

 M 2014

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO ELETRÓNICA DO MOTOR

JOÃO RICARDO CRUZ TRIGUEIRA
DISSERTAÇÃO DE Mestrado APRESENTADA
À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

Otimização da Gestão Eletrónica do Motor

João Ricardo Cruz Trigueira

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Eng.º José Ferreira Duarte



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2014-07-31

Aos meus pais e ao meu irmão

Resumo

Com a evolução dos sistemas automóveis, toda a gestão do funcionamento do motor passou a estar a cargo de um sistema eletrónico, originando a gestão eletrónica do motor. O seu objetivo é fazer com que o nível de emissões de gases poluentes esteja dentro dos padrões exigidos, sem comprometer o desempenho e conforto da condução. Adotando um conjunto de diferentes tipos de sensores, o cérebro desta gestão (centralina ou unidade de controlo do motor) recebe toda a informação de que necessita para controlar o funcionamento do motor.

O presente projeto incide sobre o estudo da gestão eletrónica do motor Diesel: os seus sensores, atuadores e os três sistemas de injeção, mas incide principalmente nos parâmetros que regem o funcionamento do motor. Esses parâmetros são pré-programados pelo fabricante e variam de motor para motor, mas podem ser alterados dentro de certos limites. Essas alterações consistem na otimização da gestão eletrónica, tendo este projeto como finalidade o estudo, seleção e otimização de vários parâmetros, nomeadamente para um sistema common-rail, através do remapeamento de vários mapas e respetivos testes em banco de potência.

As conclusões extraídas deste trabalho resumem-se ao facto de se perceber até que ponto é que a otimização da gestão eletrónica de motores a gasóleo contribui para o aumento do desempenho do automóvel e a forma como a alteração dos parâmetros otimizáveis fazem variar o seu comportamento.

Optimization of Electronic Engine Management

Abstract

With the evolution of automotive systems, an electronic system became responsible for all the engine operations, yielding the electronic engine management system. Its goal is to comply with the required standards for the level of greenhouse gas emissions, without compromising the car performance and driving comfort. Adopting a set of different types of sensors, the brain of this management (ECU or Engine Control Unit) receives all the information it needs to control all engine operations.

This project focuses on the study of Diesel electronic engine management: its sensors, actuators and the three injection systems, but essentially the parameters that control the engine operation. These parameters are pre-programmed by the automobile manufacturer and they vary from engine to engine, but they could be modified within determined limits. These changes consist in the optimization of electronic engine management, being the goal of this project, the selection and optimization of various parameters, in particular for common-rail systems, by remapping several maps and respective tests on a chassis dynamometer.

The conclusions drawn from this work are summarized to understand how much the optimization of Diesel electronic engine management contributes to increasing the performance of the automobile and the way the increments of optimizable parameters modify its behavior.

Agradecimentos

Ao meu orientador da dissertação, Eng.º José Ferreira Duarte, pela orientação e disponibilidade demonstrada ao longo de todo o projeto.

Ao Eng.º Filipe Lavandeira pela ajuda, apoio e conhecimentos partilhados durante a realização do procedimento experimental deste projeto.

Ao meu colega de curso, André Rodrigues, pela disponibilidade e boa disposição que sempre demonstrou na ajuda da estruturação e organização da dissertação ao longo do seu período de realização.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
2	Revisão bibliográfica	2
2.1	Motor Diesel	2
2.1.1	Ciclos termodinâmicos.....	2
2.1.2	Funcionamento mecânico.....	3
2.1.3	Preparação da mistura.....	5
2.2	Emissões.....	5
2.2.1	Gases poluentes	5
2.2.2	Emissões vs. Mistura ar-combustível.....	6
2.2.3	Legislação europeia.....	8
2.3	Sensores e atuadores	10
2.3.1	Sensor rpm e posição do motor.....	11
2.3.2	Sensor MAF	13
2.3.3	Sensor MAP.....	15
2.3.4	Sonda Lambda	17
2.3.5	Sensores de temperatura	18
2.3.6	Sensor posição acelerador	20
2.3.7	EGR.....	21
2.3.8	Sobrealimentação.....	23
2.4	Sistema de diagnóstico	27
2.5	Sistemas de injeção Diesel	29
2.5.1	Bomba injetora.....	30
2.5.2	Injetor-bomba.....	35
2.5.3	Common-rail	37
3	Gestão eletrónica	44
3.1	Unidade de controlo do motor (ECU)	44
3.2	O sistema EDC	45
3.3	Modos de controlo do motor Diesel.....	46
3.4	Reprogramação/Otimização.....	48
4	Parâmetros otimizáveis/Mapas	52
4.1	Mapas comuns aos vários sistemas de injeção Diesel	53
4.2	Mapas característicos do sistema bomba injetora	57
4.3	Mapas característicos do sistema injetor-bomba	58
4.4	Mapas caraterísticos do sistema common-rail	59
4.5	Mapas característicos das EDC16	61
5	Procedimento experimental	63
5.1	Objetivo.....	63
5.2	Objeto de estudo.....	63
5.3	Banco de potência	65
5.4	Método/Máquina de reprogramação	66
5.5	Programa de leitura e programação.....	68
5.6	Programação original	71
5.7	Mapeamentos, resultados e discussão	72

5.7.1	1º Mapeamento.....	72
5.7.2	2º Mapeamento.....	75
5.7.3	3º Mapeamento.....	76
5.7.4	4º Mapeamento.....	78
5.7.5	5º Mapeamento.....	79
5.7.6	6º Mapeamento.....	82
5.7.7	7º Mapeamento.....	83
5.7.8	8º Mapeamento.....	83
5.7.9	Mapeamento final	85
5.8	Comparação de resultados	88
6	Conclusões e trabalhos futuros.....	90
	Bibliografia e Sitografia	92
ANEXO A:	Principais mapas de origem do Toyota Corolla 1.4 D4D	96

Índice de Figuras

Figura 1 – Diagramas $P-v$ e $T-s$ do ciclo Diesel ideal	2
Figura 2 - Diagrama $P-v$ ciclo misto	3
Figura 3 - Funcionamento do motor Diesel vs gasolina.....	4
Figura 4 - Quatro tempos do motor Diesel.....	4
Figura 5 - Composição do ar atmosférico	5
Figura 6 - Composição dos gases de escape em função da riqueza da mistura.....	7
Figura 7 - Emissões de CO_2 de 2012 e metas a atingir (para 2015 e 2020)	9
Figura 8 - Emissões de CO_2 (g/km) e consumo de combustível (l/100km) em 2012; metas para 2020	10
Figura 9 - Princípio de funcionamento de uma unidade de controlo.....	11
Figura 10 - Composição sensor indutivo	12
Figura 11 - Sinal de saída do sensor indutivo.....	12
Figura 12 - Sensor de efeito de Hall	13
Figura 13 - Pulsação do fluxo de massa de ar num motor de quatro cilindros.....	14
Figura 14 - Sensor HFM5	14
Figura 15 - Curva característica do medidor de massa de ar do tipo filme quente (HFM).....	15
Figura 16 - Sensor MAP	16
Figura 17 - Composição do sensor de pressão	16
Figura 18 - Curva característica do sensor MAP	17
Figura 19 - Sensor da sonda lambda.....	17
Figura 20 - Resposta da sonda lambda	18
Figura 21 - Sensor CTS	19
Figura 22 - Curva característica do sensor de temperatura tipo NTC	20
Figura 23 - Curva característica sensor pedal do acelerador.....	21
Figura 24 - Versões de sensores de pedal do acelerador	21
Figura 25 - Recirculação dos gases de escape	21
Figura 26 - Efeito da abertura da EGR	22
Figura 27 - Nova unidade EGR da Denso	23
Figura 28 - Princípio de funcionamento de um turbocompressor	24
Figura 29 - Esquema de motor com turbocompressor e <i>intercooler</i>	25
Figura 30 - Funcionamento da geometria variável segundo o regime do motor.....	26
Figura 31 - Geometria a baixas rotações	26

Figura 32 - Geometria a elevadas rotações.....	27
Figura 33 - Exemplo de ficha OBD II	28
Figura 34 - Sistema de código OBD II	29
Figura 35 - Bomba injetora em linha.....	30
Figura 36 - Bomba injetora rotativa	30
Figura 37 - Esquema de uma bomba injetora em linha	31
Figura 38 - Conjunto pistão (frente) e cilindro (atrás).....	32
Figura 39 - Controlo de débito de combustível da bomba injetora	32
Figura 40 - Prato da bomba rotativa	33
Figura 41 - Grupos de componentes que compõe a bomba distribuidora	33
Figura 42 - Montagem da bomba de alta pressão	34
Figura 43 - Funcionamento do pistão distribuidor	34
Figura 44 - Injetor-bomba Bosch.....	35
Figura 45 - Sistema injetor-bomba	35
Figura 46 - Princípio de funcionamento do injetor-bomba	36
Figura 47 - Curva característica da válvula solenoide	37
Figura 48 - Acumulador rail de combustível.....	38
Figura 49 - Principais componentes do sistema common-rail.....	38
Figura 50 - Relação entre a pressão de injeção e a rotação do motor em diferentes sistemas de injeção.....	39
Figura 51 - Exemplos de bombas de alta pressão Bosch e Denso.....	40
Figura 52 - Vista em corte do injetor eletromagnético e pormenor de funcionamento.....	41
Figura 53 – Estrutura do injetor piezoelétrico	42
Figura 54 - Centralina Siemens	45
Figura 55 - Centralina Bosch EDC 16.....	45
Figura 56 - Programador de Eprom.....	49
Figura 57 - Adaptadores para programação via BDM	49
Figura 58 - Método de programação por BDM.....	50
Figura 59 - Exemplo do método de programação Boot Mode	50
Figura 60 – <i>Hardware</i> KessV2 (AlienTech) e Optican.....	51
Figura 61 - Ambiente do <i>software</i> DimSport	51
Figura 62 - Mapa <i>Driver Wish</i> - motor VAG 1.9TDI 130cv.....	53
Figura 63 - Mapa da EGR - motor VAG 1.9TDI 110cv.....	53
Figura 64 - Mapa limitador de injeção via MAF - Opel Astra G 1.7TD 68cv	54
Figura 65 – Mapa da pressão absoluta de sobrealimentação.....	55

Figura 66 - Mapa da regulação da geometria do turbo - motor VAG 1.9 TDI 130cv.....	56
Figura 67 - Mapa limitador de binário - motor VAG 1.9TDI 90cv.....	56
Figura 68 - Mapa da voltagem da bomba injetora - motor VAG 1.9TDI 90cv.....	57
Figura 69 - Mapa avanço de injeção - motor VAG 1.9TDI 90cv.....	58
Figura 70 - Mapa do início de injeção - motor VAG 1.9TDI 130cv.....	58
Figura 71 - Mapa da pressão de injeção - Toyota Corolla 1.4 D4D.....	59
Figura 72 - Mapa dos tempos de injeção - Citroen C5 2.0 HDI.....	59
Figura 73 - Limitador da pressão de injeção - Citroen C5 2.0 HDI.....	60
Figura 74 - Mapa de conversão de binário - Mercedes C220 CDI.....	61
Figura 75 - Mapa Limitador de binário (Nm) - Mercedes C220 CDI.....	62
Figura 76 – Automóvel objeto de estudo: Toyota Corolla 1.4 D4D.....	63
Figura 77 - Centralina da geração EDC16.....	65
Figura 78 - Teste em banco de potência na Autoperformance.....	66
Figura 79 - Localização da ficha OBD II.....	66
Figura 80 - <i>Hardware</i> CMD Flash.....	67
Figura 81 - <i>Software</i> CMD Flash.....	67
Figura 82 - Gravação do projeto de programação de uma ECU no WinOls.....	68
Figura 83 - Modo de visualização 2D na <i>hexdump</i>	69
Figura 84 - Caixa de diálogo com as propriedades do mapa.....	70
Figura 85 - Diagrama de potência com a parametrização original.....	72
Figura 86 - Mapa <i>Driver Wish</i> resultante do 1º mapeamento.....	73
Figura 87 - Comparação da quantidade de injeção máxima entre mapas originais.....	74
Figura 88 - Comparação da quantidade de injeção máxima após 1º mapeamento.....	74
Figura 89 - Comparação dos caudais máximos de injeção do limitador de binário original e adulterado.....	75
Figura 90 - Comparação dos caudais máximos de injeção após 2º mapeamento.....	76
Figura 91 - Novo mapa "fator lambda alvo".....	77
Figura 92 - Diagrama de potência resultado do 3º mapeamento.....	77
Figura 93 – Caudal de injeção em função do binário.....	78
Figura 94 - Mapa de incrementos de 5% no conversor de binário, expresso em caudal de injeção.....	79
Figura 95 - Representação gráfica do mapa do tempo de injeção para alguns valores da pressão de injeção.....	80
Figura 96 - Mapa de incrementos de 20% no tempo de injeção.....	80
Figura 97 - Diagrama de potência resultado do 5º mapeamento.....	81

Figura 98 - Mapa da pressão de injeção após mapeamento	82
Figura 99 - Pressão de turbo vs rotação do motor para vários caudais de injeção	84
Figura 100 - Mapa de incrementos da pressão do turbo.....	85
Figura 101 - Diagrama de potência obtido com a programação final	86
Figura 102 - Curvas de potência resultantes dos vários mapeamentos	88
Figura 103 - Curvas de binário resultantes dos vários mapeamentos	89

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Emissões de NO _x , CO e HC de motor a gasolina e a gasóleo	6
Tabela 2 - Normas Euro para veículos ligeiros (mg/km)	8
Tabela 3 - Temperaturas existentes nos automóveis	19
Tabela 4 - Códigos de avaria OBD II/EOBD	29
Tabela 5 - Dados técnicos Toyota Corolla 1.4 D4D.....	64
Tabela 6 - Características da centralina do Toyota Corolla 1.4D4D.....	65
Tabela 7 - Comparação entre os dados de potência obtidos e os anunciados	71
Tabela 8 - Comparação dos dados de potência obtidos com a parametrização original e com o mapeamento final	86

1 Introdução

Com o constante crescimento da frota de automóveis a nível mundial e o conseqüente aumento da poluição atmosférica devido à emissão de gases poluentes, foi necessário tomar medidas no sentido de regulamentar esses níveis de emissões. As medidas restritivas têm vindo a ser cada vez mais rigorosas ao longo do tempo, exigindo níveis de emissões cada vez mais baixas e consumos de combustível progressivamente menores. Para cumprir com essas exigências e considerando os avanços tecnológicos que os sistemas eletrónicos sofreram, os construtores de automóveis passaram a adotar os sistemas de controlo eletrónico nos seus motores, designados de gestão eletrónica do motor.

Todos os automóveis produzidos atualmente são desenvolvidos com gestão eletrónica. Esta é toda ela controlada pela unidade que é o cérebro de todas as operações: a centralina ou unidade de controlo do motor, que recebe todas as informações necessárias para gerir o funcionamento do motor. A unidade de controlo do motor ao receber uma grande quantidade de fluxo de informação ao mesmo tempo e com elevada capacidade de processar a informação, permite que o motor reaja de forma quase instantânea às solicitações do condutor, aliando as baixas emissões a um bom desempenho do motor. A unidade de controlo do motor recebe as informações das condições em que o motor se encontra através do estado de uma vasta gama de sensores, comparando-os com uma série de valores pré-programados (mapas) alojados na sua memória, enviando depois sinais elétricos aos atuadores com as ações que devem efetuar.

A gestão eletrónica contempla os três sistemas de injeção a gasóleo, pelo que o presente projeto incide também no funcionamento e principais características desses sistemas: o sistema de bomba injetora em linha, que depois deu lugar à rotativa ou distribuidora, seguindo-se do inovador sistema injetor-bomba, que é caracterizado por ter no mesmo corpo uma bomba para elevação da pressão e um injetor para pulverizar o combustível para a câmara de combustão; por fim, o sistema revolucionário common-rail, criado nos anos 90 pela FIAT que trouxe vantagens significativas, tais como o menor ruído de funcionamento, arranque a frio quase instantâneo, uma notável melhoria de prestações e diminuição da emissão de gases poluentes e do consumo. Tal como estes sistemas são distintos, também os são os parâmetros que regem a sua gestão eletrónica, traduzindo-se em diferentes mapas, os quais podem ser alterados com vista à otimização da gestão eletrónica do motor.

A otimização da gestão eletrónica do motor consiste na otimização de parâmetros ou dos valores que estão pré-programados na memória da unidade de controlo do motor, após uma leitura dos parâmetros originais. A otimização, quando efetuada de forma correta, proporciona inúmeras vantagens, como uma aceleração mais rápida, aumento de binário que proporciona uma resposta mais pronta e eficaz, reduzindo o uso da caixa de velocidades e aumentando o prazer da condução e até mesmo diminuição do consumo. Quando a fábrica produz um automóvel tem que satisfazer uma vasta gama de clientes e também tem um conjunto de restrições e fatores, devido a estratégias de mercado e vários compromissos, pelo que os automóveis não vêm explorados no seu potencial máximo.

A motivação para este projeto deve-se à curiosidade de entender em que consiste e como se processa a gestão eletrónica Diesel, como se pode ter acesso aos dados pré-programados de uma centralina e como se pode otimizar esses dados de forma correta, de modo a proporcionar incrementos no desempenho do automóvel, cujas matérias e conhecimentos não são facilmente acessíveis.

2 Revisão bibliográfica

2.1 Motor Diesel

2.1.1 Ciclos termodinâmicos

O funcionamento dos motores pode ser analisado pelo recurso à termodinâmica, dividindo o seu ciclo de funcionamento em diferentes processos, podendo estes ser agrupados de modo a produzir-se o ciclo global de funcionamento do motor.

Tendo por base os ciclos teóricos, o modo de funcionamento dos vários tipos de motores pode dividir-se em:

- Ciclo Otto ou de volume constante;
- Ciclo Diesel ou de pressão constante;
- Ciclo misto, dual ou de pressão limitada.

2.1.1.1 Ciclo Diesel

O ciclo Diesel é o ciclo ideal dos motores de ignição por compressão. A principal diferença entre este ciclo e o de Otto (ciclo ideal dos motores a gasolina) reside na fase de fornecimento de calor. No ciclo Diesel este é fornecido a pressão constante. Outra das principais diferenças consiste na taxa de compressão, que é maior que a do ciclo Otto, operando a taxas de compressão muito mais altas. A taxa de compressão tem de ser elevada para que no final da compressão a temperatura do ar seja suficientemente alta de modo a produzir a ignição do combustível que é injetado. Esta injeção ocorre durante parte da descida do pistão, pelo que a combustão não é considerada instantânea, como no ciclo Otto (Martins 2011).

Os processos que ocorrem no ciclo Diesel apresentam-se no diagrama $P-v$ e diagrama $T-s$ (Figura 1), nos quais se sucedem as seguintes fases (Çengel and Boles 2006):

- 1-2: processo de compressão isentrópica;
- 2-3: processo de fornecimento de calor a pressão constante (isobárico);
- 3-4: processo de expansão isentrópica;
- 4-1: processo de rejeição de calor a volume constante (isocórico).

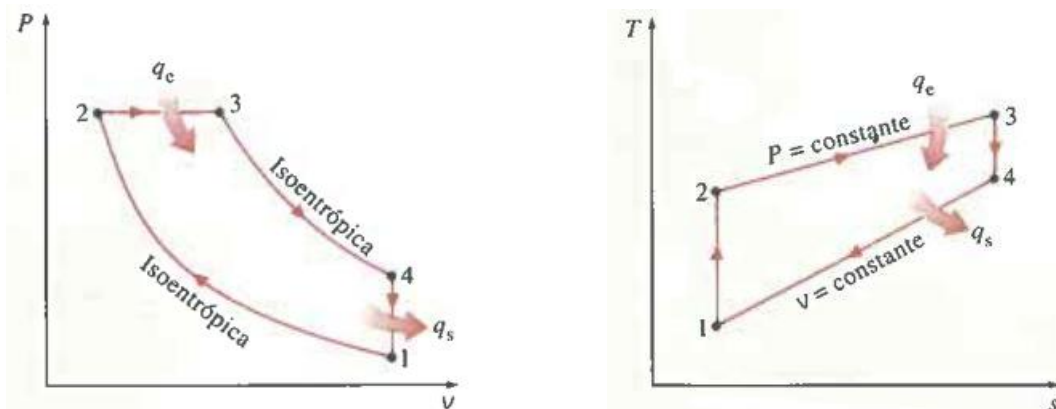


Figura 1 – Diagramas $P-v$ e $T-s$ do ciclo Diesel ideal
(Çengel and Boles 2006)

2.1.1.2 Ciclo misto

Segundo Çengel and Boles (2006), “A aproximação do processo de combustão dos motores de combustão interna como um processo de fornecimento de calor a pressão constante ou a volume constante é algo extremamente simplista e pouco realista”.

Num motor de ignição por compressão há um inicial aumento brusco de pressão, aquando da vaporização e combustão das primeiras gotas de combustível, após o que a combustão se torna mais suave e depende da taxa de injeção do combustível. Deste modo, o ciclo teórico Diesel não é o mais adequado para descrever o funcionamento deste tipo de motor, para o que se utiliza o ciclo dual ou misto, traduzindo uma modelação do processo de combustão dos motores a gasolina e Diesel como uma combinação de dois processos de transferência de calor, um a volume constante e outro a pressão constante (Martins 2011).

No ciclo misto o fornecimento de calor supõe-se em duas etapas, uma a volume constante e outra a pressão constante. O diagrama $P-v$ do ciclo dual ideal está representado na seguinte figura:

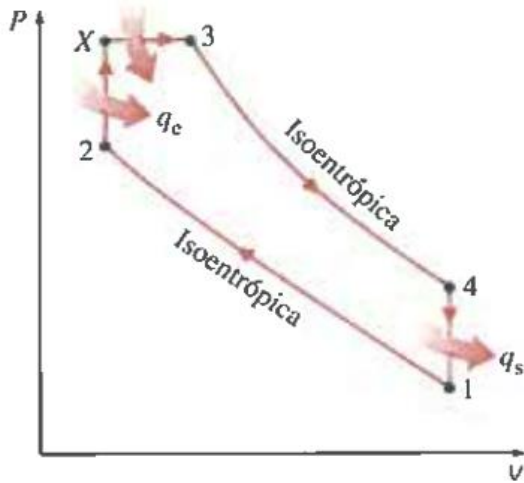


Figura 2 - Diagrama $P-v$ ciclo misto
(Çengel and Boles 2006)

As transformações são descritas da seguinte forma:

- 1-2: processo adiabático (isentrópico) de compressão do ar;
- 2-X: processo isocórico, dando-se a explosão instantânea da mistura ar e combustível;
- X-3: processo isobárico, onde o combustível é injetado e queimado durante o aumento de volume, seguindo-se o processo de fornecimento de calor a pressão constante;
- 3-4: processo adiabático, em que o fluido é expandido;
- 4-1: processo isocórico, que corresponde à perda de calor.

2.1.2 Funcionamento mecânico

Tal como abordado por Martins (2011), o motor de ignição comandada que funcionado segundo o ciclo de Otto apresenta alguns problemas, como necessitar de um combustível de qualidade especial, estar limitado a um valor máximo de taxa de compressão e necessitar que a mistura ar-combustível esteja dentro de limites apertados. Todas estas limitações traduzem-se numa redução do rendimento térmico. Rudolph Diesel, nos anos de 1890, concebeu um ciclo cuja aplicação prática permite resolver os problemas atrás enumerados. Basicamente, este motor é muito semelhante ao motor de ignição por faísca (gasolina), mas apresenta algumas diferenças no seu funcionamento.

Nos motores a gasolina, a mistura de ar-combustível é comprimida a uma temperatura abaixo da temperatura de autoignição do combustível, e o processo de combustão é iniciado pela faísca da vela de ignição. Nos motores Diesel, o ar é comprimido até uma temperatura acima da temperatura de autoignição do combustível, e a combustão é iniciada pelo contato à medida que

o combustível é injetado nesse ar quente. Assim, a vela de ignição é substituída por um injetor de combustível nos motores a Diesel (Figura 3).

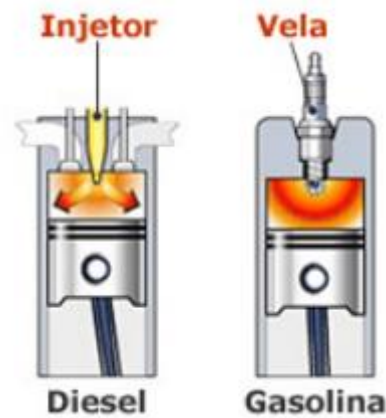


Figura 3 - Funcionamento do motor Diesel vs gasolina
(Çengel and Boles 2006)

Os quatro tempos do motor Diesel (Figura 4) podem ser descritos da seguinte forma:

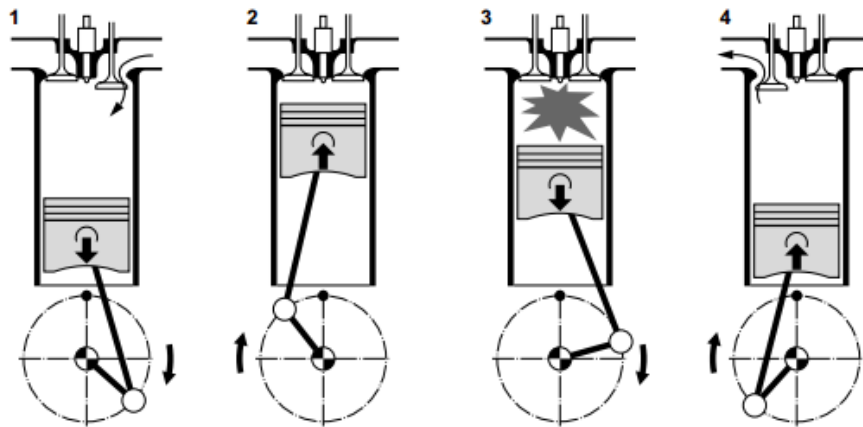


Figura 4 - Quatro tempos do motor Diesel
(Bosch 1999)

- 1) Admissão: o pistão parte do PMS descendo até ao PMI. A válvula de admissão encontra-se aberta durante este período, admitindo ar puro dentro do cilindro, enchendo-o.
- 2) Compressão: com ambas as válvulas fechadas, o pistão sobe até ao PMS, comprimindo o ar fresco encerrado no cilindro e elevando a sua pressão (30-55 bar) e temperatura (700-900° C).
- 3) Combustão-expansão: começando no PMS ou antes, o combustível é injetado no seio do ar quente, inflamando-se espontaneamente no contato com este. A injeção (e a combustão) continua durante parte da descida do pistão, para que a pressão se mantenha o mais constante possível, sendo este o tempo do motor;

- 4) Escape: quando o pistão chega ao PMI a válvula de escape abre-se, permitindo que os gases queimados sejam descarregados para a atmosfera durante a subida do pistão, através do sistema de escape.

Este tipo de motores necessita assim de elevadas temperaturas no final da compressão, pelo que apresenta elevados valores de taxa de compressão, entre 15 e 22, quase o dobro dos motores a gasolina (Martins 2011).

2.1.3 Preparação da mistura

A preparação da mistura ar-combustível faz-se pulverizando intensamente o combustível e injetando-o a grande velocidade no seio do ar, preferencialmente dotado de elevada turbulência e alta temperatura. Procura-se fazer afetar combustível a toda a massa de ar. Idealmente, o *spray* de combustível deveria misturar-se com a globalidade da massa de ar, o que implicaria haver gotas com diferente penetração e dirigidas para diferentes zonas da câmara. Tais requisitos não são possíveis de preencher globalmente, sendo a combustão penalizada. Assim, não é possível utilizar a globalidade do ar, sendo a combustão realizada sempre em excesso de ar.

Uma outra particularidade deste tipo de combustão é a inexistência de variação (dispersão) cíclica, específica do motor a gasolina. Mesmo em cargas reduzidas (misturas excessivamente pobres), não há o problema da não combustão, pois todo o combustível injetado pode ser queimado. Na verdade, quanto mais pobre for a mistura, mais fácil se torna a sua total combustão. Tal acontece porque a energia para a inflamação é fornecida por transferência de calor entre o ar e o combustível e não a partir de uma fonte exterior de energia. A expansão da frente de chama é restringida pela existência de oxigénio junto do combustível.

O maior problema na combustão do motor Diesel é conseguir-se suficiente mistura entre o *spray* de combustível e o ar, pois a taxa de mistura controla a taxa de combustão. Motores com cilindros muito largos rodam a velocidades muito lentas, pois o combustível tem de “viajar” desde o injetor até aos cantos mais remotos da câmara de combustão à procura de ar. Este tipo de motores requer grandes penetrações do combustível, tendo a injeção de se realizar a pressões muito elevadas (Martins 2011).

2.2 Emissões

2.2.1 Gases poluentes

O ar que todos respiramos é o nome dado à mistura de gases que compõem a atmosfera da Terra. Estes gases dividem-se em 20,95% de oxigénio (O_2), 0,03% de dióxido de carbono (CO_2), 78,09% de azoto (N_2) e 0,93% de partículas e outros gases (Figura 5). A poluição do ar consiste em vários elementos e gases que combinados com o oxigénio e nitrogénio conduzem à destruição do ar atmosférico (Brady 2001).

Existem diversas fontes de poluição do ar, incluindo a produção de energia, indústria e atividades de transporte.

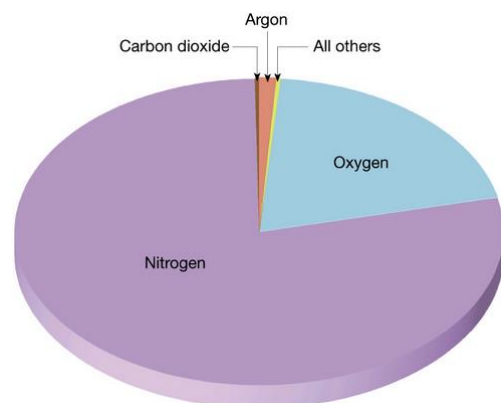


Figura 5 - Composição do ar atmosférico (Tarbuck and Lutgens 2000)

Os motores de combustão interna são assim os principais responsáveis pela poluição do ar nos centros urbanos. São conhecidos três modos pelos quais estes motores emitem elementos considerados poluentes para a atmosfera (Martins 2011):

- Por evaporação do combustível no depósito ou nos elementos do circuito de fornecimento de combustível (ex: carburador);
- Por emissão para a atmosfera dos gases contidos no cárter;
- Pelos gases de escape.

Tanto o gasóleo como a gasolina são primariamente compostos por hidrocarbonetos, que por sua vez são produtos resultantes do refinamento do petróleo que são misturados com aditivos químicos para o uso nos motores de combustão de interna. O carbono no combustível produz os subprodutos CO (monóxido de carbono), HC (hidrocarbonetos), partículas, NO_x (óxidos de azoto) e óxidos sulfúricos. Os dois tipos de combustíveis referidos são assim misturas de hidrocarbonetos contendo átomos de hidrogénio e carbono. Num motor perfeito, o oxigénio converte o hidrogénio e o carbono do combustível em, respetivamente, água e dióxido de carbono.

As quantidades dos compostos poluentes que são emitidos pelos escapes dos veículos são dependentes do desenho do motor e das condições de utilização, sendo da seguinte ordem de magnitude:

Tabela 1 - Emissões de NO_x, CO e HC de motor a gasolina e a gasóleo
(Martins 2011)

Poluente	Motor a gasolina	Motor a gasóleo
NO _x	500-1000 ppm 20 g/kg _{comb}	50-1000 ppm 15 g/kg _{comb}
CO	1-2% 200 g/kg _{comb}	100-500 ppm 10 g/kg _{comb}
HC	3000 ppm 25 g/kg _{comb}	400 ppm 3 g/kg _{comb}

Repare-se na tabela anterior que os motores a gasóleo emitem níveis de NO_x que, embora sejam mais baixos, são da mesma ordem de grandeza dos motores a gasolina. Os teores de HC são 5 vezes mais baixos, mas este tipo de motores emitem partículas sólidas (0,1 micron de diâmetro), produzindo fumo. Estes motores, como funcionam com misturas pobres, emitem muito pouco CO (Martins 2011).

2.2.2 Emissões vs. Mistura ar-combustível

A emissão dos vários poluentes varia grandemente com a riqueza da mistura.

Tal como evidência a Figura 6, para misturas pobres há pequena formação de CO. A sua formação é primeiramente dependente da riqueza da mistura, aumentando com o seu enriquecimento. Em misturas ricas é evidente que, não havendo suficiente oxigénio para oxidar

todos os átomos de carbono, dar-se-á a produção de CO. Quanto aos HC, a sua emissão também aumenta com a riqueza da mistura, mas não tão intensamente como no caso do CO.

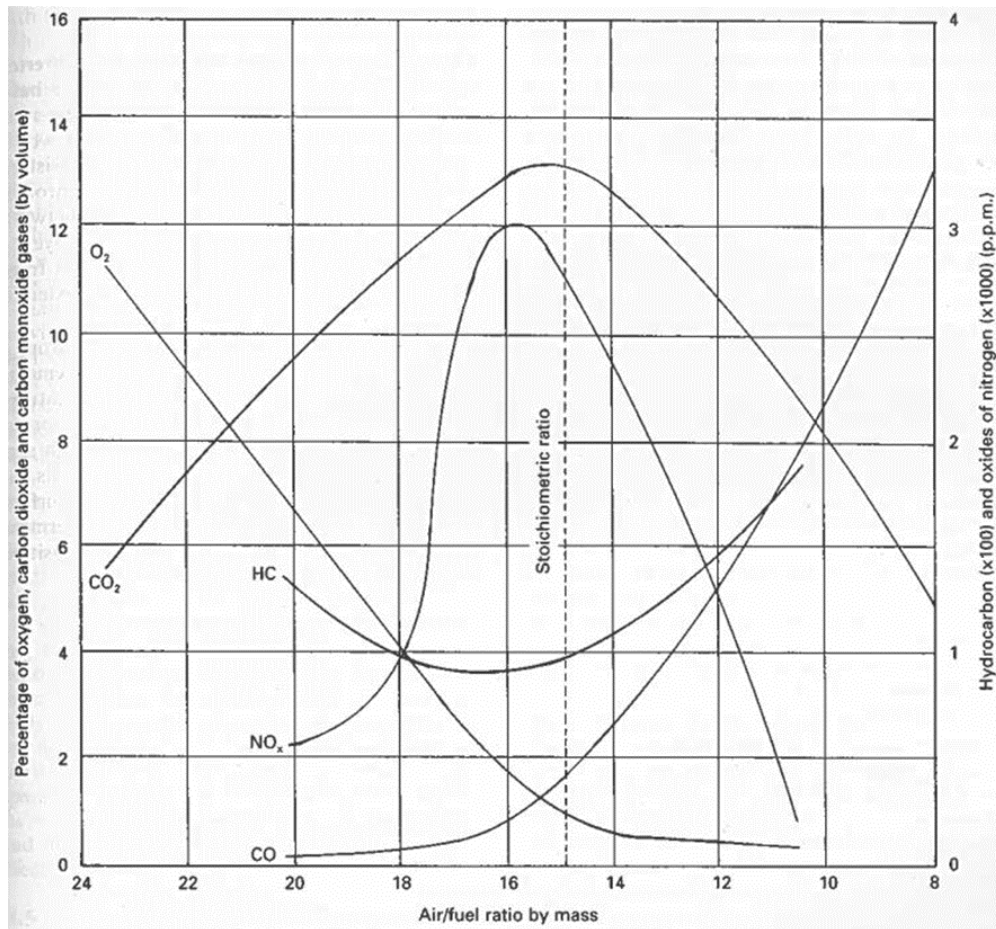


Figura 6 - Composição dos gases de escape em função da riqueza da mistura
(Challen and Baranescu 1999)

O nível de produção de NO_x diminui para misturas pobres e ricas, sendo o máximo de emissão coincidente com misturas estequiométricas e levemente pobres. Desta forma, considerando um motor a trabalhar à temperatura normal de funcionamento (estando ele quente), quanto mais pobre for a mistura, menor quantidade de poluentes emitirá ele, com a exceção dos HC, que aumenta a partir de um certo valor de pobreza da mistura, em virtude da ocorrência de ciclos sem combustão.

Se a temperatura do motor for mais baixa, o espectro de emissão de poluentes muda, havendo uma menor produção de NO_x (temperatura mais baixa) e uma muito maior produção de HC. A elevação da produção dos hidrocarbonetos não queimados deve-se ao facto de as paredes dos cilindros e câmaras de combustão estarem a temperaturas baixas, o que origina que a extinção de chama se dê mais facilmente, originando que a mistura por queimar seja descarregada pelo escape.

No caso específico de motores a gasóleo, o processo de formação dos NO_x é semelhante aos motores a gasolina mas, como as temperaturas de combustão são mais baixas, a produção desses compostos são menores. Já no caso dos HC, devido há presença de menos combustível em contato com as paredes do cilindro nos motores a gasóleo, a produção desses compostos é

menor que nos motores a gasolina. A principal fonte de HC é o combustível que permanece no bico do injetor durante as elevadas pressões de combustão e é daí desalojado durante a súbita expansão aquando da abertura da válvula de escape. As partículas sólidas, características destes motores, são resultantes de combustões incompletas dos hidrocarbonetos de cadeias longas, onde os átomos de carbono não têm tempo para reagirem com o oxigénio do ar. Felizmente parte destas partículas ardem nos gases quentes e oxidantes do escape (Martins 2011).

2.2.3 Legislação europeia

Entre 1990 e 2009, as emissões de gases de efeito estufa provenientes do tráfico automóvel na UE aumentaram em 27%, passando de 12 para 17% das emissões totais na UE. Já as emissões dos outros gases poluentes têm diminuído desde 1990, mas muitas cidades continuam a exceder os limites impostos pela UE. Os limites para os níveis de emissões de poluentes para veículos ligeiros existem na UE desde o início dos anos 70, enquanto para veículos pesados surgiram no fim dos anos 80. Hoje em dia, os níveis de emissões são controladas sobre dois enquadramentos básicos: as “Euro standards” (ou normas Euro) e regulação para as emissões de dióxido de carbono.

As “Euro standards” (Tabela 2) regulam as emissões de óxidos de azoto (NO_x), hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e partículas (PM). Existem limitações separadas para veículos ligeiros (abaixo de 3500 kg) e veículos pesados, sendo designadas de “Euro” procedida por um número.

Tabela 2 - Normas Euro para veículos ligeiros (mg/km)
(Lindqvist 2012)

	NO _x		THC ¹		THC ¹ + NO _x		PM		PN ²	
	Diesel	Petrol	Diesel	Petrol	Diesel	Petrol	Diesel	Petrol	Diesel	Petrol
Euro 1 1992.07	-	-	-	-	970	970	140	-	-	-
Euro 2 1996.01	-	-	-	-	700/900 ³	500	80-100	-	-	-
Euro 3 2000.01	500	150	-	200	560	-	50	-	-	-
Euro 4 2005.01	250	80	-	100	300	-	25	-	-	-
Euro 5a 2009.09	180	60	-	100	230	-	5	5	-	-
Euro 5b 2011.09	180	60	-	100	230	-	5	5	6x10 ¹¹	-
Euro 6 2014.09	80	60	-	100	170	-	5	5	6x10 ¹¹	-

¹ THC = Total hydrocarbons

² Particle number is expressed as the maximum allowed number of particles per kilometre (#/km).

³ Indirect Injection (IDI) and Direct Injection (DI) engines respectively.

Em dezembro de 2006 foi aprovado o regulamento que hoje se encontra em vigor: norma Euro 5. Como demonstrado na Tabela 2, o principal efeito da Euro 5 foi a redução dos limites das partículas (PM) nos automóveis Diesel em 80%, reforçando também os limites para o NO_x. Quanto à Euro 6, norma que apenas entrará em vigor em setembro de 2014, a principal mudança contempla uma maior redução das emissões de NO_x dos motores Diesel para um nível mais próximo ao que é exigido atualmente nos motores a gasolina. Repare-se que as normas Euro 5 e Euro 6 limitam o mesmo valor de emissões de NO_x nos motores a gasolina, mas nos motores a gasóleo o limite cai de 180 mg/km para 80 mg/km, traduzindo-se numa diferença de apenas 20 mg/km de emissões daquele poluente entre automóveis Diesel e gasolina.

