



# Motores de Combustão Interna e seus Sistemas

*Carlos Antonio da Costa Tillmann*

Presidência da República Federativa do Brasil

Ministério da Educação

Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica

© Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense  
Este caderno foi elaborado em parceria entre o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense – Campus Pelotas-Visconde da Graça e a Universidade Federal de Santa Maria para a Rede e-Tec Brasil.

**Equipe de Elaboração**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia  
Sul-rio-grandense – IFSul-Pelotas-Visconde da Graça

**Reitor**

Antônio Carlos Barum Brod/IFSul-CAVG

**Direção Geral**

Ricardo Lemos Sainz/IFSul-CAVG

**Coordenação Institucional**

Cinara Ourique do Nascimento/IFSul-CAVG

**Coordenação de Curso**

Hilton Grimm/IFSul-CAVG

**Professor-autor**

Carlos Antonio da Costa Tillmann/IFSul-CAVG

**Equipe Técnica**

Marchiori Quevedo/IFSul-CAVG

Maria Isabel Giusti Moreira/IFSul-CAVG

Marisa Teresinha Pereira Neto Cancela/IFSul-CAVG

Pablo Brauner Viegas/IFSul-CAVG

Rodrigo da Cruz Casalinho/IFSul-CAVG

**Equipe de Acompanhamento e Validação**

Colégio Técnico Industrial de Santa Maria – CTISM

**Coordenação Institucional**

Paulo Roberto Colusso/CTISM

**Coordenação Técnica**

Iza Neuza Teixeira Bohrer/CTISM

**Coordenação de Design**

Erika Goellner/CTISM

**Revisão Pedagógica**

Andressa Rosemárie de Menezes Costa/CTISM

Marcia Migliore Freo/CTISM

**Revisão Textual**

Eduardo Lehnhart Vargas/CTISM

Lourdes Maria Grotto de Moura/CTISM

Vera Maria Oliveira/CTISM

**Revisão Técnica**

José Carlos Lorentz Aita/CTISM

**Ilustração**

Cássio Fernandes Lemos/CTISM

Gabriel La Rocca Cóser/CTISM

Marcel Santos Jacques/CTISM

Rafael Cavalli Viapiana/CTISM

Ricardo Antunes Machado/CTISM

**Diagramação**

Leandro Felipe Aguilar Freitas/CTISM

Ficha catalográfica elaborada por Maristela Eckhardt – CRB 10/737  
Biblioteca Central da UFSM

**T577m Tillmann, Carlos Antonio da Costa**  
**Motores de combustão interna e seus sistemas / Carlos Antonio da Costa Tillmann. – Pelotas : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia ; Santa Maria : Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Técnico Industrial de Santa Maria ; Rede e-Tec Brasil, 2013.**  
**165 p. : il. ; 28 cm**  
**ISBN 978-85-63573-28-5**

**1. Engenharia mecânica 2. Motores 3. Combustão interna 4. Biocombustível I. Rede e-Tec Brasil II. Título**

**CDU 621.43**

# Apresentação e-Tec Brasil

Prezado estudante,  
Bem-vindo a Rede e-Tec Brasil!

Você faz parte de uma rede nacional de ensino, que por sua vez constitui uma das ações do Pronatec – Programa Nacional de Acesso ao Ensino Técnico e Emprego. O Pronatec, instituído pela Lei nº 12.513/2011, tem como objetivo principal expandir, interiorizar e democratizar a oferta de cursos de Educação Profissional e Tecnológica (EPT) para a população brasileira propiciando caminho de o acesso mais rápido ao emprego.

É neste âmbito que as ações da Rede e-Tec Brasil promovem a parceria entre a Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica (SETEC) e as instâncias promotoras de ensino técnico como os Institutos Federais, as Secretarias de Educação dos Estados, as Universidades, as Escolas e Colégios Tecnológicos e o Sistema S.

A educação a distância no nosso país, de dimensões continentais e grande diversidade regional e cultural, longe de distanciar, aproxima as pessoas ao garantir acesso à educação de qualidade, e promover o fortalecimento da formação de jovens moradores de regiões distantes, geograficamente ou economicamente, dos grandes centros.

A Rede e-Tec Brasil leva diversos cursos técnicos a todas as regiões do país, incentivando os estudantes a concluir o ensino médio e realizar uma formação e atualização contínuas. Os cursos são ofertados pelas instituições de educação profissional e o atendimento ao estudante é realizado tanto nas sedes das instituições quanto em suas unidades remotas, os polos.

Os parceiros da Rede e-Tec Brasil acreditam em uma educação profissional qualificada – integradora do ensino médio e educação técnica, – é capaz de promover o cidadão com capacidades para produzir, mas também com autonomia diante das diferentes dimensões da realidade: cultural, social, familiar, esportiva, política e ética.

Nós acreditamos em você!  
Desejamos sucesso na sua formação profissional!

Ministério da Educação  
Março de 2013

Nosso contato  
[etecbrasil@mec.gov.br](mailto:etecbrasil@mec.gov.br)



# Indicação de ícones

Os ícones são elementos gráficos utilizados para ampliar as formas de linguagem e facilitar a organização e a leitura hipertextual.



**Atenção:** indica pontos de maior relevância no texto.



**Saiba mais:** oferece novas informações que enriquecem o assunto ou “curiosidades” e notícias recentes relacionadas ao tema estudado.



**Glossário:** indica a definição de um termo, palavra ou expressão utilizada no texto.



**Mídias integradas:** sempre que se desejar que os estudantes desenvolvam atividades empregando diferentes mídias: vídeos, filmes, jornais, ambiente AVEA e outras.



**Atividades de aprendizagem:** apresenta atividades em diferentes níveis de aprendizagem para que o estudante possa realizá-las e conferir o seu domínio do tema estudado.



# Sumário

<b>Palavra do professor-autor</b> .....	<b>9</b>
<b>Apresentação da disciplina</b> .....	<b>11</b>
<b>Projeto instrucional</b> .....	<b>13</b>
<b>Aula 1 – Introdução ao estudo dos motores de combustão interna</b> .....	<b>15</b>
1.1 História dos motores alternativos de combustão.....	15
<b>Aula 2 – Componentes dos motores de combustão interna</b> .....	<b>25</b>
2.1 Componentes fixos dos motores.....	25
2.2 Componentes móveis dos motores.....	30
<b>Aula 3 – Motores</b> .....	<b>45</b>
3.1 Conceito.....	45
3.2 Motores de combustão externa.....	46
3.3 Motores de combustão interna.....	47
3.4 Classificação dos motores de combustão interna.....	47
3.5 Características técnicas dos motores de combustão interna.....	50
<b>Aula 4 – Sistemas complementares dos motores</b> .....	<b>55</b>
4.1 Sistemas complementares.....	55
4.2 Sistema de alimentação de ar.....	55
4.3 Sistema de alimentação de combustível.....	64
4.4 Sistema de arrefecimento.....	77
4.5 Sistema de lubrificação.....	91
4.6 Sistema elétrico.....	103
<b>Aula 5 – Princípio de funcionamento dos motores de combustão interna</b> .....	<b>107</b>
5.1 Ciclos termodinâmicos.....	107
5.2 Classificação dos motores segundo o ciclo termodinâmico.....	110
5.3 Processo de combustão nos motores.....	110
5.4 Fases ou tempos de funcionamento dos motores alternativos.....	113

<b>Aula 6 – Processos de funcionamento dos motores de combustão interna</b> .....	<b>117</b>
6.1 Motor de 2 tempos mecânicos.....	117
6.2 Motor de 4 tempos mecânicos.....	119
6.3 Ciclo misto.....	125
<b>Aula 7 – Características técnicas de desempenho</b> .....	<b>129</b>
7.1 Noções preliminares de mecânica.....	129
7.2 Cilindrada.....	132
7.3 Câmara de compressão ou de combustão.....	134
7.4 Relação ou taxa de compressão.....	135
7.5 Instrumentos de precisão e aferição.....	138
<b>Aula 8 – Avaliação dos parâmetros de desempenho</b> .....	<b>145</b>
8.1 Parâmetros de desempenho.....	145
8.2 Potência mecânica.....	147
8.3 Potência efetiva.....	149
8.4 Reserva de torque.....	151
8.5 Normas para avaliação de desempenho de motores.....	154
8.6 Rendimento dos motores de combustão interna.....	155
8.7 Causas do baixo rendimento dos motores Diesel.....	160
<b>Referências</b> .....	<b>163</b>
<b>Currículo do professor-autor</b> .....	<b>165</b>



# Palavra do professor-autor

Prezados(as) alunos(as),

Estamos iniciando uma breve jornada, onde juntos vamos procurar atender as expectativas que todos buscam para se aperfeiçoar nas áreas que envolvem o Curso Técnico de Biocombustíveis.

Estudar os aspectos que dizem respeito aos motores de combustão interna, seus sistemas e as relações entre os elementos que o compõem para seu funcionamento. Oportunizar, através da aprendizagem, domínio e conhecimentos necessários para a formação de profissionais capacitados que atendam eficientemente a grande demanda existente na área de biocombustíveis hoje no Brasil.

Aproveitem essa oportunidade e façam desse momento um diferencial no desenvolvimento de potencialidades para suas atividades profissionais.

Bom trabalho.  
Prof. Carlos Antonio Tillmann



# Apresentação da disciplina

Rudolf Diesel, em 1900, apresentou ao público a sua fantástica invenção: um protótipo de motor de ignição por compressão. Fez funcionar o seu motor com óleo de amendoim, durante algumas horas, nos vários momentos de demonstração. Tratava-se de um motor de baixa rotação, de injeção indireta que poderia queimar óleos vegetais *in natura* e até outros combustíveis mais pesados.

Após a Segunda Guerra Mundial, teve início efetivamente a produção dos motores de ignição por compressão “motor Diesel” como foi chamado em homenagem a seu inventor. O motor Diesel foi lançado comercialmente, funcionando com óleo cru, isto é, o petróleo simplesmente filtrado. Naquela ocasião, já havia a constatação de que o funcionamento prolongado com óleo vegetal produzia resíduos de carbono no interior dos cilindros, além de outros danos aos motores.

Os motores de combustão abastecidos a diesel e a gasolina multiplicaram-se aos milhões, evidenciando uma clara dependência ao petróleo e, consequentemente, a constatação de sua finitude como importante fonte de energia. Com as crises do petróleo, a humanidade percebeu que poderia haver limites nos estoques, que se tratava de uma fonte esgotável e que essa dependência comprometeria o futuro energético do planeta.

Muitos esforços foram dispensados em busca de soluções que economizassem energia substituindo-a por formas alternativas. Alguns desses esforços permitiram a concepção dos biocombustíveis. Entre outras, era uma opção com origem biológica não fóssil, um combustível renovável produzido a partir de produtos agrícolas e de gorduras residuais, uma possibilidade futura de minimizar os sérios problemas agravados pelo consumo de energia.

Nesse cenário surgem grandes desafios à indústria automobilística: acompanhar todo o desenvolvimento de inovações tecnológicas, visando à obtenção de novas tecnologias de propulsores veiculares capazes de atender com rendimento e eficiência ao desenvolvimento desses novos combustíveis que substituem os derivados de petróleo.

Embora os motores de combustão, ignição por compressão ou ignição por centelha tenham sido projetados para uso com óleo diesel mineral e gasolina respectivamente, a possibilidade da entrada na matriz energética dos biocombustíveis, o etanol e do biodiesel, torna eminente a necessidade de estudos do comportamento dos motores ante esses novos combustíveis.

A disciplina de Motores de Combustão Interna e seus Sistemas apresenta a proposta de oportunizar aos acadêmicos da Rede e-Tec Brasil a consolidação de competências no processo de ensino aprendizagem para desenvolver habilidades relacionadas à compreensão e utilização dos motores de combustão pelos biocombustíveis.

A equipe de trabalho do Curso Técnico de Biocombustíveis da Rede e-Tec Brasil estará sempre à sua disposição.

Grande Abraço!  
Prof. Carlos Antonio Tillmann

# Projeto instrucional

**Disciplina:** Motores de Combustão Interna e seus Sistemas (carga horária: 60h).

**Ementa:** Introdução ao estudo dos motores de combustão: histórico. Conceitos fundamentais de mecânica e instrumentos de precisão e aferição. Classificação e características dos motores de combustão interna. Princípio de funcionamento segundo os ciclos e tempos mecânicos. Componentes dos motores. Características técnicas de desempenho. Sistemas complementares e avaliação dos parâmetros de desempenho.

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
1. Introdução ao estudo dos motores de combustão interna	Compreender a importância e a evolução dos motores de combustão no contexto de projetos e uso de novas formas de energias, seu desempenho e eficiência.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática com roteiro de estudos e referências. Acompanhamento por tutores e o professor responsável da disciplina. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios disponibilizados no ambiente.	02
2. Componentes dos motores de combustão interna	Identificar os componentes fixos e móveis que compõem os motores e suas funções.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática com roteiro de estudos e referências. Acompanhamento por tutores e o professor responsável da disciplina. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios disponibilizados no ambiente.	05
3. Motores	Entender e reconhecer conceitualmente os motores como máquina térmica na conversão de qualquer forma de energia em energia mecânica. Diferenciar a função dos elementos que compõem a combustão externa e interna de um motor. Classificar os motores de combustão interna. Identificar as características técnicas dos motores de combustão interna. Identificar as especificações referentes à manutenção dos motores.	Ambiente virtual: plataforma Moodle. Apostila didática com roteiro de estudos e referências. Acompanhamento por tutores e o professor responsável da disciplina. Recursos de apoio: <i>links</i> , exercícios disponibilizados no ambiente.	04

AULA	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM	MATERIAIS	CARGA HORÁRIA (horas)
4. Sistemas complementares dos motores	<p>Entender os sistemas complementares dos motores.</p> <p>Diferenciar as funções dos sistemas complementares, bem como a sua importância na transformação da energia interna dos combustíveis em trabalho mecânico.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle.</p> <p>Apostila didática com roteiro de estudos e referências.</p> <p>Acompanhamento por tutores e o professor responsável da disciplina.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios disponibilizados no ambiente.</p>	20
5. Princípio de funcionamento dos motores de combustão interna	<p>Compreender os processos que regem os ciclos termodinâmicos através do ciclo de Carnot.</p> <p>Identificar os motores segundo o ciclo de funcionamento Otto e Diesel.</p> <p>Compreender as fases dos tempos de funcionamento dos motores e o processo de combustão.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle.</p> <p>Apostila didática com roteiro de estudos e referências.</p> <p>Acompanhamento por tutores e o professor responsável da disciplina.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios disponibilizados no ambiente.</p>	04
6. Processos de funcionamento dos motores de combustão interna	<p>Conhecer e identificar os processos de funcionamento dos motores, considerando os tempos e ciclos termodinâmicos.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle.</p> <p>Apostila didática com roteiro de estudos e referências.</p> <p>Acompanhamento por tutores e o professor responsável da disciplina.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios disponibilizados no ambiente.</p>	15
7. Características técnicas de desempenho	<p>Familiarizar-se com noções e conceitos preliminares das grandezas físicas que explicam o comportamento mecânico e suas unidades de medidas.</p> <p>Reconhecer diferentes instrumentos de medição utilizados na aferição dos padrões de precisão dimensionais.</p> <p>Determinar as principais características técnicas de desempenho dos motores.</p> <p>Relacionar as características técnicas com o processo de transformação de energia que ocorre nos motores de combustão.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle.</p> <p>Apostila didática com roteiro de estudos e referências.</p> <p>Acompanhamento por tutores e o professor responsável da disciplina.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios disponibilizados no ambiente.</p>	05
8. Avaliação dos parâmetros de desempenho	<p>Identificar e determinar os principais parâmetros de desempenho dos motores e suas relações entre potência, torque e consumo de combustível através das curvas de desempenho.</p>	<p>Ambiente virtual: plataforma Moodle.</p> <p>Apostila didática com roteiro de estudos e referências.</p> <p>Acompanhamento por tutores e o professor responsável da disciplina.</p> <p>Recursos de apoio: <i>links</i>, exercícios disponibilizados no ambiente.</p>	05

# Aula 1 – Introdução ao estudo dos motores de combustão interna

## Objetivos

Compreender a importância e a evolução dos motores de combustão no contexto de projetos e uso de novas formas de energias, seu desempenho e eficiência.

## 1.1 História dos motores alternativos de combustão

Os primeiros relatos sobre o surgimento dos motores afirmam que os motores de combustão tiveram início com a invenção das armas de fogo, pois a energia térmica da explosão transformava-se em trabalho. Na realidade, as primeiras tentativas de desenvolvimento de um motor ocorreram na segunda metade do século XVII, com o uso da pólvora para movimentar um pistão dentro de um cilindro.

Relatos e documentos históricos demonstram, em esquema datado de 1508, em que Leonardo da Vinci propunha a elevação de peso por meio de fogo.

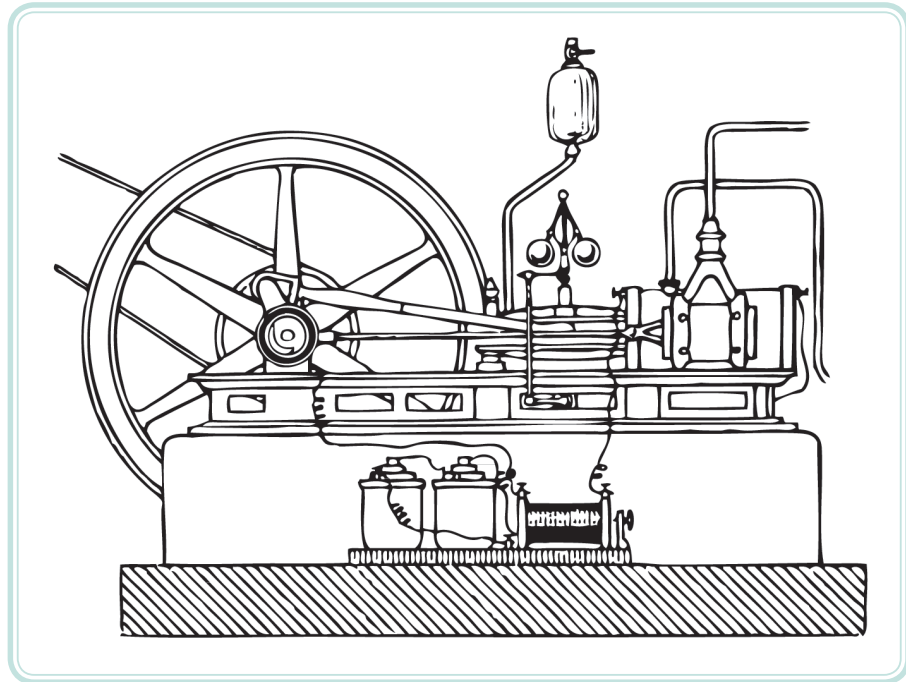
Na evolução do motor, Denis Papin, ajudante de Christian Huygens que havia idealizado o motor a pólvora, propôs o funcionamento da máquina a vapor. Esta evoluiu com Thomas Savery, Thomas Newcomen e James Watt. A máquina a vapor, assim, propiciou a Revolução Industrial da segunda metade do Século XVIII.

Em 1759, Henry Hood propôs a utilização de ar quente ao invés de vapor, ideia executada por George Caley em 1807. Outros motores a ar que operavam por combustão externa, onde o combustível era queimado fora dos cilindros foram desenvolvidos, destacando-se os motores de Robert Stirling elaborado no ano de 1816 e o modelo de John Ericson de 1826. Esses motores apresentavam um melhor rendimento por operarem com pressões superiores aos motores a vapor.

Jean Joseph Etienne Lenoir desenvolveu o primeiro motor com pistão em 1860 (Figura 1.1). A combustão acontecia dos dois lados do pistão. O controle de entrada e saída dos gases acontecia por meio de válvulas de admissão e exaustão.



Leia sobre "Histórico e desenvolvimento dos motores de combustão interna", acessando: [http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154\\_motores\\_e\\_tratores/motores/Aulas/historico\\_e\\_desenvolvimento\\_dos\\_motores.pdf](http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/motores/Aulas/historico_e_desenvolvimento_dos_motores.pdf)



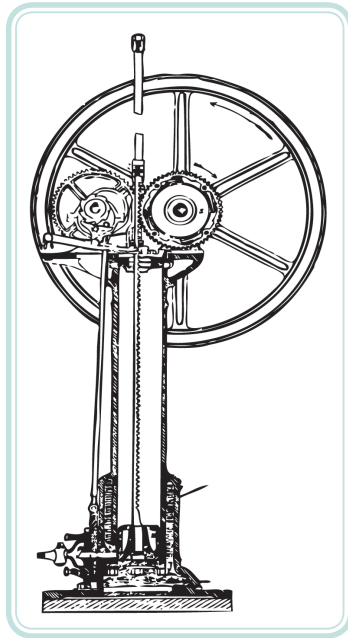
**Figura 1.1: Motor de Lenoir de 1860**

Fonte: Nebra S.A., 2003

Seu funcionamento permitia ao gás e ao ar serem introduzidos no pistão durante a primeira metade do seu deslocamento. Essa carga era então queimada mediante uma faísca, a pressão aumentava e assim os gases da combustão empurravam o pistão até o fim do curso. Na segunda batida do pistão, os gases de exaustão eram expelidos, enquanto uma nova combustão acontecia do outro lado do pistão. O ciclo era completado somente após nova batida do pistão, na fase de exaustão. 5000 desses motores foram construídos entre 1860 e 1865, com uma potência de até 6 hp. O maior valor obtido pela eficiência foi próximo a 5%.

Apresentado pela primeira vez na Exposição Industrial de Paris, em 1867, o motor concebido por Nicolaus Otto e Eugen Langen, Figura 1.2, tinha características bem melhores de desempenho. O conceito desse motor era o de "pistão livre", impulsionado pela explosão dos gases no cilindro, o pistão estava ligado a um volante através de uma cremalheira e uma engrenagem. No retorno do pistão, produzia-se trabalho mecânico.





**Figura 1.2: Motor de Nicolaus Otto e Eugen Langen de 1867**

Fonte: Nebra S.A., 2003

O movimento do volante produzia, por sua vez, a abertura e fechamento de uma válvula de admissão e de ignição. Também neste caso não havia compressão dos gases antes da combustão, e sua eficiência correspondia a 11%.

Baseado nesse princípio, anteriormente, Alphonse Beau de Rochas, em 1862, já havia desenvolvido um motor de quatro tempos com patente francesa. Esse modelo de motor apresentava um excelente desempenho justificado pelas seguintes características:

- Menor relação superfície/volume para o cilindro do pistão (cilindro com um diâmetro da mesma ordem de grandeza que seu comprimento).
- Processo de expansão mais veloz.
- Máxima expansão.
- Máxima pressão no começo do processo de expansão dos gases dentro do cilindro.

As duas condições iniciais visavam reduzir as perdas de calor a um mínimo, conservando a energia nos gases de combustão. A terceira e a quarta condição visavam obter o máximo de **potência** possível.

## A-Z

### potência

Em física, potência é a grandeza que determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo. Em outros termos, potência é a rapidez com a qual uma certa quantidade de energia é transformada ou é a rapidez com que o trabalho é realizado.

Beau de Rochas, também indicou o método de operação desejável num motor de combustão interna, o qual é utilizado até os dias de hoje, de acordo com as seguintes fases:

- a) Admissão durante o deslocamento do pistão “para fora”.
- b) Compressão durante o movimento do pistão “para dentro”.
- c) Ignição da carga de combustível + ar no ponto morto superior do pistão, seguida por expansão durante o deslocamento seguinte do pistão, para fora.
- d) Exaustão durante a corrida seguinte do pistão, para dentro.



Para saber mais sobre Nicolaus Otto, acesse:  
<http://www.dec.ufcg.edu.br/biografias/AugstNik.html>

Em 1876, o alemão Nicolaus Otto volta ao cenário e apresenta um motor de quatro cilindros que funcionava com os princípios estabelecidos por Beau de Rochas em 1862. Esse motor era bem mais compacto e leve, com aproximadamente 1/3 do peso do anterior e, uma eficiência próxima a 14%. Até 1890 tinham sido construídos 50.000 motores desse tipo na Europa e nos Estados Unidos. As características básicas dele são as mesmas encontradas nos motores de hoje.

Nesses primeiros tipos de motor, não havia uma compressão prévia da carga de combustível + ar, embora diversos pesquisadores vissem vantagem em introduzir essa etapa no processo (Lebon, francês, em 1799; Barnett, inglês, em 1838; e Schmidt, alemão, em 1861).

Em 1880, vários engenheiros, Dugald Clerk, e James Robson, na Inglaterra e Karl Benz, na Alemanha, desenvolveram com sucesso o motor de dois tempos que tinha a vantagem de produzir potência em cada movimento do pistão.

Os motores de dois tempos, menores e mais simples, são indicados para pequenas potências, embora esse tipo de motor também seja utilizado em máquinas de grande porte.

Em 1885, James Atkinson, na Inglaterra, construiu um motor com um movimento do pistão menor para os processos de admissão e compressão e maior para os de expansão e exaustão. Isso levava a uma eficiência maior, mas o motor era mecanicamente mais frágil.

Na década entre 1880 a 1890, foram feitos avanços nos sistemas de ignição e de carburação. A razão de compressão dos motores não podia ser muito elevada devido à qualidade dos combustíveis. Para uma relação de pressões maior que 4:1, aconteciam detonações no processo de combustão.

No final da década estavam disponíveis os primeiros motores a gasolina para automóveis.

Segundo Stone (1993), o início da exploração comercial do petróleo por Drake em 1859 impulsionou o uso de combustíveis líquidos, o que facilitou o armazenamento e contribuiu de forma decisiva para o desenvolvimento dos motores de combustão.

