitos Integrados	1	U2	LM358N
Circuitos Integrados	2	U3-U4	TBS555
Transistores	2	Q1-Q2	IRFZ48N
Transistores	4	Q3-Q6	BC548
Diodos	7	D1-D7	1N4148
Diversos	1	Fusível	5 A
Diversos	1	J1	Conector_In_1_2_Atuador
Diversos	1	J2	Conector_Supply_atuador
Diversos	1	J3	Conector_Out_1_2_atuador
Diversos	1	J4	Conector_Supply_12_5
Diversos	1	J5	Conector_TPS_IN_OUT
Diversos	1	J6	Conector_OutTurbo_OutCanister_Shift_litgh
Diversos	1	J7	Conector_Interruptor_Vairador
Diversos	1	J8	Conector_KL15_Bomba
Diversos	1	J9	Conector_GND
Diversos	3	RL1-RL3	Relé
Diversos	1	RV1	Pot 20K