Salienta-se também o facto de anteriormente à Euro 5, os limites dos níveis de partículas para motores a gasolina não foi regulamentada, já que as emissões eram baixas comparando com os

motores Diesel. No entanto, alguns motores de injeção direta a gasolina podem criar níveis de emissões de partículas comparáveis com os motores Diesel, tendo sido imposto o mesmo limite de 5 mg/km na Euro 5 e Euro 6 para automóveis com motores a gasóleo e a gasolina (Lindqvist 2012).

Quanto às emissões de CO₂, a primeira regulamentação para a limitação do seu nível foi acordado em 2009. Esta regulamentação estipulou para 2015 um limite de 130 g/km para uma média de automóveis produzidos combinando todos os construtores. Para os construtores individuais foi permitido um limite superior de emissões de CO₂, dependendo do peso médio do automóvel das suas frotas. Quanto maior o peso médio dos automóveis vendidos pelo construtor, menos agressivo era o limite imposto. Uma nova norma similar para os novos automóveis ligeiros de mercadorias foi introduzida em 2011, definindo um limite 175 g/km para 2017.

Por sua vez, no fim de 2013 o Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia chegaram a um acordo quanto a duas propostas a serem implementadas em 2020. O limite de emissões de CO₂ a partir desse ano estipulou-se em 95 g/km para os automóveis ligeiros de passageiros e de 147 g/km para os automóveis ligeiros de mercadorias.

A regulamentação existente para 2015 já levou a bons resultados: os níveis médios de emissões dos novos automóveis caiu de 160 g/km em 2006 para 132 g/km em 2012, uma redução de 17%. A taxa de redução anual é cerca do dobro do que era antes da introdução daquelas metas. Por sua vez, a meta para 2015 de 130 g/km está perto de ser atingida tendo em conta os dados de 2012. Tal como se pode ver na Figura 7, a maior parte dos construtores já atingiram as suas metas.

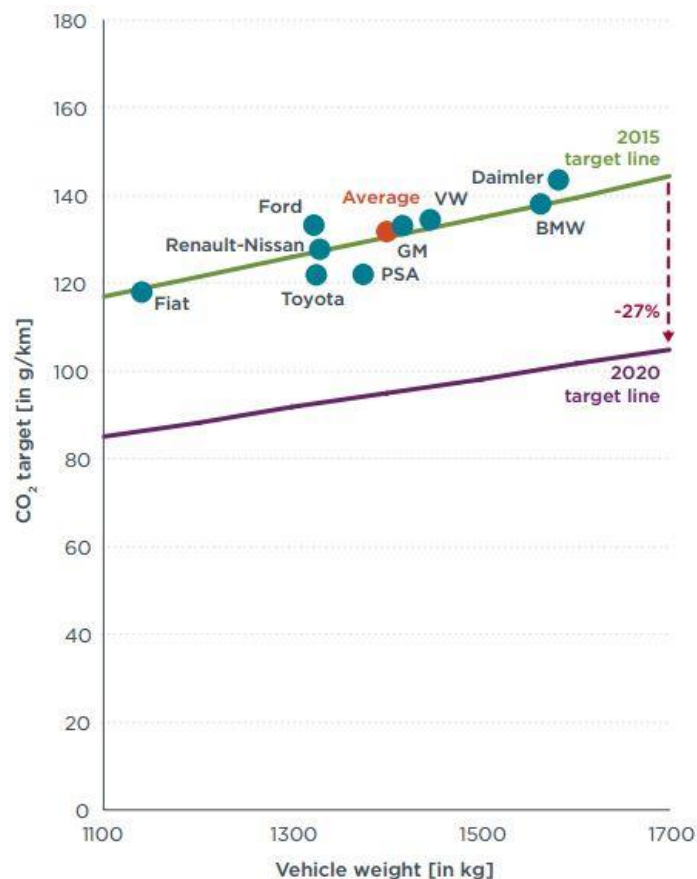


Figura 7 - Emissões de CO₂ de 2012 e metas a atingir (para 2015 e 2020)

(Mock 2014)

A redução requerida entre 2015 e 2020 é de 27% para todos os construtores: 95 g/km, que corresponde a um consumo de combustível de aproximadamente 3,8 litros por cada 100 km. A Figura 8 representa a média das emissões de CO₂ e consumo de combustível em 2012, bem como as metas a atingir em 2020; as barras verdes representam o quanto foi cumprido a mais em 2012, tendo em conta as metas para 2015. Repare-se que tanto o grupo PSA como a Toyota já cumpriram bem as metas para 2015 e já estão a caminho de cumprir as metas para 2020. Em contraste surgem a Ford e a Daimler como as construtores que maior caminho terão que percorrer para alcançar as metas (Mock 2014).



Figura 8 - Emissões de CO₂ (g/km) e consumo de combustível (l/100km) em 2012; metas para 2020
(Mock 2014)

2.3 Sensores e atuadores

Os sensores são transdutores que convertem grandezas físicas em sinais elétricos e têm como função informar a ECU (unidade de controlo do motor) sobre diversas condições de funcionamento do motor, como a temperatura do líquido de refrigeração e do ar admitido, a pressão do coletor de admissão, a posição do acelerador, entre outros.

Considerada como o “cérebro” da injeção eletrónica, a ECU monitoriza e controla o funcionamento do sistema. Ela encarrega-se de analisar os sinais elétricos recebidos dos sensores e processa esses sinais de forma a ativar os atuadores para realizarem a sua função corretamente (Figura 9).

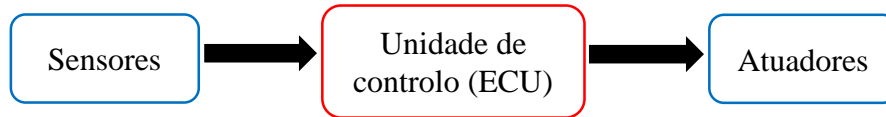


Figura 9 - Princípio de funcionamento de uma unidade de controlo

Os atuadores, por sua vez, convertem os sinais elétricos recebidos da unidade de controlo para grandezas físicas, correspondente às ações mecânicas e/ou elétricas que devem executar.

2.3.1 Sensor rpm e posição do motor

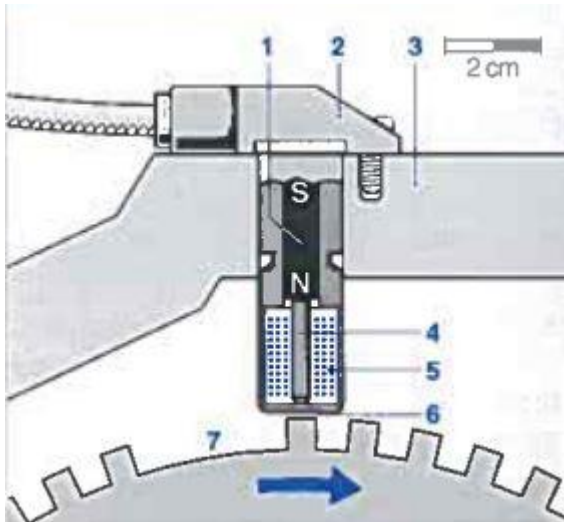
A medição da velocidade de rotação do motor e a posição em que se encontram os seus pistões são parâmetros indispensáveis na gestão eletrónica do motor, nomeadamente no controlo da injeção de combustível e da ignição, sendo esta exclusiva nos motores a gasolina. Estes sensores são normalmente colocados junto a um disco ligado à cambota, mas também podem ser combinados com sensores de posição da árvore de cames para monitorizar a relação entre os pistões e as válvulas; aspeto especialmente interessante em motores com comando de válvulas variável (VVT). Estas informações são geralmente recolhidas pelo mesmo sensor e por 2 tipos de sensores: sensores indutivos (eletromagnéticos) ou sensores de efeito Hall (Martins 2011).

2.3.1.1 Sensor indutivo

Tal como o a designação o indica, este sensor é do tipo indutivo que “sente” a passagem dos vários dentes; de acordo com o projeto do motor, o sensor pode estar montado em diferentes lugares, mas o mais comum é geralmente num disco ligado à cambota (volante de inércia). Da frequência deste sinal calcula-se a velocidade de rotação do motor e a medição da posição absoluta consegue-se pela eliminação de dentes (Martins 2011).

Segundo Robert Bosch Gmb (2004), o sensor indutivo (Figura 10) é montado junto a um disco dentado ferromagnético (7) que são separados por um estreito intervalo (6). É constituído por um pino ou núcleo ferromagnético (4) envolvido por uma bobine (5) e ligado a um íman permanente (1), gerando assim um campo magnético que se prolonga até ao disco dentado. A rotação do disco faz com que haja uma variação do fluxo magnético através da bobine, aumentando quando é detetado a presença de um dente; esta variação com a deteção ou não de dentes causa assim uma flutuação no fluxo que é detetado pelo circuito eletrónico do sensor que o transforma num sinal de saída (Figura 11).

Devido ao facto de os intervalos entre a tensão máxima e mínima serem cada vez menores à medida que a velocidade do motor cresce, a amplitude do sinal também varia com a velocidade, sendo necessário pelo menos 30 rpm para gerar um sinal adequado.



Legenda Figura 10:

- 1) Ímã permanente
- 2) Alojamento do sensor
- 3) Bloco do motor
- 4) Pino (núcleo ferromagnético)
- 5) Bobine
- 6) Intervalo entre disco e sensor
- 7) Disco dentado com espaço de referência

Figura 10 - Composição sensor indutivo

(Robert Bosch Gmb 2004)

O número de dentes do disco dentado depende do tipo de aplicação. Por exemplo, em sistemas de gestão eletrônica controlados por solenoide-válvula é normalmente usado um disco com 60 dentes, em que 2 deles estão ausentes, correspondendo a um disco dentado de 58 dentes. Esta “falha” de 2 dentes é usada para definir a posição da cambota e serve como referência para sincronizar com a ECU, permitindo saber a posição do motor, geralmente correspondendo ao PMS do primeiro cilindro.

Existe uma outra versão de discos dentados em que existe apenas um dente por cada cilindro. Por exemplo, no caso de motores de 4 cilindros, o disco dentado tem 4 dentes, correspondendo à geração de 4 impulsos por rotação.

A Figura 11 representa o sinal de saída do sensor em questão, em que 1 corresponde à situação em que são detetados dentes, produzindo o sinal mais elevado na saída do sensor, 2 corresponde quando o sensor passa pelos espaços entre dentes (tensão mínima) e 3 representa o espaço de referência, situação que permite identificar a posição do motor.

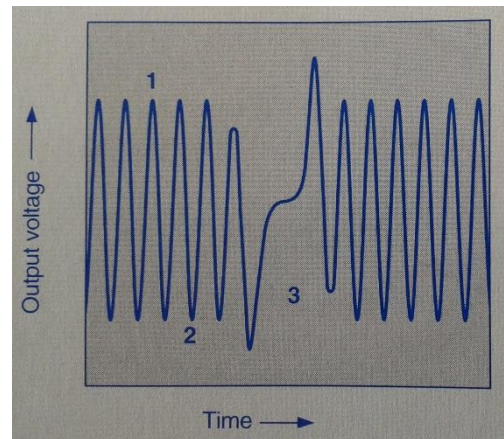


Figura 11 - Sinal de saída do sensor indutivo

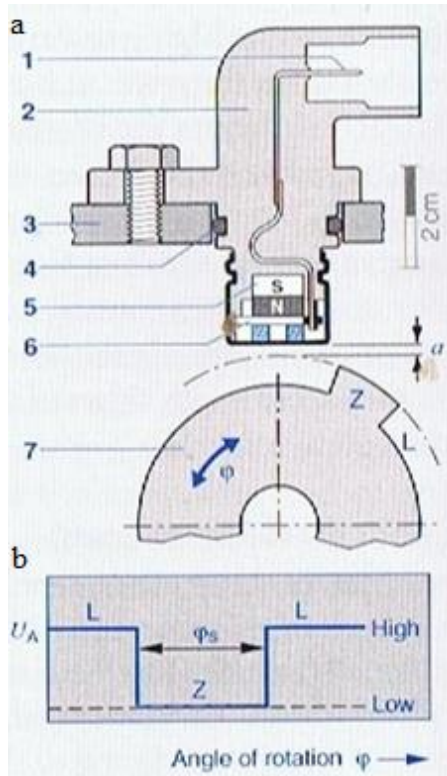
(Robert Bosch Gmb 2004)

2.3.1.2 Sensor de efeito de Hall

Tal como o nome o indica, estes sensores (Figura 12a) fazem uso do efeito de *Hall*. Uma roda dentada constituída por um material ferromagnético (posição 7) roda com a cambota; o circuito integrado de efeito de *Hall*, localizado entre a roda dentada e um ímã permanente (posição 5) que gera uma força no campo magnético perpendicular ao elemento de *Hall*.

Se um dos dentes da roda dentada (*Z*) passar pelo sensor, modifica a força do campo magnético produzido. Isto leva a que os eletrões, alimentados por uma tensão longitudinal ao longo do elemento, sejam defletidos perpendicularmente à direção da corrente.

Isto resulta num sinal em tensão conhecido como “*Hall voltage*” na gama dos milivolts, que é independente da velocidade relativa entre o sensor e o disco dentado. O circuito eletrónico integrado no sensor de *Hall* condiciona o sinal e produz na sua saída uma onda quadrada (Figura 12b “High”/“Low”) (Robert Bosch Gmb 2004).



Legenda Figura 12:

- a) Posição e constituição do sensor
- b) Sinal de saída característico
- 1) Conetor elétrico
- 2) Alojamento do sensor
- 3) Bloco do motor
- 4) Anel de vedação
- 5) Íman permanente
- 6) Hall-IC (circuito integrado)
- 7) Roda dentada
- a) Intervalo entre disco e sensor
- φ) Ângulo de rotação

Figura 12 - Sensor de efeito de Hall
(Robert Bosch Gmb 2004)

2.3.2 Sensor MAF

O sensor MAF (*mass air flow*) ou sensor de fluxo massa de ar é um dos sensores mais importantes para uma correta gestão eletrónica do motor que mede a quantidade de ar que está a entrar para o motor. Uma grande quantidade de ar indica que o motor está sob carga (requer mais combustível), enquanto uma quantidade pequena de ar é sinal de que o motor está a funcionar em marcha lenta (requer menos combustível) (Loureiro 2012).

Os vários tipos de sensores Bosch existentes são (Robert Bosch Gmb 2004):

- Medidor de massa de ar tipo prato-sensor (LMM);
- Medidor de massa de ar tipo fio quente (HLM);
- Medidor de massa de ar tipo filme quente (HFM2 e HFM5).

Os sensores de caudal de ar do tipo HLM usam o princípio do fio quente e medem diretamente o caudal mássico de ar. O princípio básico é que à medida que o ar passa pelo coletor de admissão, tende a arrefecer o fio, sendo aquecido pela passagem de corrente elétrica, que através de uma resistência de medição gera um sinal em tensão que é enviado para a unidade de controlo do motor (ECU) (Martins 2011).

No entanto, em contraste com os seus antecessores, surgiu o sensor do tipo filme quente HFM5 que superou todas as expectativas. A particularidade deste é a capacidade de medir o fluxo de ar em ambas as direções com o sinal correto, algo que não era capaz o sensor descrito no parágrafo anterior. Significa assim que os breves fluxos de retorno que ocorrem do resultado da pulsação do ar já não leva a erros de medição (Figura 13).

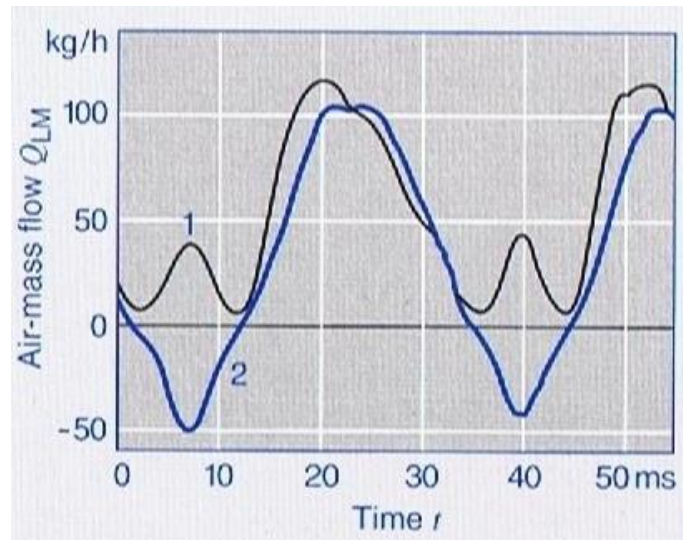
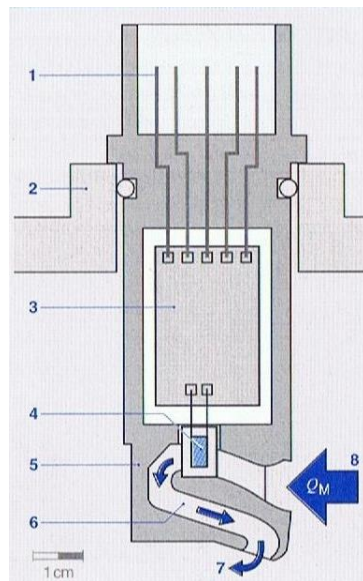


Figura 13 - Pulsação do fluxo de massa de ar num motor de quatro cilindros
 (curva 1: sensor HLM; curva 2: sensor HFM)
 (Robert Bosch Gmb 2004)

A constituição do sensor de fluxo de massa de ar HFM5 pode ser visualizado na Figura 14, cujo elemento sensor (4) é aquecido e mantido a temperatura constante através de uma resistência elétrica, dissipando calor para o ar que o atravessa.



Legenda Figura 14:

- 1) Conetor elétrico
- 2) Tubo de medição
- 3) Circuito eletrónico
- 4) Elemento sensor
- 5) Alojamento do sensor
- 6) Tubo de medição de fluxo parcial Q_M
- 7) Saída do caudal de ar Q_M
- 8) Admissão do caudal de ar Q_M

Figura 14 - Sensor HFM5
 (Robert Bosch Gmb 2004)

A inovação neste sensor consiste na utilização de sensores de temperatura localizados em cada um dos lados da resistência, um a montante e outro a jusante. Desta forma, quando o fluxo é nulo ($Q_M=0$), os sensores indicam a mesma temperatura. À medida que o ar atravessa o sensor de massa de ar, o sensor de temperatura a montante é arrefecido e o sensor a jusante é aquecido pelo ar; desta forma, quanto maior é o caudal de ar, maior é a diferença de temperatura entre os dois sensores.

Independentemente da temperatura absoluta do ar que flui pelo sensor, o diferencial de temperatura resultante é uma medida para o fluxo de ar que o atravessa.

Um circuito eletrónico integrado no sensor (posição 3 da Figura 14) converte esse diferencial de temperatura num sinal analógico (0 a 5 Volts) que é enviado e processado pela ECU.

Apenas uma parte do caudal de ar é registado pelo sensor; a massa total que flui através do tubo de medição é determinada através de calibração - curva característica do sensor (Figura 15). Usando a característica do sensor que se encontra programado na ECU, o sinal analógico é convertido em valores que representam a fluxo de massa de ar (kg/h) (Robert Bosch Gmb 2004).

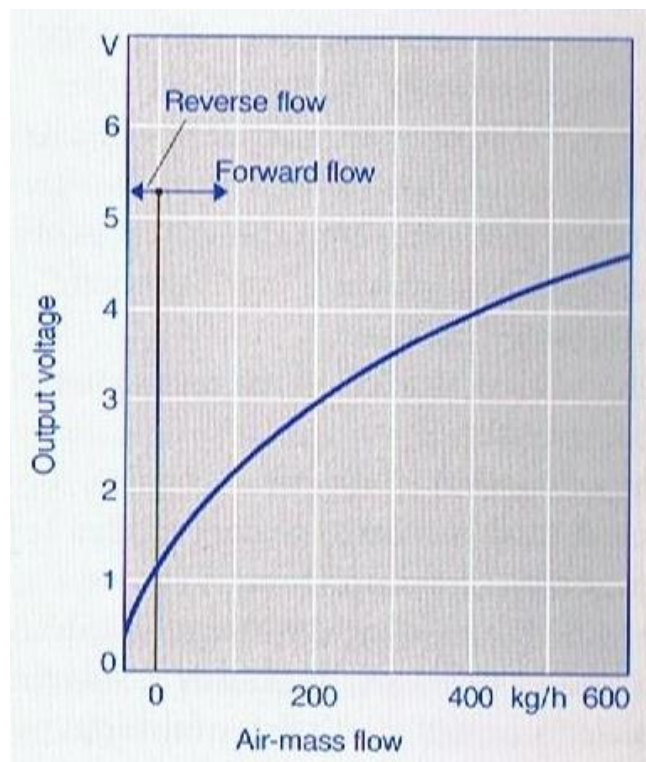


Figura 15 - Curva característica do medidor de massa de ar do tipo filme quente (HFM)
(Robert Bosch Gmb 2004)

2.3.3 Sensor MAP

O sensor MAP (*manifold absolute pressure*) (Figura 16) é um sensor que mede a pressão absoluta no coletor de admissão. Como a pressão do coletor de admissão está diretamente relacionada com a carga do motor, a ECU necessita de saber a pressão do coletor de admissão para efeitos de cálculo de parâmetros de injeção, controlo de pressão do turbo, definição com precisão dos valores de massa de ar que entra para o motor, entre outros.

Existem diversos tipos de sensores MAP dependendo do tipo de aplicação; este sensor (Figura 17) é normalmente constituído por uma pastilha de silício (4) ligada micro mecanicamente a um fino diafragma, montado no interior de uma câmara (6). Uma das superfícies da pastilha está em contato com uma pressão de vácuo de referência (2) e a superfície oposta em contato com a pressão a ser medida (7).

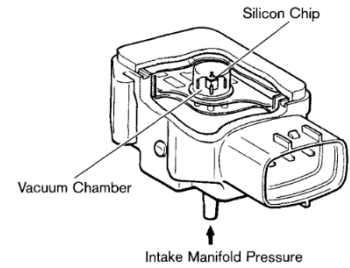


Figura 16 - Sensor MAP
(Tham 2011)

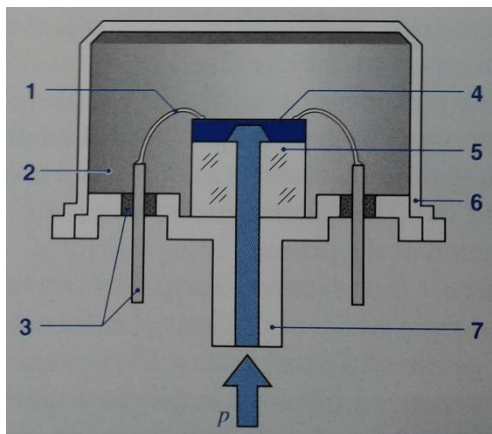


Figura 17 - Composição do sensor de pressão
(Robert Bosch Gmb 2004)

Legenda Figura 17:

- 1) Conetor elétrico
- 2) Vácuo de referência
- 3) Conetor elétrico
- 4) Pastilha de silício
- 5) Base de vidro
- 6) Câmara
- 7) Entrada de pressão

Quatro resistências elétricas integradas numa ponte de Wheatstone que compõe o diafragma vêm o seu valor alterado quando sujeitas a uma força resultante da mudança de pressão (efeito piezoresistivo), alterando em consequência o seu sinal de saída em tensão. Deste modo, a deformação a que o diafragma está sujeito é proporcional ao sinal na sua saída. A ECU interpreta este sinal para o cálculo da pressão e qualquer alteração no sinal de entrada da ECU proveniente do sensor significa uma mudança de pressão.

A Figura 18 representa a curva característica do sensor MAP. Como este sensor usa vácuo como pressão de referência, quanto maior é a diferença entre a pressão de vácuo e a pressão do coletor de admissão, ou seja, à medida que a pressão no coletor de admissão aumenta, maior é o sinal lido pela ECU, variando entre 0 e 5V. Este sensor também pode ter incorporado um sensor de temperatura (Robert Bosch Gmb 2004).

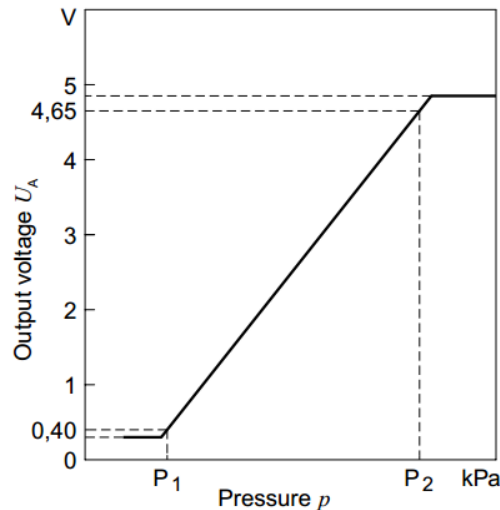


Figura 18 - Curva característica do sensor MAP

(Bosch 2012)

2.3.4 Sonda Lambda

A sonda lambda ou EGO (*exhaust gas oxygen sensor*) é um sensor que mede a concentração de oxigénio no escape, sendo um dos mais importantes na gestão eletrónica do motor, permitindo o controlo da mistura ar-combustível.

A sonda lambda é formada por um eletrólito cerâmico de óxido de zircónio estabilizado por óxido de ítrio, em forma de cadinho, coberto por platina nas superfícies interior e exterior (Figura 19). A superfície interior está em contato com o ar e a exterior com gases de escape. A camada exterior de platina torna-se um catalisador para os gases de escape, que os converte para o seu equilíbrio termodinâmico. A camada exterior de platina é ligada à massa e o sinal da sonda é retirado da camada interior. A elevada temperatura ($> 300^{\circ}\text{C}$) o eletrólito cerâmico torna-se condutor e gera uma carga galvânica que caracteriza o teor de oxigénio dos gases de escape. Existe ainda uma fina camada cerâmica porosa a revestir o eléctrodo externo da sonda, de modo a protegê-la externamente dos gases de escape (Martins 2011).

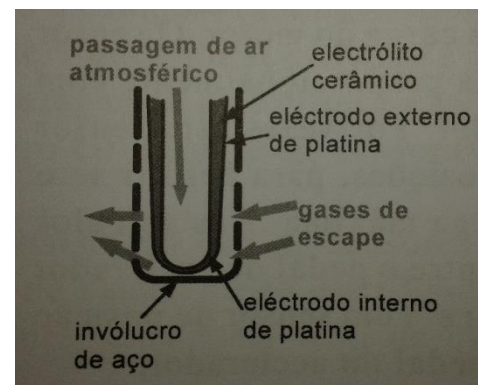


Figura 19 - Sensor da sonda lambda

(Martins 2011)

Segundo Banish (2007), a característica geral da resposta da sonda é a apresentada na Figura 20: a tensão varia abruptamente entre um máximo e um mínimo, dependendo da quantidade de oxigénio presente nos gases de escape.

A tensão da sonda lambda varia entre 0V e 1V e decresce com o aumento do teor de oxigénio:

- Mistura pobre (excesso de ar) se o sinal for inferior a 500mV;
- Mistura estequiométrica se o sinal for de 500mV;
- Mistura rica (defeito de ar) se o sinal for superior a 500mV.

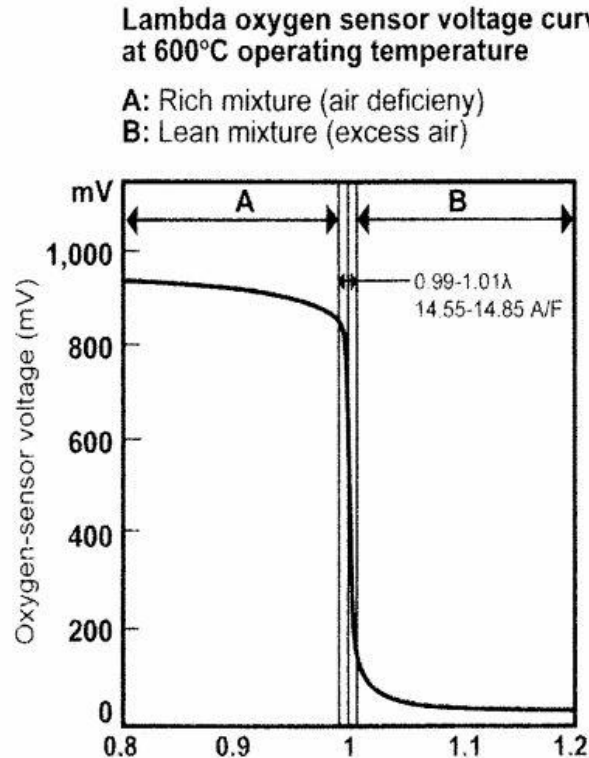


Figura 20 - Resposta da sonda lambda
(Banish 2007)

O sinal é depois enviado para unidade de controlo do motor para que seja feito os cálculos usando como base o fator lambda, que pode ser traduzido pela seguinte expressão:

- $\lambda = AC_{\text{real}}/AC_{\text{esteq}}$, em que AC designa o quociente entre a massa de ar e a massa de combustível.

Deste modo, o valor Lambda pode ser traduzido da seguinte forma:

- Se $\lambda < 1$, $AC_{\text{real}} < AC_{\text{esteq}}$ – mistura rica (defeito de ar);
- Se $\lambda = 1$, $AC_{\text{real}} = AC_{\text{esteq}}$ – mistura estequiométrica (ideal);
- Se $\lambda > 1$, $AC_{\text{real}} > AC_{\text{esteq}}$ – mistura pobre (excesso de ar).

2.3.5 Sensores de temperatura

Para a correta operação de um sistema de injeção eletrónica é vital conhecer diversas temperaturas, como a do líquido de refrigeração, a do ar de admissão, entre outras. A Tabela 3 apresenta uma lista das temperaturas que necessitam de ser medidas num automóvel. Não só as diferentes gamas de temperatura exigem uma variedade de diferentes sensores, conceitos e tecnologias, mas também diferentes precisões e velocidades de leitura (Robert Bosch Gmb 2004).

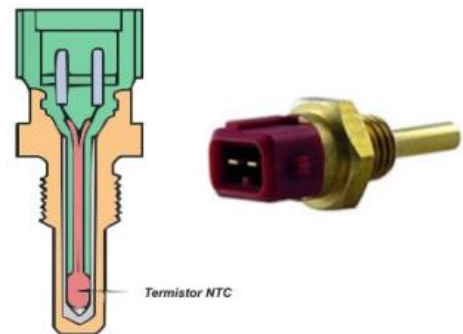
Tabela 3 - Temperaturas existentes nos automóveis

(Denton 2004)

Ponto de medida	Gama de temperaturas (°C)
Ar de admissão	- 40 a 170
Temperatura exterior	- 40 a 60
Compartimento do passageiro	- 20 a 80
Evaporador (ar condicionado)	- 10 a 50
Líquido de refrigeração	- 40 a 130
Óleo	- 40 a 170
Bateria	- 40 a 100
Combustível	- 40 a 120
Ar dos pneus	- 40 a 120
Gases de escape	100 a 1000
Travões	- 40 a 2000

2.3.5.1 Sensor de temperatura do líquido de refrigeração (CTS)

O sensor de temperatura do líquido de refrigeração ou CTS (*colant temperature sensor*) é um sensor relativamente simples (termístor; Figura 21) que monitoriza a temperatura do motor, sendo instalado no circuito de refrigeração. Este sensor deteta uma mudança na temperatura e envia um sinal de tensão à ECU, para que esta em função da temperatura a que se encontra o motor possa gerir de melhor forma o seu funcionamento, controlando diversos parâmetros (Carley 2014).

**Figura 21 - Sensor CTS**

(Correia and Rocha 2011)

O CTS é normalmente do tipo NTC (*Negative Temperature Coefficient*), termístores cujo coeficiente de variação de resistência com a temperatura é negativo, ou seja, a sua resistência diminui à medida que a temperatura aumenta. Com este tipo de sensor, a resistência é elevada quando o motor está frio, diminuindo com o aumento da temperatura até que atinge um valor mínimo quando o motor está à temperatura normal de funcionamento (Robert Bosch Gmb 2004).

A ECU envia um sinal de referência de 5V ao sensor; este quando sofre uma variação de temperatura varia a sua resistência e conseqüentemente o sinal de tensão também é alterado; este sinal de tensão é enviado pelo sensor à ECU que calcula a temperatura baseado naquele sinal de retorno. A curva característica do NTC encontra-se na Figura 22.

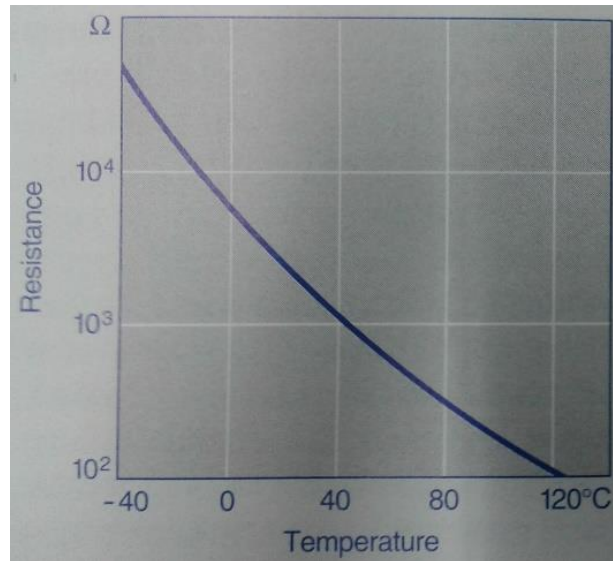


Figura 22 - Curva característica do sensor de temperatura tipo NTC
(Robert Bosch Gmb 2004)

2.3.5.2 Sensor de temperatura do ar (IAT)

O sensor de temperatura do ar ou IAT (*intake air temperature*) é um sensor idêntico ao anterior, que se encontra na conduta de admissão do ar. Quando o ar está frio, a resistência do sensor (termistor do tipo NTC) é elevada; à medida que o ar admitido aquece, a resistência do sensor diminui e a tensão correspondente também.

O sinal deste sensor é normalmente utilizado pela ECU para corrigir a leitura da massa de ar, em função da sua densidade; este sensor pode ser combinado numa única peça em conjunto com o sensor MAP, já que ambos são utilizados para fins de cálculo de densidade do ar (Correia and Rocha 2011).

2.3.6 Sensor posição acelerador

O sensor de posição do pedal do acelerador ou TPS (*throttle position sensor*) é um sensor usado pela ECU como parâmetro principal para o cálculo da quantidade de combustível a injetar.

Pode estar situado no suporte do pedal do acelerador ou no compartimento do motor, dependendo dos modelos. O sensor é do tipo resistivo, em que a sua resistência varia proporcionalmente com o movimento do acelerador. Em alguns modelos, por motivos de segurança, tem dois ou três potenciômetros integrados no mesmo conjunto (Martins 2011).

Nos atuais sistemas de gestão eletrônica, a ligação por cabo entre o pedal do acelerador e a borboleta tem sido suprimida; o movimento do pedal do acelerador é transmitido à ECU pelo respetivo sensor na forma de um sinal elétrico.

Normalmente, a posição do pedal do acelerador é captada por dois potenciômetros opostos; um primeiro sensor considerado o principal (1 da Figura 23), e um segundo sensor potenciómetro (2 da Figura 23) é incorporado para questões de diagnóstico e no caso de ocorrer avarias; a tensão que percorre este potenciómetro é sempre metade do primeiro. Desta forma, os potenciómetros são eletricamente independentes, tendo alimentação e sinais de saída para cada um, obtendo-se dois sinais distintos.

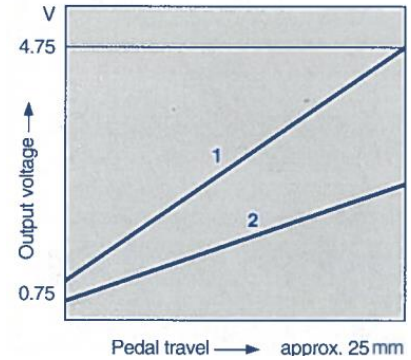


Figura 23 - Curva característica sensor pedal do acelerador
(Robert Bosch Gmb 2004)

Ao ralenti, o sinal de saída do sensor é de aproximadamente 0,6-0,9 volts, reconhecendo a ECU através deste sinal que o pedal está em repouso. À carga máxima (pedal totalmente premido), o sinal gerado é de aproximadamente 4,75V.

O módulo do pedal do acelerador (Figura 24b, c) está disponível como uma alternativa ao sensor do pedal do acelerador individual (Figura 24a). Estes módulos são unidades prontas a instalar, incluindo no mesmo componente o sensor e pedal do acelerador (Robert Bosch Gmb 2004).

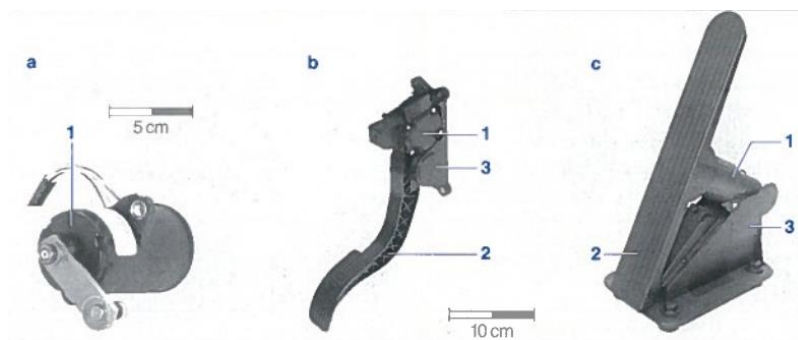


Figura 24 - Versões de sensores de pedal do acelerador
(Robert Bosch Gmb 2004)

Legenda Figura 24:

- 1) Sensor
- 2) Pedal específico do automóvel
- 3) Suporte do pedal

2.3.7 EGR

Quanto maior for a pressão de injeção (pode ultrapassar os 2000 bar), melhor será o processo de mistura dentro do cilindro e conseguir-se-á uma maior homogeneidade da mistura, dando origem a uma menor emissão de partículas. No caso de melhorias na preparação da mistura, a temperatura de chama eleva-se, levando ao aumento de produção de NO_x. O processo mais usado para diminuir os NO_x é o sistema EGR (*exhaust gas recirculation*), que tem sido desenvolvido e utilizado nos veículos desde há muitos anos.

Os principais objetivos deste sistema é controlar as temperaturas da câmara de combustão e reduzir a quantidade de óxidos de nitrogénio, tal como referido, influenciando ainda a eficiência volumétrica e com isso a rentabilidade do motor. A válvula EGR propicia uma ligação entre a admissão do ar e o sistema de escape. Normalmente, o motor “puxa” o ar através do corpo de borboleta para o coletor de admissão. A

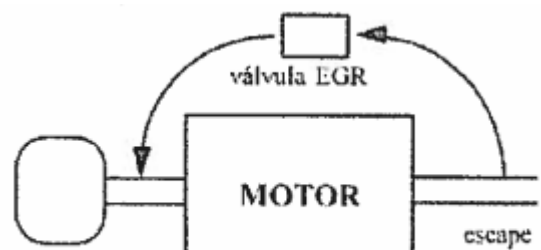


Figura 25 - Recirculação dos gases de escape
(Martins 2011)

válvula EGR é colocada numa posição tal que, quando a mesma é aberta, uma parte dos gases de escape afluem também para a admissão (Figura 25).

Com o movimento do pistão para baixo durante o curso de admissão, a combinação de ar/combustível e os gases de escape entram na câmara de combustão. Embora o volume de gases que entra na câmara de combustão seja o mesmo, haverá menos ar para queimar quando o combustível é inflamado, de modo que a temperatura e a pressão no cilindro diminuirá. Menos oxigénio e temperaturas mais baixas resultam numa quebra significativa dos níveis de NO_x .