No período entre 1890 e 1900, foram construídos grandes motores de 6 cilindros, de 1,3 m de diâmetro que utilizavam gás de alto forno como combustível. Tinham 600 hp e 90 rev/min.

Na Inglaterra, foram feitas restrições à utilização de gás de baixo poder calorífico. Esse fato impulsionou a utilização do querosene.

Em 1892, o engenheiro alemão Rudolf Diesel registrou a patente do motor que leva seu nome até hoje, com ignição por compressão, onde não existia centelha elétrica para inflamar a mistura. A característica fundamental desse motor é que o combustível é injetado dentro de uma câmara de combustão que já contém o ar aquecido e pressurizado. A combustão da mistura se produz pela compressão (combustão espontânea) devido às condições combinadas de pressão e temperatura elevadas, e não por uma centelha, como ocorre no caso dos motores do ciclo Otto.

Os motores Diesel apresentavam excelente rendimento, embora necessitassem de um complexo sistema de injeção em alta pressão de combustível, problema que só foi resolvido eficientemente por Robert Bosch na década de 20.

O engenheiro alemão Felix Wankel desenvolveu o motor de combustão interna com pistão rotativo, o motor Wankel, que funcionou com sucesso pela primeira vez em 1957.

O desenvolvimento dos motores foi acompanhado pelo respectivo avanço dos sistemas auxiliares que o compõem. Segundo Lopes; Furlani; Silva (2003) podem-se destacar:



Para saber sobre Rudolf Diesel, acesse: <http://www.biodieselbr.com/tag/rudolf-diesel.htm>



Conheça o motor Wankel em: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor\\_Wankel](http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_Wankel)

- Sistema de alimentação de combustível desenvolvido por Maybach em 1892, que foi o precursor dos carburadores.
- Sistema de ignição por alta tensão desenvolvido por Robert Bosch em 1902 (BAUER, 2000), que substituiu a ignição por chama. Nele o controle do início da chama era precário.
- Sistema de distribuição por válvulas, cames e balancins desenvolvidos por Morey do exército americano em 1826.
- Sistema de arrefecimento a água, desenvolvido também por Morey.

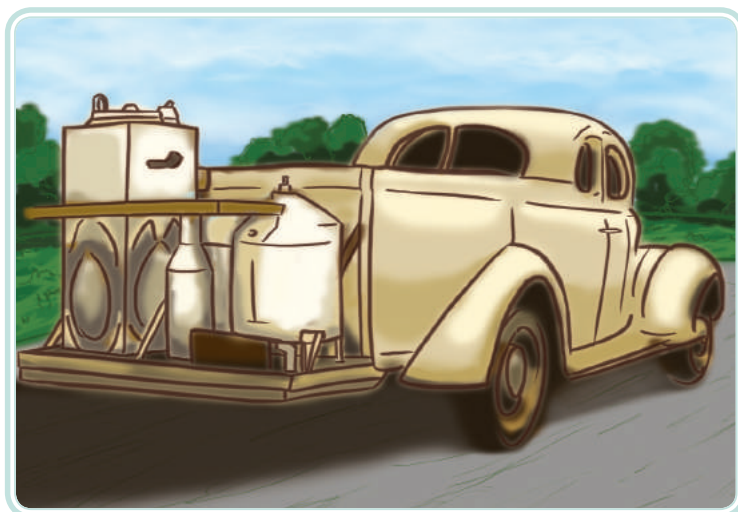
Segundo Lopes; Furlani; Silva (2003), mesmo decorridos mais de 100 anos, da invenção do motor de combustão, o seu desenvolvimento continua em ritmo crescente. Entre os anos 20 e 60 desenvolveu-se um rendimento dessa tecnologia semelhante à que ocorreu nos últimos cinco anos. Importante desenvolvimento ocorreu no campo da emissão de poluentes; os motores atuais, graças ao controle eletrônico e a outros dispositivos emitem cem vezes menos poluentes do que há três décadas.

Os combustíveis sempre tiveram maior impacto no desenvolvimento dos motores de combustão interna. Antes de 1905, embora as taxas de compressão fossem baixas (4:1 ou menores que essa relação), para evitar problemas de detonação, o combustível muito volátil proporcionava fácil partida e boa performance em climas frios.

Para suprir a grande demanda por combustível, entre 1907 e 1915, novos processos de refino de petróleo foram realizados, produzindo-se gasolina com alto ponto de fulgor, o que causava problemas de performance no tempo frio. Felizmente, os motores de partida elétrica surgiram no tempo certo, por volta de 1912.

Após a 1ª Guerra Mundial, houve um grande avanço na produção de combustíveis. A General Motors descobre o efeito antidetonante do Pbtetraetil e já, em 1923, tornou-se disponível como aditivo. Além disso, o processo de refino também produzia gasolina de melhor qualidade.

Durante a 2ª Guerra Mundial, devido à dificuldade de se obterem combustíveis derivados do petróleo, popularizaram-se os pequenos gaseificadores móveis chamados de gasogênios, apresentados na Figura 1.3.



**Figura 1.3: Veículo movido a gasogênio**

Fonte: CTISM, adaptado de Muraro, 2006

No mundo, chegaram a ser usados aproximadamente 1 milhão de veículos no final da 2ª Guerra Mundial. No Brasil cerca de 20 mil veículos usaram os gasogênios. Esses veículos utilizavam pedaços de madeira, carvão e turfa como combustível. Com a volta do suprimento barato de petróleo essa tecnologia foi abandonada. (SILVA; RUGGERO, 2003).

Atualmente, a indústria mecânica está em constante aprimoramento e melhoria da qualidade e eficiência dos motores que produz, buscando mudanças importantes nos projetos e na operação dos motores de combustão, principalmente na necessidade de controle das emissões e otimização do consumo de combustível, conforme mostra a Figura 1.4.

Nesse sentido, muitas pesquisas estão voltadas para desenvolvimento de novas formas de energia, retomando e aperfeiçoando os estudos com novos combustíveis, principalmente os biocombustíveis provenientes da **biomassa** como o **etanol**, o **biodiesel**, entre outros.



Para pesquisar sobre gasogênios, acesse:  
<http://www.brasilecola.com/quimica/gasogenio.htm>

## A-Z

### **biomassa**

Qualquer matéria de origem vegetal, utilizada como fonte de energia.

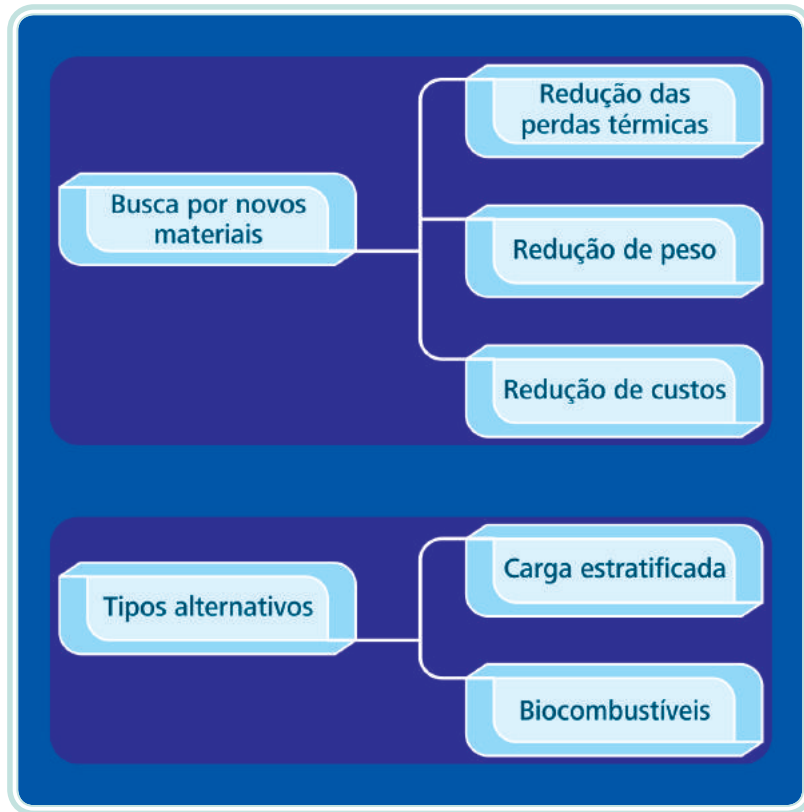
<http://www.brasilecola.com/geografia/biomassa.htm>

### **etanol**

Nome técnico do álcool etílico combustível, pode ser produzido a partir de várias matérias-primas, como milho, trigo, beterraba e cana-de-açúcar. Trata-se de uma fonte de energia natural, limpa, renovável, sustentável e mais democrática do que os combustíveis fósseis.  
<http://www.etanolverde.com.br/>

### **biodiesel**

É uma alternativa aos combustíveis derivados do petróleo. Pode ser usado em carros e qualquer outro veículo com motor Diesel. Fabricado a partir de fontes renováveis (girassol, soja, mamona), é um combustível que emite menos poluentes que o diesel.  
<http://www.biodieselbr.com/biodiesel/biodiesel.htm>



**Figura 1.4: Inovação tecnológica aplicada aos MCI**

Fonte: Adaptado pelo autor de Loureiro, 2010

## Resumo

Nesta primeira aula estudamos os conteúdos correspondentes à introdução ao estudo dos motores de combustão interna, que parte da história dos motores alternativos. Apresentou-se a participação de alguns idealizadores que, com suas invenções, mudaram a história; os usos de conceitos físicos e químicos, além dos recursos dos princípios termodinâmicos que trouxeram grande contribuição à evolução industrial mecânica dos motores de combustão.



## Atividades de aprendizagem

1. Marque a alternativa verdadeira (V) ou falsa (F).

- ( ) Nikolaus Otto construiu o motor de combustão interna de quatro tempos a gasolina, em 1759.
- ( ) O motor de quatro tempos, desenvolvido por Beau de Rochas em 1862, mantém o princípio de funcionamento até os dias de hoje.

- ( ) O primeiro motor a pistão foi desenvolvido por Jean Lenoir em 1860.
  - ( ) Henry Ford foi o idealizador dos motores de combustão interna a gasogênio.
  - ( ) Em 1892 Rudolf Diesel registrou patente de motor com ignição por compressão.
  - ( ) Nos motores Diesel o combustível é injetado em uma câmara de combustão, não necessitando de centelha elétrica para inflamar a mistura.
2. Quem foi responsável pela inovação de um motor de quatro cilindros que mantém as mesmas características básicas até os dias de hoje?
  3. Que tipo de motor foi desenvolvido por Wankel?
  4. Que mudanças importantes vêm sendo pesquisadas na indústria mecânica?
  5. Defina conceitualmente os gaseificadores.





# Aula 2 – Componentes dos motores de combustão interna

## Objetivos

Identificar os componentes fixos e móveis que compõem os motores e suas funções.

## 2.1 Componentes fixos dos motores

São denominados componentes, as partes auxiliares que trabalham em conjunto para o funcionamento do motor. Os principais componentes ou partes fundamentais segundo Mialhe (1980), são responsáveis pelo fornecimento das condições favoráveis para que o processo de transformação da energia química dos combustíveis nos motores se realize de forma eficiente e contínua.

Os principais componentes de um motor de combustão interna se dividem em dois grupos, os componentes fixos compostos pelos seguintes elementos: bloco do motor, cabeçote e o cárter; e componentes móveis: pistão ou êmbolo, camisas, biela, árvore de manivelas ou virabrequim, válvulas de admissão, válvulas de escape e árvore de comando de válvulas, guias e sede das válvulas, porcas, molas, bucha do balancim, parafuso regulador, mancais, tuchos, casquilhos ou bronzinas, compensadores de massa, volante, juntas, etc.

### 2.1.1 Bloco do motor

O bloco, mostrado na Figura 2.1, é considerado a principal estrutura ou o corpo do motor. Nele, direta ou indiretamente, são acoplados os componentes que compõem o motor.

A construção do bloco envolve requisitos tecnológicos que levam em consideração o modelo do motor, as altas temperaturas, as pressões de trabalho e as características do material, tais como dilatação e contração. Após a fundição, o bloco passa por processo térmico de normalização e, após, é encaminhado para usinagem.

O bloco é usinado para permitir a passagem do óleo e da água que farão parte dos sistemas de lubrificação e de arrefecimento respectivamente e da montagem dos demais componentes que serão acoplados a ele: árvore do comando de válvulas, cabeçote, cárter, etc.



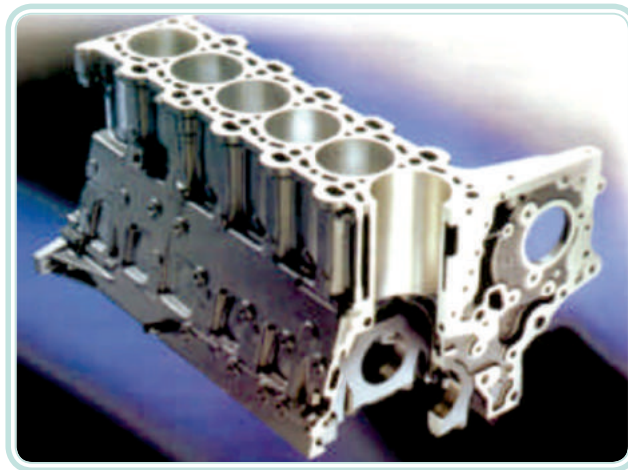
Conheça o funcionamento dos motores em:  
[http://www.fazerfacil.com.br/carros/video\\_montagem\\_componentes\\_motor.htm](http://www.fazerfacil.com.br/carros/video_montagem_componentes_motor.htm)

[http://miuraclubbegauchoeantigos.com.br/?page\\_id=2566](http://miuraclubbegauchoeantigos.com.br/?page_id=2566)

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor\\_Wankel](http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_Wankel)

Os materiais utilizados no bloco do motor incluem o ferro fundido, alumínio fundido, alumínio forjado e aço forjado usualmente soldado. O tipo apropriado depende, principalmente, das considerações do tipo de motor e dos custos de fabricação.

Motores modernos utilizam o alumínio e ligas em lugar do ferro fundido, apresentado na Figura 2.1, obtendo como principais resultados melhor dissipação de calor e redução do peso. Alguns blocos possuem cilindros removíveis em formato de tubos os quais formam as paredes do cilindro no bloco propriamente dito, denominados “camisas”, como mostra a Figura 2.2. As camisas podem ser úmidas, quando o líquido de arrefecimento está em contato direto com a camisa e que entre si trocam calor; ou secas, quando o líquido de arrefecimento não está em contato direto com a camisa (Figura 2.3).



**Figura 2.1: Bloco do motor**

Fonte: Daimler Chrysler, 2008

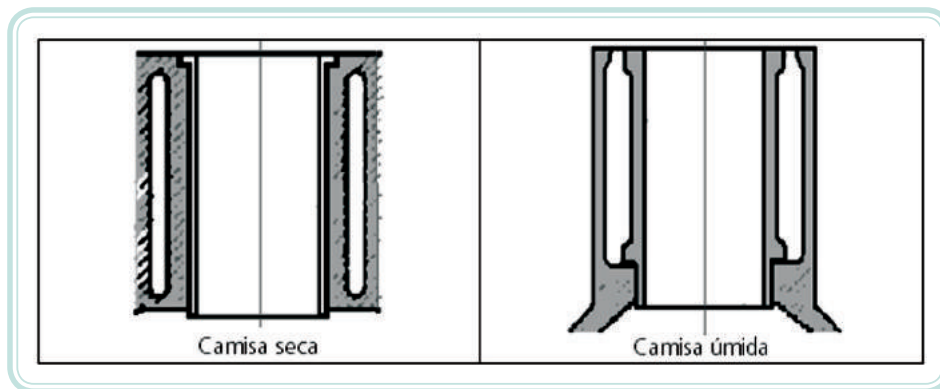


**Figura 2.2: Camisa do cilindro**

Fonte: Mahle, 2007



Saiba mais sobre motores encamisados em:  
<http://www.masterecia.com.br/master/content/encamisamento-de-cilindros-para-motos-especiais-2-e-4-tempos>

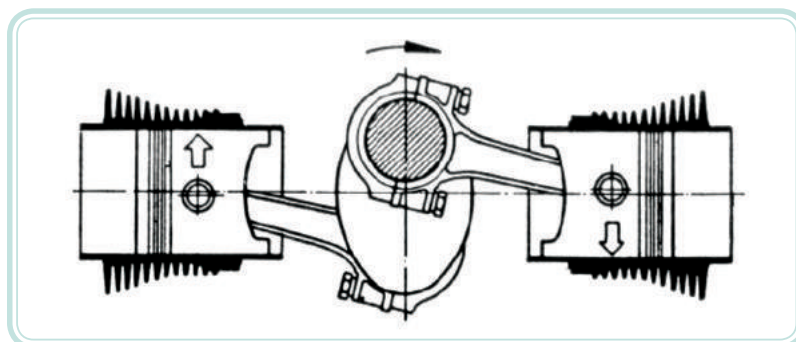


**Figura 2.3: Tipos de camisas utilizadas nos motores**

Fonte: Mahle, 2007

Na parte inferior do bloco estão os alojamentos dos mancais centrais, onde se apoia o eixo de manivelas ou virabrequim. Nos motores com movimento do virabrequim horizontal (Fusca) de cilindros opostos, o eixo de manivelas acha-se no centro do bloco. Este, por sua vez, é composto de duas partes justapostas, afixadas por parafusos, como se vê na Figura 2.4.

Nos motores refrigerados a ar os cilindros são separados e circundados por aletas, conforme a Figura 2.4, cuja finalidade é aumentar a superfície de transferência de calor.



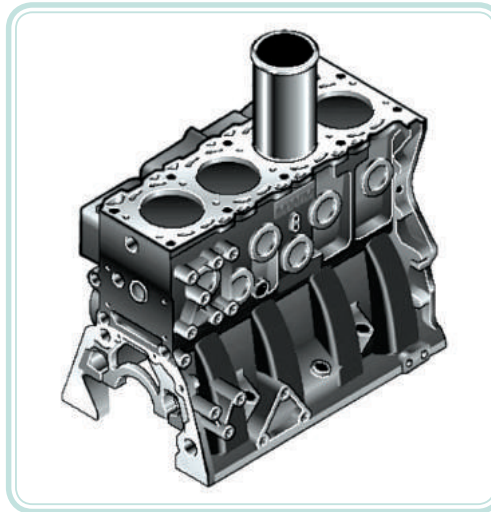
**Figura 2.4: Cilindros aletados – motor horizontal**

Fonte: Daimler Chrysler, 2008

Quando os cilindros são fixos no bloco, formando uma só peça, dizemos que o bloco é integral, também chamado de monobloco. O bloco integral, quando comparado aos de cilindros substituíveis (camisados), apresenta desvantagem de só poder ser submetido a um número limitado de retíficas em seus cilindros, devido à diminuição da espessura de suas paredes. Em casos extremos, quando o bloco integral não suportar mais retíficas, pode-se efetuar o encamisamento, isto é, o bloco é retificado e um cilindro de menor diâmetro é prensado dentro dele, como se fosse um cilindro substituível.



Para saber mais sobre cilindros aletados, consulte:  
[http://www.mahle.com/C1256F7900537A47/vvContentByKey/W28HPJTN971STULDE/\\$FILE/Catalogo-MH-2011-2012-Pistoes-web-01.pdf](http://www.mahle.com/C1256F7900537A47/vvContentByKey/W28HPJTN971STULDE/$FILE/Catalogo-MH-2011-2012-Pistoes-web-01.pdf)



**Figura 2.5: Bloco do motor com detalhe do encamisamento**

Fonte: MWM International, 2009

### 2.1.2 Cabeçote

O cabeçote tem a função de tampar os cilindros, conforme se vê na Figura 2.6, formando a câmara de combustão na parte superior do bloco do motor. Nele, ocorrem altas pressões por conta do pistão que comprime a mistura, no caso do ciclo Otto, ou o ar, no caso dos motores de ciclo Diesel. Geralmente, possui orifícios com roscas onde são fixadas as velas de ignição ou os bicos injetores e alojadas as válvulas de admissão e escape ou descarga. A união do bloco com o cabeçote, em razão da total vedação, requer uma junta de amianto revestida de metal.

Os motores refrigerados a água usam cabeçotes de ferro fundido ou ligas de alumínio, quando há necessidade de redução de peso ou para melhorar a condução de calor, uma vez que impedem a formação de pontos quentes nas paredes internas do cabeçote.

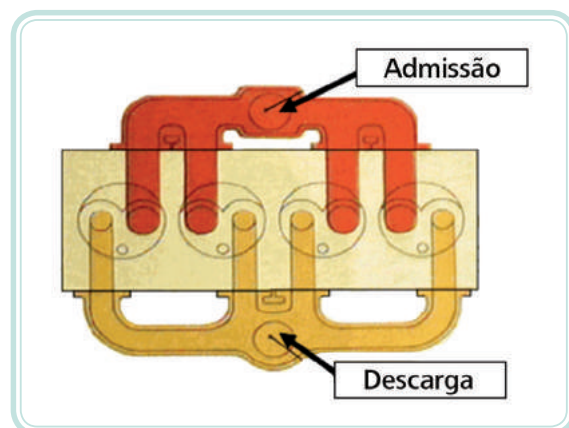


**Figura 2.6: Cabeçote – motor 4 cilindros**

Fonte: Daimler Chrysler, 2008

Em alguns motores o cabeçote abriga o eixo de cames ou comando de válvulas responsável pela abertura e fechamento das válvulas.

O cabeçote é um dos elementos mais suscetíveis a problemas no projeto dos motores. Geralmente combina problemas estruturais, fluxo de calor e escoamento de fluido em uma forma complexa.



**Figura 2.7: Admissão e descarga do ar no cabeçote**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

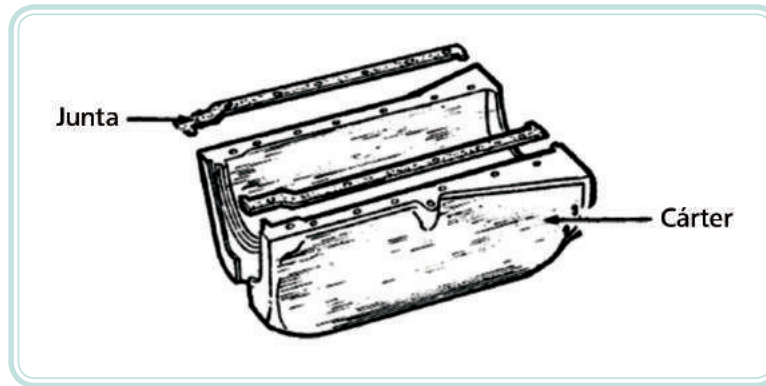
### 2.1.3 Cárter

Parte inferior do bloco. Cobre os componentes inferiores do motor e serve de depósito para o óleo lubrificante desse.

O cárter de um motor é constituído de ferro ou alumínio fundidos. Forma a parte principal do bloco do motor que contém o virabrequim e a bomba de óleo.

As extremidades do cárter têm, frequentemente, garras destinadas à fixação do motor. As paredes extremas e as divisórias internas suportam os mancais do virabrequim.

A parte inferior do cárter forma o depósito de óleo lubrificante. É constituída por chapa de liga de alumínio (Figura 2.8).



**Figura 2.8: Cárter e junta de vedação**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

A união do bloco com o cárter, em razão da necessidade de total vedação, requer uma junta com material que evite vazamentos por razão do aquecimento e dilatação dos metais.

## 2.2 Componentes móveis dos motores

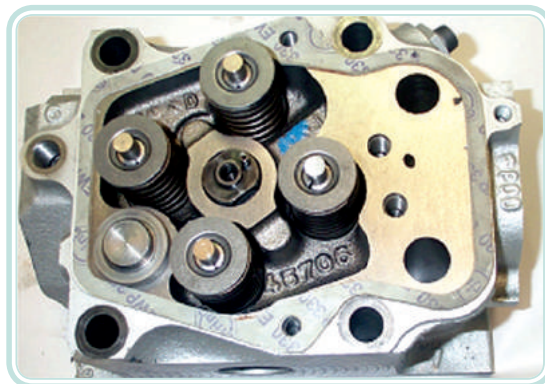
### 2.2.1 Válvulas



Saiba mais sobre válvulas de escape e válvulas de admissão, acessando: [http://pt.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula\\_\(motor\)](http://pt.wikipedia.org/wiki/V%C3%A1lvula_(motor))

São elementos metálicos responsáveis pela vedação da abertura de admissão do ar e pela vedação dos orifícios de saída dos gases da combustão (Figura 2.9). Existem dois tipos de válvulas: válvulas de admissão e válvulas de escape. A primeira abre-se para permitir a entrada da mistura combustível/ar (ou ar puro, conforme o caso) no interior dos cilindros. A outra, de escape, abre-se para dar saída aos gases queimados na combustão.

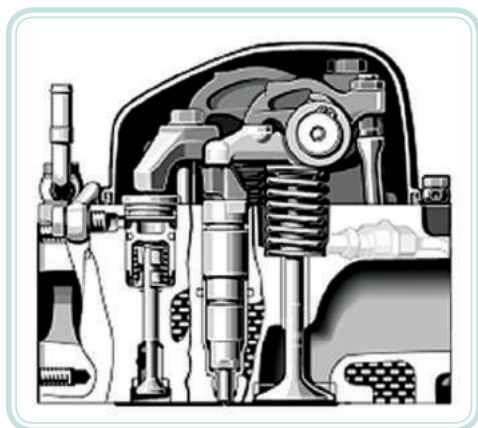
Alguns motores possuem válvulas laterais, ou seja, válvulas dispostas ao lado dos cilindros. Essa disposição clássica assegura um funcionamento silencioso.



**Figura 2.9: Disposição das válvulas de admissão e escape no cabeçote**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

Motores com válvulas suspensas possuem válvulas colocadas sobre os cilindros. Essa disposição permite uma forma mais racional da câmara de combustão, favorece a potência do motor e um rendimento térmico superior. A posição das válvulas suspensas determina melhor rendimento aos altos regimes e convém aos motores potentes de relação volumétrica elevada.



**Figura 2.10: Mecanismo de acionamento das válvulas no cabeçote**

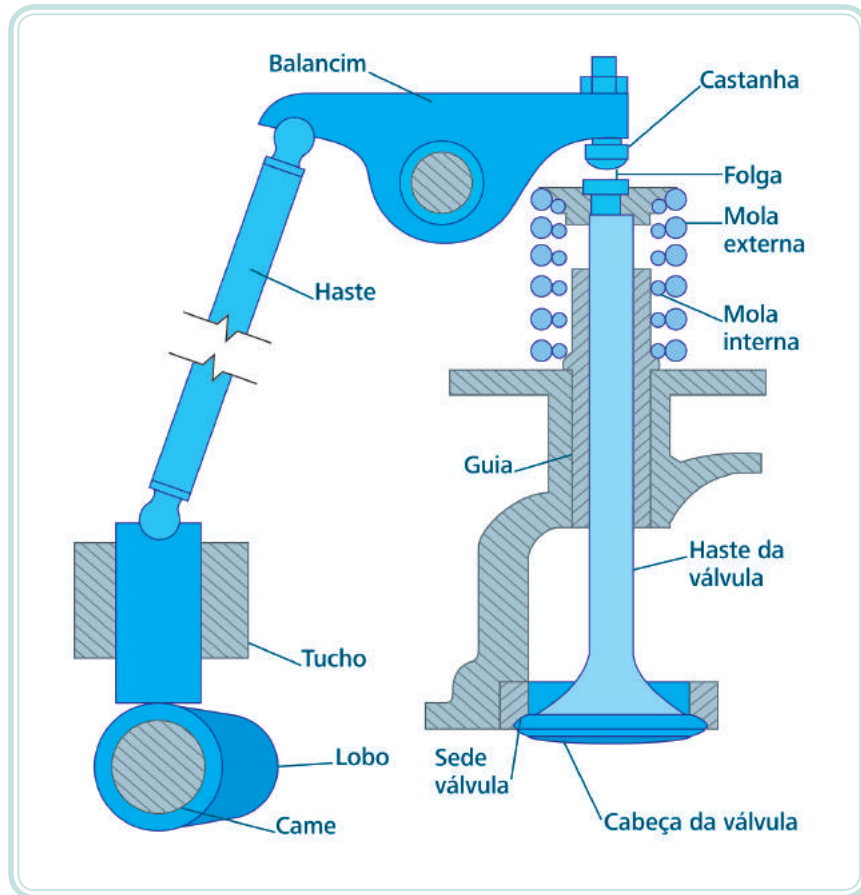
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

As válvulas suspensas mostradas na Figura 2.12 podem ser acionadas:

- Por hastes e balancins com eixo de cames no cárter.
- Por balancins com eixo de cames suspenso.
- Por eixo de cames suspenso com impulsos diretos sobre as válvulas.

A ligação do virabrequim e do eixo de cames é feita por meio de engrenagens, por corrente (corrente silenciosa), ou através de uma correia de borracha com arames de aço ou alma de aço denominada correia dentada. A fixação direta das válvulas permite obter uma abertura rápida, particularmente, em regimes muito altos, sendo reduzida ao mínimo a inércia das peças de movimento alternado.

O conjunto responsável pelo acionamento das válvulas, compreende o tucho e uma haste que o interliga ao balancim, apoiando-se diretamente sobre a válvula como mostra a Figura 2.11. No momento em que o eixo comando de válvulas gira, o ressalto deste ou came aciona o tucho que, por sua vez, move a haste, fazendo com que o balancim transmita o movimento à válvula, abrindo-a. Há um conjunto destes (tucho, haste, balancim) para cada ressalto, um para cada válvula, tanto de admissão quanto de escape, conforme se observa na Figura 2.13.

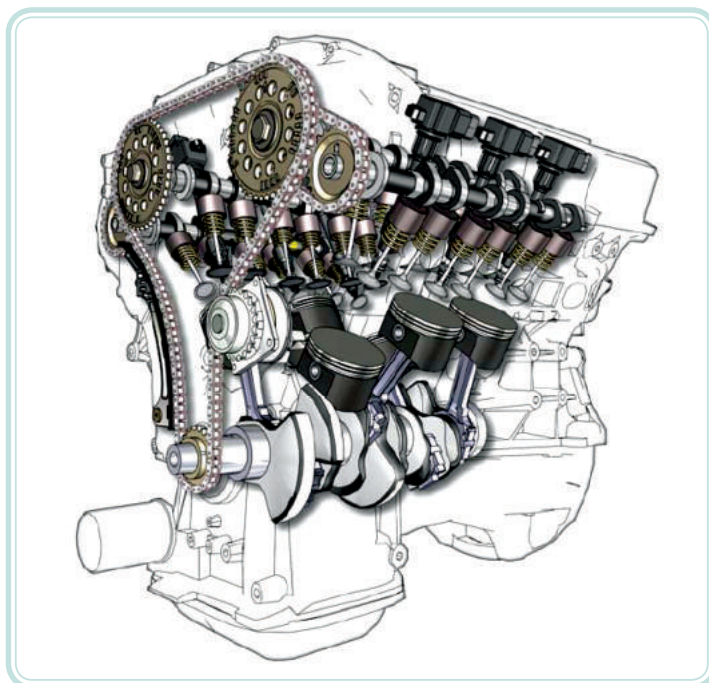


**Figura 2.11: Posição da válvula e seus componentes**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

Os pinhões de distribuição são os elementos responsáveis pela transmissão do movimento do virabrequim ao eixo de cames. Nos motores de 4 tempos, a relação de rotação da árvore de manivelas para a árvore do comando de válvulas ou eixo de cames é de 2:1, isto é, a cada duas voltas da árvore de manivelas, o eixo de cames realiza somente uma. Isso ocorre devido ao fato de o motor necessitar de duas voltas no virabrequim para completar a realização de um ciclo.





**Figura 2.12: Duplo comando de válvulas – alojados no cabeçote**

Fonte: Daimler Chrysler, 2008

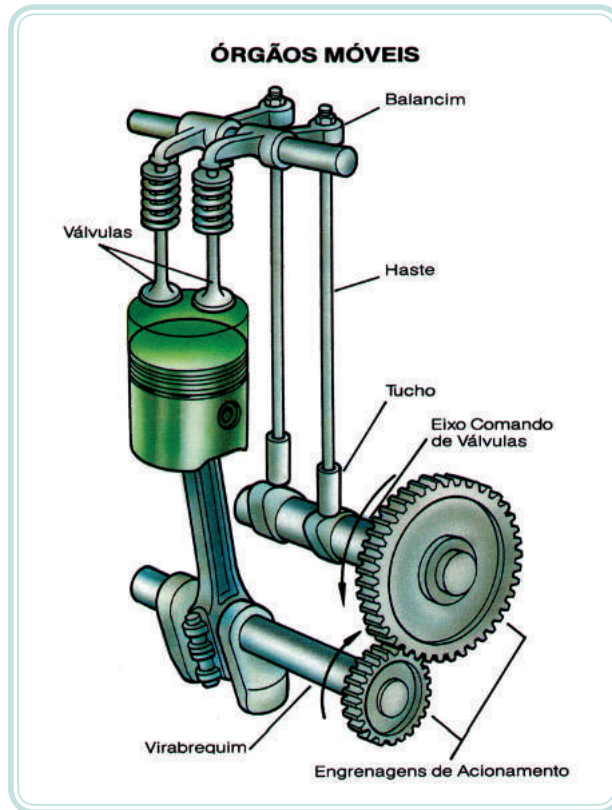
### 2.2.2 Eixo do comando de válvulas

O eixo de cames, ou comando de válvulas, é um eixo que tem solidário a ele ressaltos ou excêntricos destinados a agir sobre os elementos impulsionadores das válvulas, balancins, haste e tuchos em tempos precisos. A forma e a posição dos cames determinam, diretamente, as características de potência e de regime do motor.

A função desse eixo é abrir as válvulas de admissão e escape, respectivamente, nos tempos de admissão e escapamento. É acionado pelo eixo de manivelas, através de engrenagens, corrente ou por correia dentada. É dotado de ressaltos que elevam o conjunto: tucho, haste e balancim; abrindo as válvulas no momento oportuno, tal como aparece na Figura 2.13.



Para saber mais sobre ajuste das válvulas nos motores, acesse: <http://aileronmodelismo.com.br/downloads/regulagendevalvulas.html>



**Figura 2.13: Eixos, tuchos e válvulas**

Fonte: Mahle, 2007

A fim de que a válvula vede bem e, para permitir ajustagens, desgaste, expansão e contração devido a mudanças de temperatura, é necessária sempre alguma folga. Essa folga deve ser a mínima necessária para assegurar que a válvula fique ajustada na sede. Uma folga razoável deve ser aceita para erros de ajustagem, prevendo nessas condições, a dilatação dos materiais e a manutenção da lubrificação.

É fundamental considerar as consequências de uma defeituosa folga nas válvulas: as folgas pequenas provocarão, na admissão, má compressão e explosões nos condutos de admissão.

Nas válvulas de descarga, as consequências serão danosas para a integridade do sistema, uma vez que, além de má compressão, poderão provocar a queima da válvula ou a consequente deformação.

As folgas excessivas na admissão terão como resultado admissão deficiente, enquanto na descarga o escape incompleto dos gases queimados. Nas duas situações o resultado será o baixo rendimento do motor.

Os tuchos presentes no comando de válvulas, têm a função de transmitir o movimento do came à vareta ou haste impulsora.

Os balancins têm a função de inverter o sentido do movimento gerado pelo came. A mola da válvula tem como função fechar a válvula, mantendo-a pressionada contra a sua sede. Quanto às cargas as quais as molas estão sujeitas, a mínima carga (com a válvula fechada) deve ser alta o bastante para manter a válvula firmemente em sua sede durante o período em que permanece fechada.

Atualmente, as válvulas de haste são universalmente usadas nos motores de quatro tempos. São elas que regulam a entrada e saída de gases no cilindro. As válvulas de admissão são de aço, de aço ao níquel ou cromo-níquel para suportar temperaturas de trabalho entre 250 e 300°C.

As válvulas de descarga são de uma liga de aço, de forte teor de níquel, de cromo e de tungstênio. Elas suportam passagem de gases a temperaturas elevadas de 700 a 750°C. À plena potência, elas se apresentam em vermelho escuro, incandescentes. As válvulas são resfriadas por contato com o assento e com a guia.

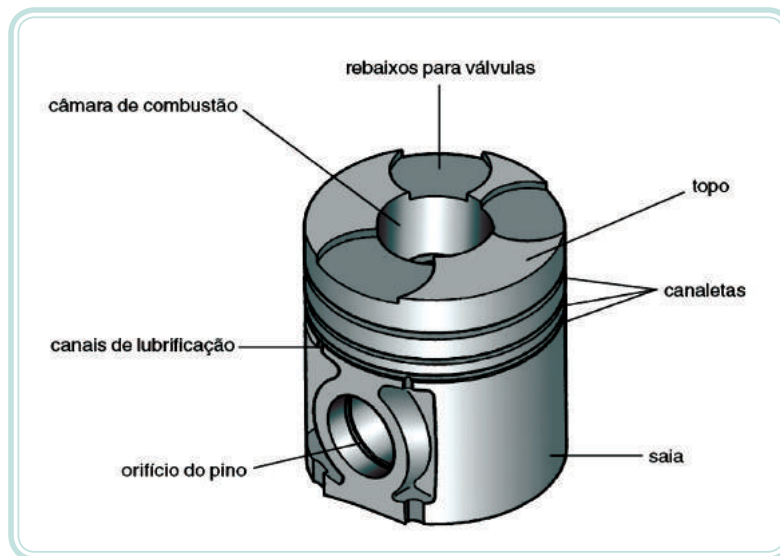
A cabeça da válvula comporta uma superfície de apoio retificada cujo ângulo pode ser de 30° ou 45°. Um ângulo de 45° permite uma melhor centragem da válvula sobre o seu assento cada vez que se dá o encaixe. Essas particularidades fazem com que se dê preferência a projetos com o ângulo de 45° para as válvulas de escape, mais facilmente deformáveis a altas temperaturas, e o ângulo de 30° às válvulas de admissão que devem, sobretudo, favorecer a entrada dos gases novos no cilindro.

### 2.2.3 Pistão

É o componente responsável por transmitir e ampliar a energia resultante da expansão dos gases após a combustão. Nele, se apresenta a parte móvel da câmara de combustão. Ele recebe a força de expansão dos gases queimados, transmitido-a a biela, por intermédio de um pino de aço (pino do pistão), conforme mostra a Figura 2.14. Os pistões são de fundição maleável, de liga de alumínio ou de aço, o que lhes confere mais leveza. Geralmente apresentam três canaletas para alojamento dos anéis que são usinadas na parte do pistão onde há mais material e menor diâmetro. Os efeitos de inércia no final do curso são menores; há, portanto, menos vibração e uma menor frenagem em altos regimes de rotação.



Para saber mais sobre formato dos pistões consulte:  
<http://www.oficinabrasil.com.br/index.php/consultor-ob/1740-consultor-ob-motores-aspirados-de-alto-desempenho-parte-13>



**Figura 2.14: Denominação das partes constituintes de um pistão**

Fonte: MWM International, 2009

Os pistões de liga de alumínio são igualmente melhores condutores de calor. Essa qualidade é primordial quando se trata de motores cujo regime de rotação ultrapassa as 3500 rpm.

O pistão de um motor de combustão interna funciona em condições particularmente desfavoráveis. Para regimes de rotações de 3600 rpm, ele para 120 vezes por segundo. Entre cada parada, ele atinge uma velocidade de 70 km por hora.

No momento da explosão, ele recebe um impulso de mais ou menos 20000 N (2000 kg) 30 vezes por segundo. Sua temperatura sobe a 350°C, no centro da cabeça, e cerca de 150 a 200°C na extremidade final da saia.

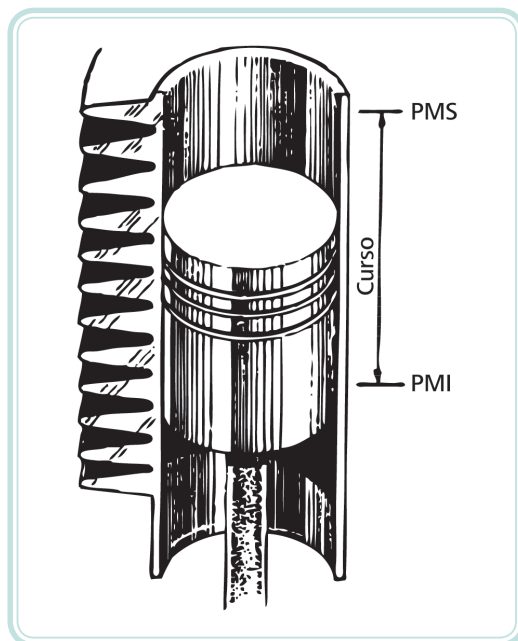
Em marcha, a dilatação dos pistões é grande. As folgas médias têm um diâmetro maior para os pistões de liga de alumínio devido à maior dilatação dessa liga em relação à fundição ou ao aço. Nos pistões de aço, maus condutores de calor, a temperatura eleva-se mais do que nos pistões de liga de alumínio.

Em temperatura ambiente, o pistão deve ser ajustado no seu cilindro com uma certa folga, para que, mesmo depois de ter atingido a sua temperatura de marcha, ainda deslize livremente.

As folgas de dilatação ocorridas na fabricação do pistão dependem das seguintes situações:

- Do diâmetro do cilindro.
- Dos metais que compõem o pistão.
- Da forma do pistão.
- Do regime de rotação do motor.
- Do sistema de refrigeração e de sua eficácia.
- Das condições de emprego do motor.
- Do tipo de combustível.

Os pistões ou êmbolos em movimento definem seu curso pelo deslocamento máximo superior e máximo inferior: Ponto Morto Superior (PMS) e o Ponto Morto Inferior (PMI). É nessas posições que o êmbolo muda de sentido de movimento, estando no seu máximo (PMS) ou no seu mínimo (PMI), conforme Figura 2.15.



**Figura 2.15: Curso do pistão (PMS → PMI)**

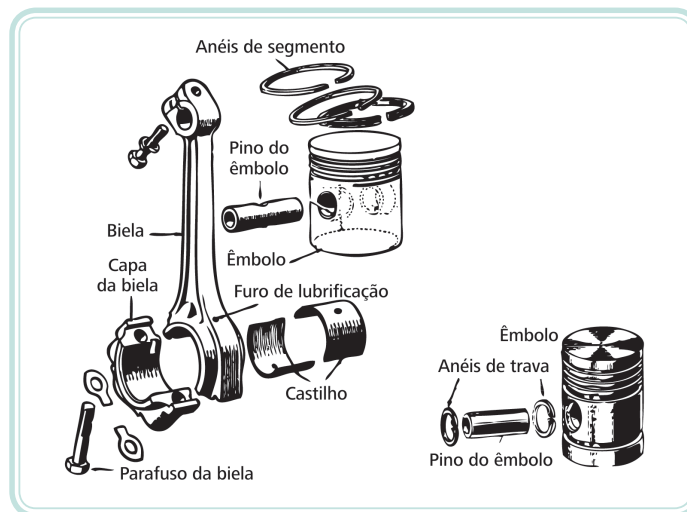
Fonte: <http://carros.hsw.uol/engine-graphics.htm>

O funcionamento do motor leva a um desgaste natural progressivo dos cilindros. Esse desgaste é irregular e dá ao cilindro uma ovalização e uma conicidade. O maior desgaste verifica-se no PMS. Nesse local, a lubrificação

é normalmente insuficiente, enquanto a pressão e a temperatura estão no seu máximo. No PMI, essas condições são exatamente opostas, e o desgaste é quase nulo.

O desgaste é, em grande parte, devido aos arranques ou aceleração com o motor frio. A condensação da gasolina e a insuficiência de óleo fazem com que durante os primeiros minutos de funcionamento, os pistões funcionem completamente a seco.

Em grande desgaste dos cilindros, há um consumo exagerado de óleo lubrificante e de combustível, além de depósito de sujeira nas velas ou bicos, marcha ruidosa e diminuição da potência.



**Figura 2.16: Elementos móveis: pistão, biela, casquilho e pino do pistão**  
Fonte: Mahle, 2007

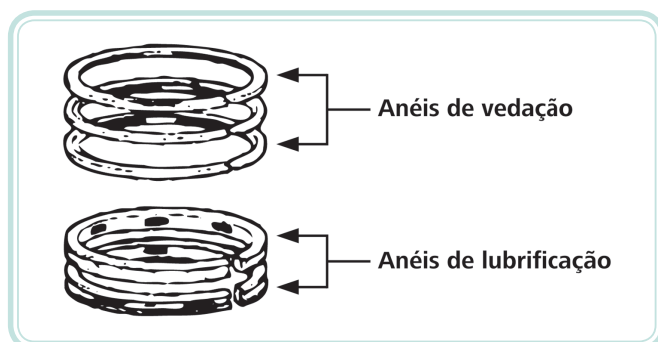
## 2.2.4 Anéis de segmento

Os anéis de segmento, apresentados na Figura 2.17, são componentes montados nos pistões que trabalham em contato com as camisas. Apresentam três funções básicas como a vedação da compressão e combustão, o controle do óleo lubrificante e a transferência do calor para o sistema de arrefecimento.

A maioria dos anéis de segmento é feita de ferro fundido-cinza dada a sua excelente resistência ao desgaste em todos os diâmetros de cilindro.

Os anéis de segmento evitam ainda o vazamento dos gases e mantêm o fluxo de óleo na câmara de combustão com vazão mínima necessária para a adequada lubrificação dos anéis e do pistão.

Nos motores modernos, a vazão de óleo através dos anéis é extremamente pequena e aproxima-se de zero para motores de pequeno e médio portes. Todos os anéis participam do controle do fluxo de óleo, mas existe um anel cuja função principal é essa: são os anéis de controle de óleo, enquanto os outros são anéis de compressão, mostrados na Figura 2.17.

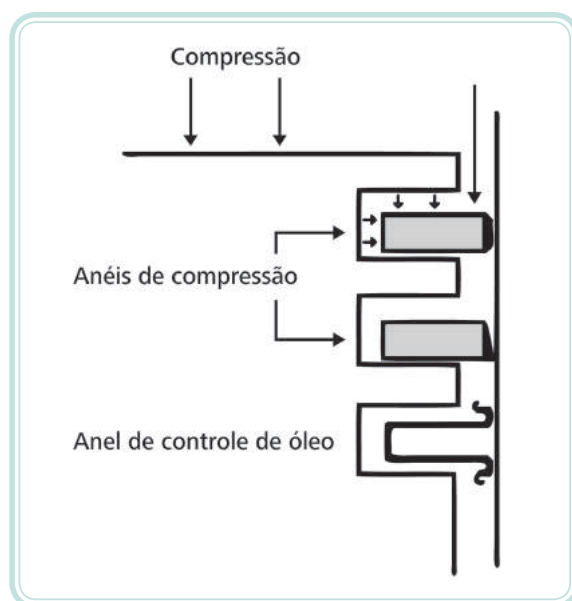


**Figura 2.17: Anéis de segmento**

Fonte: Mahle, 2007

Considera-se desejável para os anéis:

- a) A largura da face pequena.
- b) Utilização do menor número possível de anéis, para diminuir o atrito.



**Figura 2.18: Posição dos anéis no pistão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

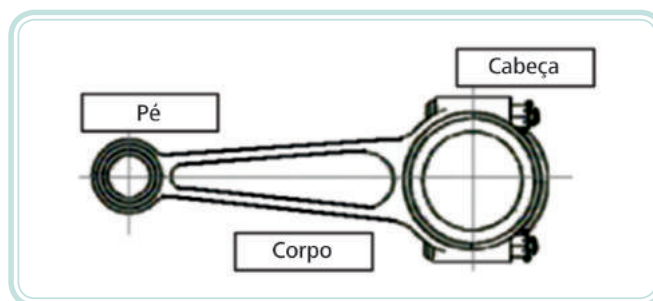
## 2.2.5 Bielas

São consideradas o braço de ligação entre os pistões e o eixo de manivelas; recebem o impulso dos pistões, transmitindo-o ao eixo de manivelas ou virabrequim. É importante salientar que o conjunto biela-virabrequim transforma o movimento retilíneo dos pistões em movimento rotativo do virabrequim.

As bielas são constituídas por aço-liga estampado e, por vezes, de alumínio. A tampa da biela, junto à cabeça, é fixa por parafusos de aço ou cromo-níquel tratado, o que lhe confere grande resistência. Seu formato apresenta detalhes denominados pelo pé, corpo e cabeça da biela mostrados na Figura 2.19. O pé de biela articula-se no pino de pistão por intermédio de uma bucha de bronze fosforoso chavetada.

O corpo da biela é tubular ou de seção em duplo T. As bielas inteiramente usinadas asseguram um melhor equilíbrio do motor e menores vibrações.

A cabeça de biela gira no pino por intermédio de mancais de duas partes. Os metais utilizados dependem do gênero de motores, das cargas da biela e da velocidade de rotação.



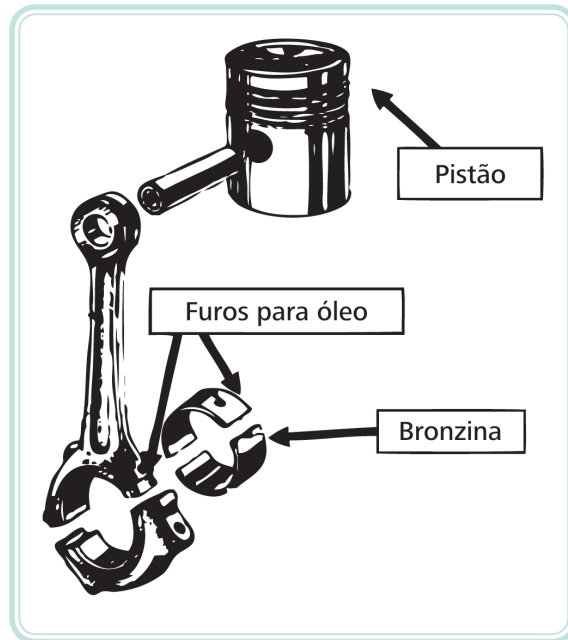
**Figura 2.19: Detalhes da biela**

Fonte: Mahle, 2007

## 2.2.6 Bronzinas ou casquilhos

Os casquilhos ou bronzinas são buchas bipartidas, geralmente trimetálicas, de aço-cobre-estanho, que diminuem o atrito entre o eixo e seu apoio, suportando cargas elevadas. As bronzinas possuem ressaltos para assegurar um posicionamento correto na montagem e impedir seu deslocamento lateral, bem como orifícios que permitem facilitar a lubrificação.