EGR vs. Emissões

A recirculação dos gases de escape (EGR) é um método reconhecido para a redução das substâncias poluentes em praticamente todos os motores Diesel modernos, para poderem cumprir os regulamentos relativos aos gases de escape cada vez mais exigentes. Só com o método de uma recirculação dos gases de escape arrefecidos é possível alcançar os valores limite das normas EURO 5 e EURO 6 (referidas em 2.2.1) em matéria de emissões poluentes (MS Motor Service 2011).

Em 1973 foi introduzida a limitação para os NO_x que os construtores conseguiram contornar baixando o nível térmico do ciclo, utilizando assim a recirculação dos gases de escape na mistura a queimar.

A EGR é controlada eletronicamente pela unidade de controlo do motor (ECU), garantindo assim que o comportamento do veículo não seja alterado, controlando a sua percentagem de abertura/fecho. A Figura 26 demonstra o efeito da abertura da EGR relativamente à quantidade de HC e NO_x produzidos e também relativamente ao consumo de combustível. Desta forma, se a percentagem de abertura da EGR for muito elevada, aumenta o consumo de combustível e especialmente a quantidade de HC produzidos, visto estar a ser enviada uma quantidade de gases de escape superior para a câmara de combustão (Denton 2004).

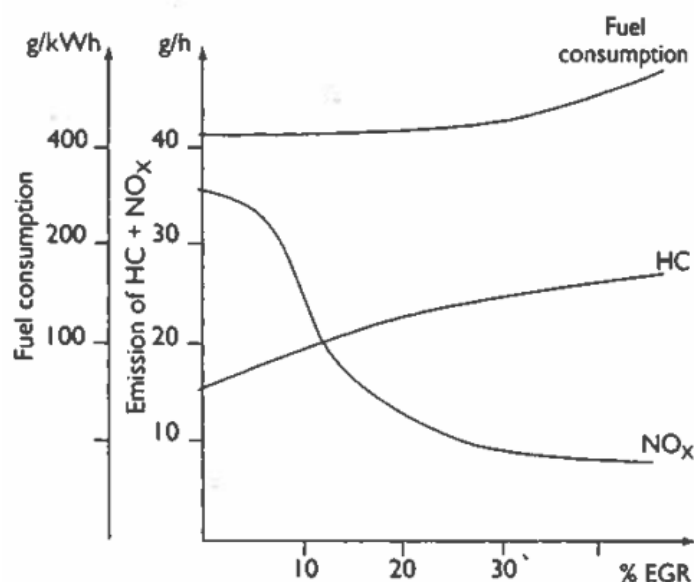


Figura 26 - Efeito da abertura da EGR

(Denton 2004)

Como os óxidos de nitrogénio prejudiciais formam-se sobretudo a temperaturas elevadas, essas quantidades podem ser reduzidas até 50 %. Nos motores a gasolina podem também ser reduzidas as emissões de CO₂ e o consumo (MS Motor Service 2011).

Tipos de válvulas EGR

As válvulas EGR diferenciam-se pelo seu modo de controlo - pneumático ou eletrónico (Manavella 2006):

- Controlo pneumático: o diafragma da válvula EGR é movimentado pela presença de vácuo numa das suas faces; o vácuo pode ser retirado de um furo progressivo, no corpo da borboleta ou do próprio coletor de admissão; quando o vácuo é fornecido pelo último, é controlado por uma válvula solenoide, que por sua vez é comandada pela ECU (unidade de controlo do motor). As válvulas EGR de controlo pneumático podem ser dos seguintes tipos:
 - Diafragma único;
 - Diafragma duplo e contrapressão positiva;
 - Diafragma duplo e contrapressão negativa.
- Controlo eletrónico: a haste da válvula EGR é acionada de forma eletrónica, através de solenoides presentes no interior da válvula ou do motor passo, o mesmo tipo usado para controlar o ralenti. As válvulas EGR de controlo eletrónico podem ser dos seguintes tipos:
 - EGR digital;
 - EGR linear;
 - Motor passo.

Segundo notícia a Automotive World (2014), a Denso (fabricante mundial de componentes automóveis) desenvolveu recentemente (notícia datada de fevereiro 2014) um sistema EGR completamente inovador que ajuda a tornar as emissões dos motores Diesel ainda mais limpas.

A nova unidade é a primeira do mundo a integrar uma válvula de borboleta de admissão e uma válvula EGR. A válvula de borboleta controla a quantidade de ar que entra no motor e a válvula EGR controla a quantidade de gases de escape a serem recirculados.

Este sistema inovador (Figura 27) apresenta metade do tamanho dos modelos EGR convencionais e requer menos componentes, reduzindo assim os custos.

Convencionalmente, a válvula de borboleta e válvulas EGR são instalados separadamente nos veículos. Ao integrar as duas válvulas na mesma unidade, a Denso combina as condutas e reduz as conexões. Como o sistema EGR necessita de ser instalado num espaço próximo do motor, um sistema mais pequeno permite aos fabricantes terem mais flexibilidade no desenho de motores.



Figura 27 - Nova unidade EGR da Denso
(Automotive World 2014)

2.3.8 Sobrealimentação

O binário, potência e a pressão média são proporcionais à massa de ar que entra em cada ciclo no motor. Para aumentar esses valores num dado motor, pode-se induzir uma maior quantidade de ar a entrar, aumentando a sua pressão.

Nos motores Diesel o sobrealimentador mais usado é o turbocompressor, havendo muito poucos automóveis atualmente que usam este tipo de motor naturalmente aspirado; são estes os que mais se proporcionam a melhorias decorrentes da sobrealimentação, pois os motores de ignição por faísca são limitados pelo aparecimento do “knock”.

Na prática, a taxa de compressão de motores Diesel sobrealimentados é reduzida e o excesso de ar é aumentado (relativamente a motores atmosféricos) a fim de se manterem os níveis de pressão e temperaturas máximas. Desta maneira é também possível limitar a emissão de NO_x e de partículas. Uma análise realizada aos motores de automóveis comercializados em 1990 (altura em que ainda havia muitos motores Diesel atmosféricos) mostrou que, em média, um motor sobrealimentado apresenta um binário de 45% e uma potência cerca de 35% superior a um motor equivalente atmosférico (Martins 2011).

2.3.8.1 Funcionamento turbocompressor

O turbocompressor (Figura 28) é um sistema que usa a energia dos gases de escape para aumentar a pressão de alimentação; é composto por uma turbina e um compressor colocados no mesmo eixo. A turbina gira quando é percorrida pelos gases de escape, que por sua vez aciona o compressor. O compressor aspira o ar ambiente e envia-o para o coletor de admissão a uma pressão superior, resultando numa maior massa de ar que entra nos cilindros em cada curso de admissão (Munin 2005).

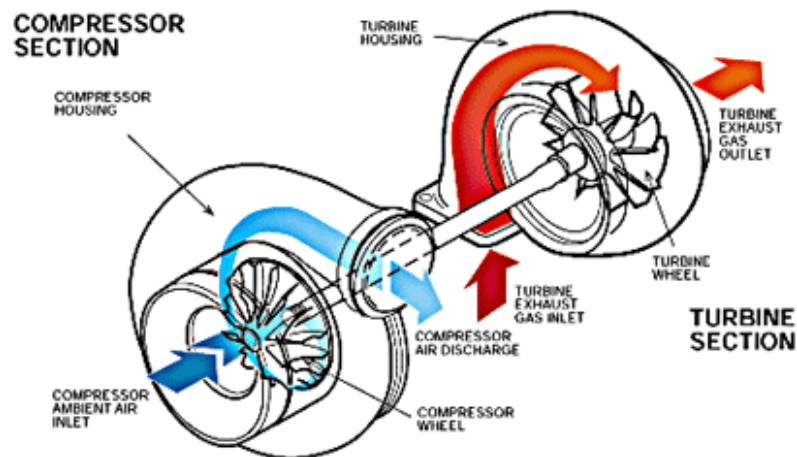


Figura 28 - Princípio de funcionamento de um turbocompressor
(Lavandeira 2010)

Como a temperatura do ar aumenta durante a compressão, é vulgar usar-se *intercoolers* de modo a aumentar a densidade da carga a entrar no motor, reduzindo a temperatura do ar comprimido, tal como esquematizado na próxima figura (Martins 2011):

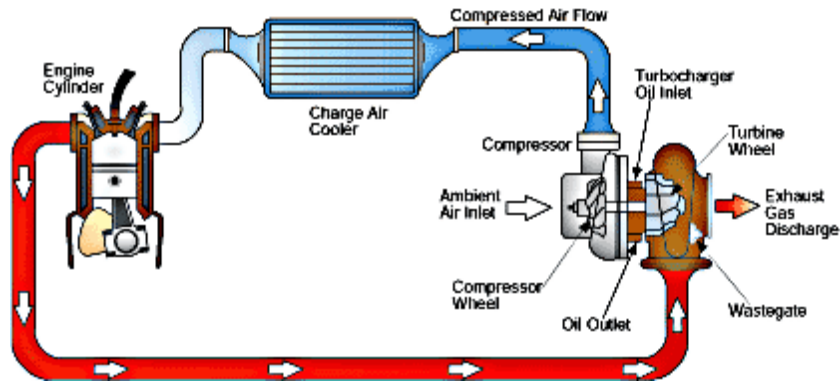


Figura 29 - Esquema de motor com turbocompressor e *intercooler*
(Lavandeira 2010)

Em suma, um motor de automóvel naturalmente aspirado usa apenas o curso de sucção para criar uma área de baixa pressão, a fim de “puxar” o ar para dentro do cilindro através das válvulas de admissão. Uma vez que o turbo aumenta a pressão no ponto onde o ar está a entrar no cilindro, uma grande massa de ar (oxigênio) é forçada a entrar aumentando a pressão no bloco, incrementando assim a potência e o binário motor (Munin 2005).

2.3.8.2 Turbocompressor de geometria variável

O turbocompressor convencional apenas consegue criar sobrepressão notória numa determinada gama de rotações, dependendo da sua dimensão e relações geométricas. É necessária uma relação de compromisso, pois com a utilização dum turbocompressor de menor dimensão é possível obter ar comprimido logo a partir de baixos valores de rotação, já que o turbo “enche” mais rápido. Mas em altas rotações, por ter um tamanho reduzido, o caudal que disponibiliza é insuficiente para alimentar o motor. No caso de os ganhos quererem ser obtidos a altas rotações deve optar-se por um turbocompressor de maior dimensão, no entanto, a baixas rotações não cria praticamente sobrepressão.

Para contornar este problema foram desenvolvidos turbocompressores com uma característica particular, capazes de assegurar o funcionamento (caudal e pressão) desejado numa gama mais alargada de rotações. Este tipo é denominado turbocompressor de geometria variável (TGV), e possui um sistema extra relativamente aos convencionais: num anel exterior à turbina existem alhetas controladas quer mecânica, quer eletronicamente, que giram em torno de um eixo direcionando e alterando a velocidade do fluxo da melhor forma (Electro Sport 2014).

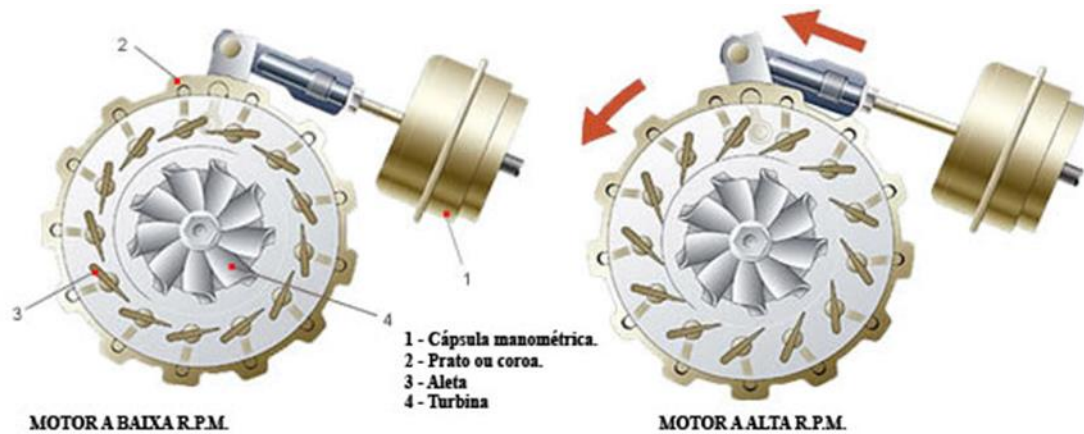


Figura 30 - Funcionamento da geometria variável segundo o regime do motor
(JLA Turbo 2014a)

Na Figura 30 (esquerda) e Figura 31: vemos como as alhetas adotam uma posição fechada que apenas deixa espaço para a passagem dos gases de escape. Esta posição é adotada pelo turbo quando o motor gira a baixas rotações e a velocidade dos gases de escape é baixa. Ao passar pelo estreito espaço que fica entre as alhetas, a velocidade dos gases de escape é acelerada, o que faz incidir com mais força os gases sobre a turbina. Também adotam esta posição quando se exige ao motor as máximas prestações partindo de uma velocidade baixa ou relativamente baixa, o que faz com que o motor possa acelerar de uma forma tão rápida como a exigida pelo condutor, por exemplo numa ultrapassagem ou na aceleração brusca do veículo.

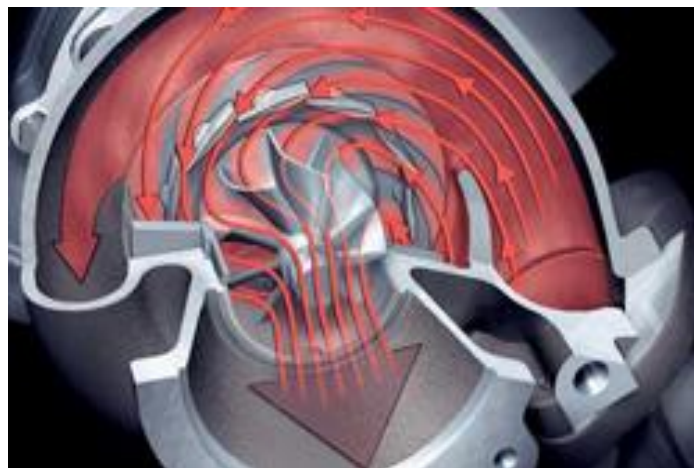


Figura 31 - Geometria a baixas rotações
(JLA Turbo 2014b)

Na Figura 30 (direita) e Figura 32: as alhetas adotam uma posição muito aberta devido ao elevado regime de rotação do motor, os gases de escape entram a muita velocidade no turbo fazendo girar a turbina muito depressa. A posição muito aberta das alhetas atua como um travão para os gases de escape pelo que se limita a velocidade da turbina. Neste caso, a posição das alhetas realiza a função que realizava a válvula *wastegate* nos turbos convencionais: limita a velocidade da turbina quando o motor gira a altas rotações e há uma pressão muito alta no coletor de admissão.

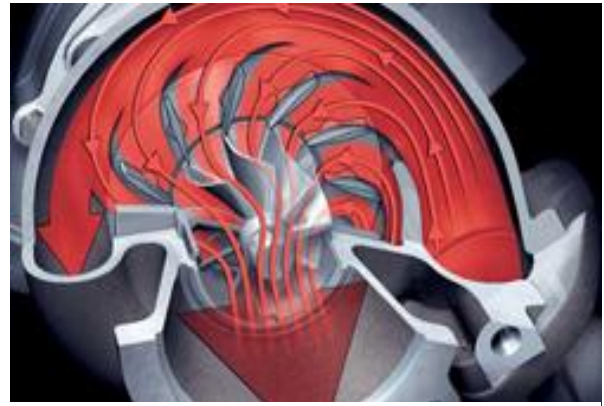


Figura 32 - Geometria a elevadas rotações
(JLA Turbo 2014b)

O controlo da posição das alhetas pode ser efetuado de forma completamente mecânica ou semi-mecânica com auxílio eletrónico. No primeiro caso, existe um tubo ligado ao coletor e à válvula que atua sobre o disco das alhetas. Nesta válvula existe um diafragma que divide as duas câmaras, sendo que numa delas o ar se encontra à pressão atmosférica, e ao qual está ligado a haste conectada ao disco. Com o aumento da pressão de admissão, esta sobrepressão atua sobre o diafragma, obrigando a haste a mover-se, transformando-se no final no movimento de fecho das alhetas.

No caso semi-mecânico, existe um sensor de pressão no coletor de admissão que transmite a sua leitura para a unidade. Posteriormente, em função deste sinal (numa análise mais simples, uma vez que são vários os parâmetros com influência) a unidade envia um sinal para uma válvula eletromecânica que abre ou fecha uma determinada percentagem relativamente ao máximo, permitindo a passagem de sobrepressão ou vácuo, que atua sobre a válvula igual ao sistema de controlo puramente mecânico. A partir deste ponto todo o funcionamento é semelhante (Electro Sport 2014).

2.4 Sistema de diagnóstico

O sistema OBD (*On-board diagnostics*) já existe há umas décadas (desde 1988 na Califórnia), mas tratava-se de um sistema de simples deteção de avarias elétricas dos sensores. Se, por exemplo, a válvula EGR se estragasse (queimasse o motor, colasse, ou simplesmente perdesse a ligação elétrica) o sistema OBD detetava essa avaria e acendia a luz vermelha de avaria do sistema de controlo do motor e gravava um código na sua memória. Sensores de temperatura, caudal e da riqueza da mistura eram avaliados continuamente no OBD I, mas não se fazia a proteção ou análise ao catalisador, e as ligações e protocolos de diagnóstico variavam entre modelos e de marca para marca.

No OBD II (introduzido em 1996 nos USA) há uma interface comum a todas as marcas (“diagnostic link connector” – DLC) usando uma ficha padrão com 16 pins (Figura 33). Isto implica que o mesmo instrumento de diagnóstico padrão possa avaliar problemas em todos os automóveis. Na Europa usa-se o chamado EOBD (*European On-board diagnostics*), introduzido em 2004 para automóveis e em 2007 para pesados, equivalente ao OBD II americano. O local no automóvel para a ligação da ficha de diagnóstico varia consoante o construtor.



Figura 33 - Exemplo de ficha OBD II

A alteração fundamental entre o OBD I e II é a proteção ao catalisador. O novo sistema analisa o funcionamento do catalisador através de dois sensores de oxigénio montados a montante e a jusante do catalisador, o que permite identificar o seu funcionamento. Este novo sistema também permite detetar fugas no sistema de armazenagem e fornecimento de combustível, por testes de pressão aos sistemas.

O princípio de funcionamento do OBD II reside na análise de um elevado número de sensores tanto a nível das suas ligações como do seu sinal e realiza também testes de racionalidade. O sistema monitoriza o funcionamento de componentes e subsistemas, analisa o funcionamento do motor e guarda todas as informações dos sensores e outros dados (“freeze frame”) no instante do aparecimento de uma anomalia, de modo a que o total funcionamento do motor possa ser avaliado posteriormente (Martins 2011).

O sistema OBD tem programação que lhe permite:

- Controlar a MIL (lâmpada vermelha);
- Gravar os DTC (códigos de problemas) e os “freeze frame” na ECU;
- Avaliar os sensores e fazer os testes ativos numa ordem preestabelecida;
- Programação e contagem dos ciclos de verificação de anomalias e de aquecimento;
- Apagar os DTC da ECU, se os testes foram passados com sucesso.

Quanto aos códigos de avarias gerados pelo sistema, os do OBD II são muito mais explícitos que os códigos do sistema OBD. Consistem em 5 dígitos, sendo o primeiro uma letra e os restantes quatro são algarismos (Figura 34). Por exemplo, nessa figura o código representado P0303 representa um problema no motor (P), genérico (0), de falta de ignição (3) no cilindro número 3 (3).

A tabela seguinte exemplifica alguns códigos de avaria, com a sua correspondente localização e causa provável.

Tabela 4 - Códigos de avaria OBD II/EODB

(adaptado de Autodata (2011))

Código EODB	Localização	Causa provável
P0118	Sensor de temperatura do líquido de arrefecimento do motor – sinal de entrada alto	Termóstato do líquido de arrefecimento, circuito aberto/curto-circuito ao positivo na cablagem, fio de massa anómalo, sensor de temperatura
P0148	Erro no débito de combustível	Bomba de combustível/bomba injetora
P0203	Injetor 3 – avaria no circuito	Cablagem, injetor, módulo de controlo do motor
P0106	Sensor da pressão absoluta do coletor/sensor de pressão barométrica – sinal de entrada alto	Curto-circuito ao positivo na cablagem, sensor da pressão absoluta do coletor, sensor da pressão barométrica, módulo de controlo do motor

O sistema OBD II gera código(s) de avaria(s) quando deteta alguma anomalia, analisando todas as ocorrências várias vezes, de modo a identificar se o problema é casual (intermitente), ou se é persistente, caso em que a luz avisadora se acenderá e permanecerá acesa até que o problema seja resolvido. O esquema seguinte representa o sistema de código OBD II:

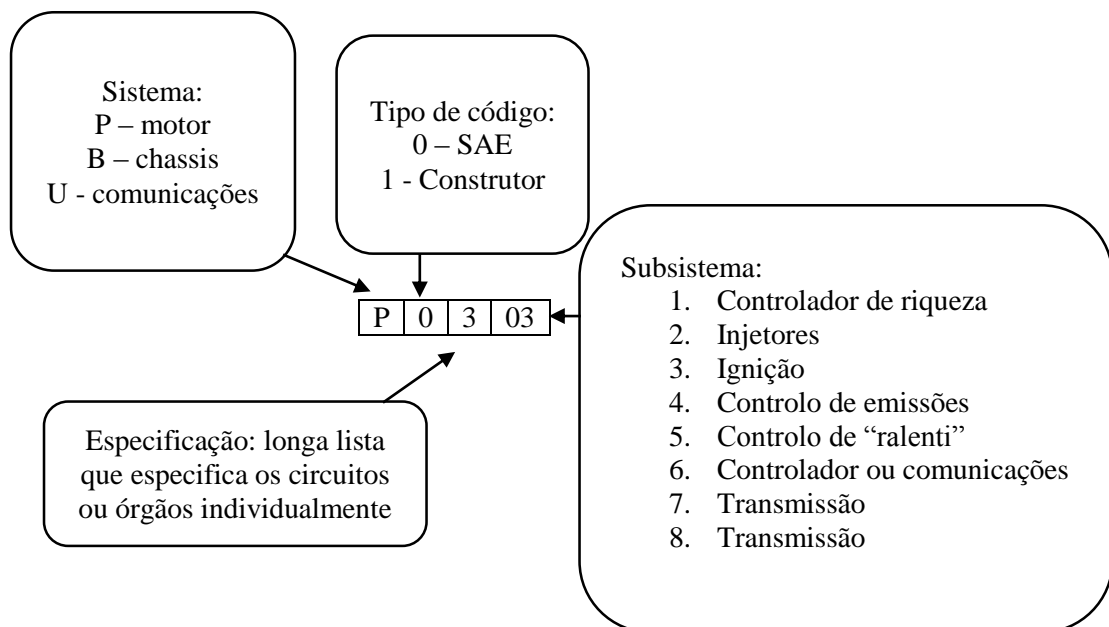


Figura 34 - Sistema de código OBD II

2.5 Sistemas de injeção Diesel

O sistema de injeção deverá satisfazer as seguintes condições (Martins 2011):

- Pulverização: quanto mais pequenas forem as gotas mais facilmente se dará a combustão, pois a área superficial da totalidade do combustível injetado será maior. O grau de pulverização é dependente da pressão de injeção e da dimensão do orifício (diâmetro e comprimento) por onde passa o combustível. Elevadas velocidades de injeção também resultarão em maior facilidade de vaporização.
- Penetração: se todas as gotas tiverem as mesmas dimensões, a sua penetração será semelhante e não se conseguirá uma boa distribuição do *spray* de combustível por toda a câmara de combustão. Assim, convém que algumas gotas sejam maiores que as outras, de modo a chegarem a regiões distintas da câmara. As gotas pequenas vaporizam perto do bico do injetor enquanto que gotas maiores terminarão a sua vaporização perto das paredes da câmara de combustão, usando o ar dessa região.
- Gradiente de injeção: os sistemas de injeção controlados eletronicamente e com injetores de rapidíssima resposta (piezoelétricos) permitem uma liberdade extrema dos gradientes de injeção, o que otimiza a combustão e reduz o ruído e emissão de poluentes.

Atualmente existem três tipos de sistemas de injeção que equipam os automóveis a gasóleo:

- Bomba injetora (em linha ou rotativa)
- Injetor-bomba
- Sistema common-rail

2.5.1 Bomba injetora

Este sistema é o mais convencional e tem sido usado há quase um século com as bombas em linha que mais tarde foram substituídas pelas rotativas. É um sistema barato e fácil de implementar, com liberdade total de colocação da bomba e dos injetores. Foi igualmente usado nos motores de câmara auxiliar (baixa pressão) e de injeção direta.

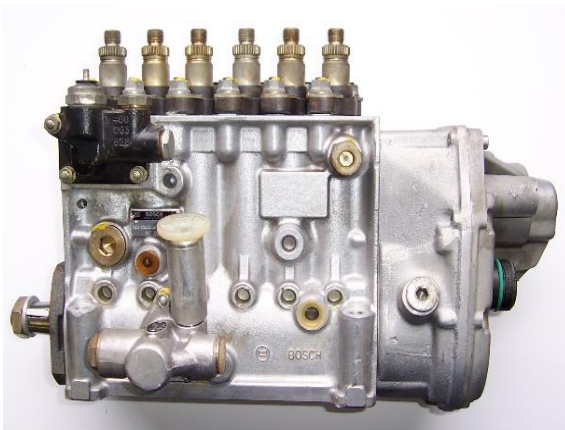


Figura 35 - Bomba injetora em linha



Figura 36 - Bomba injetora rotativa

No entanto, os longos tubos de ligação apresentam problemas de controlo da injeção, pois as ondas de pressão que dentro deles evoluem podem alterar o seu funcionamento, pelo que não conseguem chegar às elevadíssimas pressões atualmente (e no futuro) necessárias.

Este sistema é incapaz do sofisticado controlo exigido nos motores atuais que usam pré e pós injeções e modulação da injeção principal, mesmo que se possa controlar eletronicamente

ambos, a bomba e os injetores. Por esta razão, tem sido preterido pelos outros sistemas, nomeadamente pelo common-rail como será abordado neste capítulo (Martins 2011).

2.5.1.1 Bomba injetora em linha

Uma bomba injetora em linha é constituída por vários conjuntos camisa-pistão (em número igual ao dos cilindros do motor) e encontra-se ligada por tubos metálicos aos vários injetores colocados na cabeça do motor. Ela roda a metade da velocidade do motor, pois trata-se de um ciclo de quatro tempos, com uma injeção em cada cilindro em cada 2 voltas da cambota.

Tal como se pode verificar na Figura 37, o movimento de vaivém dos êmbolos é originado a partir de uma árvore de cames que roda dentro da bomba injetora e atua cada êmbolo impulsionando um rolete a ele ligado. Esta bomba tem ainda o controlo de início de injeção, que é aumentado com o aumento da velocidade e com baixas temperaturas do motor.

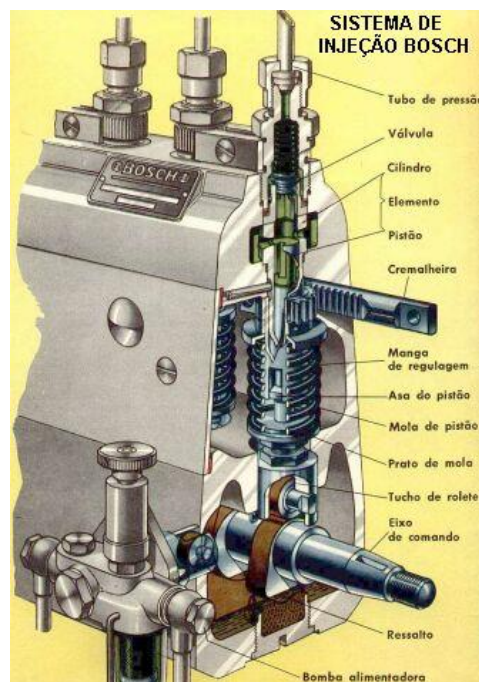


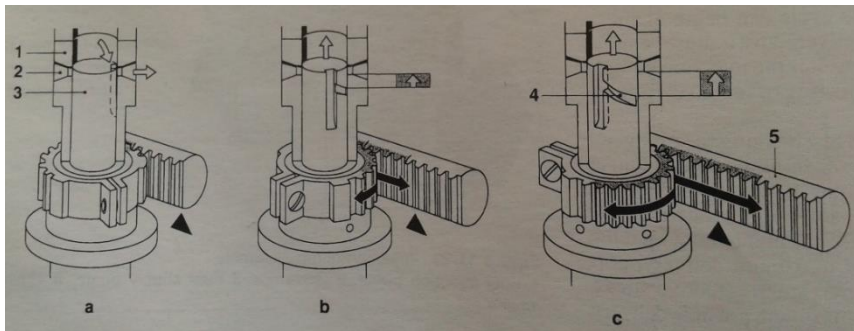
Figura 37 - Esquema de uma bomba injetora em linha
(Claudio 2012)

Os pistões da bomba injetora trabalham com pressões relativamente elevadas (500 bar) mas não dispõem de segmentos, pelo que são produzidos com tolerâncias muito apertadas e usam o poder lubrificante do gasóleo para a sua lubrificação.

Um processo de furos nas camisas e de rotação dos pistões, como um corte radial em espiral (Figura 38) permite um simples controlo de carga. A carga é controlada pelo curso útil do êmbolo, que por sua vez é controlado pela sua posição angular, através da posição da cremalheira, tal como representado na Figura 39 em três situações diferentes. O deslocamento da cremalheira faz rodar o pistão, de forma que o corte em espiral ao longo do pistão intersete mais cedo ou mais tarde a linha de retorno de combustível, alterando assim o ponto de fim de débito de combustível e consequentemente a quantidade de combustível injetada (Martins 2011).



Figura 38 - Conjunto pistão (frente) e cilindro (atrás)
(Breckenridge 2012)



Legenda Figura 39:

- a) Sem débito
- b) Meia carga
- c) Débito máximo
- 1) Cilindro
- 2) Entrada combustível
- 3) Pistão
- 4) Espiral
- 5) Cremalheira

Figura 39 - Controlo de débito de combustível da bomba injetora
(Challen and Baranescu 1999)

Deste modo, curso útil inicia-se no princípio do movimento do pistão e termina quando a espiral escavada no êmbolo deixa escapar o gasóleo para o furo de entrada/descarga do cilindro. Em suma, com o mesmo deslocamento vertical, o pistão injeta mais ou menos combustível, o que muda é o tempo final de débito (Challen and Baranescu 1999).

A bomba injetora fornece o combustível para o motor, enquanto o regulador comanda os débitos de injeção. Saliente-se que a bomba injetora é um sistema completamente mecânico, o que varia é o regulador, que pode ser mecânico ou eletrónico.

O regulador eletrónico é comandado pela ECU e contém os seguintes componentes:

- Dispositivo regulador: é formado por um eletroímã que comanda o movimento da cremalheira reguladora da bomba de injeção.
- Sensor de posição: informa a ECU a posição da cremalheira reguladora da bomba injetora, dando-lhe a possibilidade de comandar o movimento da cremalheira reguladora e determinar em cada momento se a corrente elétrica para o eletroímã deve aumentar ou diminuir.
- Sensor de rotações: informa a ECU sobre as rotações do motor.

Depois de lidas as informações recebidas, a ECU compara com a programação que possui e envia um sinal de maneira a igualar os valores práticos com os teóricos (Lavandeira 2010).

2.5.1.2 Bomba injetora rotativa

As bombas em linha não são capazes de elevadas velocidades, pelo que com o desenvolvimento dos motores Diesel rápidos, foi necessário usar outro tipo de bombas (rotativas), também conhecidas por bombas distribuidoras. Nestas bombas a árvore de cames é substituída por um prato de perfil ondulado (tipo carrossel, com saliências – Figura 40) que roda e vai originar o movimento de vaivém do êmbolo (Martins 2011).



Figura 40 - Prato da bomba rotativa
(Ducoo 2014)

As bombas distribuidoras podem-se distinguir entre bomba injetora de pistão axial (VE), com regulador mecânico ou eletrónico e, quando necessário, avanço de injeção e bomba injetora de pistão radial (VR).

A bomba distribuidora VE é composta por vários sistemas integrados na sua carcaça. Ao longo do tempo esta bomba foi evoluindo e novos componentes foram agregados ao seu sistema básico, com a finalidade de melhorar o binário, reduzir a emissão de poluentes, melhorar o arranque a frio e garantir maior segurança (Bosch 2006).

Esta bomba pode ser organizada segundo cinco grupos de componentes:

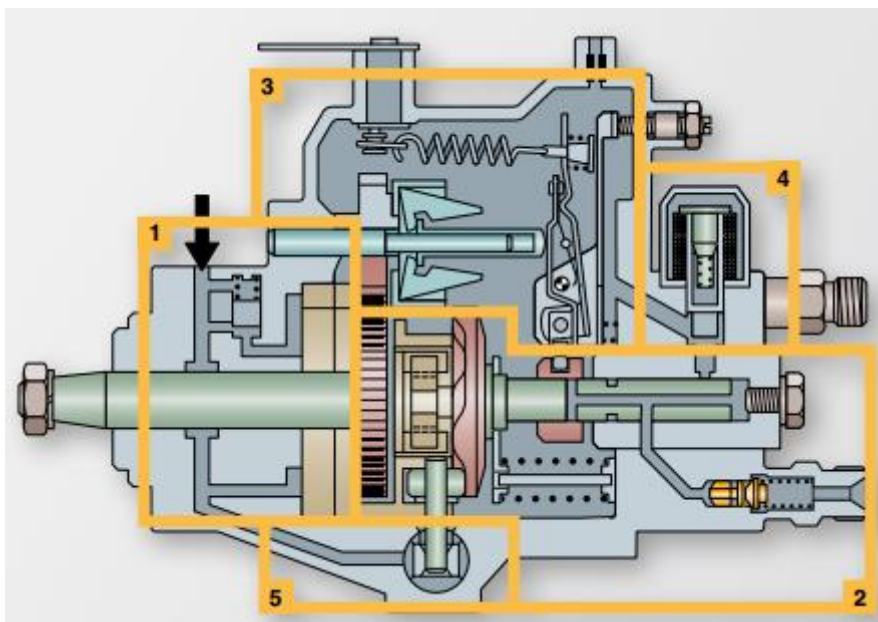


Figura 41 - Grupos de componentes que compõe a bomba distribuidora
(Bosch 2006)

1. Bomba alimentadora com válvula reguladora de pressão: aspira combustível e produz pressão na câmara interna da bomba;
2. Bomba de alta pressão com distribuidor: produz pressão de injeção, alimenta e distribui combustível;
3. Regulador mecânico de rotação: faz a regulação da rotação e modifica o volume de débito na faixa de regulação;
4. Válvula eletromagnética de corte: interrompe o débito de combustível;
5. Avanço de injeção: regula o início da injeção dependendo da rotação e, em parte, da carga.

O grupo de componentes nº 2 referido anteriormente que é ilustrado isoladamente na Figura 42, é o mais importante, já que é a parte da bomba na câmara interna responsável pela alimentação em alta pressão. O seu funcionamento pode ser descrito da seguinte forma:

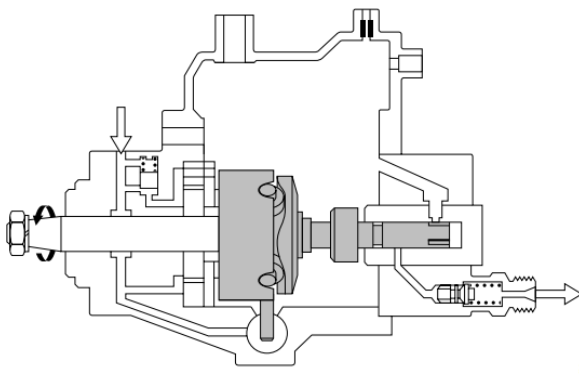


Figura 42 - Montagem da bomba de alta pressão
(Bosch 2006)

Tal como se pode ver na Figura 43, o pistão distribuidor executa um movimento rotativo e axial (vai-e-vem). O seu volume no final (que faz papel de êmbolo e de distribuidor) está repleto de gasóleo. O pistão é solidário com o prato, pelo que rodam e se movem em conjunto. Quando o distribuidor está “virado” para uma das saídas (2), o prato avança (a sua saliência assim o obriga), comprimindo o líquido que está na sua extremidade (3), pelo que terá de sair pela janela de distribuição (4) para o tubo que o liga ao injetor. O controlo da quantidade a injetar (6) é feito pela abertura de um orifício no pistão (5), que condiciona o seu curso útil (Lavandeira 2010).

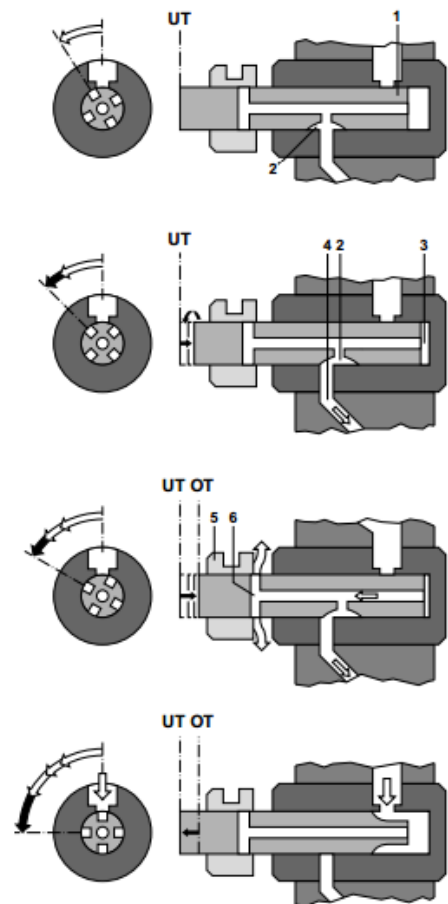


Figura 43 - Funcionamento do pistão distribuidor
(Bosch 1999)

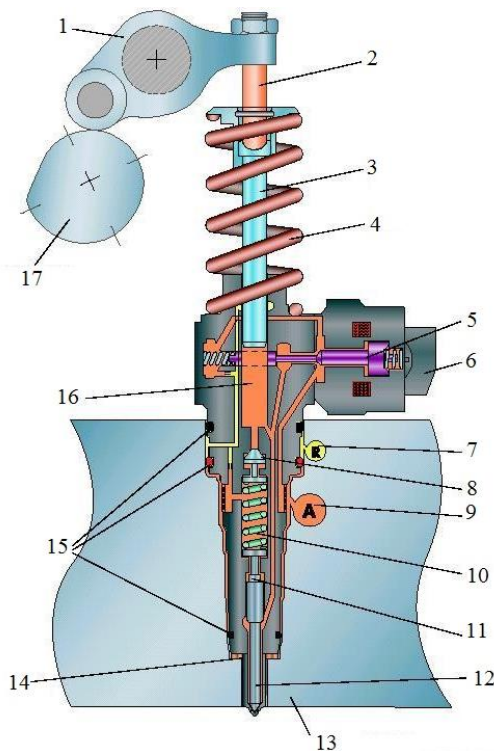
2.5.2 Injetor-bomba

O sistema injetor-bomba foi desenvolvido para elevar as pressões de injeção muito acima de 1500 bar em motores de injeção direta não automóveis. Foi neste sistema que se iniciou (na década de 80) o controlo eletrónico da injeção, tendo sido possível melhorar o arranque a frio e reduzir drasticamente a emissão de fumos.