**Figura 2.20: Biela, pistão e bronzinas**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

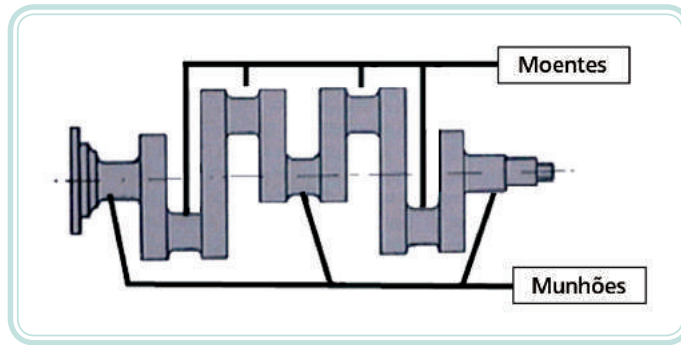
## 2.2.7 Virabrequim

O virabrequim é um elemento componente do sistema de força do motor, também conhecido por Eixo de Manivelas (EDM) ou Árvore de Manivelas (ADM). É considerado o eixo motor propriamente dito, o qual, na maioria das vezes, é instalado na parte inferior do bloco, recebendo ainda as bielas que lhe imprimem movimento.

As cargas aparentes de um virabrequim resultam em tensões devido à flexão, torção e cisalhamento em todo seu comprimento. A geometria complexa envolvida tornaria impossíveis cálculos precisos de tensão, ainda que as cargas fossem conhecidas com precisão.

A linha de eixo é o conjunto de munhões, pontos fixos de assentamento dos mancais de fixação no bloco, nos quais gira o virabrequim apoiado no bloco do motor (Figura 2.21). Os moentes são as partes do virabrequim onde se apoiam as bielas.

O interior do virabrequim contém ainda dutos especiais por onde circulam o óleo necessário à lubrificação dos munhões e dos moentes, apresentados na Figura 2.21.

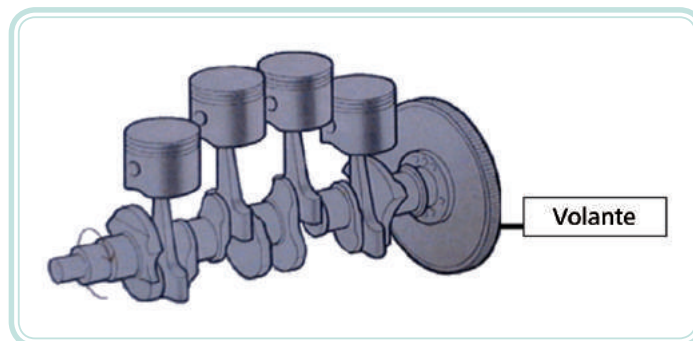


**Figura 2.21: Localização dos moentes e munhões do virabrequim**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 2.2.8 Volante

A Figura 2.22 apresenta a posição de instalação do volante. Constituído por fundição ou de aço moldado, o volante destina-se a regularizar e equilibrar a rotação do virabrequim. No momento da explosão, o volante absorve a energia desenvolvida e a restitui nos tempos não motores. Os motores de um cilindro exigem um volante grande, enquanto os de vários cilindros são equipados com volantes tanto mais leves quanto mais elevado for o número de cilindros.



**Figura 2.22: Localização do volante no virabrequim**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 2.2.9 Mancais

Os mancais são utilizados para reduzir o atrito e servir de apoio às partes móveis giratórias do motor, aos moentes e aos munhões. Dividem-se em dois tipos principais: os fixos, alojados nos munhões e no bloco do motor; e os móveis, montados nos moentes e bielas. Podem ser ainda de deslizamento ou de rolamento (com roletes, esferas, agulhas).

O mancal, quando constituído por duas partes iguais, para facilitar a montagem, é designado por mancal de duas meias-buchas e é composto por duas partes, uma externa chamada capa e outra interna composta por metal

antifricção que pode ser uma liga de estanho, de cobre e de antimônio. Essa liga permite um deslizamento muito suave, favorecendo o funcionamento silencioso do motor.



**Figura 2.23: Mancais**

Fonte: [http://www.lojadosrolamentos.com.br/produtos\\_sub\\_manc.htm](http://www.lojadosrolamentos.com.br/produtos_sub_manc.htm)

Os mancais de bronze, ou seja, liga de estanho e de cobre – são particularmente montados nos motores Diesel. A boa resistência mecânica desse material é conveniente a esse gênero de motores, cujo conjunto de biela é submetido a fortes cargas.

## Resumo

Nesta aula foram abordados os conteúdos relativos aos principais componentes dos motores de combustão interna: os fixos e os móveis, suas partes constituintes e suas funções nos motores.

## Atividades de aprendizagem

1. Descreva:

- |               |                    |
|---------------|--------------------|
| a) Válvulas   | e) PMI             |
| b) Casquilhos | f) Curso do pistão |
| c) Cárter     | g) Tempo motor     |
| d) PMS        |                    |



Leia sobre a constituição dos motores em:  
[http://br.librosintinta.in/bibliotecas/?ler=http%3A%2Fwww.ufrj.br%2Finstutos%2Fit%2Fdeng%2Fvarella%2FDownloads%2FIT154\\_motores\\_e\\_tratamentos%2Fmotores%2FAulas%2Fconstitucao\\_dos\\_motores.pdf](http://br.librosintinta.in/bibliotecas/?ler=http%3A%2Fwww.ufrj.br%2Finstutos%2Fit%2Fdeng%2Fvarella%2FDownloads%2FIT154_motores_e_tratamentos%2Fmotores%2FAulas%2Fconstitucao_dos_motores.pdf)

Conheça o funcionamento dos motores em:  
[http://www.fazerfacil.com.br/carros/video\\_montagem\\_componentes\\_motor.htm](http://www.fazerfacil.com.br/carros/video_montagem_componentes_motor.htm)

[http://miuraclubegauchoeantigos.com.br/?page\\_id=2566](http://miuraclubegauchoeantigos.com.br/?page_id=2566)



2. Relacione as colunas.

- |                       |                            |
|-----------------------|----------------------------|
| a) Componentes fixos  | ( ) Eixo de manivelas      |
| b) Componentes móveis | ( ) Bloco                  |
| c) Anéis de segmento  | ( ) Vedação e lubrificação |
| d) EDM                | ( ) Pistão                 |
| e) Moentes e munhões  | ( ) ADM                    |

# Aula 3 – Motores

## Objetivos

Entender e reconhecer conceitualmente os motores como **máquina térmica** na conversão de qualquer forma de energia em energia mecânica.

Diferenciar a função dos elementos que compõem a combustão externa e interna de um motor.

Classificar os motores de combustão interna.

Identificar as características técnicas dos motores de combustão interna.

Identificar as especificações referentes a manutenção dos motores.

## A-Z

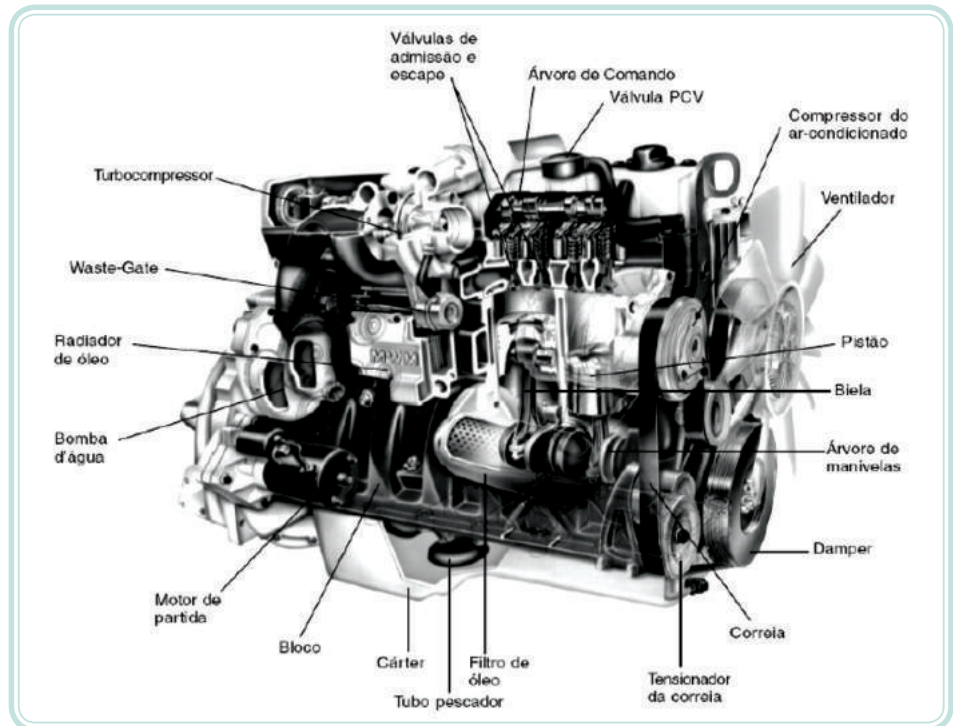
### máquina térmica

São máquinas que realizam trabalho e lidam com a variação de temperatura. Normalmente, as máquinas térmicas retiram calor da fonte quente e transferem-no para a fonte fria, o que define sua eficiência. Uma máquina térmica tem maior eficiência se transforma mais calor em trabalho, transferindo, portanto, menos calor na fonte fria.

<http://cref.if.ufrgs.br/~leila/maquina.htm>

## 3.1 Conceito

Motor é uma máquina destinada a converter qualquer forma de energia térmica, elétrica, hidráulica, química e outras, em energia mecânica. Os motores de combustão interna realizam a transformação de energia térmica proveniente da combustão ou queima do combustível em energia mecânica. Distinguem-se aqui os dois principais tipos de motores, os que funcionam segundo a aspiração da mistura ar-combustível (Ciclo Otto) e posteriormente promovem a combustão pela queima da mistura através de uma faísca, e os motores que aspiram apenas o ar e, logo após a compressão, é pulverizado o combustível que logo promove a queima devido ao elevado calor e pressão gerados pela compressão do ar de admissão (Ciclo Diesel).

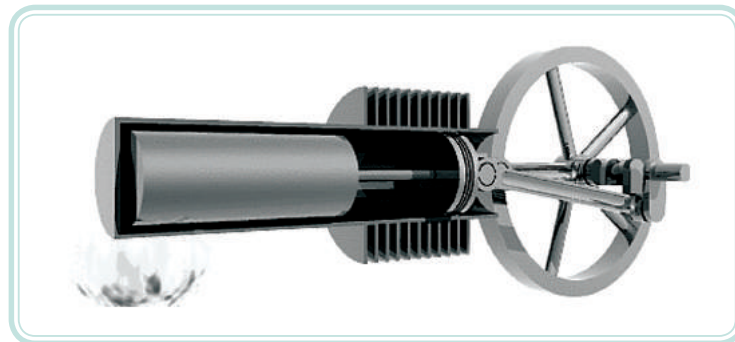


**Figura 3.1: Motor e seus componentes**

Fonte: MWM International Motores, 2009

## 3.2 Motores de combustão externa

Apresentam para o processo de combustão o fluido de trabalho completamente separado da mistura ar/combustível, sendo o calor dos produtos da combustão transferidos através das paredes de um reservatório ou caldeira, para os motores a vapor.



**Figura 3.2: Motor de combustão externa**

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor\\_Stirling](http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_Stirling)

### 3.3 Motores de combustão interna

São considerados como máquinas térmicas nas quais para o processo de combustão o fluido de trabalho é convertido em energia mecânica. Os produtos resultantes da combustão, inseridos na mistura de ar/combustível, são confinados internamente em uma câmara de combustão.

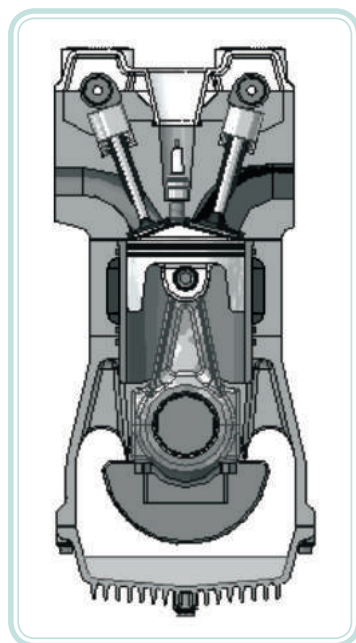


Figura 3.3: Motor de combustão interna

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combust%C3%A3o\\_interna](http://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combust%C3%A3o_interna)

### 3.4 Classificação dos motores de combustão interna

Classificam-se quanto à(s) (ao):

#### 3.4.1 Utilização

- **Estacionários** – destinados ao acionamento de máquinas estacionárias, tais como: geradores elétricos, motobombas ou outras máquinas que operam em rotação constante.
- **Industriais** – destinados ao acionamento de máquinas agrícolas ou de construção civil: tratores, carregadeiras, guindastes, compressores de ar, máquinas de mineração, veículos de operação fora de estrada, acionamento de sistemas hidrostáticos e outras aplicações.
- **Veiculares** – destinados ao acionamento de veículos de transporte em geral, caminhões e ônibus, incluindo-se aeronaves.

- **Marítimos** – destinados à propulsão de barcos e máquinas de uso naval. Conforme o tipo de serviço e o regime de trabalho da embarcação, existe uma gama de modelos com características apropriadas, conforme o uso.

### 3.4.2 Propriedade dos gases da admissão

- **Ciclo Diesel** – admissão de ar.
- **Ciclo Otto** – admissão da mistura ar-combustível.

### 3.4.3 Ignição

- Por centelha (Ignição por Centelha – ICE).
- Por compressão (Ignição por Compressão – ICO).

### 3.4.4 Movimento do pistão

- Alternativos (Ciclo Otto e Ciclo Diesel).
- Rotativo (Wankel).

### 3.4.5 Fases dos ciclos de trabalho

- Dois (2) tempos.
- Quatro (4) tempos.

### 3.4.6 Número de cilindros

- Monocilíndricos.
- Policilíndricos.

### 3.4.7 Disposição dos cilindros

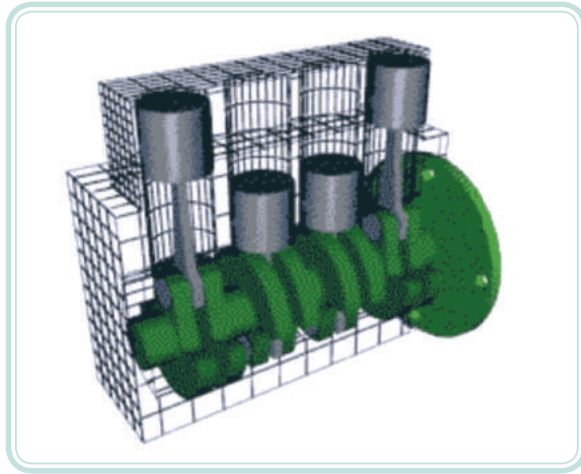
- Em linha.
- Em V.
- Opostos.
- Radiais.



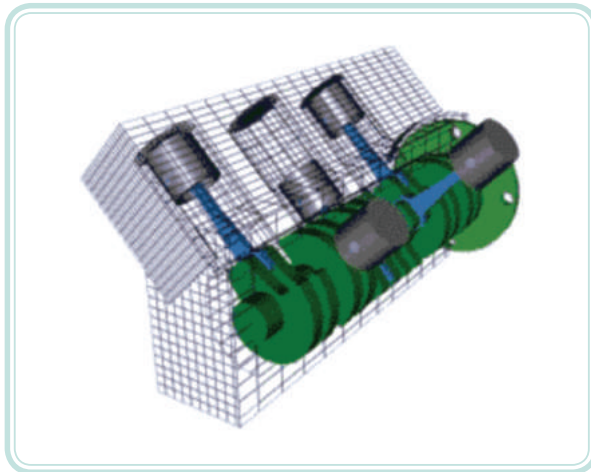
Saiba mais sobre ignição por centelha e ignição por compressão, acessando:  
[http://www.eduloureiro.com.br/index\\_arquivos/MTAula2.pdf](http://www.eduloureiro.com.br/index_arquivos/MTAula2.pdf)

Saiba mais sobre relação de compressão, acessando:  
[http://pt.wikipedia.org/wiki/Taxa\\_de\\_compress%C3%A3o](http://pt.wikipedia.org/wiki/Taxa_de_compress%C3%A3o)

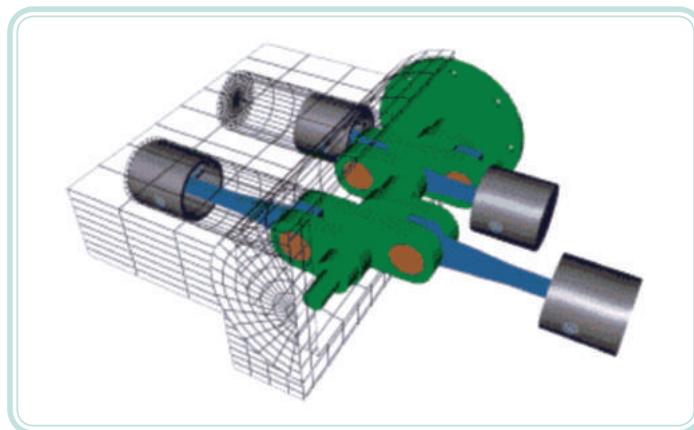




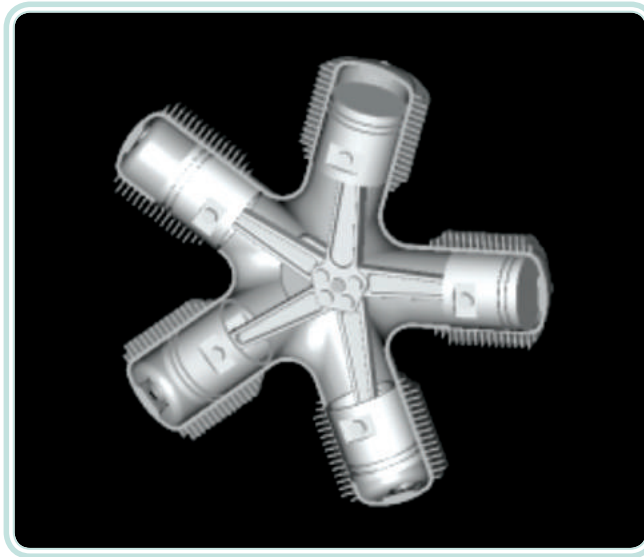
**Figura 3.4: Disposição em linha dos cilindros**  
Fonte: Varella, 2010



**Figura 3.5: Disposição em V dos pistões no cilindro**  
Fonte: Varella, 2010



**Figura 3.6: Disposição dos cilindros opostos**  
Fonte: Varella, 2010



**Figura 3.7: Disposição radial dos cilindros**

Fonte: [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Radial\\_engine.gif](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Radial_engine.gif)

## 3.5 Características técnicas dos motores de combustão interna

### 3.5.1 Dados técnicos

As características ou dados técnicos são valores predeterminados no projeto dos motores, fundamentalmente os correspondentes que diferenciam o tipo de motor produzido por determinado fabricante ou caracterizam um tipo de motor produzido pelo mesmo fabricante.

No Quadro 3.1, apresentamos as especificações típicas ou dados construtivos de um motor marca International modelo HS 2.5 Turbo para ilustração desse tópico.

**Quadro 3.1: Motor International HS 2.5 Turbo – características técnicas – EURO I**

Motor	International HS Turbo				
Aplicação	Mercedes Sprinter	Land Rover Defender	GM S-10	Ford F-1000	Ford Ranger
Número cilindros	4 em linha				
Diâmetro cilindros	90,48 mm (3,56 pol)		90,74 mm (3,57 pol)		
Curso êmbolo	97 mm (3,82 pol)				
Ciclo	Diesel – 4 tempos				
Relação compressão	19,5 : 1				
<b>Cilindrada</b> total	2,5 litros (153 pol <sup>3</sup> )				
Sistema de combustão	Injeção direta				
Sentido de rotação	Horário				

#### A-Z

##### Cilindrada

A taxa de cilindrada representa o volume total dos cilindros (deslocamento volumétrico) de um motor e pode ser medida em litros ou em cm<sup>3</sup>.

[http://www.webmecauto.com.br/correio/ct016\\_cilindrada.asp](http://www.webmecauto.com.br/correio/ct016_cilindrada.asp)

Motor	International HS Turbo				
Aplicação	Mercedes Sprinter	Land Rover Defender	GM S-10	Ford F-1000	Ford Ranger
Ordem de injeção	1 – 3 – 4 – 2				
Temperatura de operação	80-110°C	86-102°C	78-102°C	86-102°C	86-102°C
Pressão do óleo na temperatura normal	2,8 kgf/cm <sup>2</sup> (40,6 lbf/pol <sup>2</sup> )				
Rotação máxima	4560 rpm	4640 rpm	4560 rpm	4640 rpm	4640 rpm
Rotação marcha lenta	800 – 20 rpm				
Arrefecimento	Líquido				
Potência (NBR 5484)	95 cv (73,9 kW) 3800 rpm	115 cv (85 kW) 4000 rpm	95 cv (73,9 kW) 3800 rpm	115 cv (85 kW) 4000 rpm	115 cv (85 kW) 4000 rpm
Torque (NBR 5484)	22,4 mkgf (220 Nm) 1800 rpm	27,0 mkgf (265 Nm) 1800 rpm	22,4 mkgf (220 Nm) 1800 rpm	27,0 mkgf (265 Nm) 1800 rpm	29,0 mkgf (284 Nm) 1600 rpm
Peso	205 kg	257 kg	205 kg	257 kg	257 kg

Fonte: Adaptado International Engines, 2001

Os motores, como qualquer outro equipamento, sofrem desgaste e envelhecimento com o tempo e com o uso, apresentando falhas decorrentes desse processo. No caso de motores a combustão interna, podem apresentar defeitos decorrentes do desgaste durante a operação, ou mesmo pela falta de manutenção e pelos reparos inadequados.

No Quadro 3.2, apresentamos as especificações relativas à manutenção recomendada e prevista ao motor.

### Quadro 3.2: Especificações referentes à manutenção do motor

Manutenção preventiva – 8 horas	Verificar o nível de água do radiador
	Verificar o nível no tanque de combustível
	Verificar o nível de óleo no cárter
	Limpar o filtro de ar
	Verificar vazamentos de combustível, água ou óleo
Manutenção preventiva – 30 horas	Limpar o pré-filtro de combustível
Manutenção preventiva – 50 horas	Drenar o tanque de combustível

## A-Z

### Torque

Considerado como momento estático, momento de alavanca ou simplesmente momento (deve-se evitar este último termo, pois o mesmo pode referir-se também ao momento angular, ao momento linear ou ao momento de inércia). É uma grandeza vetorial da física. <http://carros.hsw.uol.com.br/cavalo-de-forca.htm>



Para saber mais sobre os tipos de manutenção aplicada aos motores de combustão, acesse: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAfv8AE/caderno-50-manutencao-tratores-agricolas>

Manutenção preventiva – 125 horas	Testar a bateria
	Verificar a fixação de bateria e terminais
	Verificar a passagem de combustível nos filtros
	Verificar a tensão da correia do ventilador
	Reapertar coletores, escape e cárter
	Trocar o óleo do cárter
	Substituir o elemento selado do filtro de óleo
	Controlar rolamento da bomba d'água
Manutenção preventiva – 250 horas	Trocar elementos do filtro de combustível
	Verificar o sistema de aceleração
	Verificar a folga das válvulas
Manutenção preventiva – 500 horas	Lavar o sistema de arrefecimento
	Testar a válvula termostática
Manutenção preventiva – 1.000 horas	Testar os bicos injetores
	Reapertar os parafusos do cabeçote
Manutenção preventiva – 2.000 horas	Limpar o filtro de respiro
	Testar os instrumentos de controle
	Controlar a taxa de compressão

Fonte: Adaptado de International Engines, 2001

## Resumo

Estudamos nesta aula os conteúdos relativos às diferenças existentes entre os motores e seus componentes, com referência a classificação e disposição dos elementos móveis, as características técnicas que diferenciam o projeto dos motores e, as especificações referentes a manutenção dos motores de combustão interna, nos períodos correspondentes e nos itens relacionados pelo seu uso.



## Atividades de aprendizagem

1. A principal diferença entre motores de combustão interna e motores de combustão externa?
2. Quais as outras formas conhecidas de manutenção aplicada aos motores de combustão?
3. Por que se deve verificar o nível de óleo do motor como manutenção preventiva de 8 horas?

4. De que forma os motores podem ser classificados se levarmos em conta os gases de admissão?
  
5. Qual é a inconveniência dos motores em linha maiores que quatro cilindros?



# Aula 4 – Sistemas complementares dos motores

## Objetivos

Entender os sistemas complementares dos motores.

Diferenciar as funções dos sistemas complementares, bem como a sua importância na transformação da energia interna dos combustíveis em trabalho mecânico.

## 4.1 Sistemas complementares

Os sistemas complementares dos motores proporcionam as condições necessárias para que o processo de transformação da energia interna dos combustíveis em trabalho mecânico se realize de forma eficiente e contínua. Os sistemas complementares dos motores de combustão interna são:

- Sistema de alimentação de ar.
- Sistema de alimentação de combustível.
- Sistema de arrefecimento.
- Sistema de lubrificação.
- Sistema elétrico.

## 4.2 Sistema de alimentação de ar

O sistema de alimentação de ar é projetado para suprir o motor de ar limpo (oxigênio) em quantidade que garanta o melhor rendimento do combustível durante o processo de explosão e, conseqüentemente, o funcionamento do motor.