Figura 44 - Injetor-bomba Bosch
(Bosch Auto Parts 2005)

Este sistema obriga à instalação de cada injetor-bomba de modo a ser atuada pela árvore de cames, ou ao uso de balanceiros e hastes entre estes elementos (Figura 45). Este sistema proporciona elevadíssimas pressões (até 2200 bar), já que o injetor e a bomba encontram-se no mesmo corpo, daí a designação injetor-bomba (Martins 2011, Wiesinger 2013).



Legenda Figura 45:

- 1) Balanceiro
- 2) Pino
- 3) Êmbolo da bomba
- 4) Mola do êmbolo
- 5) Pistão da válvula
- 6) Válvula solenoide
- 7) Linha de retorno de combustível
- 8) Válvula
- 9) Orifício de admissão
- 10) Mola do injetor
- 11) Pino de pressão
- 12) Elemento injetor
- 13) Cabeça do motor
- 14) Isolante térmico
- 15) Anel de vedação
- 16) Câmara de alta pressão
- 17) Came

Figura 45 - Sistema injetor-bomba
(Motor Talk 2010)

As vantagens deste sistema são:

- elevado grau de eficiência devido ao design compacto;
- baixo nível de ruído devido à montagem direta no bloco do motor;
- pressões de injeção até 2200 bar para a combinação ideal de mistura ar-combustível;
- elevadas potências equilibradas com baixos consumos e baixas emissões.

Quanto maior for a pressão, mais combustível pode ser pressionado em apenas alguns milésimos de segundos através dos pequenos orifícios do injetor. Como o elemento bombeador

é localizado imediatamente acima do injetor, na cabeça do cilindro, este sistema permite atingir elevadas pressões, já que são conseguidas num espaço muito pequeno e o combustível comprimido não é enviado para os injetores através de tubos de ligação (Wiesinger 2013).

2.5.2.1 Princípio de funcionamento

O funcionamento do sistema injetor-bomba pode ser dividido em quatro fases (Lavandeira 2010):

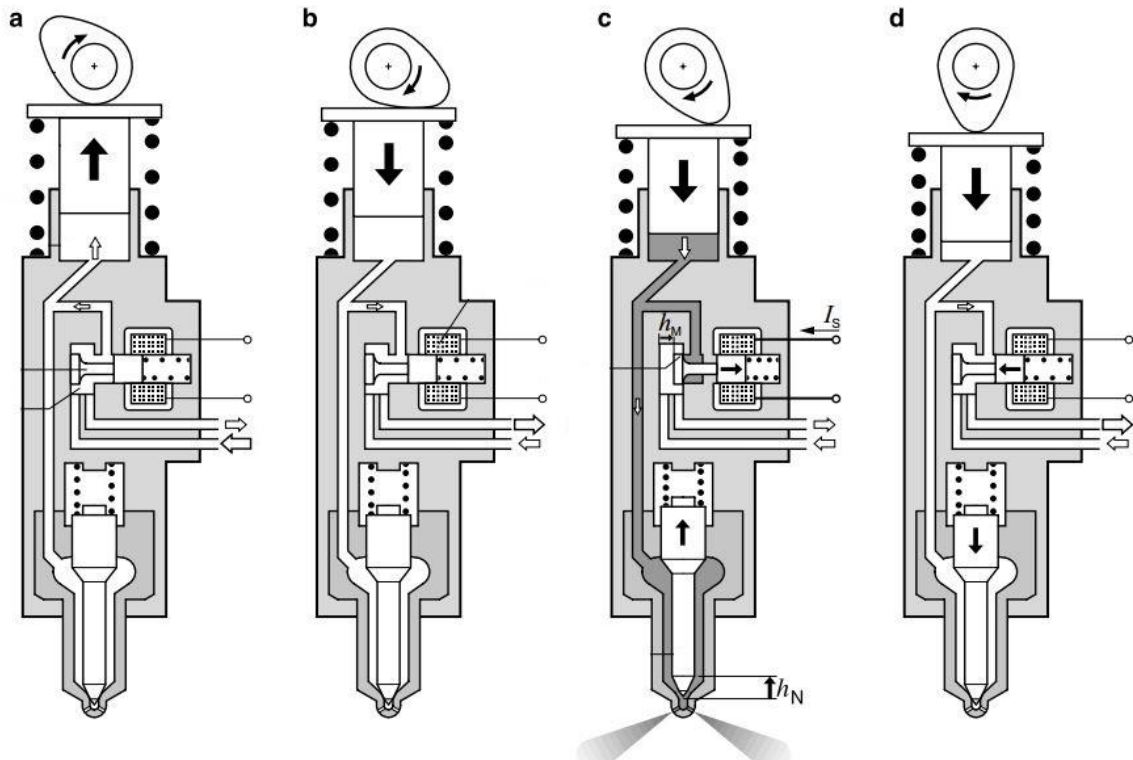


Figura 46 - Princípio de funcionamento do injetor-bomba
(Adaptado de Diesel Works (2006))

- Fase de sucção ou abastecimento: durante a subida do pistão da bomba, a ECU não aciona a válvula solenoide, permitindo a entrada de combustível no cilindro da bomba;
- Fase de transbordo: a came continua a rodar e força o pistão da bomba a descer. Enquanto o solenoide não fechar a válvula o combustível retorna para a linha de baixa pressão;
- Momento de injeção: o pistão da bomba continua pressurizado pela came e o solenoide é alimentado com 9 volts através da ECU do motor, fazendo com que a válvula seja fechada, aumentando a pressão dentro do cilindro da bomba que faz com que a agulha do injetor vença a força da mola, originando a pulverização do combustível dentro da câmara de combustão;
- Fim da injeção: a ECU retira a alimentação elétrica no solenoide. A válvula abre e o combustível retorna ao tanque.

Válvula solenoide - funcionamento

A principal particularidade deste sistema é a possibilidade do controlo da válvula solenoide (Figura 47) pela ECU através de mapas específicos, permitindo desta forma programar o início e fim de injeção. Consequentemente a injeção é independente da posição dos pistões no motor. Comparando com a injeção válvula/injetor na injeção eletrônica a gasolina, a válvula solenoide nos Diesel tem que ser capaz de controlar pressões que são 300-500 vezes superiores e comutar 10-20 vezes mais rápido (Challen and Baranescu 1999).

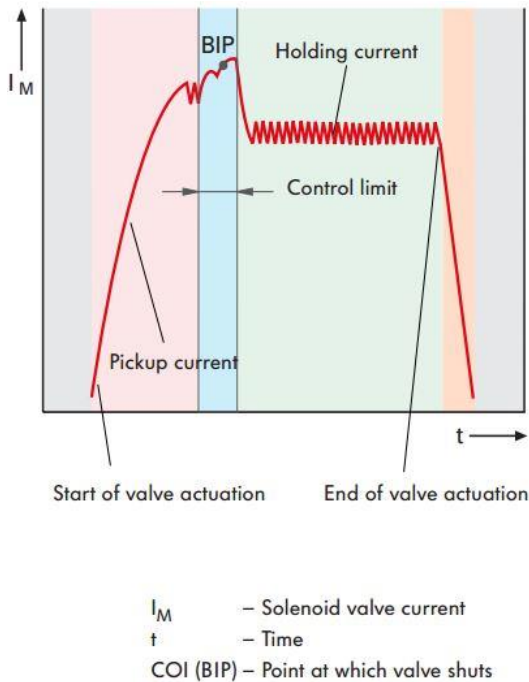


Figura 47 - Curva característica da válvula solenoide
(VOLKSWAGEN AG 2005)

Com a válvula solenoide aberta, o injetor-bomba força o combustível a retornar para a linha de baixa pressão, não havendo injeção de combustível. O início de injeção começa quando a válvula solenoide é atuada. Para isso, a ECU envia um sinal elétrico ao solenoide, criando um campo magnético; a corrente que o atravessa aumenta e a válvula comuta. Este momento é caracterizado por uma oscilação distinta na corrente. Este ponto no tempo é designado de BIP (*Beginning of the injection period*) - início do período de injeção. O ponto BIP sinaliza que a válvula solenoide está completamente fechada; este ponto é reconhecido pela ECU (detecção do BIP) como o atual ponto de início de injeção e é tomado em conta para que o próximo período de injeção seja calculado. Quando a válvula se encontra fechada, a corrente é mantida a um nível constante (*holding current*). Com ela fechada e com o movimento de descida do êmbolo da bomba, é gerado um rápido aumento de pressão dentro do cilindro da bomba, fazendo com que a agulha do injetor vença a força da mola, originando a pulverização do combustível para o interior do cilindro (Wiesinger 2013).

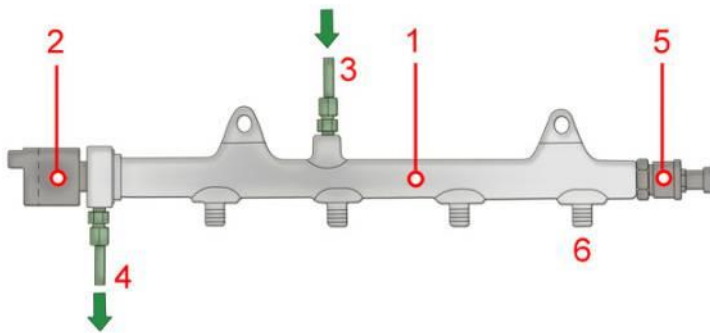
Desta forma, o início de injeção é definido pelo instante em que é fechada a válvula, devido à alimentação elétrica do solenoide proveniente da ECU. Por sua vez, a quantidade de combustível injetada é definido pelo período de tempo em que a válvula permanece fechada, já que o fim da injeção apenas ocorre quando a ECU retira a alimentação elétrica no solenoide (Challen and Baranescu 1999).

Os dois parâmetros referidos anteriormente são a principal particularidade deste tipo de sistema de injeção no que diz respeito à gestão eletrônica do motor.

2.5.3 Common-rail

O sistema de injeção common-rail é um sistema constituído por uma bomba que eleva a pressão do combustível que é fornecido a todos os injetores por uma tubagem comum, designado por acumulador rail, sendo assim a pressão contínua e independente da velocidade do motor (Martins 2011). Hoje em dia, este sistema permite elevar as pressões acima de 2200 bar. Este acumulador (Figura 48) mantém o combustível a alta pressão, amortecendo o efeito pulsador da

bomba de combustível e os ciclos de injeção. Isto garante que a pressão de injeção permaneça constante à abertura.



Legenda Figura 48:

- 1) Acumulador de combustível
- 2) Válvula reguladora de pressão
- 3) Tubo de admissão
- 4) Tubo de retorno
- 5) Sensor de pressão do rail
- 6) Tubo de combustível para o injetor

Figura 48 - Acumulador rail de combustível

Reportando à figura anterior, o combustível da bomba de alta pressão é enviado para o acumulador de pressão (1). O sensor de pressão (5) do acumulador mede a pressão do combustível. Dependendo da configuração do sistema, a válvula reguladora de pressão (2) limita a pressão do combustível no acumulador à pressão permitida. Também se fecha quando a pressão no acumulador for demasiado baixa. A próxima figura ilustra o quadro geral do sistema common-rail:

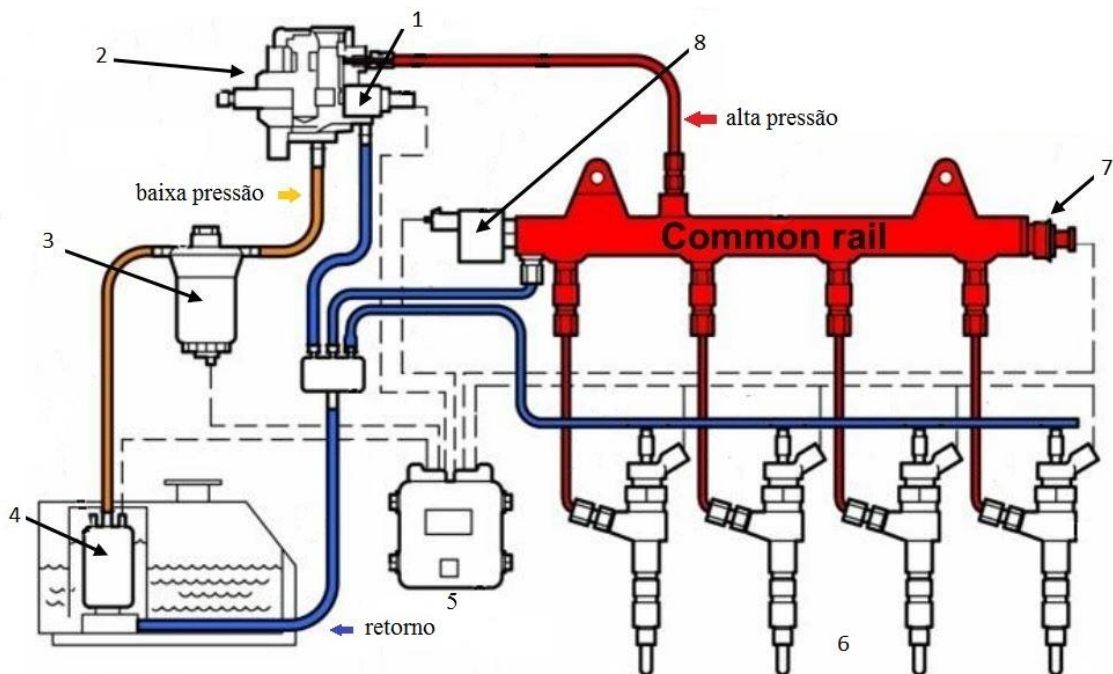


Figura 49 - Principais componentes do sistema common-rail

(Adaptado de Kitchen (2008))

Legenda Figura 49:

- | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------|
| 1) Válvula de controlo do débito de combustível | 5) ECU |
| 2) Bomba de alta pressão | 6) Injetores |
| 3) Filtro de combustível | 7) Sensor de pressão |
| 4) Bomba de baixa pressão | 8) Regulador de pressão |

As principais vantagens do sistema ilustrado na figura anterior são (Hannu and Khair 2014):

- Pressão do combustível independente da rotação do motor: permite flexibilidade no controlo tanto da quantidade de injeção, como no tempo de injeção e também uma melhor penetração do *spray* a baixas cargas e rotações; esta característica diferencia o sistema common-rail dos outros, já que a pressão de injeção é independente da rotação do motor, tal como ilustrado na Figura 50. Essa característica também permite a produção de maior binário a baixas rotações, especialmente quando se usa um turbocompressor de geometria variável. Deve notar-se que, embora os sistemas common-rail possam operar com pressão máxima mantida constante ao longo de uma vasta gama de velocidades de rotação, isto raramente é feito; a pressão do combustível é controlada em função da carga e da velocidade do motor, otimizando as emissões e o desempenho, não comprometendo a durabilidade do motor;

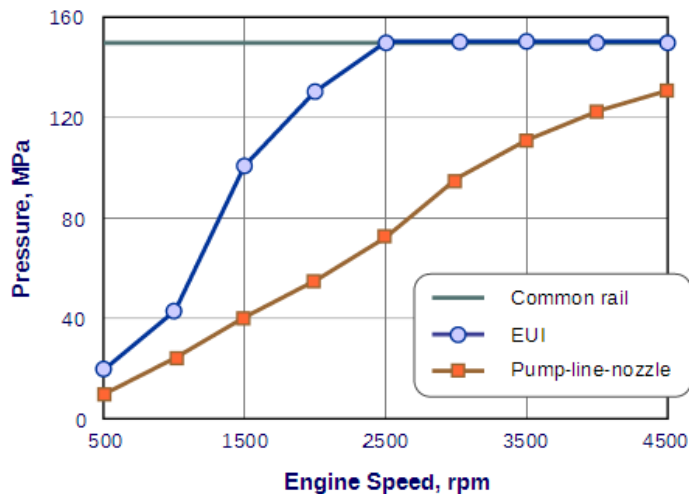


Figura 50 - Relação entre a pressão de injeção e a rotação do motor em diferentes sistemas de injeção

(Hawley 1998)

- Menores requisitos de esforço máximo da bomba: com o desenvolvimento de motores de injeção direta de elevada velocidade, a maior parte da energia para misturar o ar com o combustível vem do impulso do *spray* de combustível, em oposição aos sistemas mecânicos de redemoinho empregados no sistema de combustão de injeção indireta; apenas os sistemas de injeção de elevada pressão são capazes de promover a energia da mistura e uma boa preparação do *spray* necessários para a baixa produção de partículas e hidrocarbonetos.

Uma das razões por trás do desenvolvimento do sistema common-rail era minimizar o binário máximo requerido da bomba. Enquanto a potência e os requisitos médios de binário da bomba common-rail mantiveram-se semelhantes, o fornecimento de combustível a elevada pressão é feita por um acumulador e assim o esforço máximo não tem que coincidir com o momento em que há uma injeção.

- Melhoria dos níveis de ruído do motor: os motores de injeção direta são caracterizados por pressões de pico de combustão mais elevadas, produzindo maior ruído que os motores de injeção indireta. Verificou-se que a melhoria no ruído e baixas emissões de NO_x eram melhor alcançadas através da introdução de injeções piloto. Isto é mais facilmente realizado no sistema common-rail, que é capaz de entregar de forma estável pequenas quantidades de injeção piloto ao longo de toda a faixa de carga/velocidade do motor.

2.5.3.1 Bombas de alta pressão common-rail

A bomba de alta pressão é a interface entre o circuito de baixa pressão e o de alta pressão do sistema de injeção, sendo a sua função básica garantir que o combustível requerido é entregue a uma pressão suficiente ao longo de toda a gama de funcionamento do motor, alimentando constantemente o acumulador de alta pressão, mantendo assim a pressão do sistema necessária (Bosch Auto Parts 2008).

Existem vários tipos de sistemas common-rail que diferem entre si na disposição dos componentes e em funções específicas; contudo, todos operam de forma similar. Como exemplo de pressões máximas de combustível de diferentes tipos de sistemas tem-se (Kitchen 2008):

- Bosch:
 - 1ª Geração: até 1350 bar (sistema Unijet)
 - 2ª Geração: até 1600 bar (equipa a EDC 16)
 - 3ª Geração: acima de 2000 bar
- Denso:
 - 1ª Geração: até 1450 bar (equipa a ECD-U2P)
 - 2ª Geração: acima de 1800 bar (bombas HP3 e HP4)
- Delphi:
 - Sistema Multec: até 2000 bar
 - Sistema “Direct Acting Common-rail”: até 2000 bar

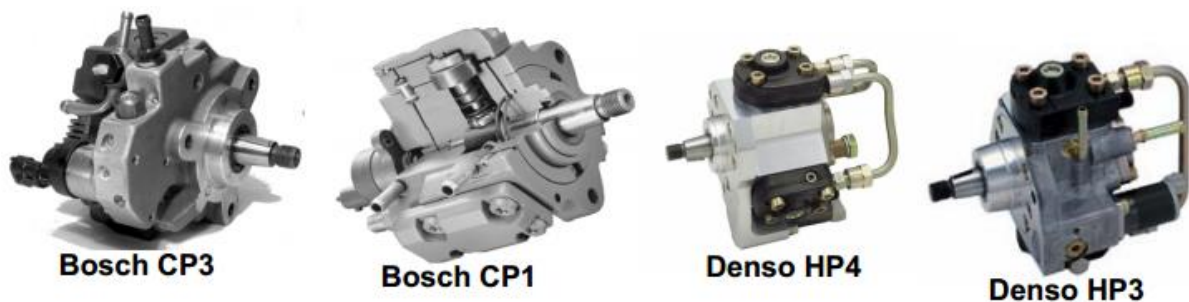


Figura 51 - Exemplos de bombas de alta pressão Bosch e Denso
(Kitchen 2008)

2.5.3.2 Injetores common-rail

Os injetores para os sistemas common-rail podem distinguir-se entre:

- Injetores eletromagnéticos
- Injetores piezoelétricos

Injetores eletromagnéticos

O injetor eletromagnético é um dispositivo de doseamento de combustível acionado por um pequeno solenoide. O processo de funcionamento inicia-se com o fornecimento de gásóleo ao injetor, ocupando a câmara junto à agulha do injetor e à câmara de controlo da válvula. Com o injetor fechado e alta pressão, enquanto o solenoide não for excitado pela corrente elétrica, a esfera da válvula do injetor continua pressionada pela mola contra a sede do restritor de saída e fecha a saída do gásóleo para o retorno. A força provocada pela pressão do gásóleo sobre a superfície frontal do pistão do injetor, adicionada da força da mola do injetor, mantém fechada a sua agulha.

No entanto, quando o solenoide é excitado por uma corrente elétrica, a válvula do injetor abre (Figura 52) retornando o combustível ao depósito, provocando uma queda de pressão na câmara de controlo da válvula do injetor. Nesta fase, a queda de pressão faz com que haja uma diferença de pressões entre a câmara da válvula do injetor e a câmara de pressão da agulha do injetor. Deste modo, como a pressão na câmara da agulha do injetor é superior, dá origem ao deslocamento da agulha do injetor, iniciando-se a injeção (Souza 2010, Lavandeira 2010).

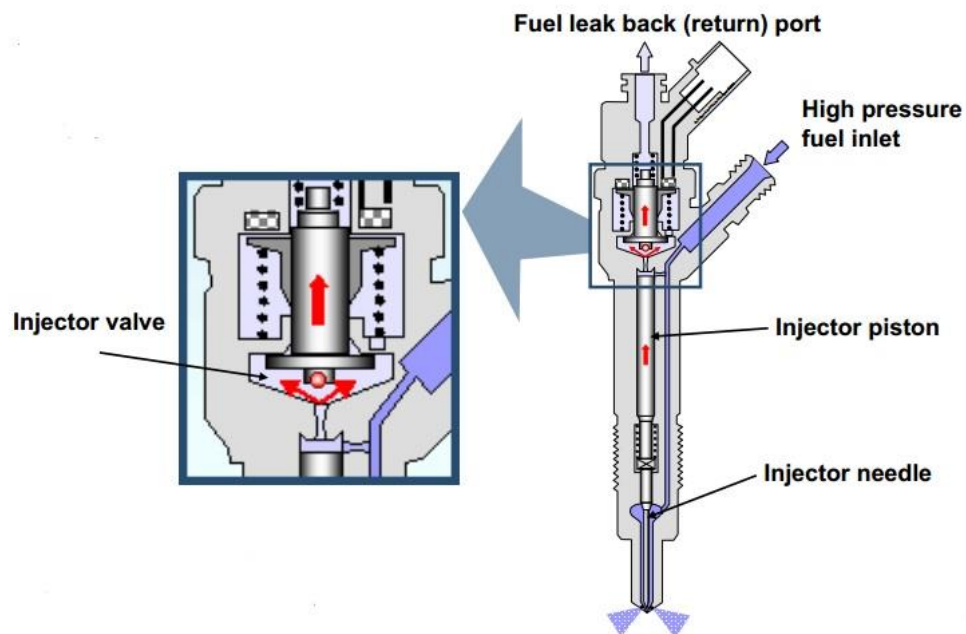


Figura 52 - Vista em corte do injetor eletromagnético e pormenor de funcionamento
(Kitchen 2008)

Quando o impulso elétrico é interrompido, o canal de retorno do gásóleo é vedado, igualando novamente as pressões das câmaras. Isto faz com que a força da mola do pistão do injetor desloque agulha para baixo, vedando a passagem de combustível e interrompendo o seu débito (Souza 2010).

Injetores piezoelétricos

No final de 2005, a Robert Bosch GmbH anunciou detalhes do seu novo sistema de injeção common-rail que permite alcançar pressões de injeção superiores, conseguidas através da tecnologia de injetores piezoelétricos. Esta evolução provocou uma revolução na tecnologia utilizada até agora, desencadeando uma forte procura global a partir de 2008, devido ao alto desempenho e baixo consumo de energia com baixa poluição.

Estes injetores usam cristais de quartzo como atuador, que é mais rápido face aos injetores referidos anteriormente. Piezoelectricidade é uma combinação de efeitos do comportamento elétrico do material, particularmente de cristais. Quer isto dizer que quando se aplica uma força num cristal, o centro de equilíbrio das cargas positivas e negativas é deslocado, causando a polarização do material e consequente deslocamento de corrente elétrica.

O injetor piezoelétrico é composto por uma peça única em forma de lapiseira, mas que no seu interior contém diversas partes estáticas e outras móveis. A estrutura deste tipo de injetores está representado na Figura 53. Começando pelo topo, tem-se os terminais da ligação elétrica, aos quais se segue uma entrada de combustível composta por um terminal roscado de alta pressão, que liga à régua de injeção. Esse canal de entrada do combustível segue pelo interior do injetor e logo no seu início está um pequeno filtro metálico sob forma de cartucho, em que paralelamente está o circuito de retorno do combustível numa saída separada. Já na zona intermédia do injetor, encontra-se o módulo piezoelétrico, que contém o atuador piezoelétrico composto por uma pilha de cristais e que por sua vez está ligado ao módulo atuador que contém duas válvulas, uma composta pelo êmbolo e respetiva mola de pressão e outra pela válvula de comutação que gere parte do fluxo de combustível vindo da linha de alimentação e contido no reservatório.

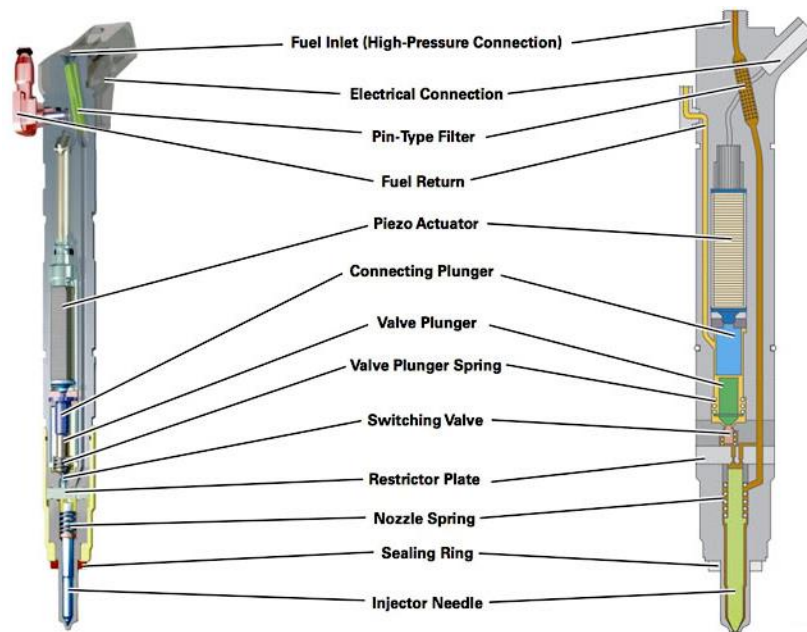


Figura 53 – Estrutura do injetor piezoelétrico

(Neves 2014)

O funcionamento destes injetores consiste na passagem de corrente elétrica pela pilha de cristais, fazendo com que se expandam. Assim como os cristais descarregam a corrente também

se retraem para o tamanho original. Esta expansão e contração dos cristais faz com que o combustível circule no interior do injetor, fazendo com que a válvula da agulha no bico do injetor abra e feche de forma extremamente rápida. Por exemplo, se a ECU dá instruções para o injetor ter um tempo de abertura de 0,5s e o injetor der o *feedback* de que esteve aberto 0,496s, a ECU sabe que pode usar um pouco mais de tempo no próximo ciclo de injeção para compensar. Sendo os injetores piezoelétricos mais rápidos, consegue-se realizar mais injeções por ciclo e a maiores pressões, o que aumenta a atomização do combustível (Neves 2014).

3 Gestão eletrônica

3.1 Unidade de controlo do motor (ECU)

A ECU (*Engine Control Unit*) ou unidade de controlo do motor é um dispositivo eletrónico que tem como função o controlo de uma grande variedade de dispositivos mecânicos e elétricos/eletrónicos num automóvel, sendo o “elemento chave” do sistema de gestão eletrónica. Este módulo eletrónico é considerado o “cérebro” do automóvel e funciona como um computador, já que possui no seu interior uma placa de circuito impresso com um controlador (ou processador) e um programa gravado na sua memória. Em função do estado das entradas e saídas ligadas à ECU, o *software* decide o que fazer com as saídas do mesmo.

Uma unidade de controlo é constituída pelos seguintes módulos (Correia and Rocha 2011):

- Conversor A/D, que transforma o sinal analógico num sinal digital, recebido dos sensores;
- Um conversor D/A, que transforma o sinal digital num sinal analógico, enviado para os atuadores;
- Processador digital de sinal (DSP), responsável pelo processamento dos sinais recebidos pelos sensores, realizando os cálculos necessários para gerar sinais resultantes para os atuadores;
- Memória EEPROM ou FLASH, que permite escrever inúmeras vezes na mesma memória, onde se encontra o programa que controla o funcionamento da unidade de controlo (mapas que regem a gestão eletrónica);
- Memória RAM, onde o DSP guarda temporariamente os dados acerca o estado do funcionamento em que se encontra o automóvel, a cada instante;
- Portas de entradas e saídas para a comunicação entre o DSP e os conversores A/D e D/A.

Hoje em dia todos os automóveis com motores atmosféricos ou turbo estão dotados deste pequeno computador para controlar o combustível, pressões de turbo, entre outros parâmetros que serão abordados posteriormente. As unidades de controlo do motor (ou centralinas) são microcomputadores muito potentes de 16 ou 32 bits que têm a capacidade de processar entre 5 a 10 milhões de operações por segundo.

A informação é processada em tempo real e mediante vários parâmetros pré-programados guardados na memória da centralina (EEPROM ou FLASH) que controla os atuadores de forma correta, resolvendo as mais adversas condições e garantindo uma correta mistura ar-combustível. Esses parâmetros pré-programados são designados de “mapas” que constituem matrizes de valores geralmente com três variáveis dependentes entre si.

Quanto aos fabricantes de unidades de controlo do motor são exemplos:

- Bosch
- Siemens (Figura 54)
- Delphi
- Marelli
- Denso
- Visteon
- Zexel
- Sagem
- Delco



Figura 54 - Centralina Siemens

3.2 O sistema EDC

O sistema EDC (*Electronic Diesel Control*) é um sistema de controlo de injeção de combustível que equipa uma vasta gama de automóveis Diesel, criado pela Bosch. Dependendo da geração, os automóveis a gasóleo estão equipados com EDC15, EDC16 (exemplo na Figura 55) ou EDC17. Estas regulam todas as funções do sistema de injeção Diesel em que estão equipadas, de modo a proporcionar o binário requerido do motor. Os parâmetros de injeção são constantemente adaptados ao motor e à situação de condução. Os motores equipados com este sistema de controlo eletrónico de injeção Bosch combinam o máximo desempenho dinâmico com um baixo consumo e emissões (Bosch Automotive Technology 2014).



Figura 55 - Centralina Bosch EDC 16

Este sistema foi introduzido pela Bosch em 1986. Utiliza uma bomba rotativa VE de êmbolo axial, ao qual se adaptou um dosificador elétrico e uma electroválvula para a correção do avanço. A primeira versão dispunha de duas unidades de comando eletrónicas, uma para analisar a informação dos sensores e outra para gerir os atuadores. No início, a injeção era indireta, mas com a injeção direta, e graças á regulação eletrónica, foram conseguidos importantes avanços na suavidade de funcionamento e potência.

O sistema EDC encontra-se dividido nos seguintes principais grupos de componentes:

- Sensores eletrónicos: para registar as condições de operação e mudanças. A grande variedade de entradas físicas são convertidas em sinais de saída elétricos;
- Atuadores ou solenoides: convertem os sinais de saída elétricos da ECU em movimentos de controlo mecânico;
- ECU: microprocessadores que processam a informação de vários sensores de acordo com o *software* programado e controlam os atuadores e solenoides.

De seguida são apresentados os principais sensores e atuadores que integram o sistema EDC:

- Sensores:
 - Sensor de velocidade da bomba de injeção;
 - Sensor de pressão do coletor de admissão (MAP);
 - Sensor de pressão de combustível;
 - Sensor de massa de ar (MAF)
 - Sensor de temperatura:
 - Temperatura do ar (IAT);
 - Temperatura do líquido de refrigeração (CTS)
 - Temperatura do combustível;
 - Temperatura dos gases de escape;
 - Temperatura ambiente;
 - Sensor de pressão de vácuo;
 - Sensor de velocidade do veículo;
 - Sensor pedal do travão;
 - Sensor pedal da embraiagem;
 - Sensor pedal do acelerador;
 - Sensor de rotação e posição do motor (EPS);
 - Sensor de altitude;
 - Sonda lambda.
- Atuadores:
 - Injetores;
 - Válvula de recirculação dos gases de escape (EGR);
 - Válvula de controlo de pressão de combustível;
 - Motor de controlo do ralenti;
 - Electroválvula de controlo do turbocompressor;
 - Electroválvula de controlo da borboleta de admissão;
 - Electroválvula de regulação do avanço da bomba.

3.3 Modos de controlo do motor Diesel

Agora que um típico sistema de controlo eletrónico do motor foi discutido, é importante referir as ações inerentes a um sistema integrado, quando opera em diferentes modos determinados pelo estado dos sensores (Ribbens and Mansour 2003). São seis os típicos modos de controlo:

- **Arranque do motor:** a lista seguinte é um resumo das operações do motor no modo de arranque; aqui, a preocupação principal é um arranque rápido e fiável:
 - Rotação do motor à velocidade de arranque;
 - Temperatura do líquido de refrigeração baixa;
 - Mistura AC baixa;
 - EGR desligada.

- **Aquecimento do motor:** enquanto o motor vai trabalhando, a sua temperatura vai aumentando rumo à temperatura normal de funcionamento; o objetivo primário é um aquecimento rápido e suave do motor, operando o sistema da seguinte forma:
 - Rotação do motor dependente do controlo do utilizador;
 - Temperatura do líquido de refrigeração aumenta gradualmente;
 - Mistura AC baixa;
 - EGR desligada;
 - Baixo controlo das emissões;
 - Baixo controlo da economia de combustível.

- **Controlo em *open-loop*:** a próxima lista sumariza as operações efetuadas quando o motor está ser controlado sob o sistema *open-loop* (circuito aberto), o que acontece antes do sensor lambda atingir a temperatura correta para o seu funcionamento:
 - Rotação do motor dependente do controlo do utilizador;
 - Temperatura do motor à temperatura normal de funcionamento;
 - Controlo da mistura AC na razão 14,5/1;
 - Temperatura do sensor lambda abaixo da sua condição de funcionamento;
 - EGR controlada;
 - Controlo do consumo;
 - Controlo das emissões.

- **Controlo em *closed-loop*:** para o controlo mais rigoroso possível das emissões e do consumo de combustível, o sistema de controlo eletrónico do motor encontra-se em *closed-loop* (circuito fechado), já que o sensor lambda nesta fase está ativo e contribui significativamente para a gestão do motor. Neste período as operações são:
 - Rotação do motor dependente do utilizador;
 - Temperatura do motor à temperatura normal de funcionamento;
 - Temperatura da sonda lambda acima do limite mínimo, detetada por uma tensão à saída do sensor, indicando uma mistura rica durante um certo período de tempo;
 - Sistema retorna ao controlo em *open-loop* se a sonda lambda falha;
 - Controlo ótimo da mistura AC;
 - Controlo rigoroso do consumo;
 - Controlo rigoroso das emissões.

- **Aceleração:** neste modo o objetivo é fornecer a máxima *performance* (maximizar o binário disponível), já que o utilizador está a requerer potência ao motor, sendo conseguido através de uma gestão específica, atuando o motor nas seguintes condições:
 - Rotação do motor aumenta acentuadamente a comando do utilizador;
 - Temperatura do motor à temperatura normal de funcionamento;
 - Mistura AC rica;
 - EGR não atuada;
 - Pobre economia de combustível;
 - Baixo controlo de emissões.

- **Desaceleração e ralenti:** a redução de velocidade, paragem e motor ao ralenti, são combinados num outro modo de controlo específico; o objetivo primário é a redução das emissões durante a desaceleração e manter o mínimo consumo de combustível no ralenti:
 - Rotação do motor decresce rapidamente ou é mantida constante ao ralenti;

- Temperatura do motor à temperatura normal de funcionamento;
- Mistura AC pobre;
- Modo especial na desaceleração para reduzir as emissões;
- Modo especial no ralenti para manter o motor a rotação constante;
- EGR ativada (em desaceleração);
- Boa economia de combustível durante a desaceleração;
- Pobre economia de combustível durante o ralenti, mas o consumo de combustível é mantido no mínimo possível.

3.4 Reprogramação/Otimização

A reprogramação ou otimização da gestão eletrônica consiste em alterar os valores pré-programados (mapas) que regem o funcionamento do automóvel.

A forma como reagem a potência e o binário que o automóvel consegue produzir dependem da programação deste sistema eletrônico, mais propriamente da informação existente na memória da centralina. Esta informação contempla a forma como os diversos parâmetros do motor, como a quantidade de combustível a injetar, a temporização da injeção, pressão de sobrealimentação, entre outros, evoluem em função da rotação do motor, temperatura ambiente, temperatura do motor, pressão atmosférica, etc.

Os construtores de automóveis, ao escreverem esses mapas, têm que tomar vários compromissos, já que há de ter em atenção que o automóvel vai ser vendido para o mercado mundial, em que existem condições climáticas diferentes em cada país, tem que estar apto a poder usar qualidades diferentes de combustível, tem que estar preparado para resistir a variados tipos de condução por parte dos automobilistas, entre outros motivos.

Basicamente um automóvel é enviado para o mercado com uma gestão eletrônica que possibilite um compromisso e equilíbrio entre o consumo, emissões, desempenho e fiabilidade. Nestas condições, os automóveis têm de se comportar dentro de certos parâmetros e assim os construtores não otimizam os resultados da potência e do binário ao máximo, embora esse potencial esteja todo lá e previsto quando foi projetado o motor, deixando margens significativas para melhoria.

São vários os métodos físicos pelos quais a otimização da gestão eletrônica de um automóvel pode ser realizada:

- **Substituição da Eprom**

Nem todas as unidades de gestão eletrônicas dos automóveis suportam uma programação direta, efetuada no local, existindo ainda inúmeros modelos que obrigam à desmontagem da Eprom onde está gravada a programação e à sua substituição por uma nova. Aplica-se normalmente a automóveis mais antigos (normalmente pré-ano 2000) em que não é possível a reprogramação via OBD.

Desta forma, é necessária a remoção da centralina e abertura da mesma para se efetuar a troca da Eprom por uma reprogramada. Neste método é sempre adicionado/soldado um *socket* para futuros ajustes ou colocação da original, eliminando a necessidade de se estar sempre a soldar a placa da centralina.

Para proceder a esta operação, além de se dispor do ficheiro com a nova informação, é necessário um gravador ou programador de Eeproms (Figura 56), que irá gravar o conteúdo do suporte onde a centralina irá ler as instruções de gestão do motor.



Figura 56 - Programador de Eeprom
(Obdspace 2012)

- **Via OBDII (ficha de diagnóstico)**

A Programação pela porta OBD veio introduzir uma nova era na reprogramação das ECUs.

Esta é a forma mais eficaz de efetuar uma reprogramação em automóveis, pois não é necessário retirar e abrir a centralina conseguindo-se assim uma maior rapidez. Em muitos modelos de automóveis mais recentes (geralmente depois do ano 2000), todo o processo de soldar/dessoldar a Eeprom já não é necessário. Agora é ligado um computador diretamente à porta de comunicações do veículo (porta OBD), de seguida é lida a informação da memória original e depois feita a otimização da gestão eletrónica.

A intervenção é feita pela ficha de diagnóstico sem ser necessário qualquer intervenção física na unidade de controlo.

- **BDM**

Existem várias gerações de unidades de controlo do motor mais recentes que não permitem a programação via linha de comunicação OBD. Assim, um dos outros métodos de reprogramação é através da porta de comunicação BDM (*Background Debugging Mode*) – usado pelo fabricante para escrever o sistema operativo durante a produção - existente no interior das centralinas, sendo necessário extraí-las do automóvel e abri-las.

Com este método é possível ler uma enorme gama de memórias e, principalmente, restaurar a ECU quando um processo de escrita é interrompido.

A ligação à porta de comunicação BDM necessita de um conjunto de adaptadores (Figura 57) que façam a interface, os quais são distintos para cada fabricante.

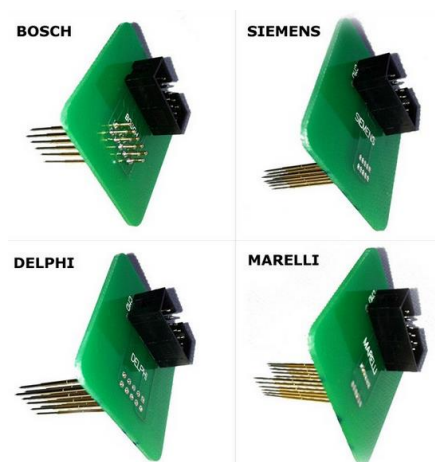


Figura 57 - Adaptadores para programação via BDM
(OBDDTool 2014)

Para que a leitura e programação seja bem efetuada, é necessário uma plataforma que serve como estrutura de posicionamento (Figura 58). Esta estrutura permite não só fixar a centralina, mas também posicionar o adaptador diretamente por cima da porta BDM, através duma plataforma regulável.



Figura 58 - Método de programação por BDM

- **Boot Mode**

Este método é outro que permite a reprogramação de ECU's recentes quando não é possível via cabo de dados OBD, devido às restrições de acesso que lhes são programadas na origem. Tal como a interface BDM, este método necessita da abertura da centralina para comunicar via Boot Mode (modo de inicialização).

Sendo feito fisicamente, a transferência de dados dá-se através de ligações com resistores nas portas específicas de uma centralina, sendo necessária documentação particular para cada tipo de centralina. Neste processo, quando a porta de ativação é alimentada, existe uma tensão que denota nível 1 ou nível alto nos circuitos internos das centralinas. Quando levamos esta porta a nível 0 ou nível baixo, é iniciado o processo de Boot Mode (próxima figura).

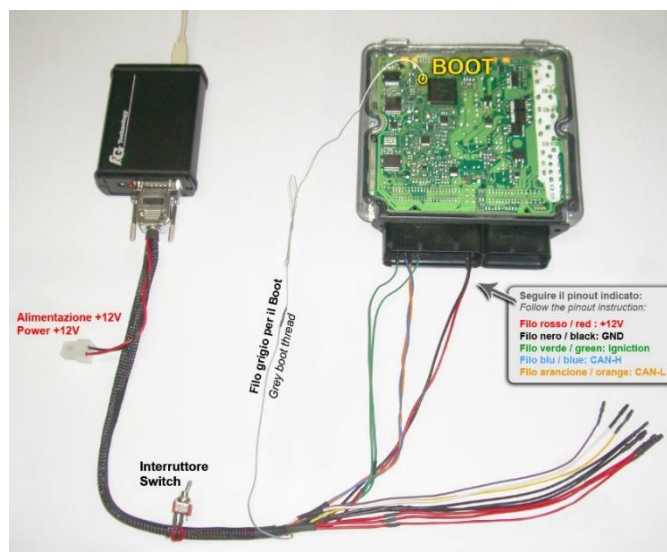


Figura 59 - Exemplo do método de programação Boot Mode

São vários os fabricantes de *hardware* de programação, por exemplo:

- AlienTech (Figura 60)
- Optican (Figura 60)
- CMD Flash
- EVC
- Elnec
- Galletto
- EcuTek
- Dimsport



Figura 60 – Hardware KessV2 (AlienTech) e Optican

Alguns *softwares* de programação:

- WinOLS
- ECM Titanium
- Map3D
- DimSport (Figura 61)
- Swiftec
- ECU Manager
- PCLink

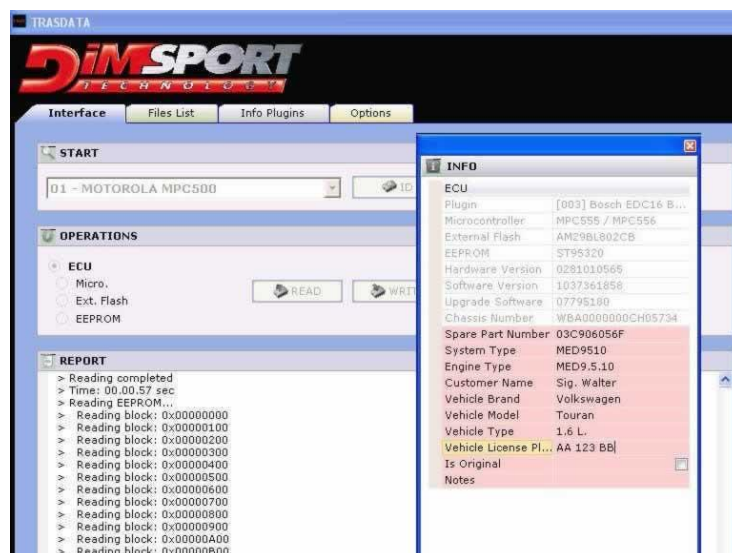


Figura 61 - Ambiente do software DimSport

4 Parâmetros otimizáveis/Mapas

Tal como foi abordado no capítulo anterior, hoje em dia praticamente todos os motores a gasóleo existentes no mercado vêm dotados com gestão eletrônica que regem o seu funcionamento. Esta gestão varia principalmente com o tipo de sistema de injeção, visto que cada um é controlado de forma distinta, devido ao seu funcionamento.

Os vários parâmetros da gestão eletrônica de fábrica podem ser alterados, tendo em conta o comportamento que se pretende obter do automóvel. De salientar que, de entre as inúmeras centralinas existentes no mercado, apenas só serão referenciadas as gestões eletrônicas do grupo Bosch, nomeadamente a EDC 15 e a EDC 16.

Assim os principais parâmetros de otimização dos três sistemas de injeção Diesel abordados na revisão bibliográfica são:

Sistema de bomba injetora:

- Caudal de injeção de gasóleo;
- Voltagem da bomba injetora;
- Avanço da injeção;
- EGR;
- Pressão do turbo;
- Regulação da geometria do turbo;
- Limitadores de velocidade.

Sistema injetor-bomba:

- Caudal de injeção de gasóleo;
- Início de injeção/avanço da injeção;
- EGR;
- Pressão do turbo;
- Regulação da geometria do turbo;
- Limitadores de velocidade.

Sistema common-rail:

- Caudal de injeção de gasóleo;
- Pressão de injeção;
- Tempo de injeção;
- EGR;
- Pressão do turbo;
- Regulação da geometria do turbo;
- Limitadores de velocidade.

De seguida serão apresentados os mapas comuns que regem a gestão eletrônica dos três sistemas de injeção equipados com EDC15, bem como alguns mapas que são particulares de cada um e uma breve diferenciação de alguns mapas que caracterizam as EDC16.

4.1 Mapas comuns aos vários sistemas de injeção Diesel

Mapa: Driver Wish

1/min	-(Throttle Position,RFM)/-							
	1.0	4.0	10.0	25.0	37.0	56.0	80.0	100.0
0	18.70	41.90	46.00	54.00	61.70	68.90	70.00	70.00
399	7.70	27.88	33.34	41.20	49.50	62.70	70.00	70.00
609	0.00	19.62	25.80	34.70	43.60	59.10	70.00	70.00
693	0.00	16.00	22.70	32.00	41.40	57.60	70.00	70.00
798	0.00	11.40	19.00	28.20	37.60	56.30	70.00	70.00
903	0.00	6.60	15.00	24.60	33.90	54.70	70.00	70.00
1008	0.00	4.90	11.00	21.00	30.30	53.10	70.00	70.00
1113	0.00	3.80	8.00	18.35	27.20	51.32	69.00	70.00
1218	0.00	2.80	6.50	15.70	24.60	49.60	68.00	70.00
1491	0.00	1.50	3.50	11.50	20.66	45.60	66.00	70.00
1995	0.00	1.00	2.50	9.00	17.00	41.32	62.00	70.00
2499	0.00	0.70	2.00	7.50	15.00	38.32	59.50	70.00
3003	0.00	0.50	1.50	6.50	13.00	35.50	57.28	67.84
3990	0.00	0.00	1.00	4.99	10.90	31.88	52.78	64.40
4998	0.00	0.00	0.00	2.62	7.88	26.66	45.78	59.96
5355	0.00	0.00	0.00	0.50	1.10	20.50	29.50	45.46

Figura 62 - Mapa Driver Wish - motor VAG 1.9TDI 130cv

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	caudal de injeção	posição de acelerador	rotação do motor
Unidade	mg/injeção	%	rpm

Tal como o nome o indica, estes mapas representam os desejos do condutor, ou seja, representa a quantidade de combustível que é requerida para uma determinada rotação, dependendo do quanto o pedal do acelerador é pressionado. Para este automóvel, por exemplo, é injetado 70mg de combustível em cada injetor às 2500rpm quando a posição do pedal do acelerador é de 100%. A ECU é informada da rotação do motor através do sensor de rotação e, em conjunto com a informação que lhe é enviada da posição do pedal do acelerador, ela vem a este mapa calcular a quantidade de combustível que deve ser injetada. Esta quantidade aumenta com a percentagem do acelerador, visto que significa que o condutor está a requerer mais potência do automóvel, injetando assim mais combustível.

Mapa: EGR

mg RPM	fecho eletrovalvula egr(FUEL, ROTAÇÃO) /%												
	0.00	3.00	7.40	10.00	12.40	15.00	17.40	20.00	22.40	25.00	29.00	33.00	51.00
0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
700	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
750	25.3	25.3	29.4	43.5	52.9	67.5	73.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
903	25.3	25.3	29.4	43.5	52.9	62.4	71.5	98.3	98.3	98.3	98.3	100.0	100.0
924	28.2	31.2	35.3	43.5	52.9	61.7	68.2	73.5	75.9	82.9	98.3	100.0	100.0
1239	29.2	35.3	41.2	46.4	51.2	55.9	61.2	66.4	72.9	79.4	98.3	100.0	100.0
1386	29.8	34.1	38.8	44.1	48.8	52.9	58.2	62.3	67.6	73.5	84.8	100.0	100.0
1491	29.6	33.5	37.6	42.3	47.0	51.2	55.9	60.6	65.3	71.2	78.7	86.6	100.0
1596	30.0	33.5	37.6	41.7	45.9	50.0	54.7	59.4	64.1	69.4	76.0	84.1	100.0
1743	30.2	33.5	37.6	41.2	45.3	48.8	53.5	58.8	64.1	68.8	75.9	84.6	100.0
1995	30.8	34.1	37.6	41.2	44.1	47.6	51.7	57.0	62.3	67.5	73.5	84.5	100.0
2247	31.4	34.7	38.8	42.9	44.1	47.6	53.5	62.9	71.2	76.4	82.9	87.9	100.0
2499	32.6	36.4	40.6	45.3	48.3	51.2	55.9	62.9	65.3	70.4	82.4	88.0	100.0
3423	38.8	42.9	47.6	52.4	56.4	61.2	65.9	70.6	76.5	82.9	90.1	94.4	100.0
3612	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
5355	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

Figura 63 - Mapa da EGR - motor VAG 1.9TDI 110cv

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	Fecho EGR	caudal de injeção	rotação do motor
Unidade	%	mg/injeção	rpm

Nos automóveis dotados do sistema de recirculação dos gases de escape (EGR) surgem estes mapas nos seus ficheiros de gestão eletrónica. A válvula EGR é aberta de acordo com as condições de funcionamento do motor e os valores de regulação da válvula que estão memorizados neste mapa. Assim, o mapa representa a percentagem de fecho da válvula EGR em função da quantidade de combustível injetada e do regime do motor, permitindo controlar a quantidade de gases de escape que estão a ser redirecionados para o motor. O valor de 100% significa que não existe qualquer trabalho por parte da EGR, a válvula está completamente fechada, impedindo que parte dos gases de escape sejam enviados para o motor. Como os gases de escape apresentam baixo teor em oxigénio e como ele é necessário para queimar combustível, significa que ao recircular os gases de escape, menos pressão é gerada nos cilindros e menor será o desempenho deste motor. Por este motivo, a percentagem de fecho ou percentagem de não abertura da válvula EGR aumenta com o aumento da quantidade de combustível injetada (Figura 63), já que significa que mais potência está a ser requerida ao automóvel; nunca é atuada ao ralenti, a altas rotações e à carga máxima (100% de acelerador).

Mapa: Limitador de injeção via MAF

mg RPM	smoke limiter(MASSA DE AR,Rotação)/mg							
	200.0	300.0	350.0	400.0	450.0	500.0	600.0	700.0
690	15.00	15.00	20.25	22.00	25.00	25.50	25.50	25.50
1000	19.00	19.00	23.00	24.00	25.00	25.00	25.00	25.00
1250	21.00	21.00	25.00	26.00	29.00	30.00	30.00	30.00
1500	23.00	23.00	25.72	28.00	31.72	35.00	35.00	35.00
1750	20.00	20.00	22.44	25.16	32.44	35.00	35.00	35.00
2000	20.44	20.44	22.94	26.16	32.00	35.00	35.00	35.00
2500	20.44	21.72	24.46	26.08	33.52	37.80	44.30	50.00
3000	20.00	22.00	24.46	26.78	33.82	38.00	44.40	50.00
3500	19.55	21.58	24.44	27.16	34.32	38.30	43.90	50.00
4000	19.00	20.58	23.84	27.16	33.92	39.00	44.00	50.00

Figura 64 - Mapa limitador de injeção via MAF - Opel Astra G 1.7TD 68cv

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	caudal de injeção	massa de ar	rotação do motor
Unidade	mg/injeção	mg/cilindro	rpm

Este mapa limita a quantidade de combustível injetada para uma determinada rotação do motor em função dos valores que estão a ser lidos pelo sensor MAF. Dos vários mapas que têm como

resultado a quantidade de combustível a ser injetada, os deste tipo são os que costumam ter valores mais baixos. Por exemplo, se o motor roda às 1500rpm e a ECU estiver a ler 400 mg/cilindro de caudal de ar, significa que a quantidade de combustível a ser injetada está limitada a 28 mg. Assim, este mapa apresenta a quantidade de combustível que é permitida para a quantidade de ar que está a entrar para o motor; como é necessário ar para queimar o combustível, significa que injeções de grandes quantidades de combustível na presença de pouco ar, resultaria em misturas muito ricas e desequilibradas, sendo o sensor MAF um dos sensores mais importantes para uma boa gestão eletrónica do motor.

Mapa: Pressão de sobrealimentação

mg RPM	PRESSÃO TURBO AUTORIZADA (FUEL, Rotação) /mbar									
	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	45.00	55.00
0	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198
21	1002	1052	1102	1158	1195	1265	1350	1350	1350	1350
1008	1002	1058	1106	1153	1199	1265	1350	1350	1350	1350
1260	1002	1060	1119	1171	1225	1281	1373	1425	1650	1750
1500	1002	1070	1155	1225	1305	1380	1495	1620	1870	1980
1750	1002	1080	1160	1245	1385	1485	1620	1770	2020	2185
1900	1002	1090	1160	1285	1425	1535	1680	1840	2090	2265
2000	1002	1090	1170	1295	1435	1555	1705	1880	2130	2300
2247	1012	1170	1230	1320	1460	1585	1725	1915	2180	2340
2499	1021	1190	1270	1370	1470	1605	1735	1925	2210	2350
3500	1060	1225	1320	1435	1515	1645	1775	1965	2235	2350
3750	1080	1225	1330	1445	1530	1645	1780	1970	2235	2350
3990	1100	1225	1330	1445	1540	1650	1780	1970	2215	2320
4250	1120	1225	1330	1445	1540	1670	1780	1980	2170	2260
4494	1149	1225	1328	1445	1540	1665	1780	1965	2070	2140
4746	1200	1225	1325	1429	1530	1655	1775	1900	1950	1950

**Figura 65 – Mapa da pressão absoluta de sobrealimentação
Citroen C5 2.0 HDI**

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	pressão do turbo requerida	caudal de injeção	rotação do motor
Unidade	mbar	mg/injeção	rpm

Este mapa representa a pressão de turbo (absoluta) requerida, dependendo do combustível pedido e da rotação do motor. Por exemplo, quando é pedido 55 mg de combustível às 2499rpm, é requerido 1350mbar de pressão relativa de turbo (considerando a pressão atmosférica aproximadamente 1bar). Um turbo típico é capaz de gerar 1000-1500mbar de pressão de ar adicional. Maior pressão de turbo significa mais ar entrar para o motor, conseqüentemente mais combustível pode ser queimado e mais potência será gerada pelo motor do automóvel. Como já foi referido, o sensor MAP é o responsável pela leitura da pressão no interior do coletor de admissão; em conjunto com o sensor de massa de ar e o fator lambda, ajuda na correção da mistura. O sensor MAF é o mais importante a baixas rotações, já que a essas rotações o sensor MAP não é tão sensível devido ao facto de a pressão ser baixa. A informação enviada à ECU pelo sensor de pressão absoluta permite-lhe comparar a pressão de sobrealimentação real com a que está armazenada nestes mapas (ideal).

Mapa: regulação da geometria variável do turbo

mg RPM	FECHO GEOMETRIA (FUEL, Rotação) /%												
	0.00	5.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	58.00
760	94.1	94.1	94.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
780	76.5	78.8	84.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1000	76.5	74.1	80.0	94.1	94.1	94.1	94.1	94.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1150	76.5	70.6	67.1	67.1	94.1	94.1	94.1	94.1	94.1	100.0	100.0	100.0	100.0
1300	76.5	70.6	62.9	64.1	68.2	88.2	94.1	94.1	94.1	94.1	94.1	94.1	94.1
1500	76.5	70.6	61.2	61.2	64.1	67.1	68.8	71.2	72.9	69.4	65.9	63.9	60.9
1600	76.5	70.6	60.6	61.2	62.4	64.7	65.9	68.2	69.4	64.1	60.0	60.0	57.7
1700	88.2	76.5	64.7	60.0	60.0	61.2	62.4	63.5	64.7	58.2	55.3	55.9	54.8
1900	88.2	76.5	64.7	57.6	57.6	58.8	58.8	60.0	58.8	53.5	51.2	51.8	50.0
2100	76.8	70.6	56.5	56.5	54.1	54.7	56.5	56.5	55.9	51.2	48.2	47.6	45.9
2200	74.3	70.6	55.9	55.3	52.9	52.9	53.5	54.1	53.5	49.4	46.5	45.3	44.1
2500	71.8	56.5	54.1	52.9	50.6	50.0	50.0	50.6	50.6	46.5	43.5	41.2	40.6
3000	71.8	57.1	55.3	52.9	49.4	45.9	44.7	45.9	45.9	42.4	40.6	36.5	35.8
3500	72.2	55.9	54.1	49.4	44.1	40.6	40.0	38.2	37.6	36.5	36.5	32.9	31.8
4000	70.4	55.3	43.5	43.5	38.8	35.3	35.3	36.5	36.5	34.1	31.8	29.4	28.2
4200	65.7	50.6	38.8	38.8	34.1	30.6	30.6	31.8	31.8	29.4	27.1	24.7	23.5

Figura 66 - Mapa da regulação da geometria do turbo - motor VAG 1.9 TDI 130cv

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	fecho da geometria	caudal de injeção	rotação do motor
Unidade	%	mg/injeção	rpm

Estes mapas surgem na gestão eletrónica de automóveis dotados de turbo de geometria variável. O mapa representa a percentagem de fecho da geometria de turbo em função da rotação do motor e da quantidade de combustível injetada. Tal como foi explicado em 2.3.8.2 e tal como se pode ver figura superior, a baixas rotações as alhetas encontram-se fechadas, já que existem poucos gases de escape e ao diminuir-se a secção entre elas, aumenta a velocidade dos gases de escape que incidem com mais força nas pás da turbina, fazendo-a girar mais depressa, daí a designação de geometria fechada. Com aumento da rotação do motor são gerados mais gases de escape; as alhetas adotam uma posição cada vez mais aberta, entrando os gases a grande velocidade no turbo fazendo girar a turbina muito depressa.

Mapa: Limitador de binário

RPM	FUEL (-, Rotação) /mg
-	0
441	0.00
462	26.00
1008	29.90
1239	31.50
1491	34.00
1743	35.40
1890	35.90
2016	35.40
2247	36.50
3255	38.50
3507	38.50
3759	39.00
3906	39.00
4011	40.00
4116	37.40
4242	34.80
4473	29.20
5355	0.00

	Resultado	Eixo Y
Descrição	caudal de injeção	rotação do motor
Unidade	mg/injeção	rpm

Figura 67 - Mapa limitador de binário - motor VAG 1.9TDI 90cv

Este mapa representa a quantidade máxima de combustível injetada que é permitida para cada rotação. Independentemente de todos os outros mapas, quando o motor roda a uma determinada rotação, a ECU vem buscar estes dados e permite no máximo ser injetada o combustível referenciado neste mapa para aquela rotação. É aqui que se encontra o limitador de rotação; a quantidade de combustível injetado para o último valor de rotação é de 0 mg; a ECU envia o sinal para o corte da injeção, impedindo que o motor atinja rotações mais elevadas, danificando-o.

4.2 Mapas característicos do sistema bomba injetora

Mapa: voltagem do regulador de pressão da bomba injetora

mg RPM	Voltagem da bomba injetora(FUEL,Rotação)/Volt													
	0.00	0.40	2.00	4.00	6.00	8.00	10.00	12.00	15.00	20.00	30.00	35.00	51.00	
0	0.000	0.610	1.108	1.156	1.237	1.301	1.381	1.445	1.510	1.590	1.670	2.056	2.730	2.955
210	0.931	1.028	1.092	1.156	1.237	1.301	1.381	1.461	1.526	1.606	1.686	1.815	2.023	2.280
399	0.915	0.996	1.076	1.156	1.237	1.301	1.381	1.461	1.542	1.622	1.718	1.847	2.072	2.361
609	0.867	0.947	1.076	1.156	1.237	1.301	1.397	1.477	1.558	1.638	1.734	1.895	2.104	2.425
798	0.771	0.899	1.044	1.140	1.220	1.301	1.397	1.477	1.558	1.654	1.766	1.927	2.152	2.489
903	0.723	0.867	1.028	1.124	1.220	1.285	1.397	1.477	1.558	1.670	1.783	1.943	2.168	2.537
1008	0.642	0.819	1.012	1.108	1.188	1.285	1.381	1.477	1.558	1.670	1.815	1.959	2.184	2.553
1260	0.337	0.739	0.964	1.076	1.172	1.269	1.365	1.477	1.558	1.702	1.863	2.023	2.264	2.634
1491	0.000	0.707	0.931	1.076	1.172	1.269	1.365	1.461	1.558	1.734	1.927	2.088	2.329	2.714
1743	0.000	0.691	0.915	1.060	1.156	1.269	1.381	1.461	1.574	1.783	1.991	2.184	2.425	2.826
1995	0.000	0.674	0.883	1.044	1.156	1.269	1.397	1.477	1.590	1.831	2.056	2.264	2.537	2.939
2499	0.000	0.658	0.835	0.996	1.124	1.220	1.413	1.493	1.638	1.911	2.200	2.425	2.730	3.148
3003	0.000	0.642	0.803	0.996	1.108	1.204	1.397	1.510	1.670	1.991	2.329	2.585	2.907	3.356
3507	0.000	0.626	0.771	0.980	1.092	1.204	1.397	1.526	1.718	2.072	2.441	2.730	3.083	3.533
3990	0.000	0.610	0.755	0.964	1.092	1.204	1.397	1.542	1.766	2.136	2.553	2.875	3.244	3.613
4494	0.000	0.562	0.723	0.947	1.076	1.204	1.397	1.542	1.783	2.216	2.666	3.003	3.404	3.726

Figura 68 - Mapa da voltagem da bomba injetora - motor VAG 1.9TDI 90cv

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	voltagem da bomba injetora	caudal de injeção	rotação do motor
Unidade	volt	mg/injeção	rpm

Estes mapas surgem nos automóveis dotados de bomba injetora com regulador eletrónico para o controlo do débito de combustível. Por exemplo, nos sistemas de bomba injetora em linha, o dispositivo regulador é formado por um eletroímã que comanda o movimento da cremalheira reguladora da bomba. A ECU é informada sobre a posição da cremalheira e controla-a, determinando em cada momento se a corrente elétrica para o eletroímã deve aumentar ou diminuir. Uma voltagem superior da bomba injetora significa que a cremalheira se encontra numa posição em que a quantidade de combustível enviada para o retorno é menor, logo mais combustível fica retido na bomba e mais pressão interna é gerada nela, consequentemente mais combustível é bombeado para os injetores. Repare-se que neste mapa a partir de 10 mg de combustível por injeção, a voltagem da bomba aumenta com o aumento da rotação do motor e da quantidade de combustível injetado, apresentando um valor máximo de 3,726V.

Mapa: avanço de injeção

mg RPM	GRAUS (FUEL, Rotação) / °									
	3.20	6.00	9.60	12.00	16.00	20.00	24.00	28.00	32.00	36.00
819	3.40	3.40	3.40	3.00	2.00	0.00	-5.00	-12.00	-3.12	-2.16
987	3.40	3.40	3.40	3.00	2.00	0.00	-5.00	-12.00	-6.16	-6.16
1239	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	-2.00	-12.00	-6.16	-6.16
1491	8.72	8.64	8.48	7.36	7.68	7.44	0.96	-0.72	-0.72	-0.72
1743	9.84	9.68	9.36	9.04	8.32	7.92	4.40	2.56	2.56	2.56
1995	9.76	9.52	9.28	9.04	8.40	7.92	6.80	5.52	5.52	5.52
2247	9.68	9.52	9.28	9.04	8.24	7.68	5.68	4.08	4.08	4.08
2499	9.52	9.36	9.12	8.88	8.00	7.44	5.00	2.40	2.40	2.40
2982	8.48	8.24	8.00	7.60	6.88	6.16	5.68	0.56	0.56	0.56
3990	6.72	6.24	5.36	4.48	3.44	2.64	2.08	0.00	0.00	0.00

Figura 69 - Mapa avanço de injeção - motor VAG 1.9TDI 90cv

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	avanço	caudal de injeção	rotação do motor
Unidade	graus (°)	mg/injeção	rpm

O avanço de injeção é função da quantidade de combustível e da rotação do motor; é medido em graus do ângulo de rotação da cambota relativamente ao ponto morto superior. O combustível começa a ser injetado ainda durante o processo de compressão, durante a subida do pistão, já que é atingida uma quantidade suficiente para uma perfeita mistura e consequentemente uma boa combustão. Como o tempo que a mistura ar-combustível leva a queimar é mais ou menos constante e a velocidade do pistões é diretamente proporcional à rotação do motor, significa que, quanto maior é a rotação do motor, mais cedo tem ser injetado o combustível para que a queima da mistura seja eficiente.

4.3 Mapas característicos do sistema injetor-bomba

Mapa: Início de injeção

mg RPM	AVANÇO (FUEL, Rotação) / °														
	0.50	2.00	5.00	7.00	10.00	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00	45.00	50.00	55.00	60.00
100	3.45	3.89	4.49	4.77	4.98	5.20	5.40	5.63	5.94	6.23	6.55	6.77	7.02	7.41	7.65
200	3.40	3.84	4.42	4.72	4.93	5.11	5.30	5.53	5.84	6.13	6.45	6.62	6.90	7.26	7.50
600	3.04	3.50	3.88	4.18	4.46	4.70	4.92	5.22	5.53	5.83	6.09	6.32	6.56	6.87	7.22
800	2.66	3.05	3.45	3.80	4.13	4.38	4.66	5.00	5.37	5.69	6.15	6.41	6.70	7.04	7.45
1000	2.25	2.68	3.01	3.29	3.63	4.10	4.38	4.80	5.19	5.70	6.17	6.60	6.92	7.22	7.66
1250	2.06	2.51	2.81	3.09	3.31	4.06	4.43	4.95	5.35	5.90	6.37	6.88	7.32	7.85	8.35
1500	1.68	2.32	2.69	2.91	3.18	3.93	4.41	5.00	5.51	6.19	6.81	7.36	7.80	8.32	8.83
1750	1.38	2.03	2.43	2.73	3.10	3.66	4.38	4.92	5.53	6.35	7.01	7.59	8.14	8.80	9.33
2000	0.96	1.61	2.14	2.42	2.81	3.59	4.43	5.04	5.71	6.45	7.11	7.92	8.53	9.34	9.83
2500	0.11	0.87	1.48	1.84	2.27	3.28	4.23	5.25	5.93	6.73	7.59	8.28	9.22	9.76	10.46
3000	-0.71	0.12	0.79	1.25	1.79	2.91	4.17	5.24	6.42	7.31	8.24	9.04	9.91	10.60	11.17
3500	-1.22	-0.64	0.05	0.63	1.27	2.26	3.86	5.17	6.54	7.76	8.63	9.57	10.57	11.00	11.64
3800	-1.48	-1.03	-0.38	0.17	0.78	2.07	3.94	5.38	6.84	8.06	9.23	10.06	11.16	11.71	12.08
4000	-1.65	-1.13	-0.60	-0.12	0.45	1.94	3.82	5.33	6.77	7.94	9.03	9.85	10.85	11.73	11.95
4500	-1.73	-1.43	-1.02	-0.62	0.01	1.36	2.81	4.74	6.19	7.71	9.02	9.83	10.99	11.78	12.12
5000	-1.88	-1.61	-1.21	-0.82	-0.31	0.42	2.31	4.24	5.85	7.47	8.75	9.76	11.06	11.86	12.21

Figura 70 - Mapa do início de injeção - motor VAG 1.9TDI 130cv

Este tipo de mapas são exclusivos dos automóveis equipados com sistema de injeção injetor-bomba. Tal como explicado em 2.5.2, este sistema é constituído por uma bomba e um injetor montados no mesmo corpo; o controlo do início de injeção é programado pela ECU através destes mapas e estes dados representam o momento em que é enviado um sinal elétrico à válvula solenoide, fechando-se, impedindo que o combustível escape para o retorno, pressurizando-o e dando assim início à injeção. Quanto maior for o avanço, significa que mais cedo é trancado o

retorno, logo mais combustível será bombeado, daí que no mapa representado o avanço aumente com o aumento da quantidade de combustível a ser injetada; por exemplo, para injetar-se 60 mg de combustível às 2500 rpm, o avanço da injeção deve ser de 10,46°.

4.4 Mapas característicos do sistema common-rail

Mapa: pressão de injeção

rpm mg	Pressão Rail (rpm,mg)/bar																
	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2800	3000	3200	3600	3800	4000	4600	4602
0	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
2	300	300	300	305	310	315	320	330	340	355	370	385	400	411	411	411	411
4	300	300	305	313	320	325	335	355	370	385	410	425	430	450	470	480	480
6	305	305	310	315	320	335	380	410	420	450	470	480	530	560	587	594	594
8	310	310	315	328	340	355	405	450	460	520	570	600	645	663	675	690	690
10	320	320	320	343	365	395	460	520	580	650	710	747	757	768	775	790	790
12	325	330	330	355	380	450	530	630	700	800	867	869	876	880	883	896	896
14	330	340	340	380	450	520	630	740	820	930	986	990	1006	1016	1023	1048	1048
16	335	380	410	470	510	598	715	833	930	1041	1087	1093	1115	1124	1139	1192	1192
20	353	430	485	545	610	700	900	1030	1100	1227	1266	1271	1296	1309	1321	1357	1357
24	370	507	575	628	690	780	990	1120	1200	1336	1372	1391	1433	1442	1457	1506	1506
28	370	570	655	710	760	840	1030	1140	1250	1364	1405	1451	1509	1538	1567	1600	1600
32	370	590	705	789	822	905	1050	1150	1250	1372	1427	1476	1538	1569	1600	1600	1600
36	370	590	705	808	860	970	1070	1160	1250	1380	1450	1500	1570	1585	1600	1600	1600
40	370	590	705	808	860	970	1070	1160	1250	1380	1450	1500	1570	1600	1600	1600	1600
50	370	590	705	808	860	970	1070	1160	1250	1380	1450	1500	1570	1600	1600	1600	1600

Figura 71 - Mapa da pressão de injeção - Toyota Corolla 1.4 D4D

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	pressão do rail	rotação do motor	caudal de injeção
Unidade	bar	rpm	mg/injeção

O mapa da pressão de injeção é um parâmetro fundamental e característico do tipo de injeção common-rail. Como o combustível tem que ser enviado desde o acumulador de pressão ou “rail” a elevadas pressões para os injetores, é necessário saber a pressão a que ele deve ser acumulado em função das várias condições de utilização e do motor. Tal como já foi referido, num acumulador de pressão típico deste sistema, encontra-se um sensor de pressão que permite saber a pressão do combustível e uma válvula reguladora de pressão que regula a pressão do rail, libertando mais ou menos combustível para o retorno. Este mapa representa a pressão do combustível (em unidades de pressão bar) que está a ser feita no rail, ou a pressão de injeção, em função da rotação do motor e do caudal de combustível injetado.

Mapa: tempo abertura dos injetores

bar mg	tempo abertura (PRESSÃO RAIL, FUEL) /ms															
	119.0	120.0	200.0	250.0	300.0	400.0	500.0	600.0	700.0	800.0	900.0	1000.0	1100.0	1200.0	1300.0	1400.0
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.50	0.000	0.502	0.250	0.179	0.150	0.150	0.150	0.150	0.163	0.186	0.195	0.195	0.196	0.191	0.188	0.188
1.00	0.000	0.755	0.420	0.250	0.160	0.150	0.150	0.150	0.163	0.186	0.195	0.195	0.196	0.191	0.188	0.188
1.50	0.000	0.645	0.522	0.333	0.232	0.174	0.160	0.150	0.163	0.186	0.195	0.195	0.196	0.191	0.188	0.188
2.00	0.000	0.906	0.552	0.384	0.274	0.204	0.174	0.152	0.163	0.186	0.195	0.195	0.196	0.191	0.188	0.188
2.50	0.000	0.938	0.621	0.454	0.341	0.246	0.220	0.182	0.163	0.196	0.198	0.197	0.196	0.191	0.188	0.188
3.00	0.000	0.970	0.645	0.503	0.392	0.271	0.232	0.212	0.209	0.203	0.199	0.201	0.203	0.198	0.192	0.188
4.00	0.000	1.020	0.690	0.565	0.490	0.323	0.263	0.229	0.225	0.214	0.211	0.210	0.214	0.212	0.200	0.200
6.00	0.000	1.116	0.775	0.622	0.570	0.380	0.365	0.273	0.255	0.236	0.226	0.223	0.223	0.222	0.218	0.224
10.00	0.000	1.315	0.943	0.798	0.720	0.540	0.465	0.386	0.342	0.319	0.294	0.259	0.244	0.243	0.242	0.241
14.00	0.000	1.542	1.120	0.930	0.820	0.684	0.532	0.476	0.414	0.393	0.362	0.321	0.304	0.292	0.286	0.280
20.00	0.000	1.930	1.395	1.134	1.002	0.798	0.698	0.577	0.547	0.503	0.463	0.415	0.394	0.365	0.353	0.341
26.00	0.000	2.328	1.752	1.417	1.241	1.042	0.795	0.725	0.636	0.598	0.565	0.508	0.484	0.439	0.420	0.401
32.00	0.000	2.731	2.100	1.739	1.533	1.230	1.071	0.993	0.855	0.720	0.663	0.602	0.575	0.533	0.467	0.457
34.00	0.000	2.872	2.215	1.868	1.630	1.355	1.153	0.977	0.911	0.804	0.707	0.637	0.599	0.568	0.509	0.509
36.00	0.000	2.976	2.300	1.972	1.725	1.445	1.233	1.067	0.970	0.880	0.807	0.758	0.709	0.623	0.568	0.550
40.00	0.000	3.171	2.466	2.150	1.875	1.575	1.382	1.203	1.089	1.001	0.941	0.879	0.755	0.739	0.685	0.605
50.00	0.000	3.686	2.906	2.558	2.298	1.988	1.756	1.544	1.433	1.324	1.219	1.129	1.025	0.980	0.922	0.830
60.00	0.000	4.178	3.324	3.001	2.718	2.382	2.154	1.885	1.741	1.600	1.503	1.399	1.292	1.222	1.159	1.071
120.00	0.000	7.200	5.762	5.344	4.993	4.530	4.210	3.930	3.632	3.335	3.085	2.900	2.774	2.674	2.587	2.515

Figura 72 - Mapa dos tempos de injeção - Citroen C5 2.0 HDI

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	tempo de injeção	pressão de injeção	caudal de injeção
Unidade	ms	bar	mg/injeção

Uma das outras particularidades deste sistema é o uso de injetores os quais é possível definir o período de tempo em que eles estão abertos, ou seja, o tempo de injeção. Na figura acima esse período de tempo está representado em unidades de tempo milissegundo e é função da pressão de injeção e do caudal de injeção. Repara-se que neste mapa é possível identificar a pressão máxima de injeção que pode ser feita (1400 bar). O tempo de abertura dos injetores decai com o aumento da pressão de injeção, já que quanto maior é a pressão, mais rápido o combustível é injetado, diminuindo assim o tempo de abertura dos injetores para a mesma quantidade injetada. Pelo contrário, um aumento na quantidade de injeção de combustível traduz-se na necessidade de maiores tempos de injeção, visto que para a mesma pressão de injeção é necessário mais tempo para injetar uma maior quantidade de combustível.

Mapa: limitador da pressão de injeção

mg RPM	PRESSÃO (FUEL, Rotação) /bar					
	0.00	5.00	15.00	20.00	40.00	60.00
200	750.0	750.0	750.0	750.0	750.0	750.0
400	865.0	865.0	865.0	865.0	865.0	865.0
800	1090.0	1090.0	1090.0	1090.0	1090.0	1090.0
1000	1205.0	1205.0	1205.0	1205.0	1205.0	1205.0
1250	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
1800	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
2000	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
2200	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
2400	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
2600	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
2800	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
3000	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
3200	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0
4500	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0	1350.0

Figura 73 - Limitador da pressão de injeção - Citroen C5 2.0 HDI

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	limitador de pressão do rail	caudal de injeção	rotação do motor
Unidade	bar	mg/injeção	rpm

Este mapa apresenta a mesma configuração que o mapa representado na Figura 71. Embora a dimensão da matriz seja bem menor, o mapa é idêntico, mas os valores de pressão de injeção neste mapa são os limites para os tipos de mapas apresentados na Figura 71, ou seja, quaisquer que sejam os valores alterados no mapa da pressão de injeção ou por alguma anomalia, eles

nunca ultrapassam, para a mesma rotação e a mesma quantidade de combustível injetada, as pressões de injeção transcritos neste mapa, limitando-os a 1350 bar.

4.5 Mapas característicos das EDC16

Os mapas dos ficheiros contidos nas unidades de controlo do motor das EDC 16 são semelhantes aos apresentados anteriormente para as EDC15, com a exceção de alguns serem baseados no binário (Nm) em vez do caudal de injeção (mg/injeção). Embora tenha referenciado anteriormente o sistema das EDC15, é de especial interesse entender as particularidades do sistema das EDC16, visto que o procedimento experimental incide numa ECU dessa gama.