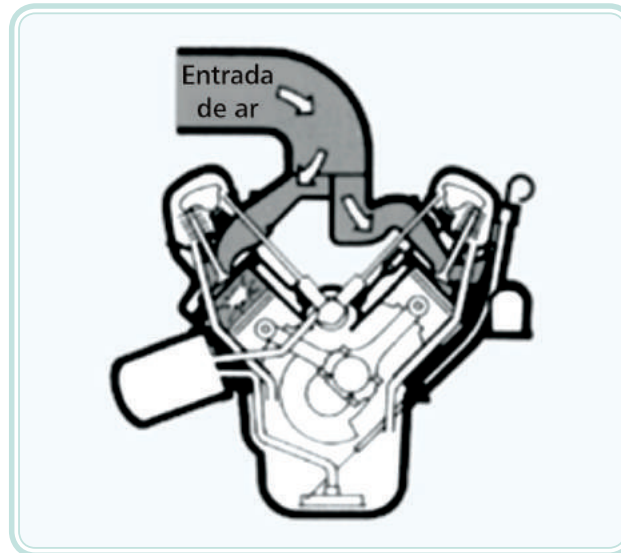
O circuito envolve a admissão do ar, filtragem, participação na combustão e exaustão ou escapamento dos gases para o meio exterior. O ar aspirado pelo motor deve obrigatoriamente passar por filtros de boa qualidade que garantam a total retenção das impurezas que acompanham esse ar.

O elemento do filtro do ar tem como função principal reter os contaminantes, como poeira, fuligem, areia e demais impurezas presentes no ar, assegurando que só o ar limpo chegue aos sistemas do motor na quantidade ideal para mistura ar/combustível, evitando desgaste nas partes móveis do motor, prolongando a sua vida útil.

Os sistemas mais utilizados pelos motores Diesel são: sistema de **aspiração natural**, o sistema turboalimentado e o turboalimentado com pós-arrefecimento.



Para saber mais sobre aspiração turbinada e natural, acesse: <http://www.opaleirosdoparana.com/t13099-aspirado-ou-turbo-comparando-com-curva-de-potencia-opala-4cc-de-123-a-255-cv>



**Figura 4.1: Esquema de entrada de ar no motor**

Fonte: Fram, 2003

Para um eficiente sistema de limpeza do ar, os filtros acoplados aos motores podem atuar com os seguintes subsistemas:

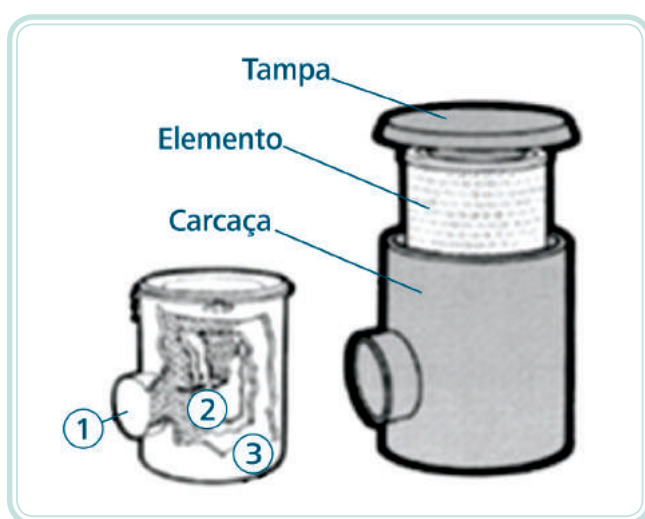
**Filtro banho de óleo** – as impurezas maiores (folhas, partículas maiores de terra, etc.) são retiradas no pré-purificador, sendo conduzidas, posteriormente, ao copo de sedimentação. O ar segue por um tubo até a cuba de óleo, entrando em contato com o mesmo, fazendo com que as partículas menores de poeira fiquem retidas nele.

O ar acompanhado de gotículas de óleo segue até os elementos filtrantes, os quais retêm esse óleo juntamente com partículas ainda contidas nele. Ao sair do filtro, o ar está livre de impurezas e, então, é conduzido aos cilindros pelos tubos de admissão.



**Filtro seco** – as impurezas são separadas por movimento inercial em um pré-purificador tipo ciclone, no qual o ar admitido adquire um movimento circular. A força centrífuga faz com que as impurezas maiores sejam depositadas num reservatório. Em seguida, o ar passa pelos elementos filtrantes, primário e secundário. O primário é confeccionado de papel e o secundário de feltro. Cerca de 99,9% das partículas sólidas em suspensão são retidas no sistema o ar, então, é conduzido ao motor. A diferença do sistema a óleo é que ele consegue alta eficiência mesmo em rotações baixas.

Os elementos filtrantes de reposição devem ser substituídos regularmente, como parte das rotinas de manutenção.



**Figura 4.2: Filtro de estágio único**

Fonte: Fram, 2003

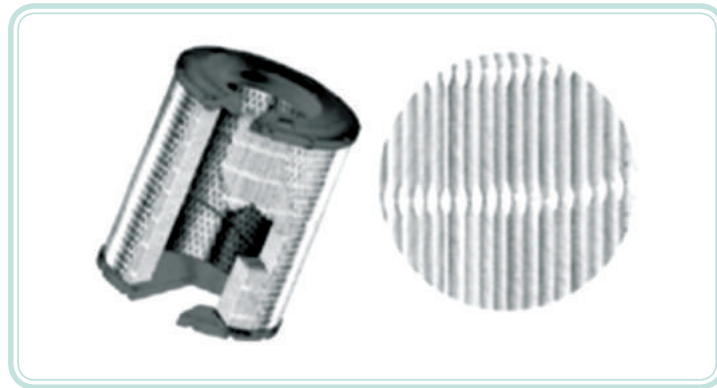
1. O ar ambiente é aspirado para dentro do filtro.
2. As partículas de impurezas são retidas à medida que o ar passa através do elemento de papel plissado.
3. O ar puro se dirige, então, para o coletor de admissão do motor.

Os filtros de ar secos geralmente são constituídos dos seguintes elementos de limpeza:

**a)** Elemento primário.

- Fabricado em papel plissado, distribuído homogeneamente, com auto-espacamento.

- Papel microporoso tratado quimicamente, assegurando alta eficiência de filtragem, resistência mecânica e grande poder de acúmulo dos contaminantes.

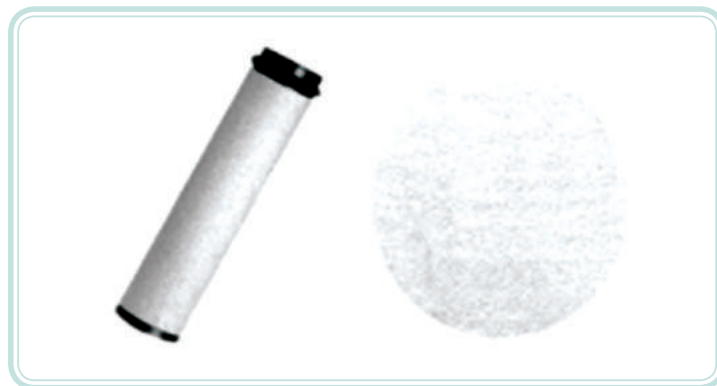


**Figura 4.3: Elemento primário**

Fonte: Fram, 2003

**b)** Elemento secundário ou de segurança.

- Assegura a filtração em eventual dano ao elemento primário.
- Protege o coletor de ar do motor no momento da manutenção.

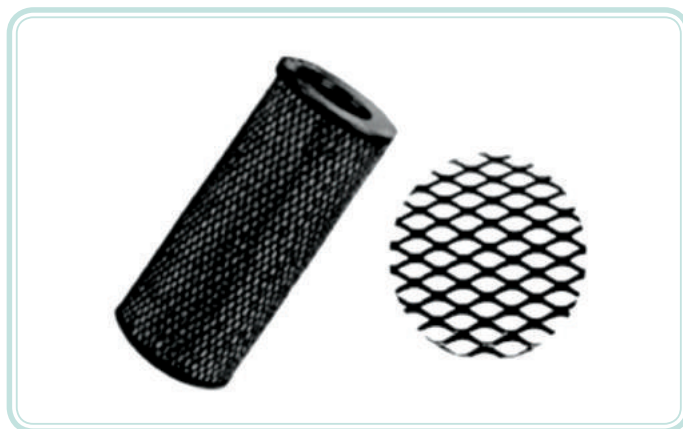


**Figura 4.4: Elemento secundário**

Fonte: Fram, 2003

**c)** Tela expandida.

- O elemento filtrante é protegido por estrutura de tela de aço expandida o que proporciona maior área de utilização do papel filtrante.



**Figura 4.5: Tela expandida**

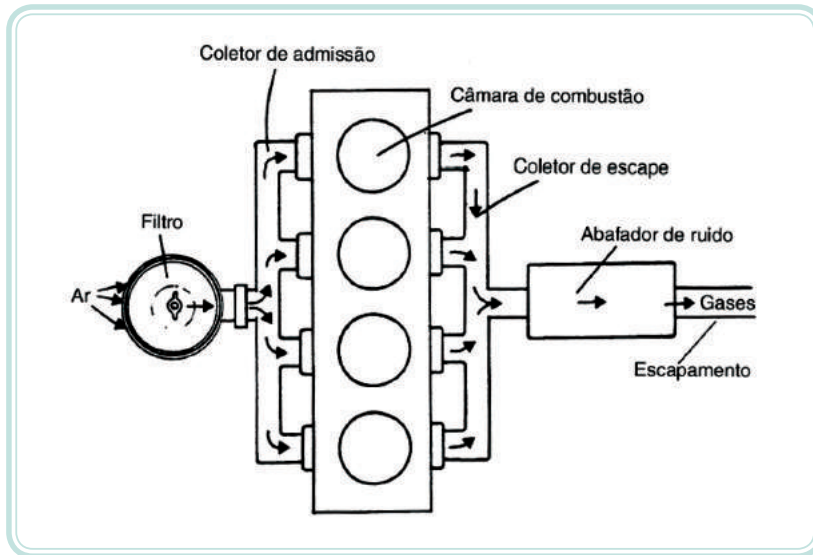
Fonte: Fram, 2003



**Figura 4.6: Montagem do filtro seco no motor (elemento primário e secundário)**

Fonte: [http://www.cumminsfiltration.com/pdfs/product\\_lit/americas\\_brochures/LT32624-PT.pdf](http://www.cumminsfiltration.com/pdfs/product_lit/americas_brochures/LT32624-PT.pdf)

No sistema de aspiração natural ou convencional mostrado na Figura 4.7, o ar é admitido dentro do cilindro pela diferença de pressão atmosférica, passando pelos filtros e, através do coletor de admissão, alcança a câmara de combustão. Após a combustão, em forma de gás, ele é empurrado ou forçado pelo pistão a sair pelo coletor de escapamento e, posteriormente, ao meio ambiente.



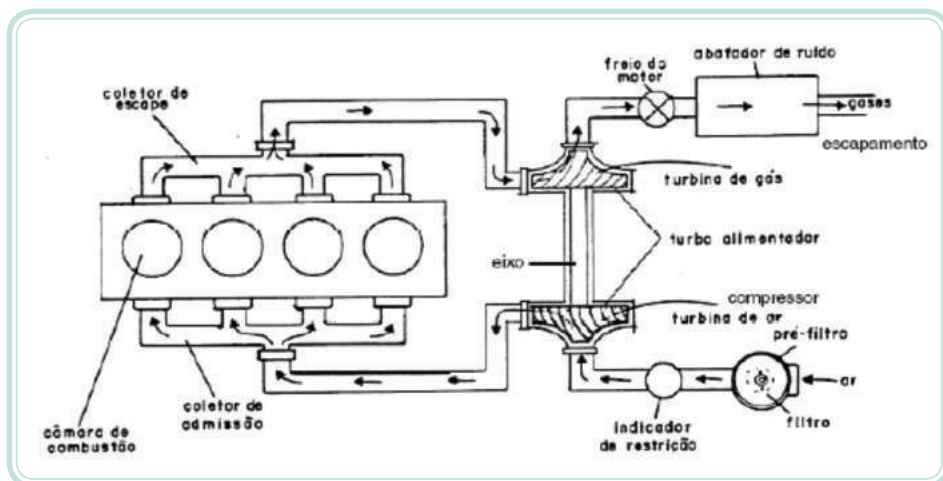
**Figura 4.7: Sistema de aspiração natural**

Fonte: MWM International, 2009



Para saber mais sobre turbocompressor, acesse: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Turbocompressor>

No sistema de aspiração turbinado ou turboalimentado, mostrado na Figura 4.8, o ar é forçado pelo **turbocompressor** ou turboalimentador a passar pelo processo de filtragem através da turbina de ar, sendo remetido com pressão para a câmara de combustão. Após a combustão em forma de gás, ele aciona a turbina também a gás e é direcionado ao coletor de escapamento e, posteriormente, ao meio ambiente. Neste sistema, existe um indicador de restrição quanto à qualidade do ar na entrada do sistema.



**Figura 4.8: Sistema de aspiração turboalimentado**

Fonte: MWM International, 2009

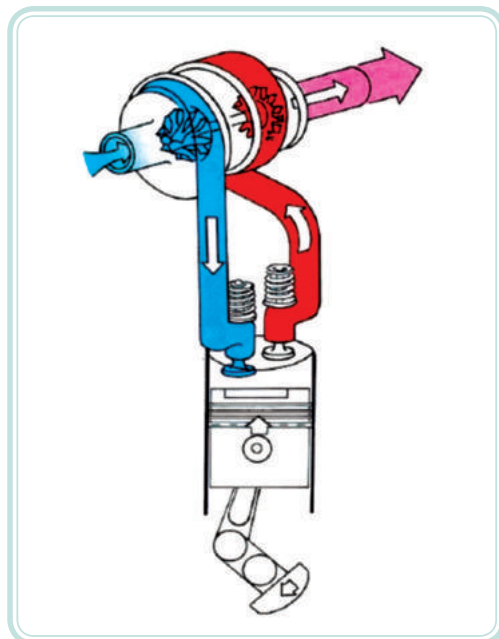
### 4.2.1 Tipo de alimentação de ar – turbocompressor

Nos motores superalimentados, o ar é introduzido nos cilindros por intermédio de um compressor centrífugo movido por uma turbina. A superalimentação consiste em substituir a admissão automática por efeito da pressão atmosférica, por uma admissão forçada, de modo a assegurar o enchimento dos cilindros sob pressão mais elevada. Dessa forma, a superalimentação apresenta as seguintes vantagens:

- a) Devido ao aumento da quantidade de ar introduzido nos cilindros, é possível injetar mais combustível, o qual pode levar a um incremento da potência e do torque de até 30%.
- b) Favorece a homogeneidade da mistura, devido à forte agitação provocada pela maior pressão e velocidade do ar admitido na câmara de combustão, melhorando, assim, o rendimento da combustão.

A velocidade de rotação máxima de um turbo alimentador se verifica na velocidade de rotação do motor a plena carga.

Uma turbina, acionada pelo fluxo de gases do escapamento, comprime o ar de admissão.



**Figura 4.9: Esquema de funcionamento do ar no turbocompressor**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

## A-Z

### atrimento

É um estado de aspereza ou rugosidade entre dois sólidos em contato, que permite a troca de forças em uma direção tangencial à região de contato entre os sólidos.

<http://www.mundovestibular.com.br/articles/67/1/ATRITO/Paacutegina1.html>

### aftercooler

Em compressores de dois estágios com resfriador intermediário (*intercooler*), boa parte da umidade é retirada.

Porém, o ar é descarregado na linha a uma temperatura ainda elevada, devendo passar por um resfriador posterior conhecido como *aftercooler*.

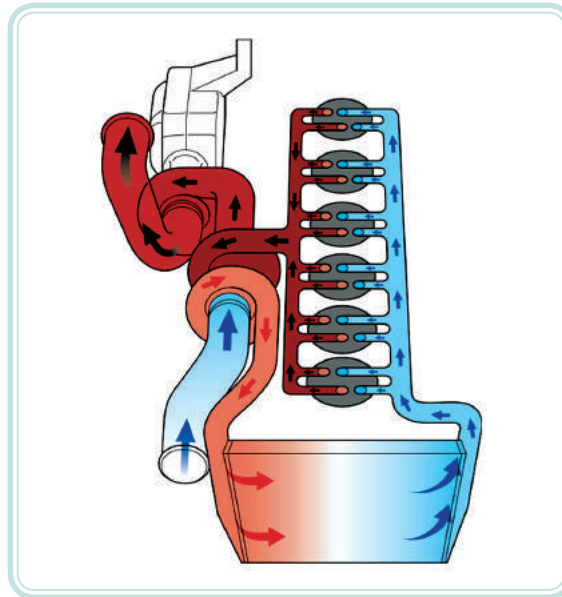
Este é um trocador de calor de resfriamento, que deve ser instalado após o compressor para a obtenção de uma melhor temperatura. A maior parcela de umidade contida no ar condensa nesses dois resfriadores, sendo eliminada, preferencialmente, por meio de separadores de umidade instalados após o *aftercooler* e no tanque de armazenamento (pulmão).

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Aftercooler>

### 4.2.1.1 Aftercooler (intercooler) ou pós-arrefecimento

O ar comprimido sai da carcaça do compressor muito quente, em razão dos efeitos da compressão e do **atrimento** que enfrenta. O calor provoca a expansão dos fluidos diminuindo sua densidade, tornando-se necessário um sistema que resfrie o ar antes de ser recebido pelas câmaras de combustão do motor.

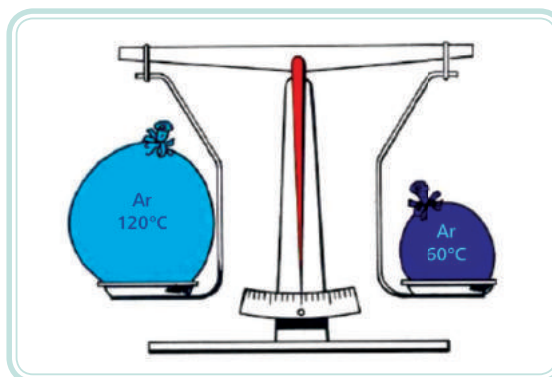
O **aftercooler** arrefece o ar na saída do turbocompressor, antes de o mesmo entrar nos cilindros. Assim, o ar admitido se torna mais denso. O turbocompressor comprime o ar de admissão e, ao mesmo tempo, aquece-o. O ar quente se expande com relação ao ar frio.



**Figura 4.10: Esquema de refrigeração do ar no motor**

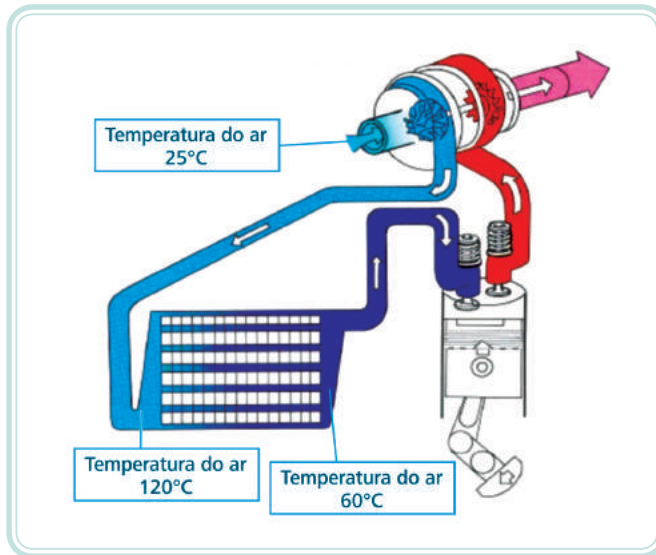
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

O rendimento de abastecimento dos cilindros será tão maior quanto mais frio estiver o ar de admissão. O resfriamento do ar na saída do turbocompressor, influi também sobre as emissões nocivas do motor ao meio ambiente.

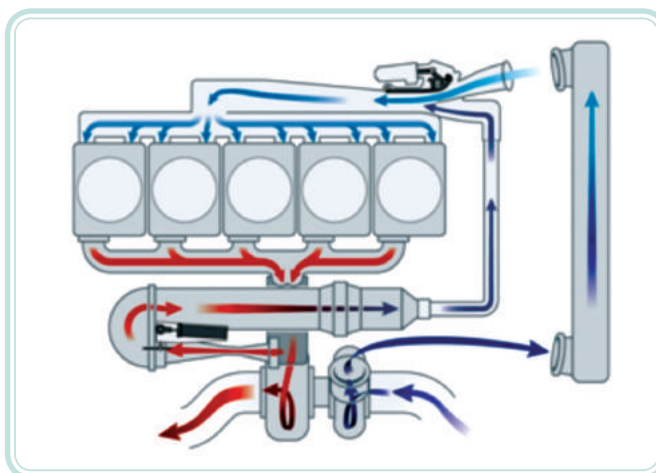


**Figura 4.11: Relação ar aquecido e ar frio**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006



**Figura 4.12: Esquema de funcionamento do resfriamento do ar**  
 Fonte: CTISM, adaptado de Mercedes Benz do Brasil, 2006



**Figura 4.13: Esquema de circulação do ar no motor**  
 Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

#### 4.2.1.2 Turbocompressor equipado com válvula de alívio wastegate

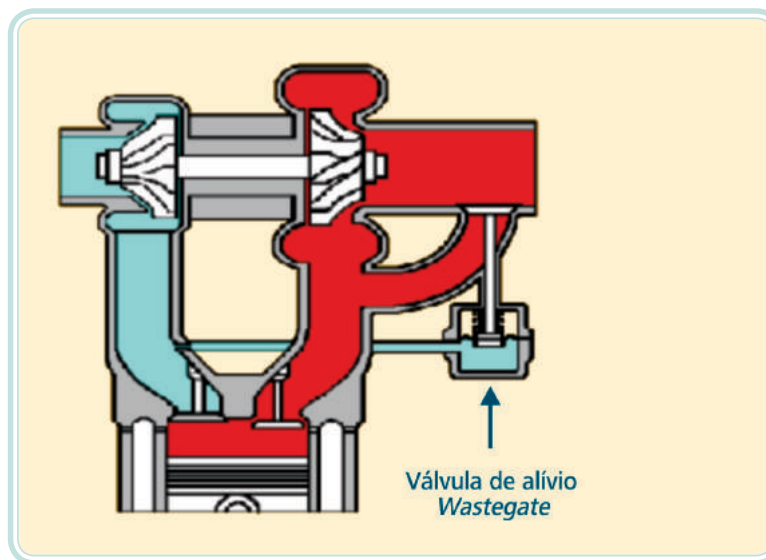
Com o desenvolvimento de turbinas para gerar maior pressão em baixas rotações, surgiu a necessidade de uma válvula de alívio em rotações elevadas. Ela apresenta a função de ajudar o controle da rotação da turbina (enchimento de ar), aliviando o excesso de pressão de escape pela carcaça da turbina.

A **válvula wastegate** alivia a pressão da turbina, apresentando também as seguintes vantagens:



Para saber mais sobre válvula wastegate, acesse: <http://tudosobreautomoveis.blogspot.pt/9704.html>

- Maior torque a baixas rotações.
- Menor temperatura de trabalho.
- Menor índice de emissão de poluentes.



**Figura 4.14: Esquema de funcionamento da válvula de alívio**

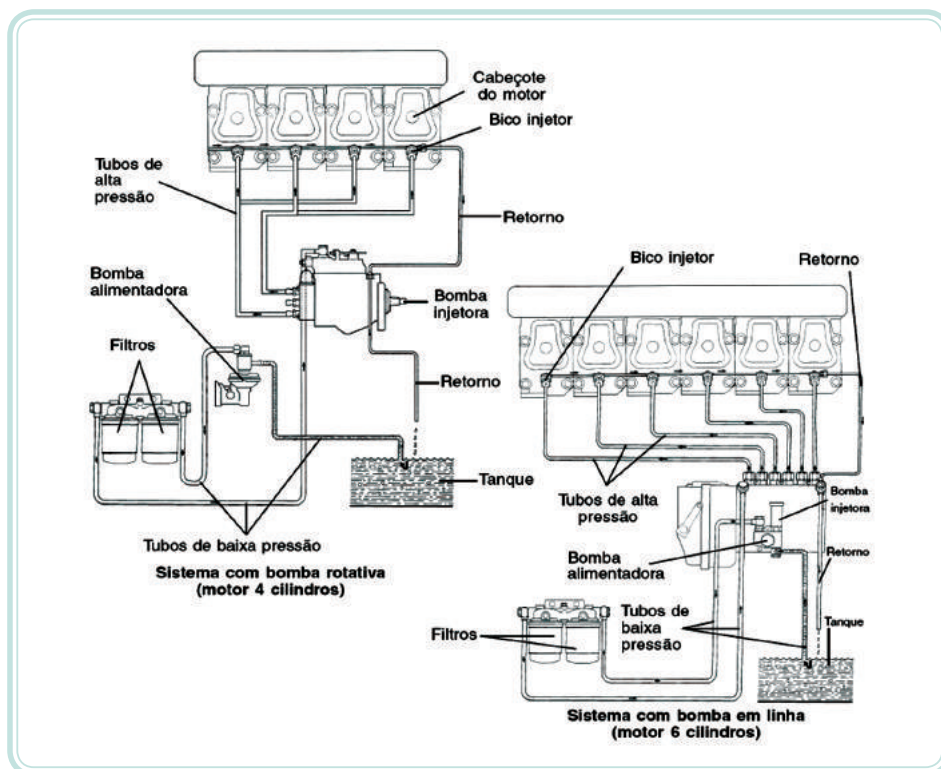
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 4.3 Sistema de alimentação de combustível

O sistema de alimentação de combustível é responsável pela garantia de abastecimento de combustível nos motores, através de seus componentes. Para motores de ciclo Diesel, injetando nos cilindros no momento exato, na quantidade certa, com pressão recomendada e isento de impurezas o combustível. Nos motores de ciclo Otto, a mistura (ar + combustível) é introduzida na câmara de combustão.

O sistema de alimentação de combustível para motores do ciclo Diesel, mostrados na Figura 4.15, é constituído pelo reservatório de combustível, tubulação de baixa e alta pressão, tubulação de retorno, bomba alimentadora de combustível, filtros, bomba injetora, bicos injetores, dispositivo de avanço, regulador de rotações, etc.



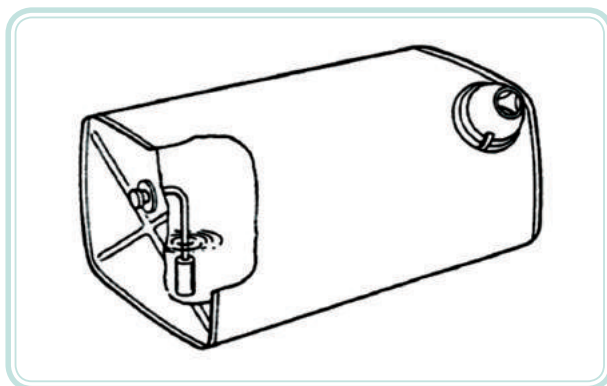


**Figura 4.15: Circuito do sistema de alimentação de combustível – Diesel (bomba injetora em linha – 6 cilindros e rotativa – 4 cilindros)**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 4.3.1 Circuito do combustível – ciclo Diesel

O combustível é sugado do reservatório ou tanque através da bomba alimentadora e pressionado nos filtros até a bomba injetora. Para isso, deve ser isento de impurezas e umidade. Ao passar pela bomba injetora, esta o envia sob alta pressão, para cada um dos cilindros, no momento exato de injeção. Para garantir o perfeito funcionamento do cilindro, o sistema sempre envia uma quantidade maior de combustível, o que garante a pressão do circuito primário, retornando o excesso ao reservatório (Figura 4.16) pela tubulação de retorno.

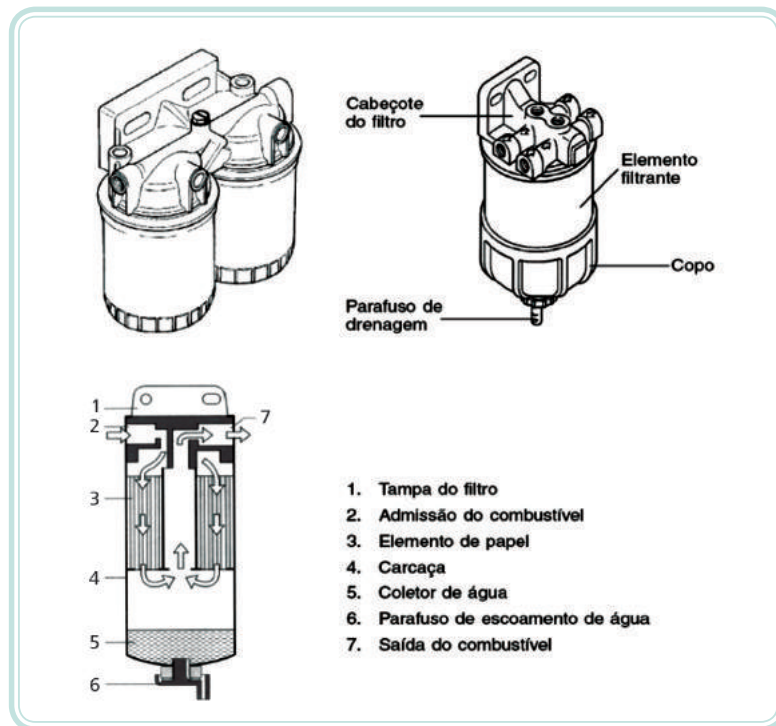


**Figura 4.16: Tanque ou reservatório de combustível**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

A manutenção da limpeza periódica e o abastecimento total, mantendo o reservatório sempre cheio, evita a sucção de impurezas menos densas presentes na superfície do líquido e a entrada de vapor de água ou umidade presente no ar ambiente, que é condensado durante a noite quando ocorrem menores temperaturas.

**Filtros de combustível** – são dotados de elementos filtrantes descartáveis e devem reter o máximo possível de impurezas, sem obstruir nem oferecer resistência ao fluxo. Dependendo do tipo de motor, para melhorar a eficiência na filtragem, utilizam-se dois filtros em série, mostrados na Figura 4.17.

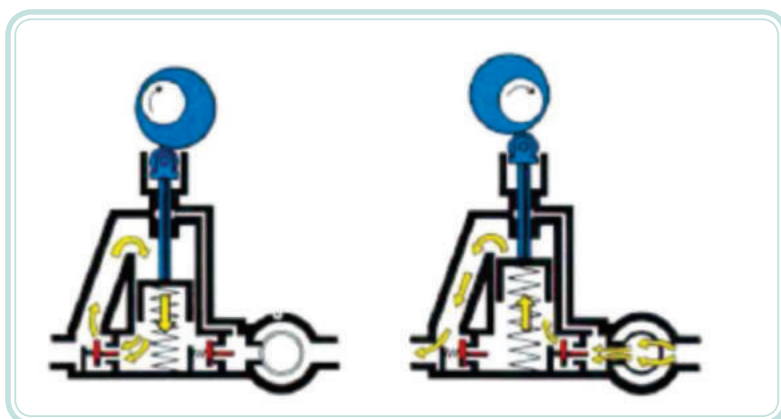


**Figura 4.17: Esquema de funcionamento dos filtros de combustíveis**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 4.3.2 Bomba de alimentação de combustível

Normalmente, são utilizadas bombas de êmbolo na função de bomba de alimentação de combustível. A bomba de alimentação está diretamente acoplada à bomba injetora, a qual também é acionada pelo excêntrico do eixo de cames. Sua função consiste em aspirar o combustível do reservatório e transportá-lo através de um filtro até a bomba injetora.



**Figura 4.18: Esquema de funcionamento da bomba de alimentação de combustível**

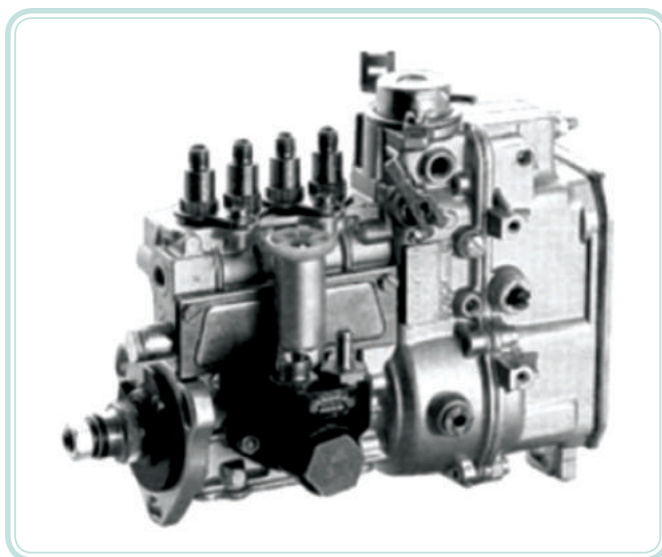
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 4.3.3 Bomba injetora

A bomba injetora também é um conjunto mecânico complexo cuja função é injetar o combustível no momento e na quantidade exatos para o funcionamento do motor em qualquer rotação ou carga de trabalho. Os tipos mais usuais de bombas injetoras, em função das especificações operacionais dos motores, podem ser bomba injetora em linha, apresentada na Figura 4.19, as quais possuem um elemento de bombeamento formado de um cilindro e um pistão para cada cilindro do motor. O curso do pistão não é variável. Por isso, para que seja possível a modificação do volume de injeção do combustível, são usinadas bordas de controle nos pistões da bomba. O curso desejado é obtido através da regulagem realizada por uma haste móvel.



Para saber mais sobre bomba injetora, acesse:  
<http://www.omecanico.com.br/modules/revista.php?recid=35>



**Figura 4.19: Bomba injetora em linha**

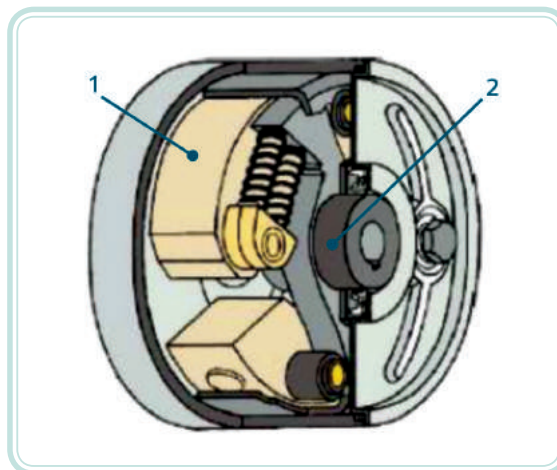
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

A quantidade requerida de combustível em altas rotações não é compatível com o tempo de injeção. Para que a quantidade exata seja entregue, a injeção se inicia adiantada a fim de dar tempo suficiente para formar a mistura ar-combustível. Por esse motivo é que são adotados avanços automáticos.

O dispositivo de avanço automático é um conjunto que permite avançar o ponto de injeção quando o motor atinge alto giro, compensando o atraso da queima. Para fazer essa variação, ele aproveita a força centrífuga criada por dois pesos montados na engrenagem de acionamento da bomba injetora ou acoplamento de avanço.

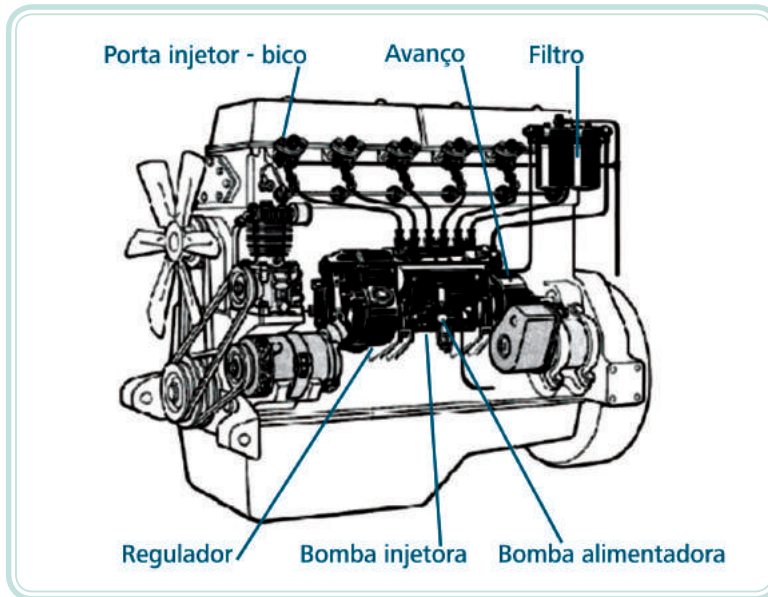
Montado na parte frontal da bomba injetora no eixo excêntrico ou na árvore de comando do motor, movido pela engrenagem da árvore de manivelas (virabrequim), o avanço automático é dotado de contrapesos que atuam por intermédio da força centrífuga de modo gradual, dependendo da rotação em que se encontra o motor, sendo que o maior ângulo de avanço é alcançado geralmente na máxima rotação do motor.

Os contrapesos (1) vencem a força das molas que transmitem o movimento angular para o eixo torcional (2), apresentado na Figura 4.20 que, por conseguinte, o move no sentido contrário de giro da árvore de comando, proporcionando o avanço necessário.



**Figura 4.20: Dispositivo de avanço automático**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006



**Figura 4.21: Bomba injetora acoplada ao motor – motor 6 cilindros**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

As bombas injetoras rotativas, Figura 4.22, caracterizam-se por possuir apenas um elemento de bombeamento para todos os cilindros. A elevação de ressaltos na parte inferior do disco de comando da bomba rola sobre os roletes do anel, provocando o movimento do curso. Uma série de componentes de adequação e regulação automática permite o processamento mecânico de outras informações para o controle do débito, avanço, regulação de rotação e partida.

As bombas rotativas ou distribuidoras são bombas que têm requerimentos de tolerância e especificação estritas demais para que seja possível se obterem as características de injeção desejadas.

O desenho, o conceito e a aparência são totalmente diferentes das conhecidas bombas em linha. Isso ocorre, principalmente, porque utiliza somente um pistão para os diversos cilindros do motor e, através de um só orifício, faz o controle da injeção em cada cilindro. São aplicadas aos motores menores, até 4 cilindros.



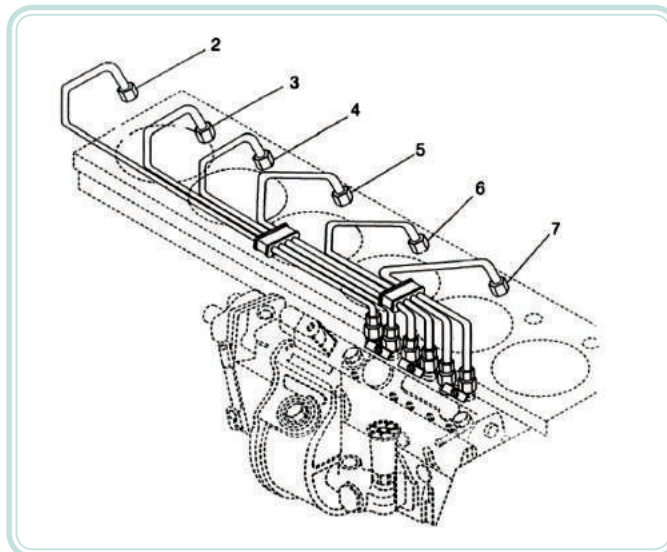
**Figura 4.22: Bomba distribuidora rotativa**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

O conjunto de pistões é movido por um eixo excêntrico que é acionado pelo motor. O retorno dos pistões se dá por meio de molas. Os ressaltos do eixo excêntrico se movem contra a força das molas, forçando o movimento ascendente dos pistões-bomba. Desse modo, ocorre a elevação de pressão dentro da tubulação de combustível, fazendo com que vença a pressão do combustível e vença a força da mola de ajuste da pressão de abertura dos bicos injetores, pulverizando ou atomizando o combustível dentro da câmara de combustão.

#### 4.3.4 Tubulação de alta pressão

Os tubos de alta pressão são calibrados para conduzir o combustível da bomba injetora aos bicos injetores. Esses tubos apresentam paredes espessas para suportar as altas pressões promovidas pelo sistema de injeção.



**Figura 4.23: Detalhe da posição da tubulação de alta pressão – motor Diesel 6 cilindros**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 4.3.5 Combustão em motores e estequiometria

De maneira geral, define-se combustão como uma reação química entre duas substâncias chamadas combustível e comburente, que ocorre em alta velocidade e alta temperatura, onde se dá uma intensa liberação de calor com a emissão simultânea de luz, na maioria das vezes, dependendo, entre outros fatores, do tipo de combustível. Normalmente, o comburente utilizado é o oxigênio do ar atmosférico.

Na prática, costuma-se fazer distinção entre duas formas básicas de reação de combustão. Diz-se que a combustão é completa quando o combustível queima em sua totalidade, ou seja, os reagentes são levados ao seu grau de oxidação máxima durante a formação de um produto final.

Nos motores de combustão interna, a diferença fundamental entre a Ignição por Centelha (ICE) e a Ignição por Compressão (ICO) não faz referência sobre o tipo de combustão que ocorre e sobre como esse processo é idealizado nos ciclos Otto e Diesel respectivamente.

O processo de combustão não ocorre em um volume constante (Otto) e nem à pressão constante (Diesel). A diferença entre os dois processos de combustão é que os motores com ignição por centelha normalmente possuem seus reagentes pré-misturados, enquanto nas máquinas de ignição por compressão, os reagentes são misturados já na combustão.

Com a combustão de reagentes pré-misturados, a mistura ar/combustível deve ser sempre estequiométrica (quimicamente correta) para uma ignição e combustão correta. Para o controle da potência de saída dos motores ICE é regulada reduzindo-se a massa de combustível e/ou ar na câmara, reduzindo a eficiência do ciclo. Ao contrário, para motores ICO, onde ocorre a injeção do combustível, a mistura somente é estequiométrica na frente de chama. A saída de potência pode, então, ser controlada pela variação do controle da quantidade de combustível injetado. Isso colabora para economia de combustível superior.

#### A-Z

##### estequiometria

A estequiometria nos permite calcular a quantidade exata de reagentes que é preciso para se obter uma determinada quantidade de produto em uma reação química. Ao realizar uma reação química é difícil obter no produto a mesma quantidade presente nos reagentes, ou seja, o rendimento teórico é maior que o rendimento real.

<http://www.brasilecola.com/quimica/estequiometria.htm>



Sistema de ignição por centelha acesse:

<http://www.jaguariunajeepclub.com/Downloads/esquema%20bobina%20bosch.doc>

Sistema de ignição por compressão acesse:

[http://www.eduloureiro.com.br/index\\_arquivos/MTAula2.pdf](http://www.eduloureiro.com.br/index_arquivos/MTAula2.pdf)



**Figura 4.24: Ação do bico injetor**

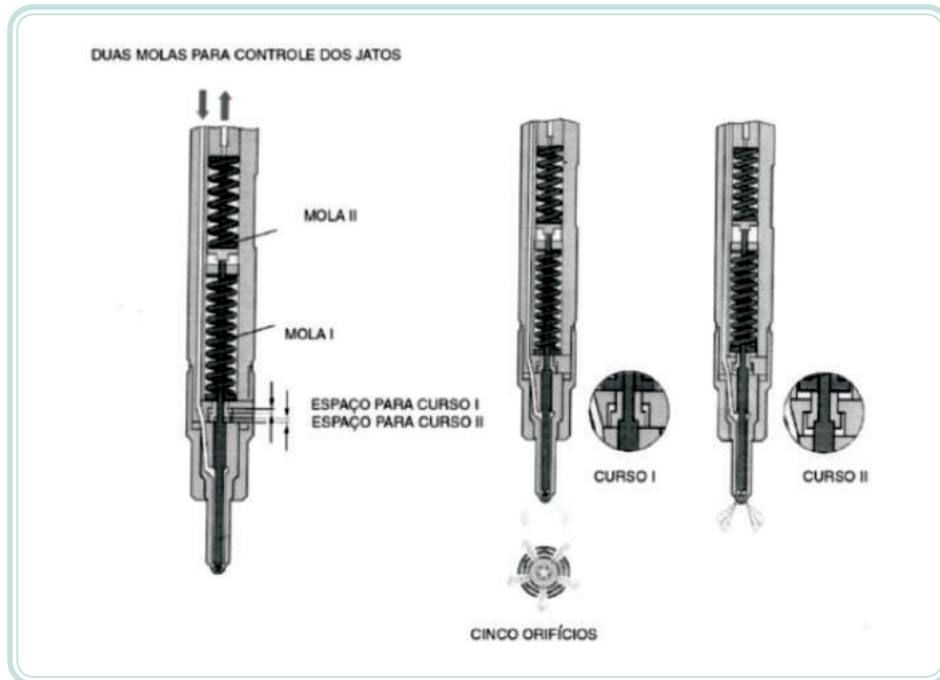
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

A combustão nos motores de ciclo Diesel, ocorre pelo processo de injeção, onde o gás de combustão aspirado ou induzido sob pressão é comprimido a elevadas temperaturas (500 a 600°C) que promove a autoignição. A combustão não ocorre de maneira uniforme. A injeção acontece durante o deslocamento do pistão ao PMS, no tempo de compressão. A uniformidade ou uma melhor condição de combustão somente acontece quando a mistura entre o combustível e o ar se apresenta em quantidades e temperaturas ideais.

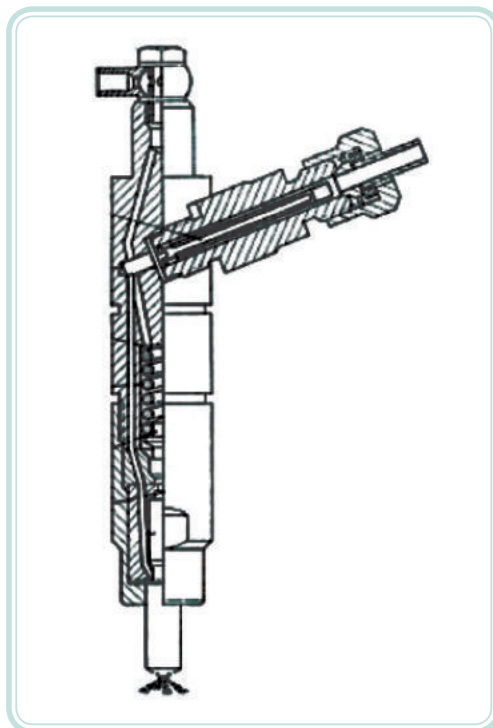
O ponto crítico mais importante é a formação da mistura mediante a injeção do combustível diretamente antes e durante a autoignição e combustão na carga de ar fortemente comprimida. Nas relações de injeção, o elemento injetor é a peça pela qual o combustível chega até a câmara de combustão. Com pequenos orifícios calibrados, pulveriza ou atomiza o combustível para facilitar o processo de combustão. A direção e o ângulo formado pelos jatos são determinados pela posição dos orifícios do injetor.

Nas Figuras 4.25 e 4.26, apresentam-se os tipos de bico injetor com suas peculiaridades.





**Figura 4.25: Bicos injetores de duplo estágio**  
 Fonte: MWM International, 2009

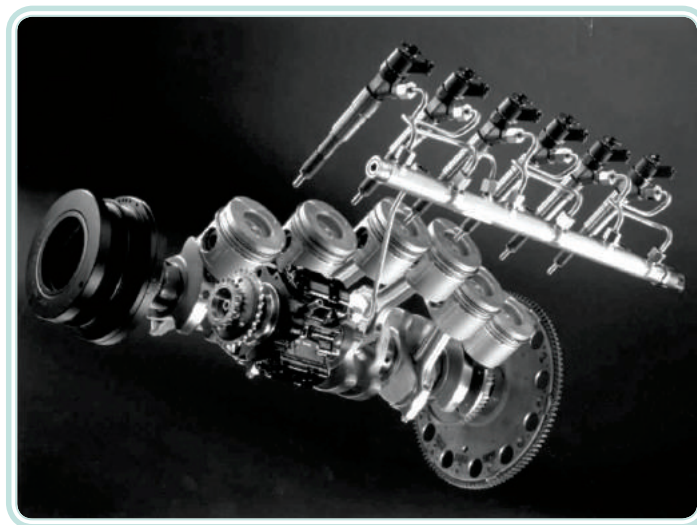


**Figura 4.26: Bico injetor convencional**  
 Fonte: MWM International, 2009

### 4.3.6 Injeção direta – Sistema *Common Rail* – CRS

As crescentes exigências de redução de consumo de combustível, tendo em vista menores índices de poluição e funcionamento mais silencioso dos motores Diesel, não são garantidos nos processos de injeção mecânica. No sistema de injeção eletrônica, a geração de pressão e a injeção de combustível são separadas, o que significa que a bomba gera a alta pressão que está disponível para todos os injetores através de um tubo distribuidor comum. Essa pressão pode ser controlada independentemente da rotação do motor. A pressão do combustível, início e fim da injeção, são precisamente calculados pela unidade de comando a partir de informações obtidas dos diversos sensores instalados no motor, o que proporciona excelente desempenho, baixo ruído e mínima emissão de gases poluentes.

A injeção direta *Common Rail* (CRS) comparada à injeção direta mecânica convencional é um método mais moderno. O combustível é armazenado num acumulador, chamado *Rail*, sob alta pressão de combustível. Assim, a pressão de injeção já está pronta, à disposição, ao iniciar a injeção. Além disso, a injeção é efetuada de forma seletiva por cilindro e pode ser livremente configurada à perfeição, também visando a pré-injeção.



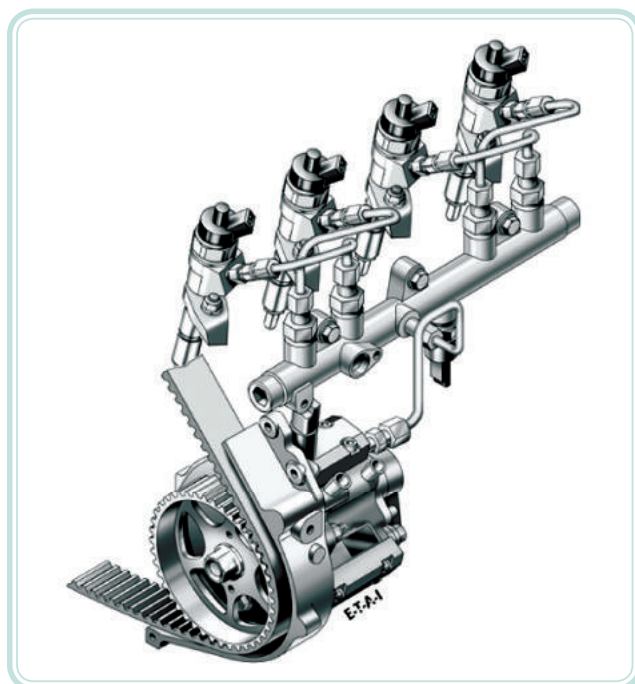
**Figura 4.27: Sistema *Common Rail* de injeção**

Fonte: Santos, 2009

As vantagens mais importantes da injeção eletrônica *Common Rail* são relativas ao ruído de funcionamento do motor. Devido à pré-injeção, é menos dura do que na injeção tradicional, e o rendimento é nitidamente mais alto que na injeção em antecâmara (injeção indireta). Com isso, produz-se também uma maior rentabilidade, assim como uma carga menor de material poluente no meio ambiente.