Mapa: conversão de binário

N.m RPM	Fuel (Binário, Rotação) /mg															
	0.0	25.0	50.0	75.0	100.0	125.0	150.0	175.0	200.0	250.0	275.0	300.0	325.0	350.0	375.0	400.0
0	0.00	4.46	8.94	13.41	18.93	24.32	30.48	36.30	42.81	55.46	62.63	70.07	77.32	84.69	90.74	96.79
600	0.00	4.34	8.71	13.06	18.42	23.63	29.58	35.22	41.49	53.69	60.59	67.72	74.69	81.75	87.59	93.43
1000	0.00	4.26	8.52	12.78	17.93	22.99	28.74	34.20	40.25	51.95	58.67	65.33	72.22	79.01	84.66	90.30
1600	0.00	4.22	8.43	12.65	17.37	22.32	27.43	32.61	38.32	49.38	55.70	62.14	68.42	74.79	80.13	85.48
2000	0.00	4.19	8.38	12.57	17.39	22.35	27.27	32.23	37.26	46.99	52.15	58.45	65.10	71.68	78.30	84.77
2400	0.00	4.26	8.52	12.78	17.70	22.60	27.63	32.42	37.32	46.99	51.76	57.06	62.65	68.71	75.12	81.53
2800	0.00	4.32	8.64	12.96	17.85	22.73	27.79	32.70	37.43	46.99	52.07	57.40	62.84	69.14	75.59	81.92
3200	0.00	4.41	8.82	13.22	17.88	22.70	27.67	32.70	37.76	47.41	52.62	57.92	63.80	70.11	76.56	82.85
3600	0.00	4.38	8.16	13.73	18.39	23.15	28.32	33.48	38.44	48.34	53.50	59.91	66.24	72.61	78.95	85.33
4000	0.00	4.75	9.51	14.26	19.13	24.02	29.36	34.51	39.69	50.00	55.78	62.14	68.42	74.79	80.94	86.34
4400	0.00	4.87	9.74	14.61	19.75	25.00	30.38	35.96	40.63	51.61	57.80	64.11	70.39	76.71	82.90	88.43
4600	0.00	4.91	9.79	14.66	19.81	25.04	30.43	35.96	40.76	51.78	57.80	64.11	70.51	76.71	82.90	88.43
4800	0.00	4.95	9.84	14.71	19.87	25.08	30.48	35.96	40.89	51.95	57.80	64.11	70.63	76.71	82.90	88.43
5000	0.00	4.95	9.84	14.71	19.87	25.08	30.48	35.96	40.89	51.95	57.80	64.11	70.63	76.71	82.90	88.43
5200	0.00	4.95	9.84	14.71	19.87	25.08	30.48	35.96	40.89	51.95	57.80	64.11	70.63	76.71	82.90	88.43
5400	0.00	4.95	9.84	14.71	19.87	25.08	30.48	35.96	40.89	51.95	57.80	64.11	70.63	76.71	82.90	88.43

Figura 74 - Mapa de conversão de binário - Mercedes C220 CDI

	Resultado	Eixo X	Eixo Y
Descrição	caudal de injeção	binário	rotação do motor
Unidade	mg/injeção	Nm	rpm

O mapa representado apresenta a conversão do binário requerido em caudal de combustível, dependendo da rotação do motor. Por exemplo, ao injetar-se 25 mg às 4600rpm, é produzido um binário de 125 Nm. Este mapa é um dos mais importantes deste tipo de ECU, visto que permite interpretar a relação entre o caudal de combustível e o binário produzido, sendo possível perceber quanto é o acréscimo de combustível necessário para produzir determinado binário. Da Figura 74 também é possível identificar que este automóvel faz um binário máximo de 400 Nm.

Mapa: Limitador de binário (Nm)

Patm RPM	Binário (Patm, Rotação) / N.m 1000
750	330.0
1000	330.0
1250	330.0
1500	330.0
1750	330.0
2000	330.0
2250	330.0
2500	330.0
2750	330.0
3000	330.0
3250	330.0
3500	330.0
3750	330.0
4000	330.0
4500	330.0

	Resultado	Eixo X
Descrição	binário	rotação do motor
Unidade	Nm	rpm

Figura 75 - Mapa Limitador de binário (Nm) - Mercedes C220 CDI

Este mapa é semelhante ao da Figura 67, com a exceção que este limita o binário em vez do combustível, em função da rotação. Deste modo, a saída deste mapa é binário (Nm) e representa o máximo que pode ser feito em cada rotação, independentemente de todos os outros parâmetros. Do cruzamento destes dois mapas pode-se verificar que embora o binário máximo produzido por este automóvel seja de 400Nm, está sempre limitado eletronicamente a 330Nm.

5 Procedimento experimental

5.1 Objetivo

O objetivo da execução deste projeto é:

- Otimização da gestão eletrónica do motor, nomeadamente de um motor a gasóleo.

5.2 Objeto de estudo

O automóvel selecionado para a análise prática do tema é um Toyota Corolla E12 1.4 D4D de 2006 (Figura 76). Este automóvel por ser relativamente recente é já dotado de uma boa eletrónica, possuindo características que fazem do mesmo um bom exemplo para uma reprogramação automóvel: o sistema de injeção é do tipo common-rail, possui um turbocompressor de geometria variável, apresenta potências modestas e gestão eletrónica Bosch.



Figura 76 – Automóvel objeto de estudo: Toyota Corolla 1.4 D4D

Os dados técnicos podem ser visualizados na seguinte tabela:

Tabela 5 - Dados técnicos Toyota Corolla 1.4 D4D

<i>Motor</i>	
<i>Código do motor</i>	1ND-TV
<i>Combustível</i>	Gasóleo
<i>Tipo</i>	4 cilindros em linha
<i>Colocação</i>	Dianteira, transversal
<i>Cilindrada (cc)</i>	1364 cc
<i>Número de válvulas por cilindro</i>	2
<i>Taxa de compressão</i>	17,9
<i>Alimentação</i>	Injeção common-rail Turbo geometria variável, <i>intercooler</i>
<i>Bomba de alta pressão (bar)</i>	300-1600
<i>Potência máxima (cv/rpm)</i>	90/3800
<i>Binário máximo (Nm/rpm)</i>	190/1800-3000
<i>Transmissão</i>	
<i>Tração</i>	Dianteira
<i>Tipo de caixa</i>	Manual
<i>Velocidades</i>	5
<i>Plataforma</i>	
<i>Direção</i>	
<i>Tipo</i>	Pinhão e cremalheira
<i>Viragem (m)</i>	10,2
<i>Suspensão</i>	
<i>Dianteira</i>	MacPherson, triângulos inferiores e barra estabilizadora
<i>Traseira</i>	Eixo de torção com barra estabilizadora
<i>Travões</i>	
<i>Dianteiros</i>	Discos ventilados
<i>Traseiros</i>	Discos
<i>Pneus</i>	
<i>Dianteiros</i>	205/50R16
<i>Traseiros</i>	205/50R16
<i>Carroçaria</i>	
<i>Comprimento/largura/altura (mm)</i>	4180/1710/1475
<i>Distância entre eixos (mm)</i>	2600
<i>Peso (kg)</i>	1330
<i>Capacidade da mala (l)</i>	289
<i>Capacidade do depósito (l)</i>	55
<i>Prestações</i>	
<i>Performance</i>	
<i>Velocidade máxima (km/h)</i>	180
<i>Aceleração 0-100 km/h (s)</i>	13,3
<i>Consumos</i>	
<i>Urbano/Extra-urbano/Combinado (l/100km)</i>	5,8/4,3/4,8

Emissões
 CO (g/km)
 Partículas (g/km)
 CO₂ (g/km)

0,17
0,021
128

Centralina

A centralina deste automóvel é da geração EDC 16 (Figura 77) e a par do sistema common-rail é um dos pontos mais fortes deste automóvel, pois mesmo não sendo o modelo mais atual da Bosch, já é muito desenvolvida. As características específicas da unidade de controlo deste automóvel estão descritas na Tabela 6.

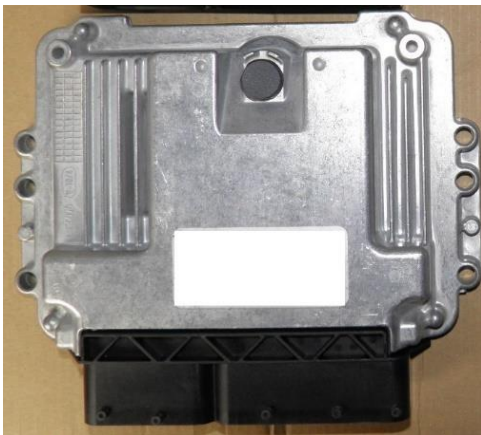


Tabela 6 - Características da centralina do Toyota Corolla 1.4D4D

Marca	Bosch
Modelo	EDC16C10
Código Toyota	89661-02A90
Hardware	0 281 011 733

Figura 77 - Centralina da geração EDC16

5.3 Banco de potência

O banco de potência utilizado para a realização dos testes de performance do automóvel foi o Maha LPS2000, propriedade da “Autoperformance”, o qual pode ser visualizado na Figura 78, aquando da realização de um dos testes. Este banco é composto por dois eixos (frontal e dianteiro), permitindo testes a automóveis com tração a 2 e 4 rodas. Abrange uma gama de leitura de potências até 700cv à roda e permite leituras de parâmetros como a temperatura e pressão atmosféricas, fatores preponderantes para posterior cálculo da potência normalizada (Lavandeira 2010).



Figura 78 - Teste em banco de potência na Autoperformance

5.4 Método/Máquina de reprogramação

A otimização da gestão eletrônica é efetuada com a leitura dos dados originais do automóvel, a otimização desses dados e por fim a escrita do novo ficheiro com os parâmetros otimizados, no interior da memória da centralina.

Entre os métodos de programação descritos em 3.4, o método utilizado para a leitura e escrita dos novos dados na ECU foi o OBD II. No automóvel em questão, a localização da ficha para efetuar a comunicação situa-se no compartimento do condutor por baixo do volante, junto ao manípulo de abertura do capô (Figura 79).



Figura 79 - Localização da ficha OBD II

Para a leitura e escrita dos dados, foi utilizada neste projeto a máquina de programação “CMD Flash OBD/BDM Tool” (Figura 80), um dos modelos da “CMD Technologies Srl”.



Figura 80 - Hardware CMD Flash

A “CMD Flash” é uma das boas máquinas de programação de automóveis existentes no mercado mundial, destacando-se pelo variado ramo de aplicações e tipo de veículos motores que consegue intervir: automóveis, motocicletas, camiões, autocarros, barcos, tratores agrícolas, kartings, etc. Todos os principais métodos de programação estão ao alcance deste módulo (OBD, BDM e Boot Mode).

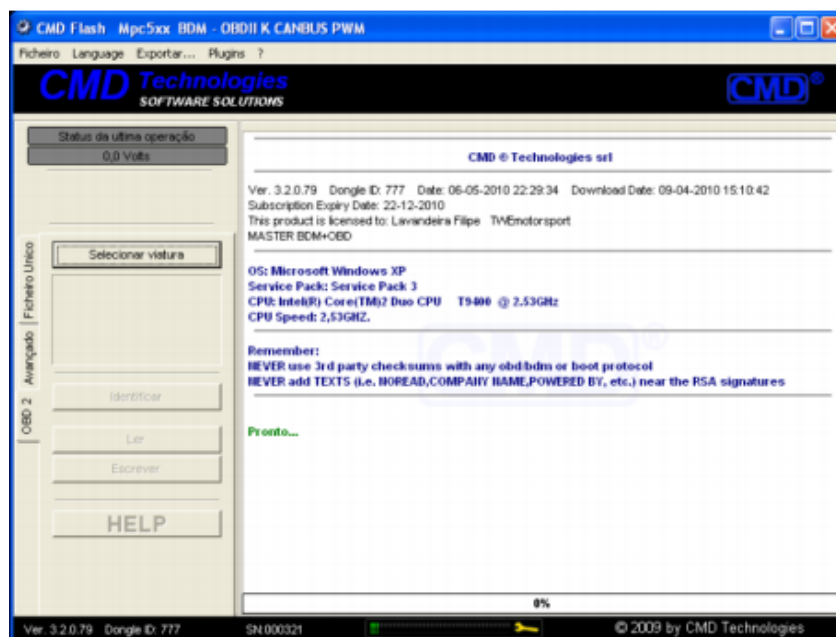


Figura 81 - Software CMD Flash
(Lavandeira 2010)

A figura anterior ilustra o ambiente principal do *software* da máquina de programação “CMD Flash”. Os ficheiros das gestões eletrónicas têm em quase todos os casos o *checksum* associado, que é o cálculo que valida a integridade do ficheiro de forma a fazê-lo funcionar; como tal, ao ser feito um novo ficheiro na base do original tem obrigatoriamente de ser recalculado o *checksum*.

Nas centralinas mais atuais do grupo Bosch (modelos EDC16 e EDC17), para além de precisarem do recálculo do *checksum*, necessitam também do recálculo do RCA, sendo o

método normalmente efetuado pelo *software* que se utiliza para a modificação e otimização do ficheiro.

O método de funcionamento desta máquina vai ao ponto de ela própria fazer esse recálculo. O *software* de modificação do ficheiro poderá nem possuir essa opção, que posteriormente a “CMD Flash” fará esse trabalho (Lavandeira 2010).

5.5 Programa de leitura e programação

A primeira etapa do processo da otimização da gestão eletrónica do automóvel em questão consiste na obtenção do ficheiro de fábrica, onde estão incluídos todos os parâmetros que regem o funcionamento do automóvel.

Salienta-se que frequentei uma pequena formação nesta área da otimização da gestão eletrónica com uma curta duração de 16 horas, que incidiu no modo de funcionamento geral do programa de reprogramação, o reconhecimento, elaboração e relacionamento dos principais mapas, aprender a ler a *hexdump* e conceitos básicos de remapeamento (ou reprogramação) de centralinas.

O *software* utilizado para a leitura do ficheiro e construção dos vários mapas designa-se de “WinOls” da “EVC Eletronic”. Este programa é considerado um dos melhores desta área e foi concebido especialmente para modificar o conteúdo presente na memória duma ECU.

Todos os mapas e dados neste programa são armazenados sobre a forma de projetos (Figura 82). Nestes são guardadas todas as informações no decorrer da programação do automóvel, que consistem no ficheiro original e as várias versões modificadas, bem como as informações que permitem identificar o trabalho em questão: nome do cliente, matrícula, marca e modelo do automóvel, motorização, características da ECU, entre outros.

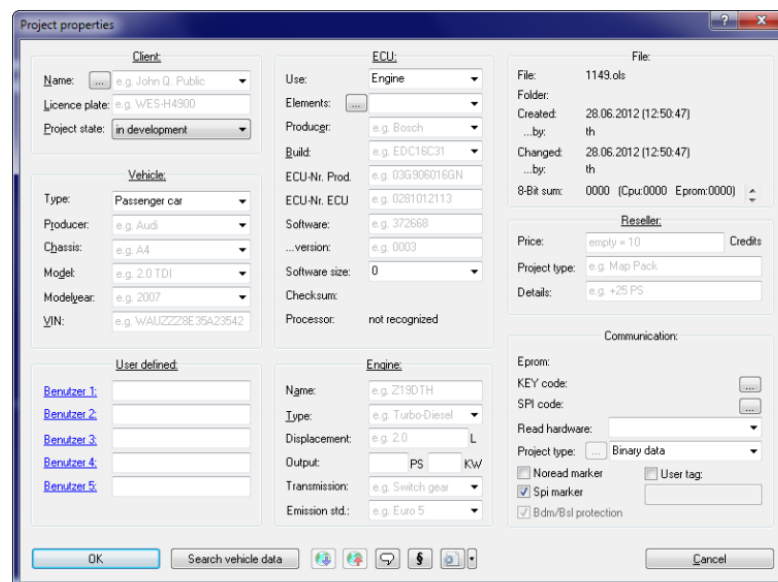


Figura 82 - Gravação do projeto de programação de uma ECU no WinOls (EVC electronic 2012)

Após a criação de um novo projeto, o programa automaticamente começa a procura por mapas em apenas alguns segundos, identificando-os e disponibilizando-os numa pasta designada de “potenciais mapas”. No entanto, a procura e construção dos mapas foi feita manualmente, o que

não é fácil e requer habilidade. Estão disponíveis três modos de exibição (Texto, 2D e 3D), conforme o utilizador prefira; neste caso foi seleccionado o modo de procura 2D na raiz (*hexdump*) (Figura 83), já que permite uma melhor identificação dos mapas. A *hexdump* é uma visualização hexadecimal dos dados da memória da ECU. Já quanto ao modo de leitura, pode-se optar pela visualização dos dados na forma de 8, 16 ou 32 bits e segundo a organização *low/high* ou *high/low*, dependendo da forma como foram gravados os dados na memória da ECU. Neste caso seleccionou-se o modo de 16 bits segundo a organização *low/high*.

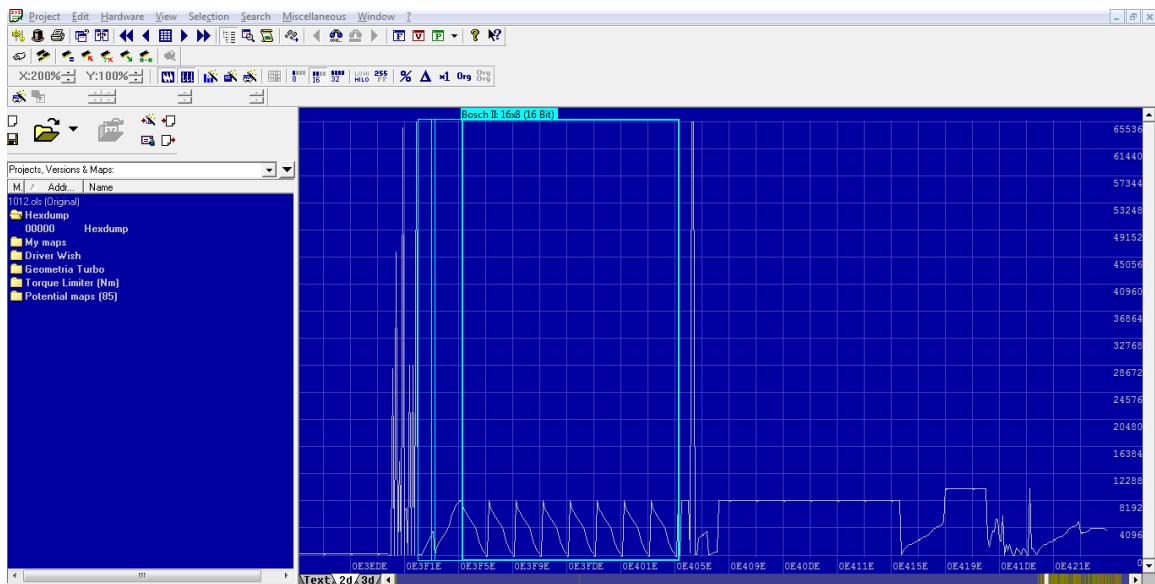
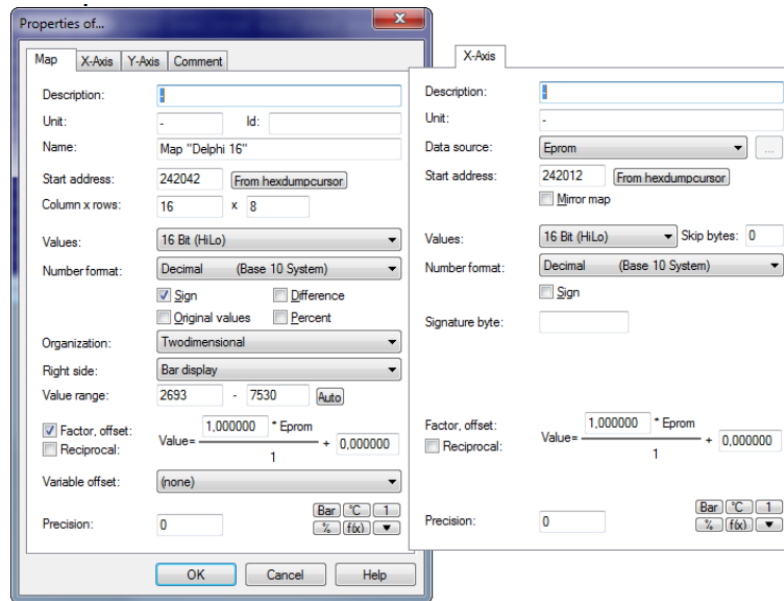


Figura 83 - Modo de visualização 2D na *hexdump*
(EVC electronic 2012)

Após a abertura de um mapa, este surge sob a forma de uma tabela com os dados completamente desconfigurados, ou seja, não é designado qual o mapa em questão, as unidades correspondes ao eixo X e o eixo Y, e na maior parte dos casos os valores não correspondem aos valores físicos. Cabe ao utilizador tentar identificar quais os parâmetros que intervêm neste mapa e configurá-lo, de forma a facilitar a interpretação dos dados. Para este fim, acede-se à ferramenta das propriedades do mapa para a sua configuração:



a)

b)

**Figura 84 - Caixa de diálogo com as propriedades do mapa
(a- Propriedades do mapa; b- Configuração do eixo X)
(EVC electronic 2012)**

Tal como se pode visualizar na figura anterior, aqui define-se as propriedades do mapa, tais como (adaptado de EVC electronic 2012):

- *Description, unit, name, id*: definido pelo utilizador, o nome deve descrever o mapa inteiro, enquanto a descrição e unidade deve-se referir ao conteúdo do mapa (sem eixos);
- *Data source*: define a fonte, o local de onde provêm os eixos;
- *Start address*: define o endereço no qual o mapa se inicia;
- *Rows & Columns*: define a dimensão/tamanho do mapa;
- *Number format*: define qual a configuração do sistema numérico a ser visualizado (código binário, decimal ou hexadecimal);
- *Original values*: o “WinOls” exibe a versão original (valores não modificados), em vez da versão alterada;
- *Factor & Offset*: ajudam a mostrar os valores físicos, aplicando aos valores atuais um determinado *factor* (multiplicando-o) e um *offset* (adicionando-o ou subtraindo-o) da seguinte forma: valor exibido = valor x *factor* + *offset*;
- *Precision*: número de casas decimais visíveis;
- *Bar / °C / l*: preenche automaticamente os campos do *factor*, *offset*, unidade e precisão, tendo em conta o parâmetro seleccionado;
- *%*: transforma os valores do conteúdo do mapa em %, designando o valor seleccionado para 100% e transformando os outros tendo este como referência.

5.6 Programação original

A primeira fase do procedimento experimental consistiu na obtenção do ficheiro da programação original do automóvel. A partir desse ficheiro, procedeu-se à análise e construção dos mapas mais importantes, ou seja, aqueles que regem de forma determinante o funcionamento do automóvel: o caudal, o avanço, a pressão e o tempo de injeção, a pressão do turbo, entre outros. No ANEXO A pode-se visualizar os principais mapas construídos; estes não serão abordados neste subcapítulo, já que o seu estudo se enquadra melhor na fase dos mapeamentos e respetivos testes/análises.

De referir que neste processo os mapas mais comuns foram encontrados e construídos com alguma facilidade, enquanto que a construção de outros mais específicos e os mapeamentos do capítulo seguinte contaram com a preciosa ajuda do Eng.º Filipe Lavandeira, profissional na área em questão.

Após a construção e o estudo dos principais mapas que regem a gestão eletrónica deste automóvel, mas ainda com a programação original, realizou-se o primeiro teste em banco de potência. Salienta-se a importância desta primeira análise, visto que é necessário ver como o carro se comporta ao longo do regime de rotação no “modo de origem”, de forma a ser objetivo, rápido e conciso nos mapeamentos a realizar e para extrair boas comparações de resultados.

Os testes foram realizados em condições atmosféricas constantes, a uma temperatura ambiente de 21°C e 1001 mbar de pressão atmosférica.

A análise deste teste permite constatar que, não só os valores de potência e binário máximo, mas também os regimes em que se registam, revelaram-se idênticos ao anunciado pelo fabricante, excetuando pequenas diferenças nos dados da potência, tal como se pode verificar na tabela seguinte.

Tabela 7 - Comparação entre os dados de potência obtidos e os anunciados

	Resultado em teste de potência	Anunciado pelo fabricante
Potência máxima (cv/rpm)	92,45/4000	90/3800
Binário máximo (Nm/rpm)	189/2650	190/1800-3000

Tal como se pode ver na Figura 85, é compreensível o motivo pelo qual o fabricante anuncia o binário máximo entre as 1800-3000 rpm; embora esse valor se tenha registado às 2650 rpm, o binário é praticamente constante na gama anunciada. Repare-se também na elevada concavidade negativa da curva de potência que após as 4000 rpm apresenta um regime medíocre, sendo um dos objetivos da mapeamento final “prolongar” a maior potência até um regime de rotações superior.

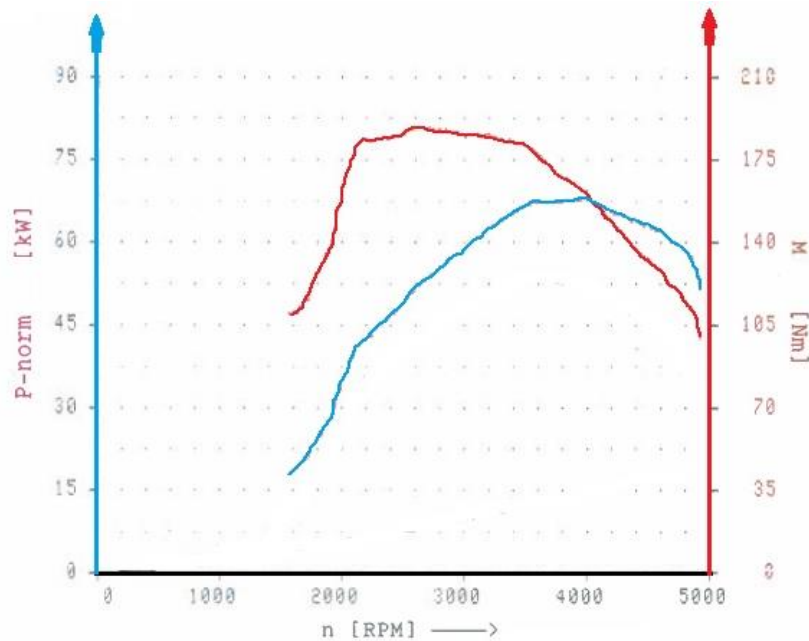


Figura 85 - Diagrama de potência com a parametrização original

As curvas representadas são assim representativas de um motor não muito flexível que, embora seja equipado com turbocompressor de geometria variável, a baixa cilindrada (1400 cc) faz dele um automóvel com baixo conforto de condução, principalmente notório em subidas com inclinações consideráveis e/ou com elevada carga, onde é necessário o uso de rotações mais elevadas, um maior recurso à caixa de velocidades, entre outros, quando comparado, por exemplo, com o mesmo automóvel mas equipado com motor de 2000 cc de 115 cv; este também é dos motivos pelos quais se decidiu fazer os testes neste automóvel.

5.7 Mapeamentos, resultados e discussão

O próximo passo consistiu na escolha dos parâmetros otimizáveis e quais os mapeamentos a realizar. O objetivo seria analisar a influência dos vários parâmetros no comportamento do automóvel, de modo a retirar conclusões explícitas. Para tal, a solução passou por alterar alguns parâmetros de forma independente, fazendo variar um parâmetro selecionado sem mexer nos outros, tais como o caudal de injeção, o tempo de injeção, a pressão de injeção e a pressão de turbo; também se optou por variar alguns parâmetros distintos na mesma programação, de forma a relacionar os ganhos de potência e binário com a conjugação de várias parametrizações, culminando o último mapeamento numa otimização da gestão eletrónica com a vista a obter a máxima performance do automóvel.

5.7.1 1º Mapeamento

O primeiro mapeamento consistiu na alteração do caudal de injeção. Sendo este um dos principais parâmetros otimizáveis, é importante perceber o efeito do acréscimo do caudal de injeção na *performance* do automóvel. De salientar que neste mapeamento apenas se alterou o caudal de injeção nos mapas designados de *Driver Wish*, de forma a constatar se existem outros mapas que também limitam o caudal de combustível.

No mapa *Driver Wish* realizou-se incrementos de 15% no caudal de combustível a partir de 50 % da posição do acelerador e incrementou-se de forma significativa a injeção próximo de 100%

de acelerador (carga máxima); o novo mapa está representado na Figura 86. O objetivo é obter um automóvel rápido a partir de determinada posição do acelerador, como quando se “pisa” o acelerador acima de meio, não havendo necessidade de incrementos quando se requer pouca potência do automóvel, permitindo uma maior economia de combustível, enquanto à carga máxima pretende-se que o automóvel “descole” rápido. Note-se que os valores a cor vermelha são os incrementados.

rpm	Acelerador (rpm, %) /mg															
	700	850	1000	1200	1400	1600	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	5501	5502
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,48	0,40	0,34	0,28	0,24	0,21	0,17	0,13	0,11	0,10	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
5	2,40	1,98	1,68	1,40	1,20	1,05	0,84	0,67	0,56	0,48	0,42	0,37	0,34	0,31	0,31	0,31
10	4,80	3,93	3,36	2,80	2,40	2,10	1,68	1,34	1,12	0,96	0,84	0,75	0,67	0,61	0,61	0,61
15	7,20	5,93	5,04	4,20	3,60	3,15	2,52	2,02	1,68	1,44	1,26	1,12	1,01	0,92	0,92	0,92
20	14,19	11,68	9,93	8,28	7,09	6,21	4,97	3,97	3,31	2,84	2,48	2,21	1,99	1,81	1,81	1,81
30	28,16	23,19	19,71	16,42	14,08	12,32	9,85	7,88	6,57	5,63	4,93	4,38	3,94	3,58	3,58	3,58
40	42,13	34,69	29,49	24,57	21,06	18,43	14,74	11,80	9,83	8,43	7,37	6,55	5,90	5,36	5,36	5,36
50	56,10	45,13	38,16	32,25	28,22	24,57	19,66	15,05	12,90	11,29	10,03	9,02	8,21	8,21	8,21	8,21
60	70,06	56,35	47,00	40,28	35,24	30,19	22,56	18,00	16,11	14,09	12,53	11,28	10,25	10,25	10,25	10,25
70	84,03	67,57	56,64	48,32	42,27	36,82	27,05	22,55	19,33	16,91	15,03	13,52	12,30	12,29	12,29	12,29
80	96,04	77,31	64,42	55,22	48,32	40,65	30,92	25,77	22,09	19,33	17,18	15,46	14,05	14,05	14,05	14,05
90	108,04	86,97	72,48	62,12	54,36	46,49	34,78	28,99	24,85	21,74	19,33	17,39	15,81	15,81	15,81	15,81
100	120,05	99,03	85,03	75,02	67,52	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
101	121,25	114,85	99,87	85,73	75,62	68,05	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
102	122,45	115,84	100,71	86,43	76,22	68,57	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00

Figura 86 - Mapa *Driver Wish* resultante do 1º mapeamento

5.7.1.1 Resultados

Após o teste em banco de potência obteve-se um incremento de apenas 2 cv, enquanto o binário permaneceu inalterável, o que deixa a crer que este mapa está muito limitado por outros que têm por base o caudal de injeção. Seria assim interessante analisar nesta primeira fase um dos mapas que entre outros apresentam normalmente os valores máximos de caudal de injeção mais baixos: o limitador de binário. Tal como foi referido em 4.1, a ECU vem buscar estes dados que estipulam o caudal máximo de injeção em função da rotação. Quaisquer que sejam os incrementos efetuados nos *Driver Wish*, esses estão sempre limitados por este tipo de mapa, já que a unidade de controlo do motor vai sempre em busca dos valores mais baixos quando o objetivo do mapa é o mesmo.

A Figura 87 apresenta os valores máximos de combustível original que o mapa *Driver Wish* e o limitador de binário permitem. Repare-se que excetuando a baixas rotações, não existe qualquer restrição por parte do limitador de binário; só a partir de um determinado valor de combustível incrementado é que esses valores são ultrapassados, sendo a diferença máxima de 18,6 mg às 3400 rpm.

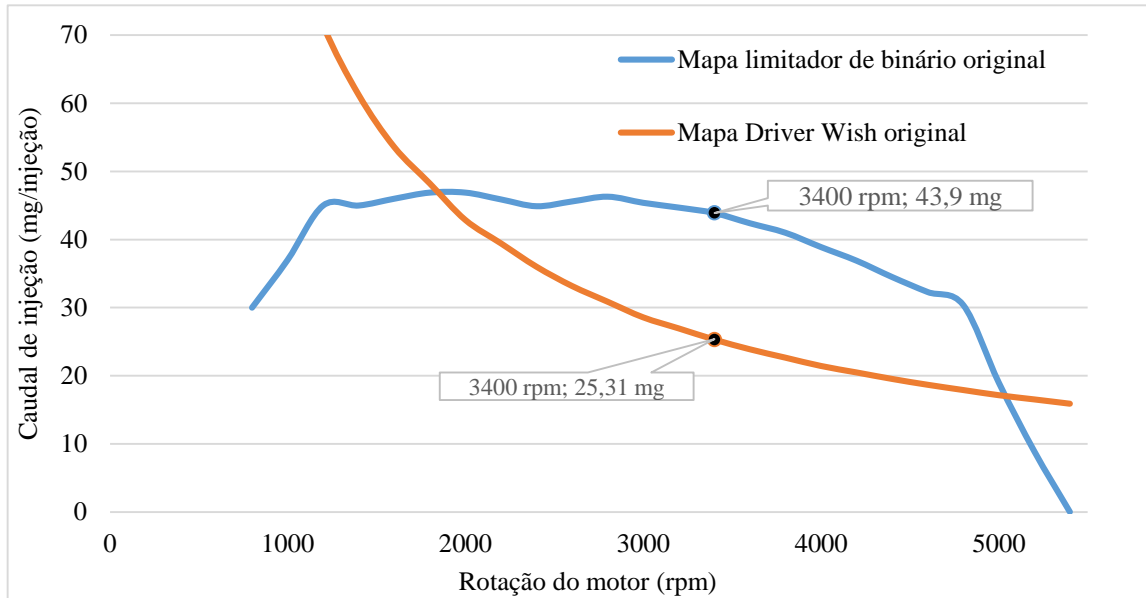


Figura 87 - Comparação da quantidade de injeção máxima entre mapas originais

Agora tome-se em atenção o que se sucedeu após o 1º mapeamento, o que se encontra representado na próxima figura que compara os valores máximos de caudal de injeção do mapa limitador de binário original e o mapa *Driver Wish* incrementado. Os valores máximos de caudal de injeção que resultaram desse mapeamento “ultrapassaram” os permitidos pelo limitador de binário, um dos motivos pelos quais o aumento de potência foi tão baixo, já que o mapa limitador de binário passou a “comandar” o máximo de combustível injetado. Só para se ter uma noção, o *Driver Wish* está a requerer um valor médio de 60 mg, enquanto o limitador de binário permite apenas um máximo de aproximadamente 47 mg.

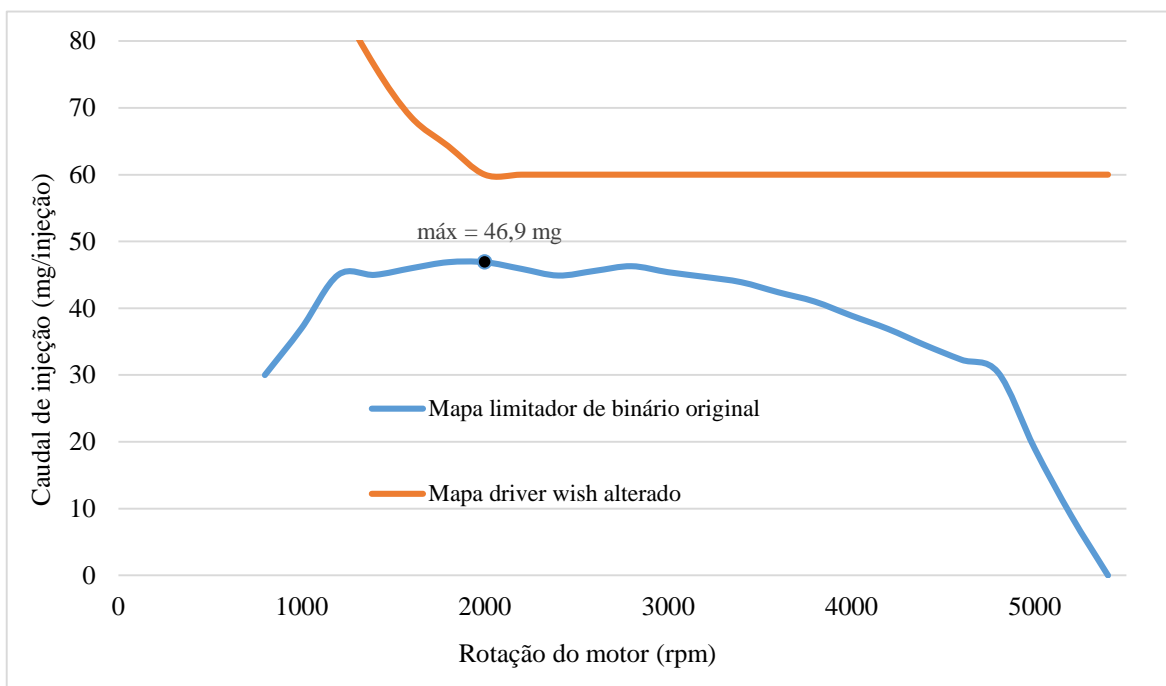


Figura 88 - Comparação da quantidade de injeção máxima após 1º mapeamento

5.7.2 2º Mapeamento

Em virtude da análise feita anteriormente, neste mapeamento decidiu-se alterar o limitador do binário, para que este mapa não limite de forma crítica o incremento que foi feito no *Driver Wish*. A solução passa por subir a curva do mapa do limitador de binário original até mais próximo da curva do mapa do *Driver Wish* incrementado.

Deste modo incrementou-se 15 mg de combustível em praticamente todo o regime da velocidade do motor, cuja comparação da parametrização do limitador de binário original com a adulterada pode ser visualizada na Figura 89. Note-se que, por segurança, a partir das 4800 rpm o caudal de injeção diminui drasticamente, traduzindo-se numa reta de elevado declive e atingindo um valor nulo que foi mantido relativamente à parametrização original; independentemente da rotação que o motor consiga alcançar, esta não ultrapassará as 5400 rpm.

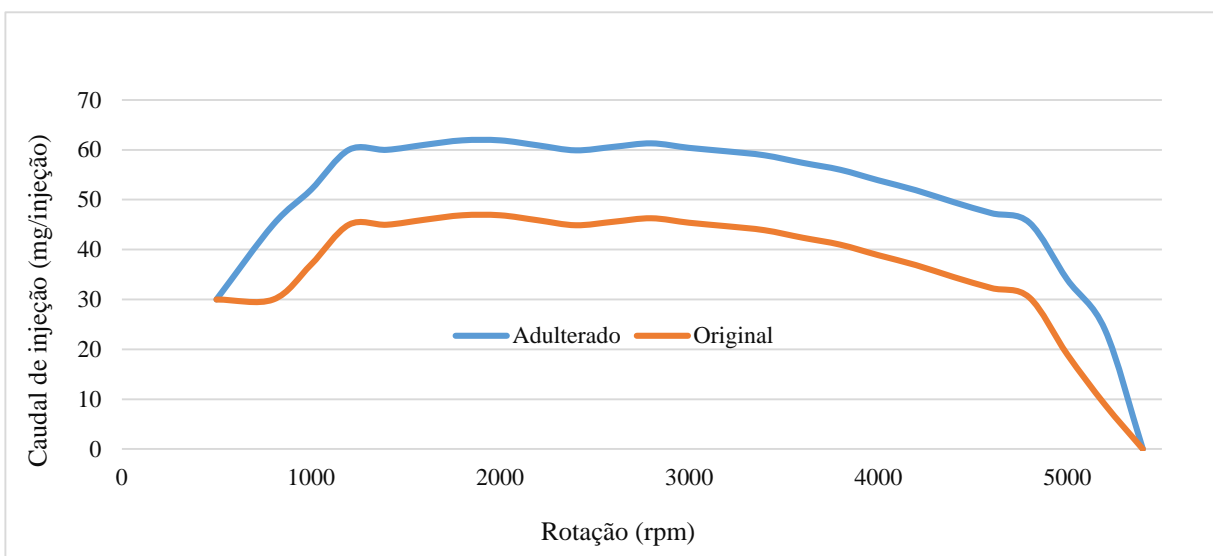


Figura 89 - Comparação dos caudais máximos de injeção do limitador de binário original e adulterado

5.7.2.1 Resultados

Mais uma vez este mapeamento não levou a grandes resultados; o binário manteve-se constante e a potência foi incrementada em apenas 1,5 cv, o que permite concluir que a gestão eletrónica deste automóvel é composta por mais mapas que limitam o caudal de injeção.