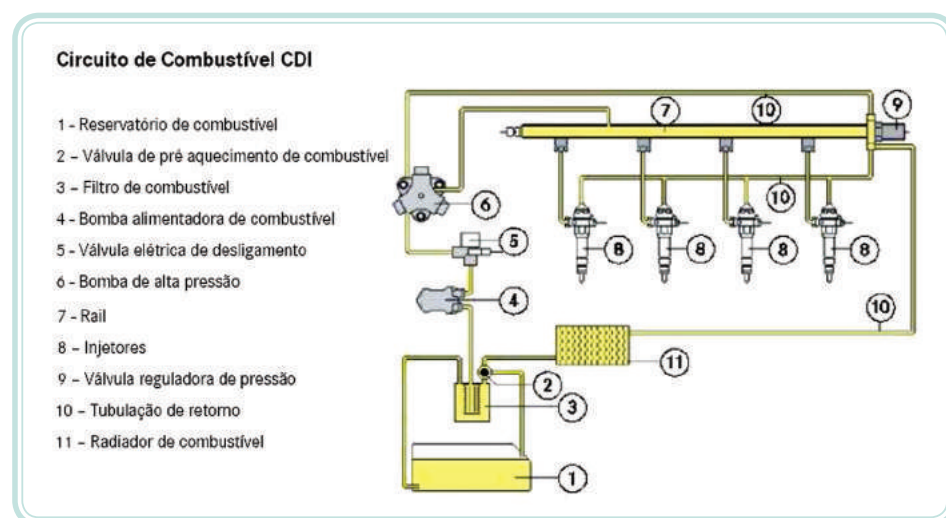
Motores Diesel com sistemas *Common Rail* satisfazem as normas de emissão dos gases de escape atualmente em vigor e têm, também, o potencial para satisfazer normas futuras.

Esse sistema possui, comparativamente, poucas peças móveis, porque todos os processos de comando e regulação ocorrem de forma eletrônica. Isso prolonga a vida útil do sistema.



**Figura 4.28: Sistema de injeção Bosch**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006



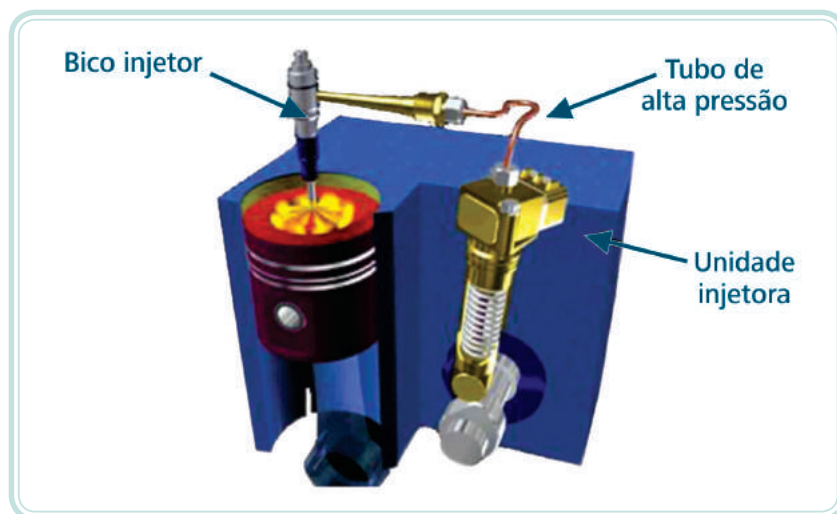
**Figura 4.29: Circuito de combustível CRS**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

Os motores com gerenciamento eletrônico visam, sobretudo, alcançar níveis menores de emissão de poluentes, atendendo às leis nacionais e internacionais de preservação ambiental; mecânica mais simples, aliando os benefícios da nova tecnologia de controle de injeção, com redução de custos.

Os motores com gerenciamento eletrônico funcionam com um sistema de alimentação de combustível controlado eletronicamente.

O mecanismo básico de injeção é conhecido como sistema bomba-tubo-bico e consiste numa unidade injetora por cilindro, interligada ao bico injetor, através de uma pequena tubulação de alta pressão (Figura 4.30). Os elementos alojados na unidade injetora-injetor, câmaras de pressão, descarga de combustível, válvula de controle de vazão e eletroímã de acionamento – são responsáveis pelo aumento da pressão e controle do volume de injeção de combustível que é conduzido ao bico e distribuído, de forma atomizada, na câmara de combustão.



**Figura 4.30: Unidade injetora de combustível**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

## A-Z

### GNV

É Gás Natural Veicular. Combustível alternativo para veículos que em relação à gasolina pode proporcionar economia de até 60%. Muito utilizado em frotas de táxi, vans, caminhonetes, etc.  
<http://www.gnvdo brasil.com.br/faq.html>

### 4.3.7 Tecnologia tricombustível

A tecnologia *flex fuel*, que permite um motor operar com dois tipos de combustível (álcool e gasolina), equipa grande parte dos veículos brasileiros lançados recentemente. Entretanto, nova tecnologia está surgindo: o sistema **tricombustível** que associa o conceito *flex fuel* ao gás natural veicular (GNV).

A principal vantagem do sistema tricombustível é sua versatilidade: pode-se escolher pelo uso de três combustíveis diferentes. Outro ponto importante

está na economia proporcionada pelo sistema a gás. Motores movidos a gás gasta, por quilômetro rodado, 60% a menos do que um a gasolina e 45% a menos do que um a álcool.

Diferentemente do *flex fuel*, que possibilita a mistura de dois combustíveis, o sistema tricombustível pode funcionar de quatro formas: alimentado só por gás natural, só por álcool, só por gasolina ou por uma mistura de álcool/gasolina. É o condutor quem escolhe o tipo de combustível: a partir de uma tecla no painel, ele faz a opção por um dos sistemas (gás ou gasolina/álcool).

Outra vantagem do sistema tricombustível está em sua maior autonomia em relação aos sistemas atuais. Por estar equipado com dois tanques de combustível, um para gás e outro para álcool/gasolina, ele permite que o automóvel rode uma distância maior, sem que haja necessidade de abastecimento. Além disso, em caso de o gás acabar, o sistema faz automaticamente a mudança para a alimentação álcool/combustível – passando a funcionar como um veículo *flex fuel* normal. O contrário também acontece: se o combustível líquido acabar, o gás natural é acionado.

A perda de rendimento da gasolina para o gás natural veicular se explica, principalmente, pela incompatibilidade entre taxa de compressão e octanagem dos dois combustíveis. Se aplicar turbocompressor no motor a turbina, consegue-se quase anular esse problema de perda de potência, porém encarece o produto. Além disso, o sistema tricombustível avaliado tem como um dos seus principais benefícios potencializar a diminuição de emissão de poluentes na atmosfera – pois quando comparado à gasolina, o GNV apresenta menor emissão de hidrocarbonetos (HC), monóxido de carbono (CO) e óxidos de nitrogênio (NO), além de reduzir a emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) responsável pelo efeito estufa em aproximadamente 25%.

## 4.4 Sistema de arrefecimento

O Sistema de arrefecimento tem por objetivo impedir que os elementos mecânicos do motor atinjam uma temperatura muito elevada ao contato com os gases da combustão, ou seja, controlar a temperatura ideal dentro da faixa de operação do motor.

Os processos de transmissão de calor ocorrem em função das leis da **termodinâmica**, ciência a qual define as transformações do calor e do trabalho mecânico e o estudo das leis às quais obedecem os gases durante suas evoluções desde sua entrada no cilindro até sua saída para a atmosfera. Especificamente no



Tecnologia tricombustível acesse:  
[http://www.webmotors.com.br/wmpublicador/Tecnologia\\_Contentudo.vx|pub?hmid=33451](http://www.webmotors.com.br/wmpublicador/Tecnologia_Contentudo.vx|pub?hmid=33451)



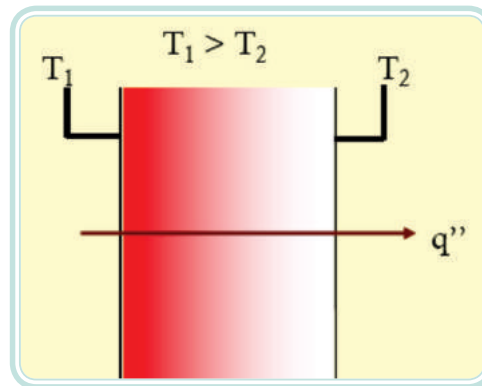
### termodinâmica

A termodinâmica estuda as relações entre calor e trabalho e as propriedades das substâncias que interagem nestas relações.  
<http://pcc261.pcc.usp.br/Termodin%C3%A2mica%2009-02%20internet.pdf>

caso dos motores de combustão interna, os gases são comprimidos, queimados, dilatados e expandidos sob o efeito da temperatura ou de um trabalho mecânico.

Para os motores ditos térmicos que transformam a energia calorífica dos combustíveis ou carburantes em energia mecânica absorvida pela árvore de manivelas, esta transformação é obtida pela mudança de estado, vaporização; de volume, compressão; de temperatura, combustão. Para tanto, os processos de transmissão de calor podem ser:

- a) **Condução** – é o processo de transferência de calor por meio de movimento molecular através dos sólidos e dos fluidos em repouso. Esse é o mecanismo pelo qual o calor flui através da estrutura do motor.

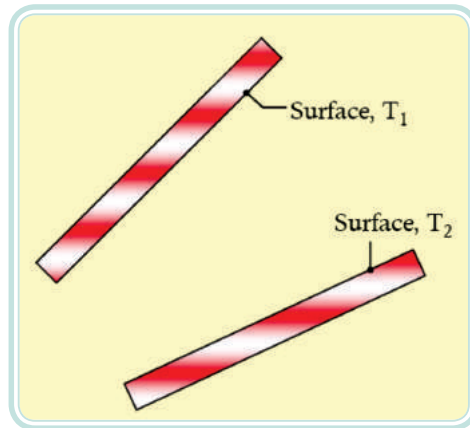


**Figura 4.31: Transmissão de calor por condução**

Fonte: [http://www.eduloureiro.com.br/index\\_arquivos/taula1.pdf](http://www.eduloureiro.com.br/index_arquivos/taula1.pdf)

Onde:  $T_1$  e  $T_2$  – gradiente de temperatura  
 $q''$  – taxa de transferência de calor

- b) **Radiação** – é o processo de transmissão de calor através do espaço. Ele tem lugar não apenas no vácuo, mas, também, através de sólidos e fluidos transparentes aos comprimentos de onda na faixa espectral visível e infravermelha. Uma pequena parte do calor transmitido para as paredes dos cilindros pelos gases quentes flui por esse processo.



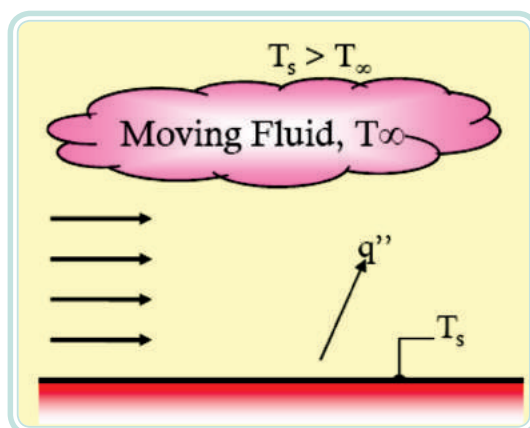
**Figura 4.32: Transmissão de calor por radiação**

Fonte: [http://www.eduloureiro.com.br/index\\_arquivos/taula1.pdf](http://www.eduloureiro.com.br/index_arquivos/taula1.pdf)

Onde:  $T_1$  e  $T_2$  – gradiente de temperatura

**c) Convecção** – é o processo de transmissão de calor através dos fluidos em movimento, e entre um fluido e uma superfície sólida com movimento relativo. Esse tipo de transmissão de calor envolve a condução e o movimento do fluido.

- Convecção natural – é a expressão usada quando o movimento do fluido se dá devido às diferenças de densidade em um campo gravitacional.
- Convecção forçada – é a expressão usada para indicar o processo de transmissão de calor entre o fluido e uma superfície sólida com movimento relativo, quando ele é provocado por forças que não decorrem da gravidade. A maior quantidade de calor que flui entre o fluido de trabalho e as peças do motor, e entre estas e o fluido de refrigeração é transmitida por este processo.



**Figura 4.33: Transmissão de calor por convecção**

Fonte: [http://www.eduloureiro.com.br/index\\_arquivos/taula1.pdf](http://www.eduloureiro.com.br/index_arquivos/taula1.pdf)

Onde:  $T_s$  e  $T_\infty$  – gradiente de temperatura  
 $q''$  – taxa de transferência de calor

## A-Z

### viscosidade

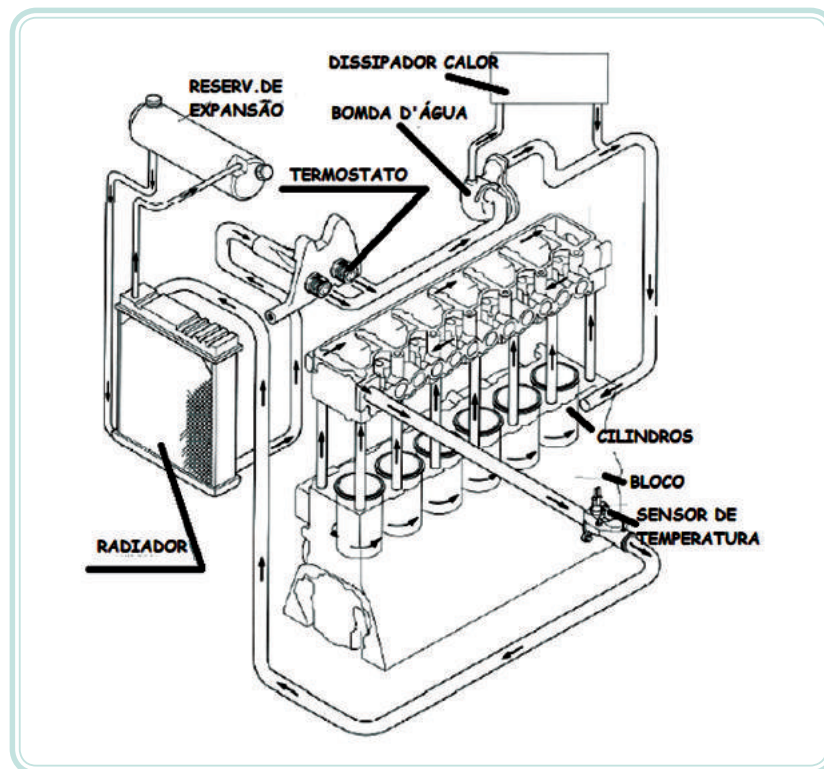
A viscosidade de um fluido é basicamente uma medida de quanto ela gruda. A água é um fluido com pequena viscosidade. Coisas como xampoo ou xaropes possuem densidades maiores. A viscosidade também depende da temperatura. O óleo de um motor, por exemplo, é muito menos viscoso a temperaturas mais altas do que quando o motor está frio.

<http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/hidrodinamica/viscosidade.html>

A manutenção da temperatura ideal de trabalho evita o desgaste, detonação da mistura. As folgas adequadas e a **viscosidade** do lubrificante são responsabilidade do sistema de refrigeração.

A perda de calor do sistema durante os cursos de compressão e expansão contribui para redução em potência e eficiência, até cerca de 10% da potência e da eficiência do ciclo equivalente de ar/combustível.

Um motor moderno, em geral, aproveita aproximadamente 30% da energia do combustível para seu movimento. Os demais 70% são eliminados pelo calor. Esses valores podem variar em função de o motor apresentar uma versão equipada ou não com turboalimentador e ar pós-arrefecido. Na Figura 4.34 apresentamos o circuito do sistema de arrefecimento de um motor.



**Figura 4.34: Circuito do sistema de arrefecimento do motor**

Fonte: MWM International, 2009

Além do calor transmitido do fluido de trabalho durante os cursos de compressão e expansão, uma parcela ponderável é transmitida para a estrutura do cilindro e, conseqüentemente, para o meio refrigerante, durante o processo



de descarga, além do atrito provocado pelo pistão que também constitui uma fonte de fluxo de calor. Assim, o fluxo total de calor no sistema de refrigeração é muito maior do que o fluxo de calor dos gases durante o ciclo de trabalho.

O sistema de arrefecimento é o responsável pela troca de calor do motor com o meio ambiente, regulando sua temperatura de trabalho, conforme a Figura 4.35. O calor é transmitido ao fluido de arrefecimento que circula no bloco e cabeçote do motor e, posteriormente, dissipado para o ambiente ao passar pelo radiador.

Um bom sistema de arrefecimento garante trabalho motor na faixa ideal de funcionamento, permitindo maior vida aos componentes internos e reduzindo consumo de combustível.

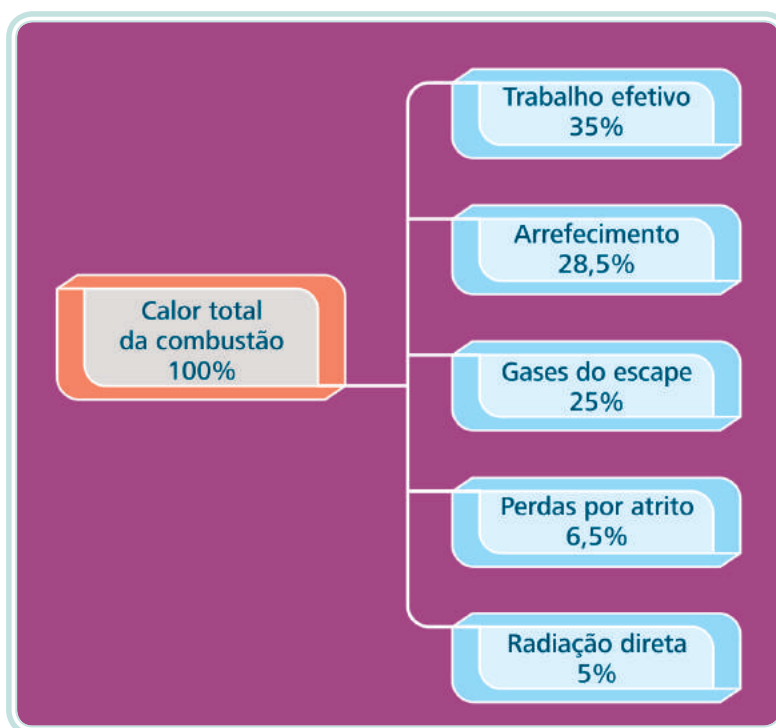
O processo de refrigeração envolve o fluxo de calor dos gases, sempre que a temperatura destes excede à da parede do cilindro. O atrito gerado pelas partes móveis do motor também é uma fonte geradora do fluxo de calor para as diversas partes do motor. O atrito mecânico eleva a temperatura do lubrificante e das partes envolvidas, resultando em fluxo de calor para as partes vizinhas ao resfriador e de lá para o fluido refrigerante.

As perdas de calor, direta e por atrito, reduzem a potência disponível e a eficiência do motor. O estudo das perdas de calor no motor é importante não apenas do ponto de vista da eficiência, mas também para o projeto do sistema de refrigeração e, talvez, por uma razão ainda mais forte como o entendimento do efeito do fluxo de calor sobre as temperaturas de operação dos componentes do motor.

Os motores de combustão transformam em trabalho útil, somente uma pequena parte (35%) da energia total liberada pela queima do combustível (Figura 4.35).

Os gases quentes da combustão aquecem, principalmente, o bloco do motor e saem em parte sem ser aproveitados pelo coletor de escapamento. O excesso de calor gerado pela queima do combustível no interior do motor é levado para o radiador pelo líquido do sistema de arrefecimento.

O sistema de arrefecimento tem como função garantir que a temperatura de serviço no interior do motor nunca ultrapasse um valor predeterminado, a fim de evitar o superaquecimento das peças e dos lubrificantes.



**Figura 4.35: Esquema do balanço térmico de um motor Diesel**

Fonte: Barger et al., 1966

#### 4.4.1 Tipos de subsistemas de refrigeração

Existem dois tipos comuns de subsistemas de arrefecimento: o “arrefecimento a ar” e o “arrefecimento a água”: bombeia-se um agente refrigerador líquido através do circuito de arrefecimento do bloco do motor. Existem alguns motores com arrefecimento direto ou arrefecimento forçado a ar. Nesses motores, o calor é expelido diretamente do motor pelo ar que o circunda. Se, por algum motivo, acontecer uma falha no sistema de arrefecimento do motor, ocorrerá um superaquecimento e, com isso, as peças do motor se dilatarão excessivamente, causando vários tipos de anomalias, principalmente o desgaste excessivo com maior rapidez.

Sabemos que os elementos naturais, ar e água, são excelentes dissipadores de calor e que com mecanismos simples e econômicos esses elementos conseguem trocar o calor com o meio exterior com facilidade.

##### 4.4.1.1 Arrefecimento a ar

Esse método apresenta uma grande simplicidade de execução e de manutenção. Os cilindros do motor (às vezes, também, o cárter) possuem aletas que aumentam a superfície de contato com o ar, permitindo melhor troca de calor com o meio.

Nos sistemas de ventilação natural, é o deslocamento do veículo que provoca a circulação de ar em volta dos cilindros, como nas motocicletas, por exemplo. A eficácia da refrigeração depende, portanto, da velocidade de deslocamento do veículo, será suficiente para velocidades normais e altas, porém, insuficiente quando o veículo estiver parado ou a plena potência.

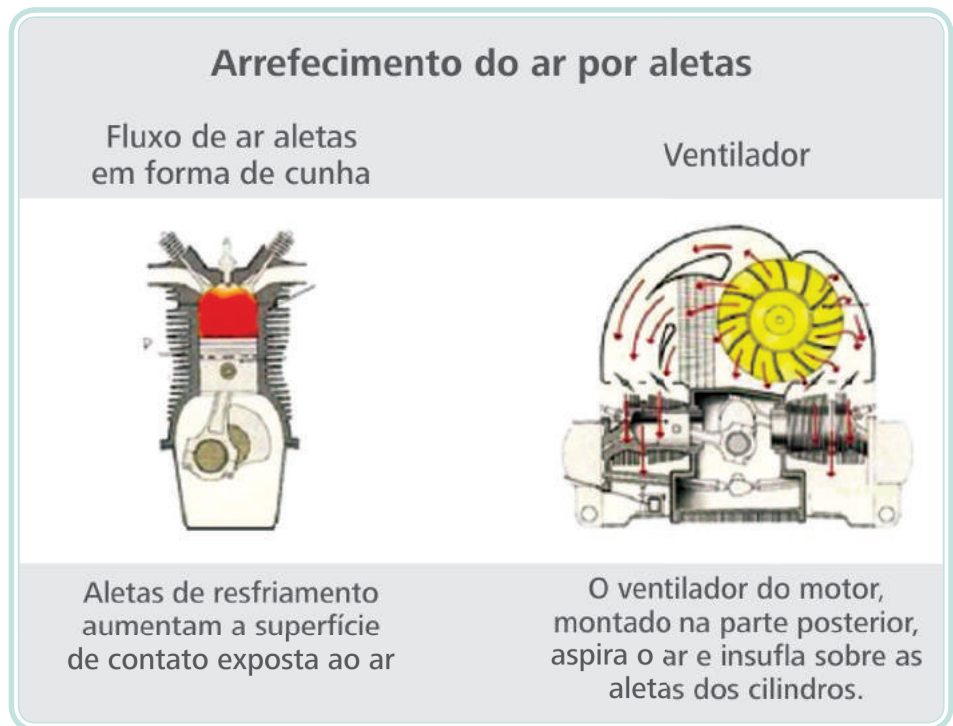
Os sistemas de ventilação forçada são compostos por um ventilador ou por uma turbina acionada pelo motor. Essa solução é necessária sempre que os cilindros do motor localizam-se no interior do veículo. O ar recalado pelo ventilador é conduzido por tubulações até às proximidades dos cilindros e dos cabeçotes. Em seguida, o ar sai para a atmosfera.

A ventilação forçada permite uma refrigeração suficiente em todas as condições de funcionamento do motor. Contudo, em condições climáticas desfavoráveis (frio), a ventilação é excessiva, e a refrigeração tende a levar o motor a funcionar a uma temperatura muito baixa. Corrige-se esse defeito pelo emprego de um obturador que limita a quantidade de ar aspirado. Este obturador pode ser acionado por um comando manual ou por um dispositivo termostático situado na corrente de ar quente que sai do motor.

O comando por termostato é automático, sendo colocado de modo a ser atingido pelo ar quente que vem dos cilindros. O calor provoca a dilatação do termostato que, por um comando mecânico, abre o obturador situado à entrada do ventilador.

Para controlar a temperatura de funcionamento de um motor de refrigeração a ar, coloca-se um termostato sobre o cárter ou no óleo de lubrificação.

De um modo geral, a refrigeração a ar faz com que o motor funcione a temperaturas muito variáveis. A ajustagem dos pistões, segmentos e válvulas exige folgas de dilatação suficientes e um óleo lubrificante de excelente qualidade.