No entanto, é importante analisar graficamente a relação entre o *Driver Wish* e o limitador de binário, após se ter incrementado aleatoriamente 15 mg no último mapa. Tal como se pode constatar na Figura 90, o objetivo deste mapeamento foi cumprido: aproximar a quantidade máxima de injeção permitida pelos dois mapas. Note-se a grande diferença para a Figura 88, sendo que agora as duas curvas agora se intercetam no regime de rotação médio, perfazendo um caudal de injeção máximo de 60 mg.

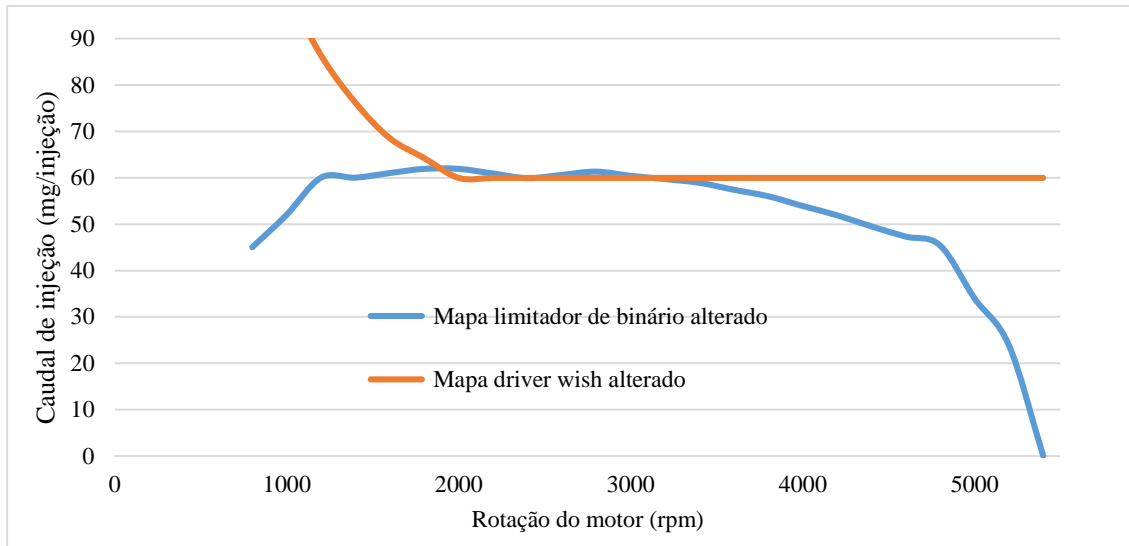


Figura 90 - Comparação dos caudais máximos de injeção após 2º mapeamento

O próximo passo passaria assim por encontrar e alterar outro parâmetro limitador da quantidade de injeção, de modo a “desbloquear” um outro limitador, cujo se encontra representado na próximo mapeamento.

5.7.3 3º Mapeamento

Este mapeamento consistiu nas parametrizações anteriores e na alteração do mapa designado de “lambda alvo” ou “lambda controlo”, responsável pelas correções da mistura, já que a correta dosagem da mistura é essencial para o bom rendimento do motor. Este mapa representa o fator lambda ideal que deve ser lido pela sonda em função da rotação do motor e do caudal de injeção. A ECU recebe o sinal de tensão da sonda e converte-o em fator lambda, tal como explicado em 2.3.4, o fator lambda mede o desvio da mistura admitida nos cilindros, relativamente à mistura ideal ou estequiométrica, indicando a sua riqueza; se o sinal da sonda tem um desvio relativamente a este mapa, a correção da mistura é feita, sendo injetado mais ou menos combustível.

Através da análise do mapa de origem do fator lambda alvo (ANEXO A - Mapa fator lambda alvo), verifica-se que, como se sabe, este motor foi projetado para trabalhar com misturas pobres, já que a maior parte dos valores lambda são superiores ao valor de 1. Deste modo, procedeu-se à alteração de todos os valores do mapa para o valor de 0,85 (Figura 91), com o objetivo de verificar se este mapa é um “entrave” ao acréscimo de injeção de combustível no 1º mapeamento, o que (em caso positivo) traduzir-se-á num incremento de potência relativamente ao resultado dos testes da parametrização anterior.

rpm	λ/R (rpm, mg) / λ/R															
	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2800	3000	3200	3600	3800	4400	4800
10,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
11,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
14,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
17,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
20,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
23,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
26,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
29,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
31,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
33,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
35,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
36,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
38,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
40,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
42,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
44,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
47,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
50,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
54,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
59,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
62,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
66,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
70,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
80,0	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
80,1	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
80,2	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
80,3	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
80,4	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
80,5	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
80,6	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75

Figura 91 - Novo mapa "fator lambda alvo"

5.7.3.1 Resultados

As modificações deste parâmetro permitiram obter valores de desempenho superiores. Embora o binário tenha permanecido constante, a potência foi incrementada em 9 cv (aproximadamente 6,6 kw). A figura seguinte representa o diagrama de potência do resultado obtido:

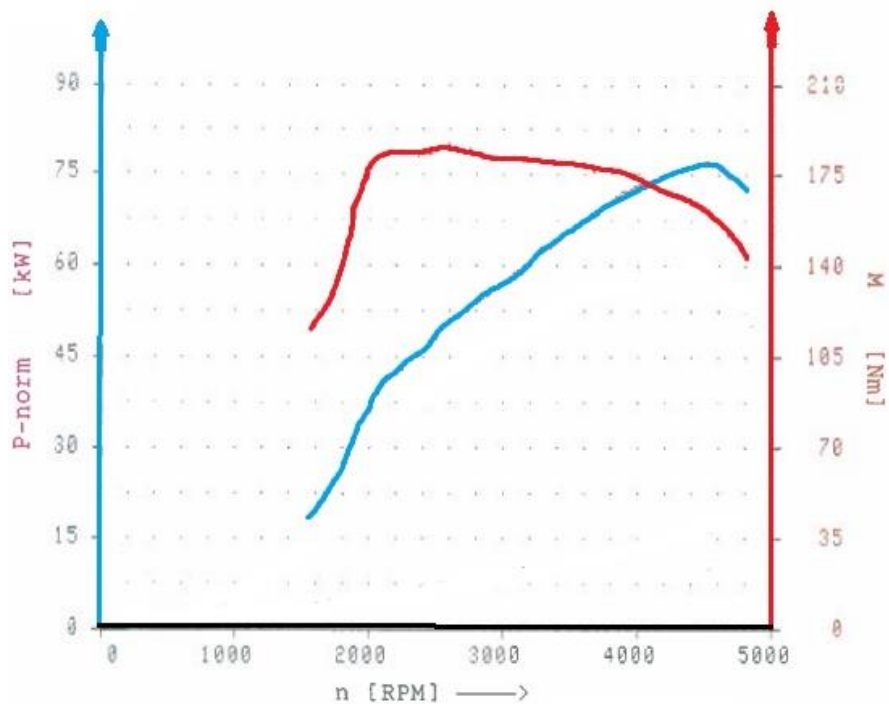


Figura 92 - Diagrama de potência resultado do 3º mapeamento

Comparativamente aos resultados anteriores, verifica-se que a curva de potência deslocou-se para cima e para direita, resultando numa potência maior em todo o regime e a potência máxima a uma rotação mais elevada. A potência máxima dá-se agora às 4500 rpm, 500 rpm mais tarde que no teste anterior, velocidade de rotação onde já se verifica uma diferença de aproximadamente 7,5 cv.

Quanto ao binário, apesar de se ter atingido aproximadamente o mesmo valor máximo, o seu comportamento é ligeiramente diferente. Comparando as curvas de binário da Figura 92 e Figura 85, em que a curva do binário é semelhante ao resultado do mapeamento anterior, constata-se que com este mapeamento às 2000 rpm já se regista praticamente o binário máximo, tornando o automóvel mais rápido a baixas rotações. O mesmo se verifica em velocidades do motor mais elevadas, em que com o mapeamento anterior, às 3600 rpm, o valor do binário começava a diminuir acentuadamente. Agora, este só diminui dessa forma praticamente às 4000 rpm, onde ainda se obtém um binário de 175 Nm, registando-se assim valores de binário elevados até regimes mais tardios.

Com os resultados obtidos confirma-se que este mapa é mais um dos que limitam o parâmetro otimizável caudal de injeção. As correções da mistura feitas pelos dados recebidos da sonda lambda não permitiam que fosse injetado o caudal de gasóleo pretendido, limitando-o. Ao diminuir o valor lambda alvo, permitiu que o motor trabalhe com misturas um pouco mais ricas, permitindo, até um certo ponto, injetar mais combustível.

5.7.4 4º Mapeamento

O quarto mapeamento consistiu no conjunto dos mapeamentos anteriores com o aumento de 5% no conversor do binário. Tal como o nome indica e como já foi referido, este mapa converte o binário requerido em caudal de injeção, dependendo da rotação do motor; interpretando de uma outra forma, o mapa exhibe o binário resultante da injeção de uma determinada quantidade de combustível para uma dada rotação.

O gráfico da Figura 93 embora não seja “cientificamente correto”, é apenas ilustrativo do modo como se apresenta o conversor do binário, já que foi realizado selecionando apenas os dados da diagonal do mapa original e do binário, não envolvendo a evolução com todos os dados da rotação do motor e os restantes valores do mapa, mas permite perceber a relação entre o caudal de combustível e o binário produzido.

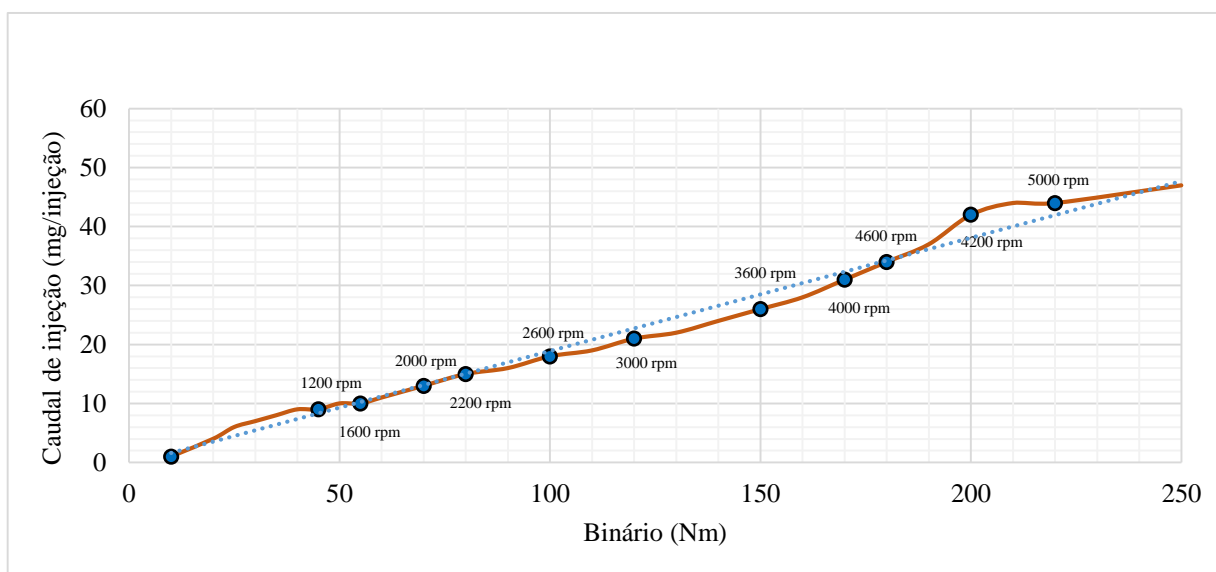


Figura 93 – Caudal de injeção em função do binário

A alteração deste parâmetro em princípio não trará incrementos na potência do automóvel, servindo apenas de consulta, permitindo não só identificar o binário que poderá ser feito com o acréscimo do caudal de combustível do 1º mapeamento, mas também o binário máximo que é possível retirar deste automóvel (250 Nm).

Desta forma, para uma determinada rotação o binário produzido aumentará de forma proporcional ao acréscimo de combustível injetado, permitindo saber os valores a alterar nos mapas dos limitadores de binário (Nm).

A figura seguinte representa o mapa de incrementos de 5% no conversor de binário, convertido em caudal de injeção.

rpm	Conversor Binário (rpm, Nm) / mm³/cyc																											
	0	200	400	600	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000	5200
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
150	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
160	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
170	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
180	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
190	0	0	0	0	0	0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
200	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
210	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
220	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
230	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
240	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Figura 94 - Mapa de incrementos de 5% no conversor de binário, expresso em caudal de injeção

5.7.4.1 Resultados

Este mapeamento não trouxe qualquer incremento, visto que o binário e a potência se mantiveram iguais ao último mapeamento. O objetivo do mapeamento era verificar se alteração do conversor de binário produziria quaisquer diferenças, mas tal como era expetável, e não desprezando o mapa, ele serve apenas de base de consulta da relação entre a equivalência do binário e do caudal de injeção em função da rotação, sendo uma ferramenta importante para projetar o binário que poderá ser obtido quando se altera devidamente o caudal de combustível.

5.7.5 5º Mapeamento

Este mapeamento aborda o tempo de injeção, como tal seria interessante perceber a relação que este parâmetro tem com os outros que lhe estão diretamente relacionados: a pressão de injeção e o caudal de injeção. Na Figura 95 visualiza-se a forma como essas três variáveis interagem; note-se que fixando uma determinada pressão de injeção, o tempo de injeção aumenta proporcionalmente à quantidade de combustível que é injetada, visto que para a mesma pressão os injetores necessitam de estar abertos durante um período de tempo maior para que todo o combustível requerido seja injetado. Analisando o mesmo gráfico também se pode verificar que o tempo de injeção diminui com o aumento da pressão de injeção, já que quanto maior é a pressão de injeção, mais rapidamente é injetado para a câmara de combustão a mesma quantidade de combustível do que a pressões inferiores.

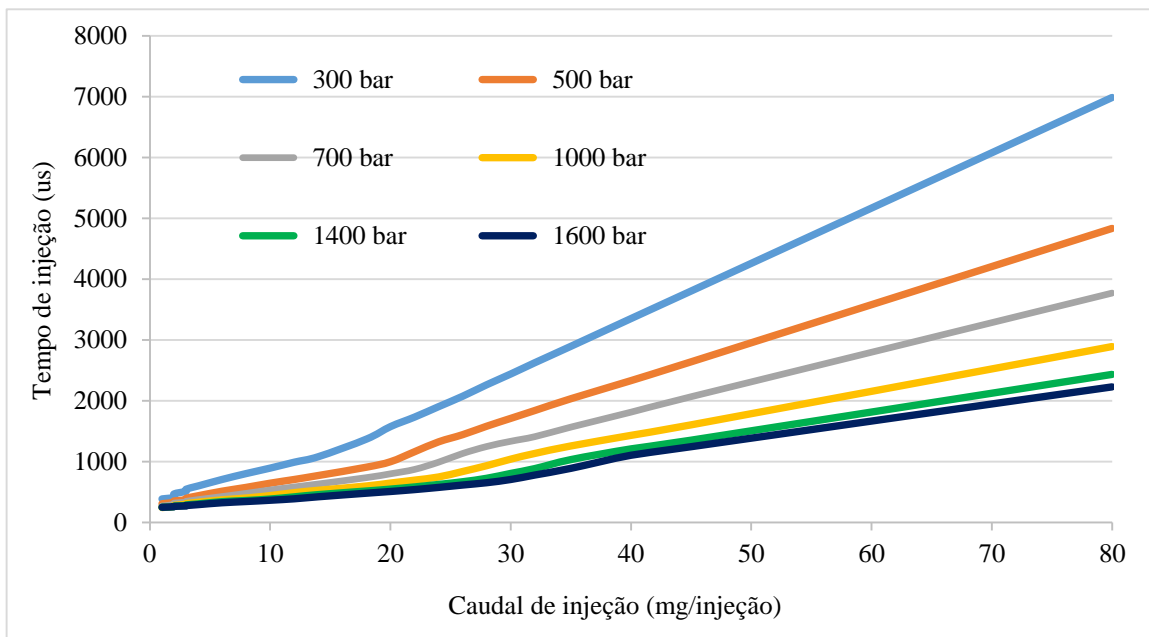


Figura 95 - Representação gráfica do mapa de tempo de injeção para alguns valores da pressão de injeção

Quanto ao mapeamento do tempo de injeção, nenhum outro parâmetro foi alterado em conjunto com aquele, de modo a permitir a visualização do efeito único e exclusivo da alteração do tempo de abertura dos injetores nos ganhos de potência.

Neste mapeamento incrementou-se em 20% o tempo de injeção (Figura 96), a partir do 800 bar de pressão de injeção e de 22 mg de caudal de injeção.

bar	Tempo de injeção(Rail Pressure,mg)/us															
	119	150	200	250	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	19.9	20.0	19.9	19.9	19.9	0.0
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.9	19.8	19.9	19.9	19.9	19.9	0.0
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	0.0
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	20.0	20.0	19.8	19.8	20.0	0.0
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	0.0
32	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.9	19.9	20.0	19.9	20.0	19.9	0.0
35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.9	19.9	19.9	19.9	20.0	19.9	0.0
40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.0	19.9	19.9	19.9	20.0	19.9	0.0
45	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.9	19.9	20.0	20.0	20.0	19.9	0.0
80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	19.9	0.0

Figura 96 - Mapa de incrementos de 20% no tempo de injeção

5.7.5.1 Resultados

O aumento de 20% na temporização de injeção, sem alteração de qualquer outro parâmetro, trouxe incrementos significativos: a potência aumentou em aproximadamente 8 cv (5,9 kw) e o binário em 16 Nm relativamente à parametrização original. As curvas da potência e do binário (Figura 97) resultantes do teste deslocaram-se paralelamente ao eixo vertical, mas não só as evoluções das curvas permaneceram quase iguais, como se obteve o mesmo regime de binário e potência máximos da parametrização original.

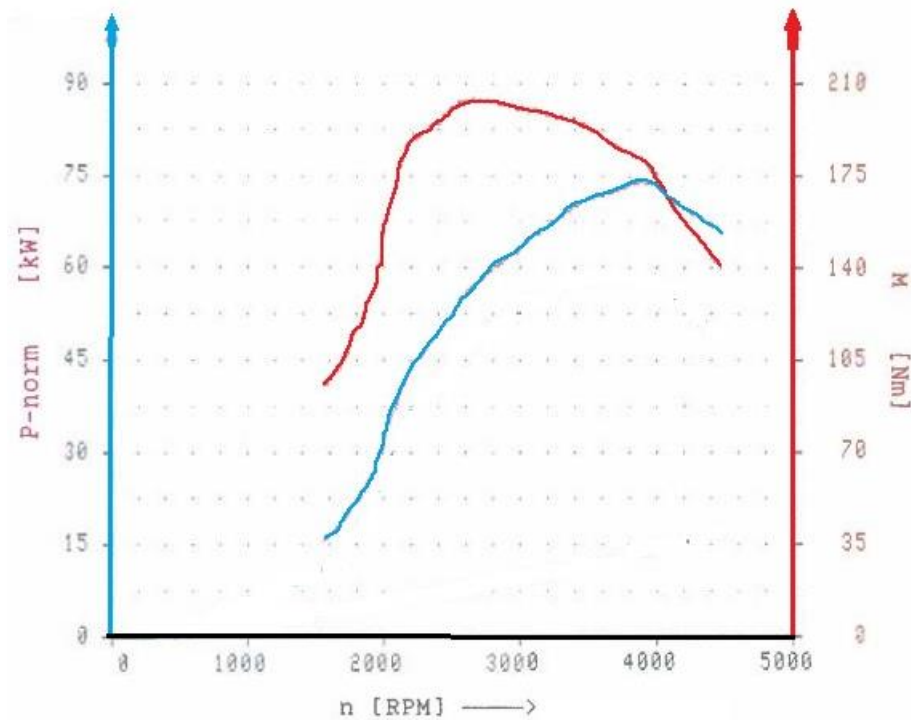


Figura 97 - Diagrama de potência resultado do 5º mapeamento

Com a parametrização original, às 2200 rpm produz-se 184 Nm de binário, notando-se a partir desse ponto uma pequena quebra no aumento de binário, já que o valor máximo de binário máximo (189 Nm) surge às 2650 rpm, correspondendo apenas a um incremento de 5 Nm numa gama de 450 rpm. Agora, às 2200 rpm já se tem 193 Nm, ao invés dos referidos 184 Nm, continuando o motor ainda com uma boa capacidade para produzir binário, obtendo-se um ganho de 12 Nm no mesmo intervalo de 450 rpm, comparado com os 5 Nm da parametrização original, o que corresponde a um bom incremento de binário apenas naquele intervalo de rotação. O binário máximo obtido foi de 205 Nm.

Este parâmetro tem assim um efeito considerável nas prestações do automóvel, confirmando-o como um dos mais importantes do sistema common-rail. Permite, por exemplo, que para a mesma pressão de injeção, cada vez que os injetores abrem é entregue mais combustível, produzindo mais gases de escape e conseqüentemente alcançar pressões de turbo superiores, aumentando de forma notória o rendimento do automóvel.

5.7.6 6º Mapeamento

O sexto mapeamento consistiu apenas no aumento da pressão de injeção em 100 bar relativamente à parametrização original e em todo o regime. A pressão máxima de injeção passa agora a ser de 1700 bar, atingida a partir das 3800 rpm e a para os maiores caudais de injeção (Figura 98).

mg rpm	Pressão Rail (mg, rpm) / bar															
	0	2	4	6	8	10	12	14	16	20	24	28	32	36	40	50
800	300	400	400	405	410	420	425	430	435	453	470	470	470	470	470	470
1000	300	400	400	405	410	420	430	440	480	530	607	670	690	690	690	690
1200	300	400	405	410	415	420	430	440	510	585	675	755	805	805	805	805
1400	300	405	413	415	428	443	455	480	570	645	728	810	889	908	908	908
1600	300	410	420	420	440	465	480	550	610	710	790	860	922	960	960	960
1800	300	415	425	435	455	495	550	620	698	800	880	940	1005	1070	1070	1070
2000	300	420	455	480	505	560	630	730	815	1000	1090	1130	1150	1170	1170	1170
2200	300	430	470	510	550	620	730	840	933	1130	1220	1240	1250	1260	1260	1260
2400	300	440	485	520	560	680	800	920	1030	1200	1300	1350	1350	1350	1350	1350
2800	300	455	510	550	620	750	900	1030	1141	1327	1436	1464	1472	1480	1480	1480
3000	300	470	525	570	670	810	967	1086	1187	1366	1472	1505	1527	1550	1550	1550
3200	300	485	530	580	700	847	969	1090	1193	1371	1491	1551	1576	1600	1600	1600
3600	300	500	550	630	745	857	976	1106	1215	1396	1533	1609	1638	1670	1670	1670
3800	300	511	570	660	763	868	980	1116	1224	1409	1542	1638	1669	1685	1700	1700
4000	300	511	580	687	775	875	983	1123	1239	1421	1557	1667	1700	1700	1700	1700
4600	300	511	580	694	790	890	996	1148	1292	1457	1606	1700	1700	1700	1700	1700
4601	300	511	580	694	790	890	996	1148	1292	1457	1606	1700	1700	1700	1700	1700
4602	300	511	580	694	790	890	996	1148	1292	1457	1606	1700	1700	1700	1700	1700
4603	300	511	580	694	790	890	996	1148	1292	1457	1606	1700	1700	1700	1700	1700
4604	300	511	580	694	790	890	996	1148	1292	1457	1606	1700	1700	1700	1700	1700

Figura 98 - Mapa da pressão de injeção após mapeamento

Note-se aqui a necessidade de recorrer ao mapa do limitador de pressão de injeção (ANEXO A - Mapa limitador da pressão de injeção), visto que a pressão máxima permitida eletronicamente é de 1600 bar. Deste modo, à semelhança com o que se sucede com os mapas do caudal de injeção, o incremento de pressões acima daquele valor sem a alteração devida no limitador de pressão de injeção, não produziria qualquer efeito.

5.7.6.1 Resultados

Os resultados obtidos neste mapeamento revelaram-se curiosos. Ao contrário do que se esperava, a performance do automóvel diminuiu: a potência máxima obtida diminuiu em 4 cv e o binário máximo diminuiu em 12 Nm. Tanto a velocidade de rotação do motor em que se dão a potência e binário máximos, assim como as formas das curvas mantiveram-se constantes. A única exceção foi o deslocamento das curvas do binário e da potência para baixo, o que se traduz numa diminuição da potência e do binário em todo o regime de rotação do motor.

Embora as diferenças para a parametrização original não sejam acentuadas, não deixam de ser resultados interessantes, na medida em que um aumento da pressão de injeção deveria provocar uma melhor pulverização do gasóleo, fazendo com que a sua detonação no interior dos cilindros se processasse de forma mais eficiente.

Uma das explicações encontradas para o sucedido deve-se aos injetores. O incremento de 100 bar não é um caso de fácil otimização, porque nem todos os sistemas common rail estão preparados para trabalhar com mais 100 bar face ao valor de funcionamento que atualmente têm nos automóveis onde estão instalados, sendo este um deles. Os injetores são programados e construídos para lidar com determinadas pressões máximas de injeção, sendo que o conjunto deles que equipa este automóvel não está talhado para trabalhar com tais pressões (1700 bar),

o qual impede uma correta pulverização do gasóleo quando submetidos a mais 100 bar de pressão para os quais foram projetados trabalhar.

Esta seria a única explicação encontrada se a queda de pressão e de binário se registasse para as pressões máximas de injeção, o que se sucede a partir das 3600 rpm para o caudal máximo de injeção, tal como se pode ver na Figura 98. O problema é que os valores do desempenho do automóvel são mais baixos em todo em regime. Um fator que está dependente da pressão de injeção é o tempo de injeção, tal como já foi referido. Ora, para uma determinada pressão e caudal de injeção, a ECU decide o tempo necessário para a injeção. Mas, o caudal de injeção depende em parte da rotação do motor, significando que para uma determinada rotação, agora o caudal será injetado a uma pressão 100 bar superior àquela com que seria com a programação original. Este facto leva a crer que talvez a nova pressão com que o gasóleo será injetado não seja a mais apropriada para uma dada rotação do motor.

5.7.7 7º Mapeamento

Neste mapeamento apenas se alterou o avanço da injeção relativamente à programação original.

Este é um parâmetro de extrema importância, já que o momento em que se realiza a injeção é preponderante no rendimento, potências e binários atingidos pelo motor. Os valores do avanço não são constantes e dependem dos valores do caudal de injeção e da rotação do motor.

Como um aumento ou diminuição excessiva do avanço originam obrigatoriamente uma perda de potência e até uma possível danificação do motor, optou-se por aumentar o avanço em 15%, a partir das 1600 rpm e de 32 mg de caudal de combustível, traduzindo-se num incremento de aproximadamente 1,34° no ponto máximo.

5.7.7.1 Resultados

À semelhança do resultado que se sucedeu com o incremento da pressão de injeção, o aumento do avanço da injeção não trouxe quaisquer benefícios, bem pelo contrário, o binário diminuiu em 12 Nm, enquanto a potência diminuiu em aproximadamente 2 cv. Este resultado leva a concluir que a alteração do avanço da injeção não acompanhada da correta manipulação de outros parâmetros, apenas prejudica o rendimento do automóvel, já que o avanço da injeção nos graus pretendidos não foi benéfico. Deste modo, embora não se tenha retardado a injeção, o que por regra geral só prejudicaria, o avanço original é o ideal, ou seja, o que combina de melhor forma com a restante parametrização de fábrica.

5.7.8 8º Mapeamento

Neste mapeamento, à semelhança do anterior, apenas se otimizou um parâmetro relativamente à programação original: a pressão do turbo. Seria interessante visualizar assim as novas curvas de *performance* do automóvel, incrementando em determinado regime apenas a pressão de turbo, sem acrescer qualquer caudal de injeção. É certo que um maior caudal de ar a entrar para o motor, proporciona a queima de uma maior quantidade de combustível, logo não acompanhar esse incremento de pressão de ar com mais combustível, resultará em misturas excessivamente pobres.

Neste Toyota que possui (como já foi referido) um turbo de geometria variável, o controlo da pressão do turbo é determinado através da posição das alhetas. Neste caso, a posição das alhetas realiza a função que realizava a válvula *wastegate* nos turbos convencionais: limita a velocidade da turbina quando o motor gira a altas rotações e há uma pressão muito alta no coletor de admissão.

A ECU recebe as informações do sensor MAP e do sensor IAT para recolher os dados da pressão turbo que está a ser feita e compara-os com os valores dos mapas da pressão do turbo armazenados na ECU, corrigindo a pressão.

O gráfico da Figura 99 (elaborado a partir do mapa de origem) retrata a pressão de sobrealimentação que é solicitada para diferentes quantidades de injeção em função da rotação do motor. Ao ralenti (abaixo das 1000 rpm), as pás da turbina são impulsionadas por meio da baixa energia dos gases de escape, logo o ar é aspirado à pressão atmosférica. À medida que se mete mais gasóleo, maior quantidade de ar é necessário para a sua queima, logo maior é a pressão do turbo requerida, atingindo um valor máximo de pressão de 2344 mbar para 50 mg de combustível injetado.

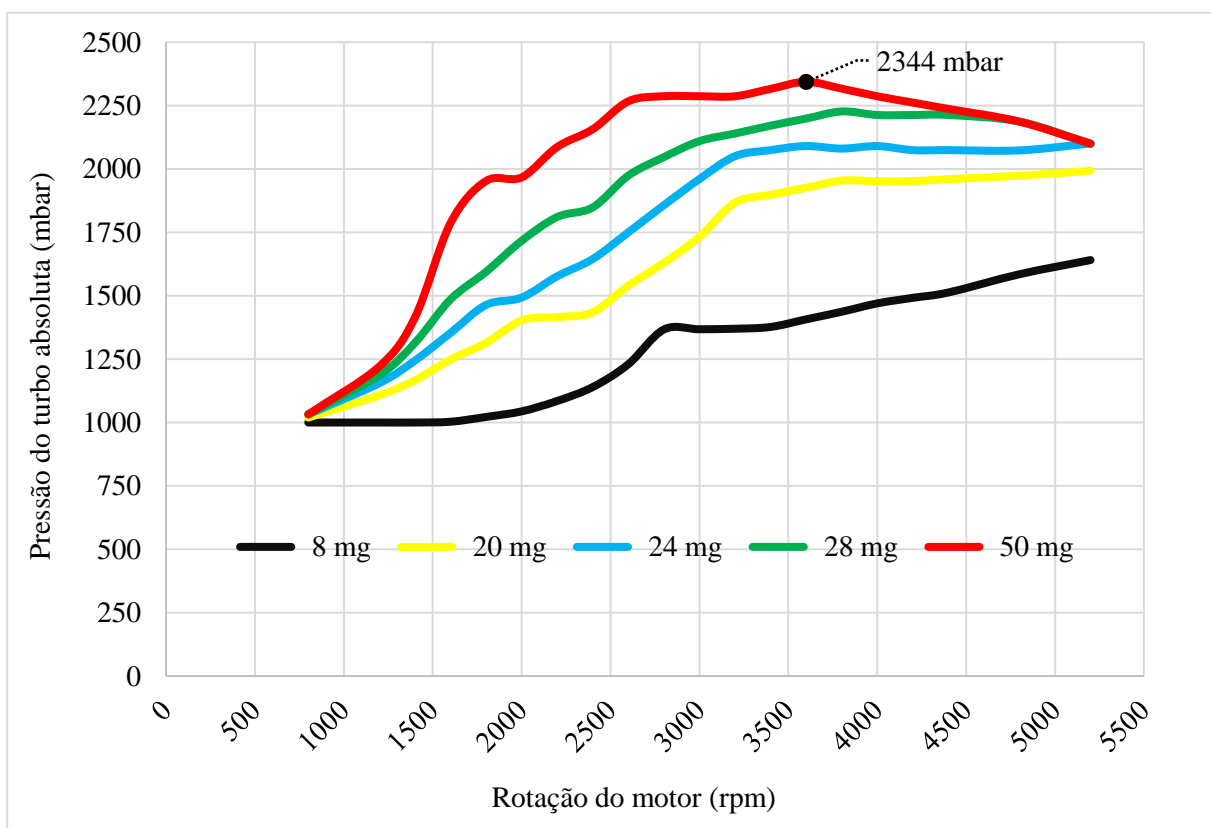


Figura 99 - Pressão de turbo vs rotação do motor para vários caudais de injeção

A pressão do turbo foi incrementada em aproximadamente 9% em todo o regime de rotação, obtendo-se um incremento máximo de 120 mbar às 3600 rpm para os valores mais elevados de caudal de injeção, atingindo-se um “pico” de pressão representado no novo mapa de 2464 mbar.

No entanto, esse valor pode não corresponder ao valor real de pressão de turbo atingida, visto existirem outros mapas que limitam a pressão de turbo em função de diversos parâmetros, tais como a temperatura, a pressão atmosférica e mesmo o designado *Single Value Boost Limiter*, um valor único que representa o limite absoluto da pressão do turbo.

A figura seguinte representa o mapeamento em unidades de mbar.

rpm mg	Pressão Turbo absoluta (rpm,mg)/mbar																				
	800	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4800	5200	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	9	15	22	28	36	37	39	48	56	65	78	80	83	85	85	85	86	87	89	89
24	0	14	22	31	41	44	51	58	67	77	86	94	96	98	97	98	96	96	96	99	99
28	0	16	28	43	53	64	72	76	87	94	99	102	105	106	110	109	109	109	106	99	99
32	0	19	33	52	62	75	85	90	99	103	105	109	112	115	116	113	112	111	106	99	99
36	0	19	37	62	71	86	97	104	114	115	115	115	118	120	118	115	113	111	106	99	99
40	0	19	37	70	85	86	97	104	114	115	115	115	118	120	118	115	113	111	106	99	99
50	0	19	37	70	85	86	97	104	114	115	115	115	118	120	118	115	113	111	106	99	99

Figura 100 - Mapa de incrementos da pressão do turbo

5.7.8.1 Resultados

Tal como seria de esperar, as alterações efetuadas nos mapas da pressão do turbo não trouxeram qualquer incremento, mantendo o comportamento original do automóvel. Isto advém do facto de não se ter incrementado quantidade nenhuma no caudal de injeção, a acompanhar o aumento da pressão do turbo para potencializar a combustão.

Assim, para as mesmas condições de débito de gasóleo e de rotação, se este automóvel já trabalhava com misturas pobres, mais pobres ainda ficaram, ou seja, se dantes havia mais oxigénio do que o necessário para queimar o gasóleo, agora essa quantidade é superior, não trazendo qualquer incremento no desempenho do automóvel.

5.7.9 Mapeamento final

Este último mapeamento traduz a programação final realizada no automóvel. Neste processo o objetivo é obter o máximo acréscimo de potência e binário dentro de certos limites para não prejudicar a fiabilidade do automóvel, tomando-se partido dos resultados obtidos nos mapeamentos anteriores. Efetuou-se assim as maiores combinações de vários e importantes parâmetros, resumindo-se assim os incrementos da seguinte forma:

- Quantidade de combustível incrementada para um máximo de 60 mg;
- 20 % de tempo de injeção;
- 15 % de avanço de injeção;
- 150 mbar de pressão de turbo;
- 0,6 de fator lambda alvo;

Salienta-se de entre os vários incrementos efetuados, o avanço à injeção. Embora se tenha verificado no 7º mapeamento que a alteração deste parâmetro é prejudicial para o desempenho do automóvel, acredita-se que o incremento deste parâmetro em conjunto com uma correta otimização dos outros parâmetros só traga benefícios.

Em resultado do aumento da potência e do binário proporcionado pelo aumento do tempo de injeção verificado no 5º mapeamento, decidiu-se manter a mesma otimização deste parâmetro (incremento de 20 %) para os mesmos regimes de pressão de injeção e de caudal de injeção.

Quanto aos valores para a correção da mistura traduzidos pelo mapa do fator lambda alvo, pelos resultados obtidos no 3º mapeamento em que se verificou que este mapa é de extrema

importância e que limita severamente os resultados que se poderiam obter com o incremento da injeção de combustível, optou-se por definir um fator lambda alvo de 0,6.

Aliado à alteração dos mapas que têm como objetivo o caudal de injeção, incrementou-se em 150 mbar a pressão requerida de turbocompressor. Para a obtenção de maiores desempenhos do automóvel, não faria qualquer sentido incrementar o caudal de injeção sem incrementar nem que seja um pouco a pressão de turbo. Isto porque se se aumenta o débito de gásóleo, este deve ser acompanhado de uma maior massa de ar, para que mais gásóleo possa ser queimado, potenciando o processo de combustão e conseqüentemente o desempenho do automóvel.

5.7.9.1 Resultados

Os resultados obtidos da otimização conjunta dos vários parâmetros foram incrivelmente satisfatórios, tal como se pode verificar na seguinte tabela:

Tabela 8 - Comparação dos dados de potência obtidos com a parametrização original e com o mapeamento final

	Resultado da parametrização original	Resultado do mapeamento final
Potência máxima (cv (kw)/rpm)	92,45 (68)/4000	113,5 (83,5)/4320
Binário máximo (Nm/rpm)	189/2650	217/2520

Em termos de incrementos de valores máximos obtidos com este mapeamento comparativamente aos resultados da programação original, verificou-se uma diferença de aproximadamente 21 cv e 28 Nm. Estes valores traduzem-se num aumento de 23% de potência e 15% de binário. A seguinte figura representa o diagrama da potência obtido:

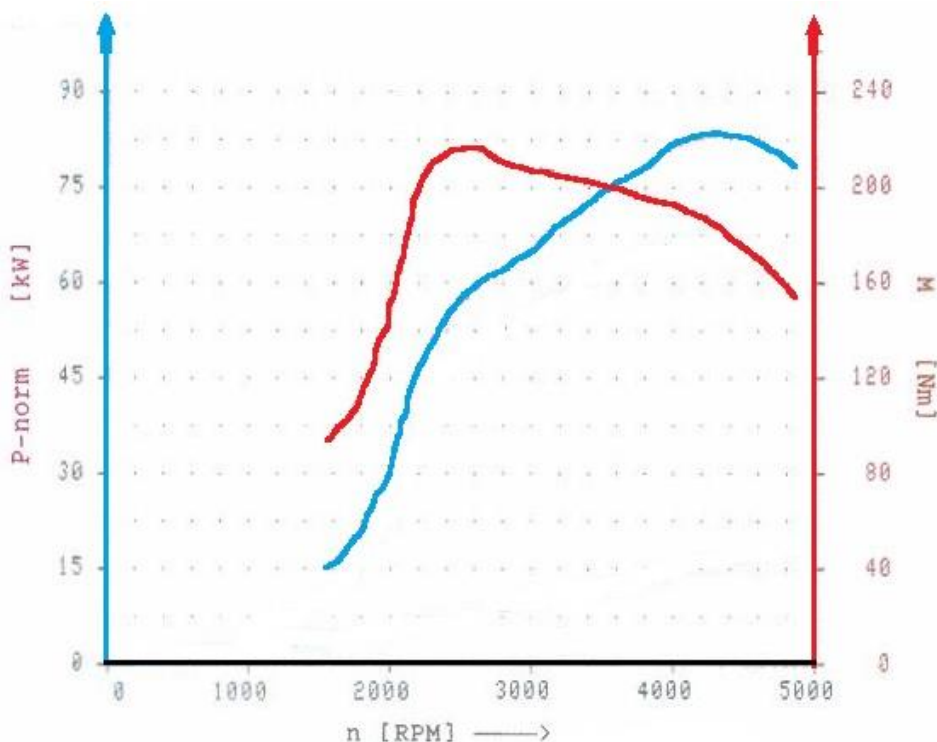


Figura 101 - Diagrama de potência obtido com a programação final

Note-se a diferença deste diagrama de potência para o obtido com a programação original (Figura 85). O deslocamento da curva de binário para cima e a diferença entre os seus valores a baixas rotações, onde se pretende maiores discrepâncias, é notória. Nas 2200 rpm já se tem um binário de aproximadamente 200 Nm, 11 Nm a mais que o binário máximo original.

Existe uma pequena quebra após alcançado o binário máximo (2520 rpm), que depois diminui de forma muito suave, continuando o motor a produzir uma elevada força, ao invés do acentuado declive com que decai na programação original, onde nas 4400 rpm apenas tem-se 140 Nm, em contraste com os 180 Nm (mais 40 Nm) que agora se obteve para a mesma rotação, traduzindo-se num comportamento do automóvel muito mais flexível em todo o regime de rotação, recuperando de desacelerações muito mais facilmente.

O incremento do caudal de combustível juntamente com o incremento da pressão requerida do turbo, aliados a uma maior temporização de injeção que favorece os baixos regimes, permite um bom enchimento dos cilindros a baixas rotações para a queima do caudal acrescentado, traduzindo-se num valor elevado de binário.

O valor da potência máxima surge a um regime mais tardio face ao primeiro teste feito, obtendo-se um motor mais pontudo, já que a potência desenvolvida tem valores perto do valor máximo num pequeno intervalo de rotações. No entanto, apesar do valor de potência máxima ser mais tardia, no regime em que se verifica a potência máxima original (4000 rpm – 92,45 cv), já tem-se mais 17 cv (12,7 kw) com esta programação.

Testando o comportamento do automóvel em estrada, a otimização da gestão eletrónica trouxe mesmo melhorias significativas. Se anteriormente ele era “lento” em baixas rotações, agora sente-se bem o efeito de um maior binário disponível, tanto que agora com menos acelerador tem-se o mesmo comportamento que no estado original.

As melhorias também se evidenciam de forma considerável no topo das rotações. Se dantes, a partir do regime de potência máxima (4000 rpm) era necessário uma troca de caixa já que o automóvel não “puxava” mais, agora com uma potência superior a essa rotação (110 cv) nota-se que se pode continuar a acelerar na mesma velocidade, já que a potência máxima surge 320 rpm mais tarde.

Com elevada carga e/ou subidas íngremes e mesmo até nas ultrapassagens, a disponibilização de uma maior potência e binário permitiu que as mudanças de caixa passassem a ser efetuadas mais cedo e até mesmo evitar reduções que dantes eram quase constantemente necessárias nessas situações.

Tudo isto se traduziu num maior conforto da condução, proporcionando até uma redução de consumos numa típica utilização diária (como é o caso); fator que é extremamente importante nos dias que correm, principalmente para quem faz diariamente percursos extensos.

5.8 Comparação de resultados

O gráfico da Figura 102 apresenta as várias curvas de potência resultantes dos diversos mapeamentos efetuados. Relativamente à programação original, e excetuando o resultado da programação final, distinguem-se o terceiro, quarto e quinto mapeamentos como aqueles que proporcionaram os maiores incrementos na cavalagem do automóvel. A potência obtida da quarta programação permaneceu inalterada relativamente à terceira (incremento do caudal de injeção), já que a alteração no conversor do binário não produziu qualquer efeito. Já o quinto mapeamento (incremento do tempo de injeção) resultou na deslocação vertical da curva de potência da programação original, favorecendo o comportamento do automóvel em todo o regime.

Negativamente, têm-se os resultados obtidos com o sexto, sétimo e oitavo mapeamentos, respetivamente o aumento da pressão de injeção, o aumento do avanço da injeção e o aumento da pressão de sobrealimentação. Com estas programações obtiveram-se resultados de potência semelhantes, sendo estes um pouco inferiores aos obtidos no comportamento original, pelo que, pode não ser benéfico alterar parâmetros isoladamente.

Relativamente às curvas obtidas com o primeiro e o segundo mapeamentos (incremento do caudal de injeção), embora haja um aumento de potência, constata-se que os resultados são praticamente idênticos aos gerados com a programação original. Este facto deve-se às limitações dos valores dos mapas *Driver Wish* e do limitador de binário, que por outros mapas de caudal de injeção apresentavam valores mais baixos.

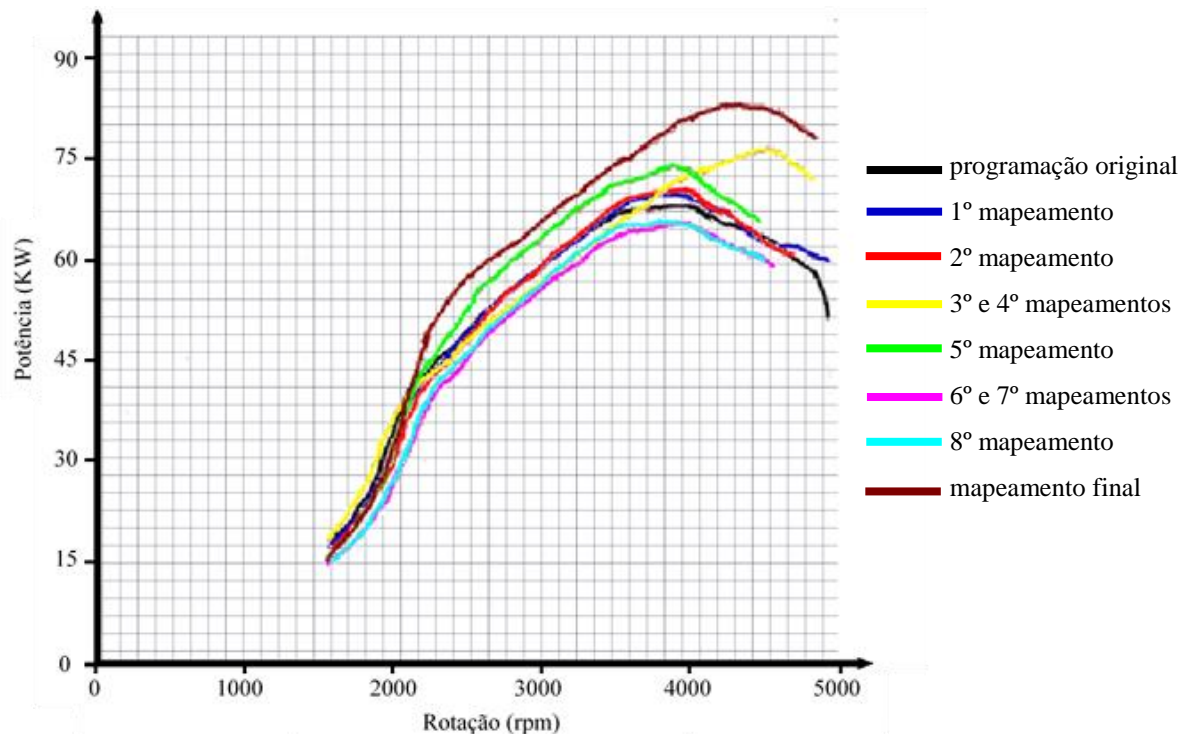


Figura 102 - Curvas de potência resultantes dos vários mapeamentos

O gráfico da Figura 103 apresenta as várias curvas de binário, resultantes dos diversos mapeamentos efetuados. Com o mapeamento final, resultado da conjugação de vários parâmetros otimizados e testados, conseguiu-se obter o binário máximo de entre todas as programações (aproximadamente 217 Nm). À semelhança do sucedido com a potência, o incremento isolado da temporização de injeção (quinto mapeamento) produziu um aumento significativo no binário, traduzindo-se numa deslocação vertical da sua curva, comparativamente à obtida com a programação de fábrica.

Quanto aos resultados obtidos com o sexto, sétimo e oitavo mapeamentos, todos eles resumem-se a um decremento de 10 Nm de binário, acompanhando o decréscimo de potência que se obteve com esses mapeamentos, embora a diminuição de binário seja bem mais significativa.

O binário produzido pelo primeiro e segundo mapeamentos permaneceu praticamente constante, mantendo-se semelhante à programação original. Idêntica situação verificou-se na terceira programação, que consistiu nas duas primeiras parametrizações, adicionadas da alteração dos valores da correção da mistura (mapa “lambda alvo”).

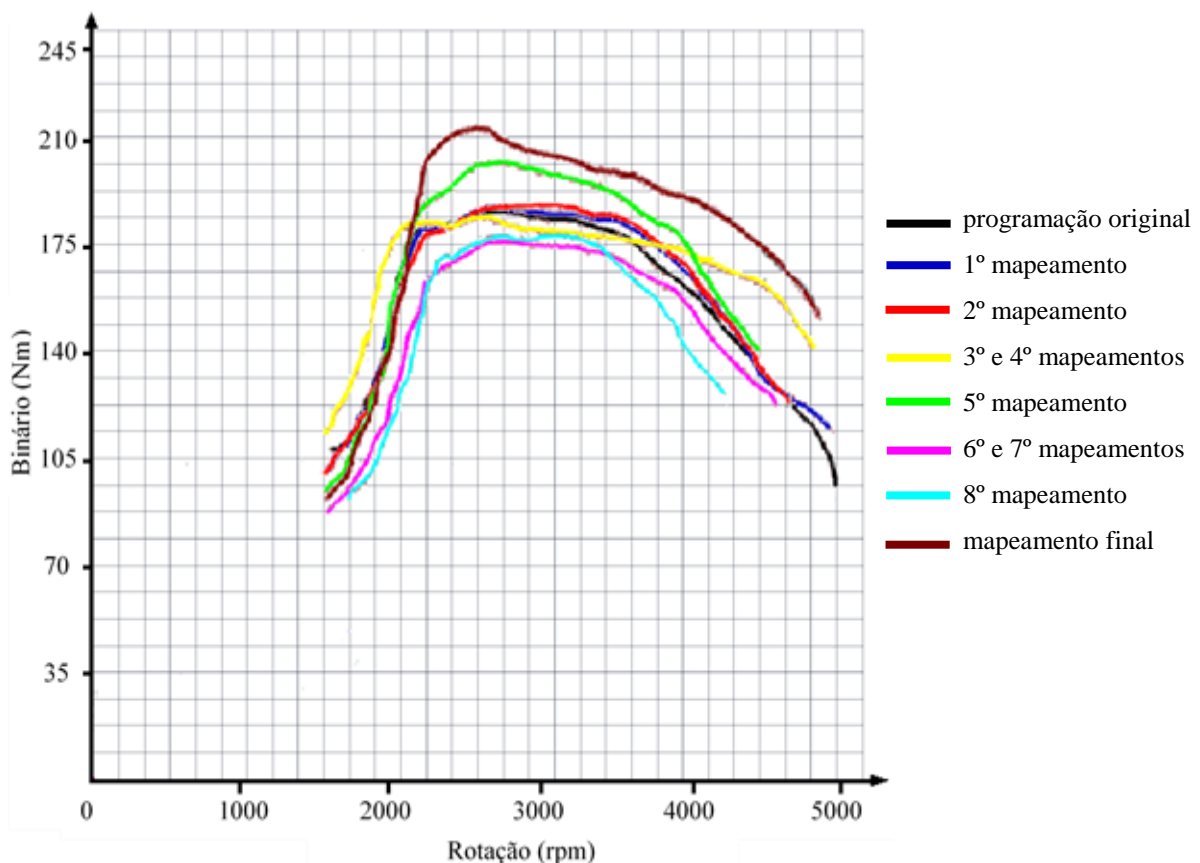


Figura 103 - Curvas de binário resultantes dos vários mapeamentos

6 Conclusões e trabalhos futuros

A análise da revisão bibliográfica em conjunto com a análise dos vários resultados obtidos permitiram obter as seguintes conclusões:

- A otimização da gestão eletrónica do motor é um processo muito delicado que requer muita experiência e desenvolvimento;
- A otimização da gestão eletrónica consegue intervir numa vasta gama de veículos motores, tais como automóveis, motociclos, camiões, autocarros, barcos, tratores agrícolas e kartings;
- Com o mesmo motor e a mesma unidade de gestão eletrónica é possível obter diferentes versões, ou seja, diferentes níveis de potência e de binário, simplesmente através de diferentes programações da centralina;
- O método de programação por OBD, embora seja o mais fácil de executar, não é exequível em todos os automóveis, sendo necessário programar por outros métodos dependendo do automóvel;
- Os principais parâmetros que regem a gestão eletrónica do sistema common-rail são: o tempo de injeção, a pressão de injeção, o caudal de injeção, o avanço da injeção, a pressão de sobrealimentação e a correção da mistura pelo fator lambda;
- Para cada gama distinta de valores (parâmetros) pré-programados existem na memória da unidade de controlo do motor um conjunto de vários mapas que regem o seu funcionamento;
- Os vários sistemas de injeção Diesel, por serem distintos entre si, apresentam na sua gestão eletrónica parâmetros que lhes são particulares;
- Quando um determinado mapa é alterado parcialmente, deve-se fazer uma transição suave entre os valores originais e os reprogramados, evitando uma variação muito brusca entre eles, o que iria traduzir-se num automóvel com um comportamento brusco e inconstante;
- O parâmetro otimizável caudal de injeção é, de entre os estudados, o que tem mais mapas que o controla;
- A otimização da gestão eletrónica só pode ir até um determinado ponto, estando sempre limitada à componente mecânica do automóvel;
- A alteração dos mapas de apenas um parâmetro distinto numa reprogramação, pode não potencializar o desempenho do automóvel e vir mesmo a diminuí-lo, caso não seja feita em conjunto com variações de outros parâmetros, o que se sucedeu com o incremento da pressão do turbo, do avanço da injeção e da pressão de injeção;
- Para que se possa obter resultados úteis mexendo no caudal de injeção do gasóleo, ao incrementá-lo apenas no principal mapa (*Driver Wish*), é necessário parametrizar outros mapas do caudal de injeção, já que a unidade de controlo de entre os vários mapas com o mesmo parâmetro, vai sempre buscar os valores mais baixos;
- O parâmetro tempo de injeção favorece os regimes mais baixos;
- Com um elevado grau de pormenor do ajustamento e parametrização da gestão eletrónica, consegue-se obter resultados de binário e potência excelentes;
- Com o mapeamento final verificou-se um novo comportamento do automóvel:

- Menores consumos numa utilização diária;
- Menor número de reduções de caixa;
- As mudanças de caixa podem ser efetuadas mais cedo;
- Maior conforto da condução;
- Maior segurança devido à resposta mais rápida às solicitações do condutor;

Como trabalhos futuros seria interessante analisar de forma mais profunda não só os parâmetros que intervêm na gestão eletrônica do sistema Diesel de bomba injetora e injetor-bomba, mas também otimizar esses parâmetros, testando as várias alterações em banco de potência.

Um outro trabalho futuro seria o estudo e otimização da gestão eletrônica de automóveis a gasolina que, para além de trabalharem com valores distintos, são motores mais delicados.

Por fim também se propunha a realização prática dos outros métodos de leitura e escrita de dados na centralina (métodos de reprogramação).

Bibliografia e Sitografia

Bibliografia

Banish, Greg. 2007. *Engine Management Advanced Tuning*. North Branch: CarTech Inc.

Brady, Robert N. 2001. *Automotive Electronics and Computer Systems*. Upper Saddle River: Prentice Hall, Inc.

Çengel, Yunus A. e Michael A. Boles. 2006. *Termodinâmica*. 5ª ed. Lisboa: McGraw Hill.

Challen, Bernard e Rodica Baranescu. 1999. *Diesel engine reference book*. 2ª ed. Amsterdam: Elsevier.

Correia, Daniel e Daniel Rocha. 2011. *Utilização de sensores na indústria automóvel*. Instituto Superior de Engenharia do Porto.

Denton, Tom. 2004. *Automobile electrical and electronic systems*. 3ª ed. Amsterdam: Elsevier.

Lavandeira, Filipe Manuel Rodrigues Azevedo. 2010. “Optimização da gestão electrónica de um motor a gasóleo para o biodiesel.” MS, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Acedido em fevereiro 2014.

http://digitool.fe.up.pt:1801/webclient/DeliveryManager?custom_att_2=simple_viewer&metadata_request=false&pid=232935

Manavella, Humberto José 2006. *Eleto-Eletrónica automotiva*. HM Autotrônica.

Martins, Jorge. 2011. *Motores de Combustão Interna*. 3ª ed. Porto: Publindústria, Edições Técnicas.

Ribbens, William B. e Norman P. Mansour. 2003. *Understanding automotive electronics*. 6ª ed. Burlington, MA: Newnes.

Robert Bosch Gmb, H. 2004. *Automotive Electrics: Automotive Electronics*. 4ª ed. Plochingen: Robert Bosch GMBH.

Tarback, Edward J. e Frederick K. Lutgens. 2000. *The Atmosphere*. 8ª ed. Upper Saddle River: Prentice Hall.

Hawley, J.G., C.J. Brace e F.J. Wallace. 1998. *Combustion-Related Emissions in CI Engines*. Boston: Academic Press.

Kitchen, Tony. 2008. *Common Rail Diesel Fuel Systems*. AK Training

EVC electronic. 2012. "Manual WinOls 2.29."

Mock, Peter. 2014. "EU CO₂ Emission Standards for passenger cars and light-commercial vehicles." *International Council on Clean Transportation*.

Lindqvist, Kajsa. 2012. "Emission standards for light and heavy road vehicles." *AirClim Factsheet 25*

Sitografia

Jääskeläinen, Hannu e Magdi K. Khair. 2014. "Common Rail Fuel Injection." *DieselNet Technology Guide*. Acedido em maio 2014.

https://www.dieselnets.com/tech/diesel_fi_common-rail.php

AW (Automotive World). "DENSO develops EGR valve unit." 18 de fevereiro de 2014. Acedido em março 2014.

<http://www.automotiveworld.com/news-releases/denso-develops-egr-valve-unit/>.

Bosch Automotive Technology. 2014 "Diesel by Bosch - Engine Control." Acedido em março 2014

http://www.bosch-automotivetechnology.com/en/de/powertrain/powertrain_systems_for_passenger_cars_1/diesel_2/diesel_3.html.

Bosch Auto Parts. 2008. "Common rail injection." Acedido em maio 2014

http://de.bosch-automotive.com/en/parts/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/common_rail_injection/common_rail_diesel_motorsys_parts

Bosch Auto Parts. 2005. "Unit injector." Acedido em fevereiro 2014

http://de.bosch-automotive.com/en/parts/parts_and_accessories/motor_and_sytems/diesel/unit_injector_system/unit_injector_system_diesel_motorsys_parts.

Electro Sport. 2014. "Turbocompressores de geometria variável." Acedido em abril 2014

<http://www.electrosport.pt/tecnologia.asp?topic=turbogvar>.

Ducoo. 2014. "VE Pump Parts – Cam Plate." Acedido em março 2014

<http://www.cnducoo.com/assets/js/upfiles/images/products/ve-pump-spare-parts/cam-plate/six-cylinders-pump-cam-disk.jpg>

Motor Talk. 2010. "Unit-injector." Acedido em abril 2014

<http://www.motor-talk.de/bilder/tdi-crd-g9275546/unit-injector-i203082771.html>.

Munin, Engenharia e tecnologia. 2005. "Turbo - sobrealimentação." Acedido em março 2014

<http://munin.pt/prov/turbo.html>

- Diesel Works. 2006. "Unit Injector Systems." Acedido em abril 2014
<http://www.dieselworks.co.za/index.php/common-rail-systems/unit-injector-systems>
- Loureiro, Mário. 2012. "Máquinas térmicas I - Electrónica Auto." Acedido em março 2014
<http://www.marioloureiro.net/EnsinoFormacao.htm>.
- JLA Turbo. 2014a. "Funcionamento do Turbo de Geometria Variável 1." Acedido em março 2014
<http://jlaturbo.com.br/funcionamento-do-turbo-de-geometria-variavel-1/>.
- JLA Turbo. 2014b. "Funcionamento do Turbo de Geometria Variável 2." Acedido em março 2014
<http://jlaturbo.com.br/funcionamento-do-turbo-de-geometria-variavel-2/>.
- Neves, Ricardo. 2014. "Injetores Piezo: o que são e como funcionam." *Razão Automóvel: Autopédia*, 14 de abril de 2014. Acedido em abril 2014
<http://www.razaautomovel.com/2014/04/injetores-piezo>
- Breckenridge, George. 2012. "A frozen Injection pump Fuel Rack, what to do?" *Utter Power (blog)*, 18 de fevereiro de 2012. Acedido em maio 2014
<http://www.utterpower.com/a-frozen-injection-pump-fuel-rack-what-to-do/>
- Tham, Kit. 2011. "Manifold absolute pressure (MAP) sensor." *Kit Autotronic (blog)*, 12 de dezembro de 2011. Acedido em fevereiro 2014
<http://kit2011.blogspot.pt/2011/12/manifold-absolute-pressure-map-sensor.html>
- Wiesinger, Johannes. 2013. "Pumpe Düse Einspritzung (PDE / UIS) Unit Injektor." *Kfztech (blog)*, 5 de outubro de 2013. Acedido em março 2014
<http://www.kfztech.de/kfztechnik/motor/diesel/pumpeduese.htm>.
- Souza, Paulo. 2010. "Sistemas de injeção diesel Common Rail – Injetores." *Jornal Oficina Brasil*, 13 de dezembro de 2010. Acedido em março 2014
http://www.oficinabrasil.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1324:sistema-de-injecao-diesel-common-rail-injetores&catid=70:noticias&Itemid=454
- Bosch. 2012. "Absolute-pressure sensors in micromechanical hybrid design." Acedido em fevereiro 2014
http://industrial.boschautoparts.com/Technical%20Resources/ABS400_0281002693.pdf
- VOLKSWAGEN AG. 2005. "Unit Injectors with Piezo Valves - Design and Function." Acedido em junho 2014
http://www.volkspage.net/technik/spp/spp/SSP_352.pdf
- Bosch. 2006. "Bombas VE – Aplicações e principais componentes." Acedido em fevereiro 2014
<http://www.slideshare.net/Henriquecarvalhob/bosch-catlogo-diesel-bombas-ve-2006>
- Bosch. 1999. "Diesel distributor fuel-injection pumps." Acedido em fevereiro 2014
http://www.k-jet.org/files/other/Bosch_VE_Diesel_Injection_Pumps.pdf

MS Motor Service. 2011. “Recirculação dos gases de escape.” KSPG Automotive Group. Acedido em maio 2014

http://download.ms-motor-service.com/ximages/pg_50003956-02_web.pdf

Carley, Larry. 2014. “Engine Coolant Sensors.” *AA1Car*. Acedido em março 2014

http://www.aa1car.com/library/coolant_sensors.htm.

Claudio, José. 2012. “Grupos Geradores. Parte 1 – Motores Diesel.” Acedido em junho 2014

http://www.joseclaudio.eng.br/grupos_geradores_3.html.

Obdspace technology co. 2012. “Programador de 50/60Hz wellon vp-290 eprom.” Acedido em março 2014

http://portuguese.obdspace.com/china-ac_100v_240v_50_60hz_wellon_vp_290_eprom_programmer_supports_windowsxp_window_s7-616174.html

OBDTool. 2014. “Auto ECU Programmer.” Acedido em fevereiro 2014

<http://www.obdtool.co.uk/wholesale/bdm-frame-with-adapters-set-fit-original-fgtech.html>

ANEXO A: Principais mapas de origem do Toyota Corolla 1.4 D4D

RPM	IQ(Posição acelerador, Rotação)/mg															
	0	1	5	10	15	20	29	39	49	59	69	78	88	98	99	100
700	0.00	0.48	2.40	4.80	7.20	14.19	28.16	42.13	56.10	70.06	84.03	96.04	108.04	120.05	121.25	122.45
850	0.00	0.40	1.98	3.95	5.93	11.68	23.19	34.69	46.20	57.70	69.20	79.09	88.98	98.86	99.85	100.84
1000	0.00	0.34	1.68	3.36	5.04	9.93	19.71	29.49	39.27	49.05	58.82	67.23	75.63	84.03	84.87	85.71
1200	0.00	0.28	1.40	2.80	4.20	8.28	16.42	24.57	32.72	40.87	49.02	56.02	63.03	70.03	70.73	71.43
1400	0.00	0.24	1.20	2.40	3.60	7.09	14.08	21.06	28.05	35.03	42.02	48.02	54.02	60.02	60.62	61.22
1600	0.00	0.21	1.05	2.10	3.15	6.21	12.32	18.43	24.54	30.65	36.76	42.02	47.27	52.52	53.05	53.57
2000	0.00	0.17	0.84	1.68	2.52	4.97	9.85	14.74	19.63	24.52	29.41	33.61	37.82	42.02	42.44	42.86
2500	0.00	0.13	0.67	1.34	2.02	3.97	7.88	11.80	15.71	19.62	23.53	26.89	30.25	33.61	33.95	34.29
3000	0.00	0.11	0.56	1.12	1.68	3.31	6.57	9.83	13.09	16.35	19.61	22.41	25.21	28.01	28.29	28.57
3500	0.00	0.10	0.48	0.96	1.44	2.84	5.63	8.43	11.22	14.01	16.81	19.21	21.61	24.01	24.25	24.49
4000	0.00	0.08	0.42	0.84	1.26	2.48	4.93	7.37	9.82	12.26	14.71	16.81	18.91	21.01	21.22	21.43
4500	0.00	0.07	0.37	0.75	1.12	2.21	4.38	6.55	8.73	10.90	13.07	14.94	16.81	18.67	18.86	19.05
5000	0.00	0.07	0.34	0.67	1.01	1.99	3.94	5.90	7.85	9.81	11.76	13.45	15.13	16.81	16.97	17.14
5500	0.00	0.06	0.31	0.61	0.92	1.81	3.58	5.36	7.14	8.92	10.70	12.22	13.75	15.28	15.43	15.58
5501	0.00	0.06	0.31	0.61	0.92	1.81	3.58	5.36	7.14	8.92	10.69	12.22	13.75	15.28	15.43	15.58
5502	0.00	0.06	0.31	0.61	0.92	1.81	3.58	5.36	7.14	8.91	10.69	12.22	13.75	15.27	15.43	15.58

Mapa Driver Wish

rpm	Limitador Binário(rpm)/mg																								
	500	1000	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4600	5000	5400												
0	30.0	30.0	37.0	45.0	45.0	46.0	46.9	46.9	45.9	44.9	45.6	46.3	45.4	44.7	42.9	42.4	41.0	38.9	36.9	34.5	32.3	30.4	19.0	8.9	0.0

Mapa limitador de binário

rpm	Pressão Rail (rpm,mg) /bar																			
	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2800	3000	3200	3600	3800	4000	4601	4602	4603	4604	
0	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
2	300	300	300	305	310	315	320	330	340	355	370	385	400	411	411	411	411	411	411	411
4	300	300	305	313	320	325	335	370	385	410	425	430	450	470	480	480	480	480	480	
6	305	305	310	315	320	335	380	410	420	450	470	480	530	560	587	594	594	594	594	
8	310	310	315	328	340	355	405	450	460	520	570	600	645	663	675	690	690	690	690	
10	320	320	320	343	365	395	460	520	580	650	710	747	757	768	775	790	790	790	790	
12	325	330	330	355	380	450	530	630	700	800	867	869	876	880	883	896	896	896	896	
14	330	340	340	380	450	520	630	740	820	930	986	990	1006	1016	1023	1048	1048	1048	1048	
16	335	380	410	470	510	598	715	833	930	1041	1087	1093	1115	1124	1139	1192	1192	1192	1192	
20	353	430	485	545	610	700	900	1030	1100	1227	1266	1271	1296	1309	1321	1357	1357	1357	1357	
24	370	507	575	628	690	780	990	1120	1200	1336	1372	1391	1433	1442	1457	1506	1506	1506	1506	
28	370	570	655	710	760	840	1030	1140	1250	1364	1405	1451	1509	1538	1567	1600	1600	1600	1600	
32	370	590	705	789	822	905	1050	1150	1250	1372	1427	1476	1538	1569	1600	1600	1600	1600	1600	
36	370	590	705	808	860	970	1070	1160	1250	1380	1450	1500	1570	1585	1600	1600	1600	1600	1600	
40	370	590	705	808	860	970	1070	1160	1250	1380	1450	1500	1570	1600	1600	1600	1600	1600	1600	
50	370	590	705	808	860	970	1070	1160	1250	1380	1450	1500	1570	1600	1600	1600	1600	1600	1600	

Mapa pressão de injeção

rpm	Pressão Rail (Rotação, IQ) /bar														
	100	200	300	400	500	600	800	1000	1500	1800	2000	3000	3400	3600	4500
0	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
10	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
20	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
30	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
40	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
50	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
60	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600
70	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600	1600

Mapa limitador da pressão de injeção

bar mg	Tempo de injeção (Rail Pressure,mg) /us															
	119	150	200	250	300	400	500	600	700	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	340	280	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	0
1	0	495	420	352	287	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220	0
1	0	583	488	393	350	300	220	220	220	220	220	220	235	241	245	0
1	0	640	533	419	370	325	287	240	225	220	220	220	242	246	250	0
1	0	682	564	446	388	340	306	281	270	261	246	239	248	251	254	0
2	0	724	605	494	413	359	329	309	294	282	265	253	257	259	260	0
2	0	790	664	548	470	384	351	330	317	305	283	270	268	266	264	0
3	0	850	720	589	514	411	370	347	333	321	299	284	277	272	269	0
3	0	910	768	626	547	441	394	366	346	333	311	295	286	278	274	0
4	0	1001	850	698	601	500	437	401	374	362	333	317	303	294	286	0
6	0	1157	985	812	708	578	512	461	425	409	373	352	340	325	311	0
8	0	1302	1103	921	805	660	575	522	477	447	403	375	359	345	331	0
10	0	1438	1232	1027	895	735	644	579	533	503	443	406	383	366	349	0
12	0	1483	1373	1132	992	808	705	637	583	548	491	446	419	390	370	0
14	0	1525	1525	1260	1082	886	770	690	632	592	530	486	456	423	395	0
18	0	1897	1897	1593	1371	1042	907	814	736	683	601	550	515	482	449	0
20	0	2100	2100	1800	1577	1186	997	884	799	739	649	587	546	510	475	0
22	0	2306	2306	1996	1733	1368	1161	998	871	795	697	630	582	541	501	0
24	0	2510	2510	2195	1905	1527	1324	1160	990	888	749	678	623	577	531	0
26	0	2715	2715	2392	2076	1683	1442	1282	1133	1012	839	732	667	616	559	0
28	0	2920	2920	2590	2265	1838	1581	1375	1248	1130	935	815	724	654	590	0
30	0	3125	3125	2788	2442	1981	1710	1476	1334	1236	1042	898	804	707	632	0
32	0	3329	3329	2986	2627	2124	1839	1596	1410	1306	1136	1005	883	780	681	0
35	0	3637	3637	3282	2897	2339	2033	1760	1567	1429	1259	1136	1031	890	797	0
40	0	4149	4149	3777	3353	2697	2331	2039	1813	1645	1433	1308	1207	1105	1008	0
45	0	4661	4661	4271	3806	3054	2640	2317	2067	1876	1606	1455	1350	1245	1147	0
80	0	8245	8245	7733	6987	5547	4834	4200	3771	3389	2893	2608	2431	2227	2087	0

Mapa tempo de injeção

rpm	Conversor Binário (rpm, Nm) /mm³/cyc																											
	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000	3200	3400	3600	3800	4000	4200	4400	4600	4800	5000	5200	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	4	4	4	4	4	5	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	3	3	
25	6	6	6	6	6	6	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	
30	7	7	7	7	7	7	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
35	8	8	8	8	8	8	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
40	10	10	10	10	9	9	8	8	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
45	11	11	11	11	10	10	9	9	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
50	11	11	11	11	11	11	10	10	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
55	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
60	13	13	13	13	13	13	12	12	11	11	11	11	11	10	10	10	10	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
70	15	15	15	15	15	14	14	14	13	13	13	13	13	13	12	12	12	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	
80	18	18	18	18	17	16	16	15	15	15	15	15	15	14	14	14	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	
90	21	21	21	21	21	20	19	19	17	17	17	17	16	16	16	15	15	14	14	14	15	15	14	15	15	15	15	
100	24	24	24	24	24	23	22	21	20	20	19	19	18	18	17	17	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	
110	27	27	27	27	26	26	25	24	23	22	21	21	20	20	19	19	18	18	18	18	18	18	18	18	19	19	20	
120	30	30	30	30	29	29	28	27	26	24	23	23	23	22	21	21	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21	22	
130	33	33	33	33	32	32	31	30	28	27	25	25	24	24	23	23	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	24	
140	36	36	36	36	35	35	34	33	31	29	27	27	26	26	25	25	24	24	24	24	24	24	24	24	25	25	26	
150	38	38	38	38	38	37	36	34	32	30	29	28	28	27	27	26	26	26	26	26	26	26	26	26	27	28	28	
160	41	41	41	41	41	40	39	38	36	34	32	31	30	29	29	28	28	28	28	28	28	28	28	29	30	31	30	
170	44	44	44	44	44	43	42	41	39	37	34	33	32	31	31	30	30	30	30	30	30	30	30	31	32	33	32	
180	47	47	47	47	46	45	44	42	39	36	35	34	33	34	33	33	33	32	33	33	33	33	34	35	36	35	34	
190	50	50	50	50	49	48	47	44	42	39	37	36	35	36	35	35	35	35	35	36	36	37	37	38	39	38	36	
200	53	53	53	53	52	51	49	47	44	42	40	38	38	38	38	38	37	38	39	39	40	40	42	41	39	37		
210	56	56	56	56	55	54	52	50	47	45	43	41	40	41	40	41	41	41	42	42	43	43	45	44	42	39		
220	59	59	59	59	58	57	55	53	50	48	46	44	43	43	43	43	43	43	45	45	45	45	46	48	46	44	41	
250	67	67	67	67	67	66	63	61	59	57	56	53	51	51	51	52	53	53	54	54	54	54	55	56	54	50	47	

Mapa conversor de binário

rpm	Pressão Turbo absoluta (rpm, mg) /mbar																							
	800	1400	1800	2200	2600	3000	3400	3800	4200	4400	4800	5200												
0	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000												
2	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1033	1063	1105	1149	1155	1160	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4	1000	1000	1000	1000	1003	1022	1046	1096	1164	1225	1227	1230	1233	1255	1272	1295	1316	1342	1397	1453	1453	1453	1453	1453
6	1000	1000	1000	1000	1009	1030	1056	1113	1189	1268	1270	1273	1301	1330	1358	1379	1405	1429	1487	1555	1555	1555	1555	1555
8	1000	1000	1000	1003	1022	1044	1085	1140	1230	1367	1368	1370	1377	1407	1437	1470	1492	1513	1585	1641	1641	1641	1641	1641
10	1000	1000	1030	1032	1063	1087	1130	1178	1279	1373	1380	1429	1468	1497	1533	1560	1585	1600	1650	1708	1708	1708	1708	1708
12	1000	1030	1060	1082	1105	1122	1171	1227	1321	1377	1437	1527	1558	1586	1614	1642	1670	1698	1726	1754	1754	1754	1754	1754
14	1000	1052	1087	1119	1153	1187	1244	1290	1364	1425	1503	1607	1638	1666	1694	1722	1750	1778	1806	1834	1834	1834	1834	1834
16	1010	1073	1110	1159	1217	1281	1316	1330	1418	1477	1567	1688	1719	1747	1775	1803	1831	1859	1887	1915	1915	1915	1915	1915
20	1020	1108	1167	1249	1314	1403	1416	1435	1540	1630	1732	1867	1898	1926	1954	1952	1960	1973	1993	1993</				

mg	rpm	AFR (rpm,mg) / AFR														
		800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2800	3000	3200	3600	3800	4400
10.0	0.81	0.96	1.03	1.13	1.11	1.11	1.05	1.05	1.12	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
11.0	0.81	0.96	1.03	1.13	1.11	1.11	1.05	1.05	1.12	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
14.0	0.81	0.96	1.03	1.13	1.11	1.11	1.05	1.05	1.12	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
17.0	0.81	0.96	1.03	1.13	1.11	1.11	1.05	1.05	1.12	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
20.0	0.81	0.96	1.03	1.13	1.11	1.11	1.05	1.05	1.12	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
23.0	0.81	0.96	1.03	1.13	1.11	1.11	1.05	1.05	1.12	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
26.0	0.91	0.96	1.03	1.13	1.11	1.11	1.05	1.05	1.12	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
29.0	0.95	0.96	1.06	1.13	1.11	1.11	1.05	1.05	1.12	1.06	1.08	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
31.0	0.95	0.96	1.03	1.11	1.10	1.11	1.05	1.05	1.11	1.05	1.07	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
33.0	0.95	0.96	1.00	1.13	1.13	1.09	1.05	1.05	1.09	1.05	1.05	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
35.0	0.95	0.96	0.96	1.10	1.12	1.08	1.06	1.05	1.06	1.05	1.04	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
36.0	0.95	0.96	0.94	1.06	1.10	1.08	1.05	1.05	1.05	1.05	1.04	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
38.0	0.95	0.95	0.91	0.99	1.07	1.08	1.03	1.04	1.03	1.05	1.03	1.03	1.07	1.08	1.13	1.15
40.0	0.95	0.93	0.93	0.97	1.05	1.07	1.03	1.03	1.03	1.04	1.03	1.03	1.07	1.07	1.13	1.15
42.0	0.97	0.93	0.94	0.95	1.02	1.05	1.02	1.03	1.03	1.04	1.03	1.02	1.07	1.07	1.13	1.15
44.0	1.02	0.93	0.94	0.92	0.99	1.04	1.01	1.03	1.03	1.03	1.02	1.02	1.07	1.06	1.12	1.15
47.0	1.08	0.97	0.96	0.92	0.99	1.03	1.00	1.02	1.02	1.03	1.02	1.02	1.06	1.05	1.11	1.14
50.0	1.15	1.01	0.97	0.93	0.97	1.01	1.00	1.02	1.02	1.02	1.02	1.01	1.06	1.04	1.11	1.14
54.0	1.25	1.09	1.05	0.95	0.95	1.00	1.00	1.02	1.01	1.01	0.99	1.01	1.05	1.04	1.10	1.14
58.0	1.34	1.17	1.13	0.96	0.94	0.99	1.00	1.02	1.01	1.02	1.00	1.01	1.03	1.02	1.11	1.22
62.0	1.43	1.25	1.21	1.03	0.95	0.99	1.00	1.01	1.01	1.03	1.00	1.01	1.01	1.01	1.11	1.31
66.0	1.52	1.33	1.28	1.10	0.97	0.99	1.00	1.02	1.01	1.02	1.00	1.01	1.02	1.06	1.18	1.39
70.0	1.62	1.41	1.36	1.16	1.02	1.00	1.00	1.02	1.08	1.02	1.00	1.01	1.07	1.12	1.25	1.48
80.0	1.85	1.62	1.55	1.33	1.17	1.15	1.14	1.16	1.23	1.17	1.14	1.16	1.23	1.29	1.43	1.69
80.1	1.85	1.62	1.55	1.33	1.17	1.15	1.14	1.16	1.23	1.17	1.14	1.16	1.23	1.29	1.43	1.69
80.2	1.85	1.62	1.55	1.33	1.17	1.15	1.14	1.16	1.23	1.17	1.14	1.16	1.23	1.29	1.43	1.69
80.3	1.85	1.62	1.55	1.33	1.17	1.15	1.14	1.16	1.23	1.17	1.14	1.16	1.23	1.29	1.43	1.69
80.4	1.85	1.62	1.55	1.33	1.17	1.15	1.14	1.16	1.23	1.17	1.14	1.16	1.23	1.29	1.43	1.69
80.5	1.85	1.62	1.55	1.33	1.17	1.15	1.14	1.16	1.23	1.17	1.14	1.16	1.23	1.29	1.43	1.69
80.6	1.85	1.62	1.55	1.33	1.17	1.15	1.14	1.16	1.23	1.17	1.14	1.16	1.23	1.29	1.43	1.69

Mapa fator lambda alvo