**Figura 4.36: Refrigeração a ar nos motores**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

#### 4.4.1.2 Arrefecimento a água

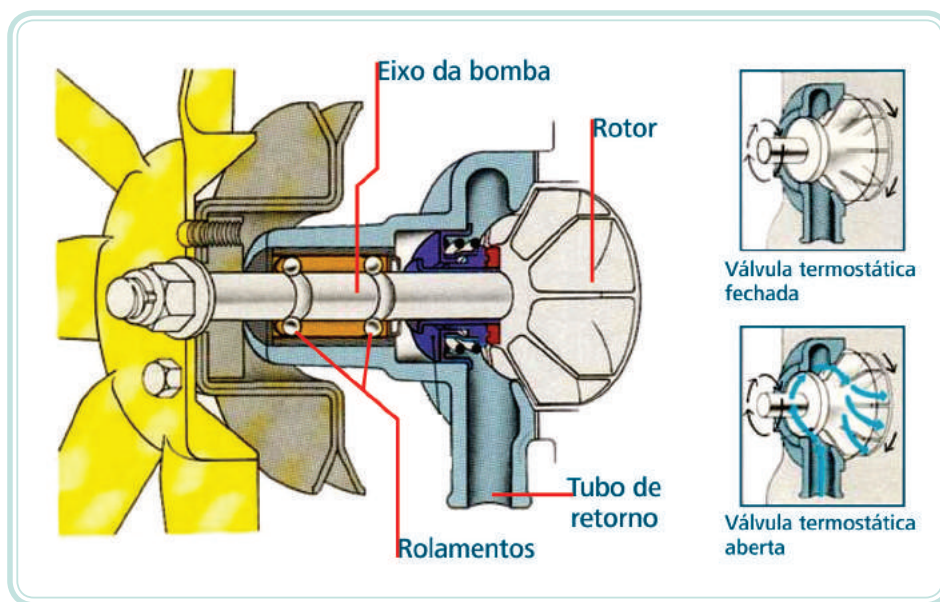
A água é utilizada como condutor de calor entre o motor e o ar atmosférico. O forte calor específico da água permite obter uma excelente refrigeração pelo simples contato com o exterior dos cilindros e do cabeçote. Desse fato, resulta uma maior estabilização da temperatura do motor e, conseqüentemente, condições de funcionamento mais regulares.

O arrefecimento a água compreende os seguintes elementos básicos:

- Bomba centrífuga de baixa pressão e alta vazão que recalca a água do radiador para o bloco do motor.
- Válvula termostática que atua como um dispositivo automático que permite normalizar rapidamente a temperatura do motor e a estabilização ideal de funcionamento do motor.
- Radiador cujo elemento de refrigeração tem a forma de um favo, tubular ou com tiras; a parte superior do radiador possui sempre uma saída de segurança chamada "registro". Essa saída limita a pressão na circulação quando, por aquecimento, o volume do líquido aumenta.

- Ventilador, que se destina a provocar uma intensa circulação de ar através do elemento de refrigeração do radiador.
- Câmara de água em volta dos cilindros, dos assentos das válvulas e dos cabeçotes. Essa câmara possui na sua parte inferior uma entrada de água fria e na parte superior uma saída de água quente; frequentemente, coloca-se um bujão de esvaziamento no local mais baixo da câmara de água.

Costuma-se colocar o ventilador e a bomba (Figura 4.37) sobre o mesmo eixo, a meia altura do sistema de refrigeração. Portanto, a bomba atua apenas como acelerador de circulação.



**Figura 4.37: Detalhe da bomba d'água do motor**

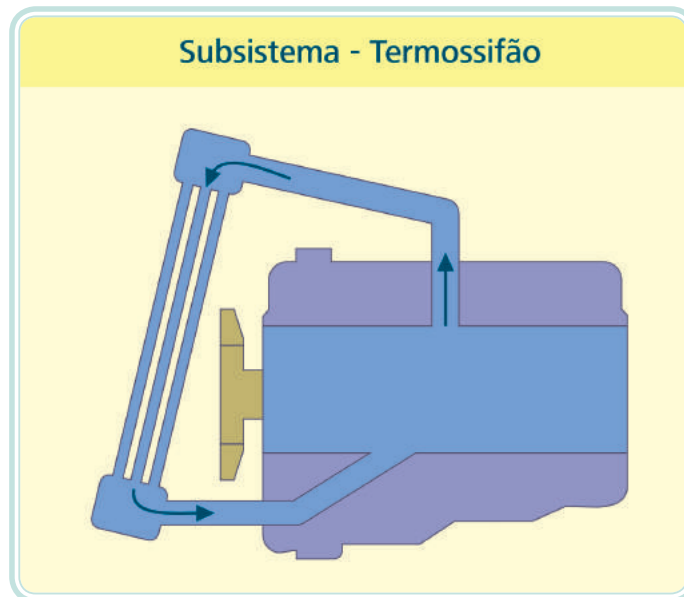
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

A tendência natural de circulação da água chamada de efeito termossifão, ocorre naturalmente. Quando é aquecida, fica mais leve e por si só procura o ponto mais alto do motor, subindo do bloco para o cabeçote, e em seguida, para o radiador (trocador de calor) por meio das mangueiras.

A bomba d'água é responsável pelo auxílio nesta circulação de água em todo o sistema de arrefecimento do motor. Seu acionamento é realizado pela árvore de manivelas por intermédio de correia ou engrenagens.

#### 4.4.1.3 Sistema de circulação forçada – por bomba

A circulação por bomba é mais rápida, resultando numa menor diferença de temperatura nas extremidades do radiador e menos riscos de congelamento no inverno. Contudo, quando se aciona o motor, a água fria entra imediatamente em circulação, e o aquecimento do motor é mais lento.



**Figura 4.38: Esquema do arrefecimento por termostato**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

A utilização, nesse caso, de um termostato ou de válvula termostática, freia e até interrompe a circulação de água, se a sua temperatura não for superior a 80°C. O termostato é, frequentemente, completado por uma passagem auxiliar que, no caso de estar fechado, permite que a água que sai do motor volte ao bloco de cilindros sem ter que passar pelo radiador. Assim, o aquecimento do motor é acelerado.

Em um motor de combustão interna, a refrigeração a água mantém uma temperatura de funcionamento mais regular que a refrigeração a ar. A temperatura das paredes do cilindro não ultrapassa a 120°C.

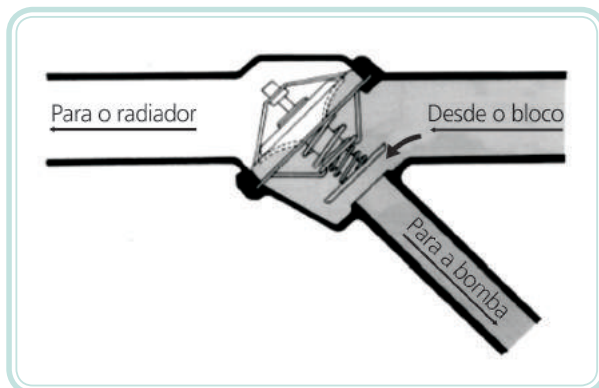
#### 4.4.2 Válvula termostática

A válvula termostática é um dispositivo automático, que tem a função de normalizar rapidamente a temperatura do motor e permitir a sua estabilização ideal durante todo o tempo de funcionamento, independentemente da carga do motor ou de fatores externos.

Quando a água do arrefecimento está fria, a válvula termostática impede sua circulação pela colmeia do radiador, permitindo somente sua circulação pelo interior do bloco e cabeçote do motor através da passagem de derivação para a bomba d'água, conforme apresenta a Figura 4.39.



Para saber mais sobre a função da válvula termostática, acesse: <http://www.clubedodiesel.com.br/?p=593>

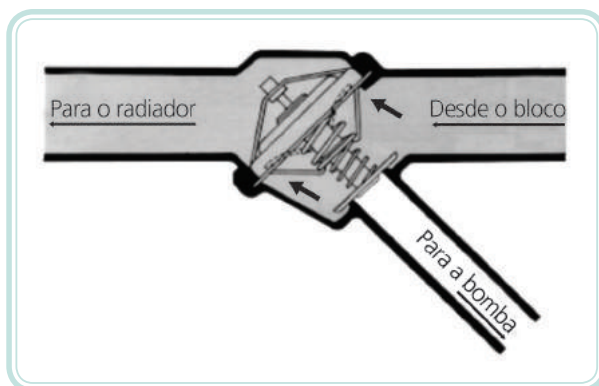


**Figura 4.39: Esquema de funcionamento da válvula termostática – fechada**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

Antes, porém, de a água de arrefecimento atingir a temperatura ideal, a válvula termostática permanece semiaberta, permitindo a passagem da água para o radiador e, ao mesmo tempo, diretamente para o bloco através da passagem de derivação para a bomba d'água, evitando-se dessa forma que aconteça um choque térmico no bloco do motor.

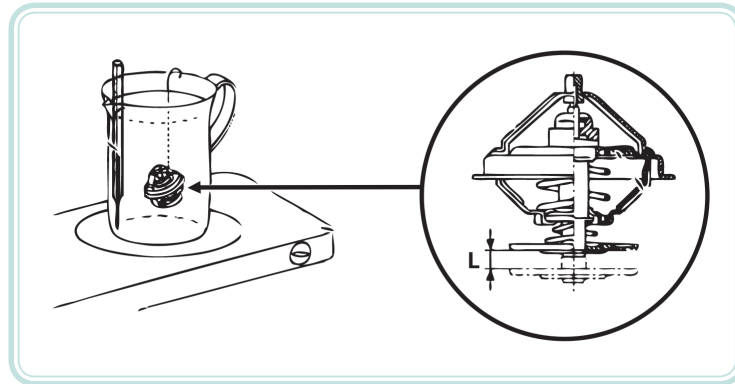
Atingida a temperatura normal de funcionamento para o motor, a válvula termostática abre a passagem para o radiador e fecha a passagem de derivação para a bomba d'água (Figura 4.40). Esta abertura se processa gradativamente, bem como o fechamento da derivação, evitando com isso variações bruscas de temperatura.



**Figura 4.40: Esquema de funcionamento da válvula termostática – aberta**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

**Verificação de funcionamento** – o procedimento de ensaio das condições funcionais da válvula termostática consiste em submetê-la a banho com água aquecida, observando-se que para diferentes valores de temperatura a válvula abre ou fecha seu registro, conforme mostra a Figura 4.41.

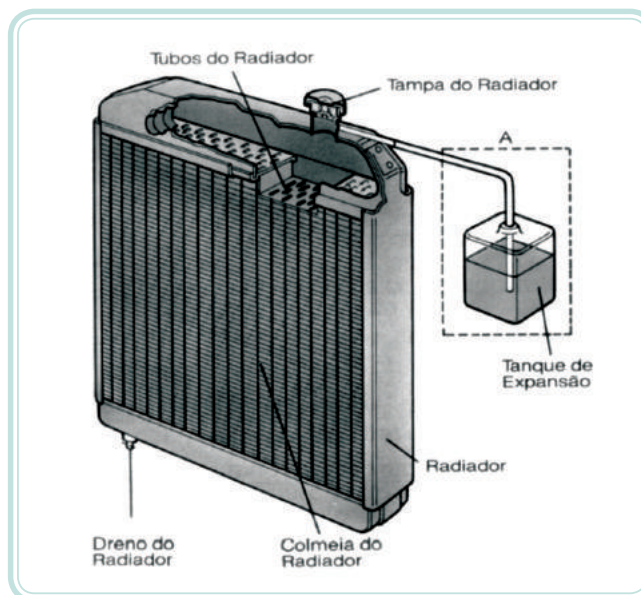


**Figura 4.41: Esquema de verificação do funcionamento da válvula termostática**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 4.4.3 Radiador

É o reservatório do fluido de arrefecimento, composto de aletas, conhecidas por colméias, que formam uma grande superfície de dissipação do calor (Figura 4.42).



**Figura 4.42: Radiador e seus componentes**

Fonte: MWM International, 2009

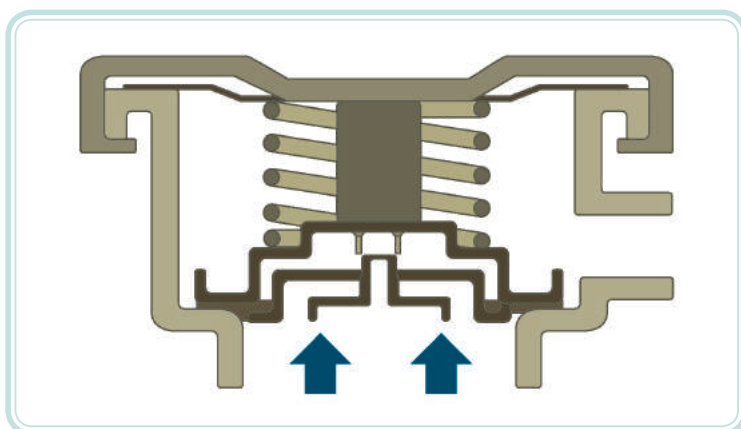
Outros elementos importantes do subsistema de arrefecimento é o tanque de expansão que atua como um reservatório incorporado ao sistema de



arrefecimento cuja finalidade é de receber o volume de água proveniente da expansão pelo aquecimento e de reintegrar este fluido ao sistema, quando da contração do volume pelo seu resfriamento. A tampa do radiador, a qual tem a função de pressurizar a água do sistema de arrefecimento para:

- Retardar o ponto de ebulição (ponto de fervura).
- Reduzir as perdas pela evaporação.
- Evitar o fenômeno da cavitação.

A tampa do radiador possui dois elementos de válvulas. Um maior e outro menor: o maior limita a pressão formada pelo aquecimento da água, e o menor localizado no centro da tampa, limita a depressão que se forma com o esfriamento da água (exemplo: uma parada prolongada do motor após um período de funcionamento).



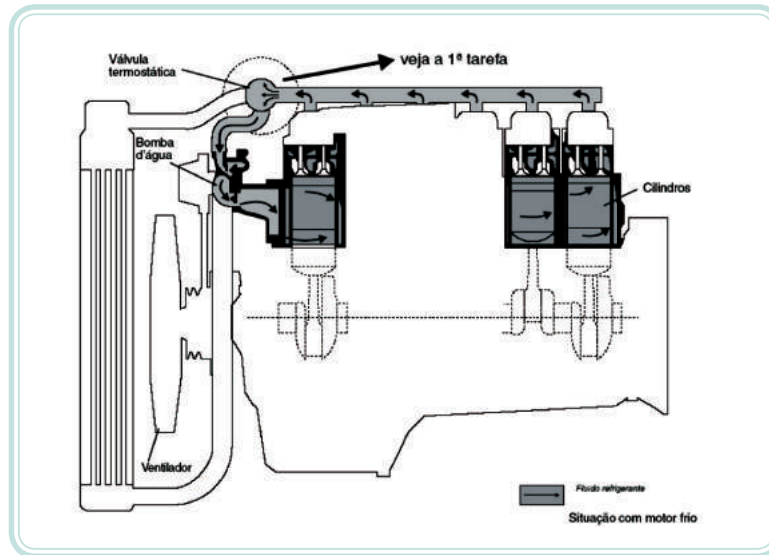
**Figura 4.43: Tampa do radiador**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

As Figuras 4.44 e 4.45 apresentam o esquema de circulação do fluido de arrefecimento nas condições de temperatura do motor e os elementos funcionais que operam o sistema nas duas tarefas as quais a válvula termostática se propõe.

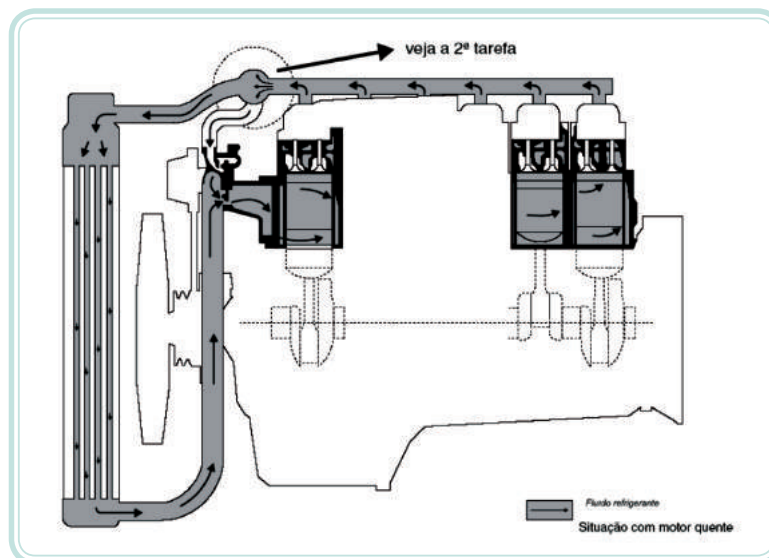
1ª tarefa – inicia-se com o funcionamento do motor, quando a válvula termostática encontra-se fechada, na condição de motor frio.

2ª tarefa – quando a válvula termostática encontra-se aberta, promovendo a refrigeração do motor em operação.



**Figura 4.44: Movimento do fluido refrigerante com motor frio**

Fonte: MWM International, 2009

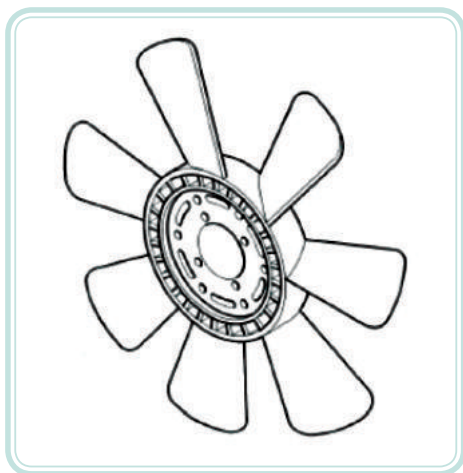


**Figura 4.45: Movimento do fluido refrigerante com motor quente**

Fonte: MWM International, 2009

#### 4.4.4 Ventilador

É um componente importante que faz parte do radiador. Sua atuação é de manter o fluxo de ar em forma espiral, forçando a passagem desse ar impulsionado pelas pás através das aletas do radiador, acelerando o processo de troca de calor. O acionamento pode ser através de polia e correia com sincronismo do virabrequim ou motor elétrico independente.



**Figura 4.46: Ventilador**

Fonte: MWM International, 2009

### 4.4.5 Anticongelantes

Para evitar que no inverno a água congele, junta-se a ela álcool ou glicerina pura. O álcool dilui-se facilmente; a mistura permanece homogênea, mas como o álcool se evapora mais facilmente que a água, deve-se verificar a sua proporção periodicamente.

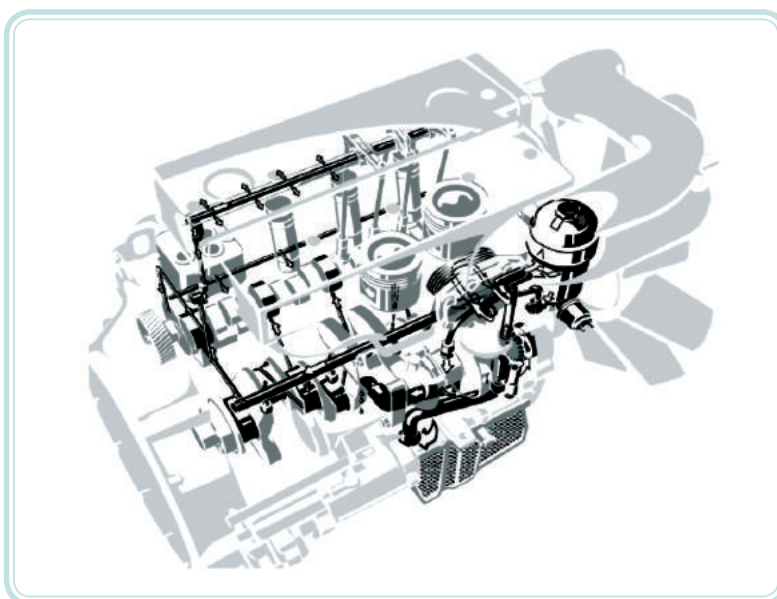
A resistência ao frio depende da quantidade de álcool ou de glicerina que se adiciona à água.

O acionamento de um motor cuja temperatura está baixa, próxima de 0°C, apresenta certas dificuldades e alguns perigos. Se não houver lubrificação, o metal mais frágil poderá sofrer, sob o efeito de choques, um começo de ruptura pelo atrito frio (molas de válvulas, etc.).

## 4.5 Sistema de lubrificação

As peças móveis do motor submetidas ao atrito geram calor e desgastes, necessitando continuamente de lubrificantes entre as superfícies de contato. O calor e desgaste gerados provocam temperaturas elevadas que podem fundir as peças uma nas outras.

A primeira função dos lubrificantes, os óleos minerais ou sintéticos, é o de lubrificar esses componentes, ou seja, manter uma película de óleo lubrificante entre essas peças para dissipar o calor, vedar, limpar, reduzir o ruído do motor e remover as partículas geradas pelo desgaste nos locais de atrito, mantendo-as em suspensão.



**Figura 4.47: Esquema de circulação do óleo lubrificante**

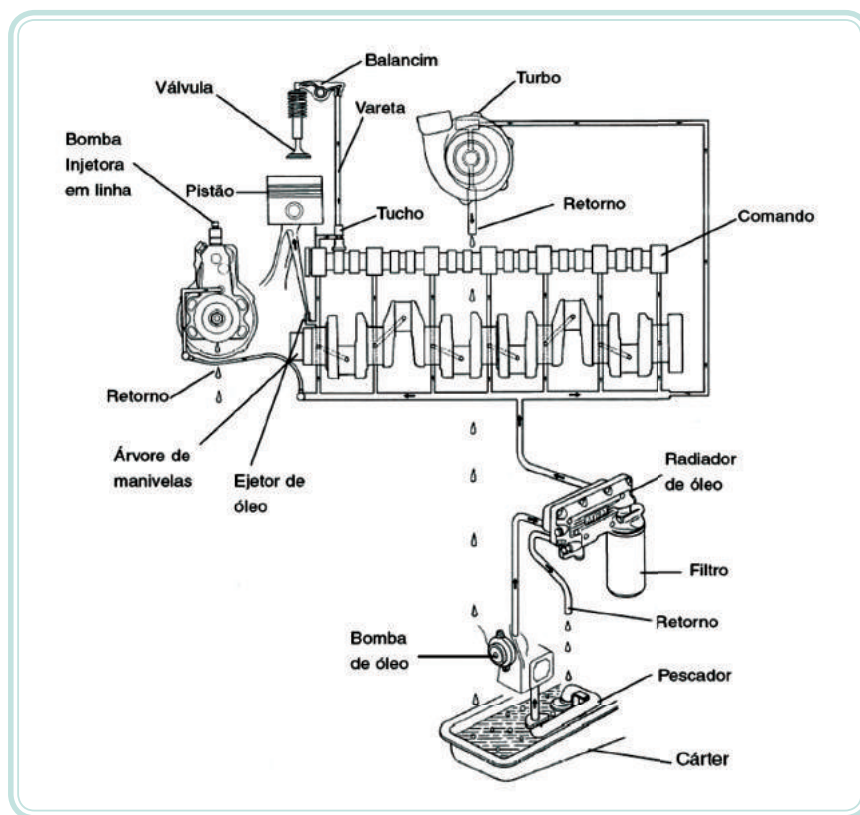
Fonte: MWM International, 2009

Em função das exigências dos óleos lubrificantes, bem como seus incrementos determina-se o período de troca, pois cada vez mais são utilizados óleos sintéticos ou semissintéticos e de aditivação.

Os aditivos são classificados de acordo com as funções que desempenham:

- **Antioxidantes** – agem quimicamente com o oxigênio, evitando a oxidação dos metais.
- **Detergentes** – reduzem a formação de placas e depósitos.
- **Dispersantes** – impedem a aglomeração de borras.
- **Viscosidades maiores** – proporcionam menor sensibilidade às mudanças de temperatura.
- **Inibidores da corrosão ou anticorrosivos** – reduzem o desenvolvimento de substâncias ácidas.
- **Antiespumantes** – reduzem a espessura das bolhas de espuma, eliminando-as.
- **Modificadores de fricção ou antidesgastantes** – formam uma camada de proteção nas superfícies metálicas.

O sistema de lubrificação é composto por uma bomba que succiona o óleo do reservatório, pelo cárter, através do elemento pescador que o bombeia para a galeria principal do motor. Em motores turboalimentados, o óleo passa pelo trocador de calor onde é resfriado e direcionado aos filtros. Após a passagem pelos elementos filtrantes é encaminhado às demais partes do motor: mancais, cabeçote, balancins, etc.

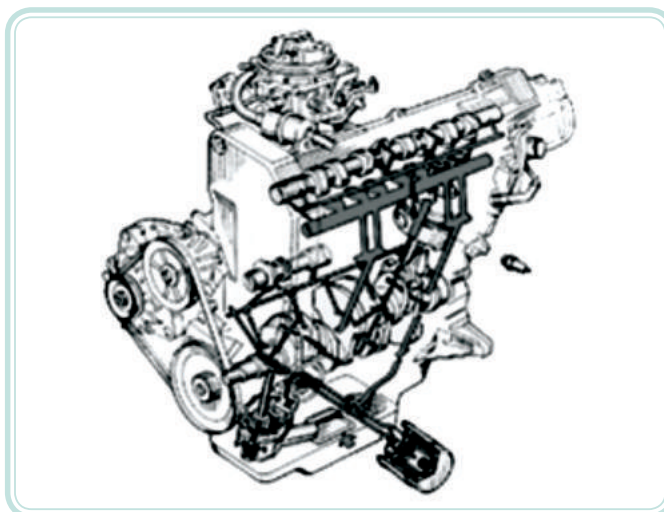


**Figura 4.48: Esquema de lubrificação do motor**

Fonte: MWM International, 2009

A bomba de óleo do motor faz circular sob pressão o óleo lubrificante, levando-o para todos os pontos que requerem lubrificação, através de galerias existentes no bloco e cabeçote do motor. Os cilindros são lubrificados pelo óleo que extravasa dos colos das bielas e mancais. As hastes das válvulas, as articulações esféricas das varetas de acionamento dos balancins, os tuchos, as engrenagens da distribuição também são lubrificados pelo óleo vazado dos mancais, os quais são lubrificados sob pressão.

O sistema de lubrificação insere o lubrificante entre as partes metálicas móveis do motor, para diminuir o atrito e dilatações excessivas entre elas.

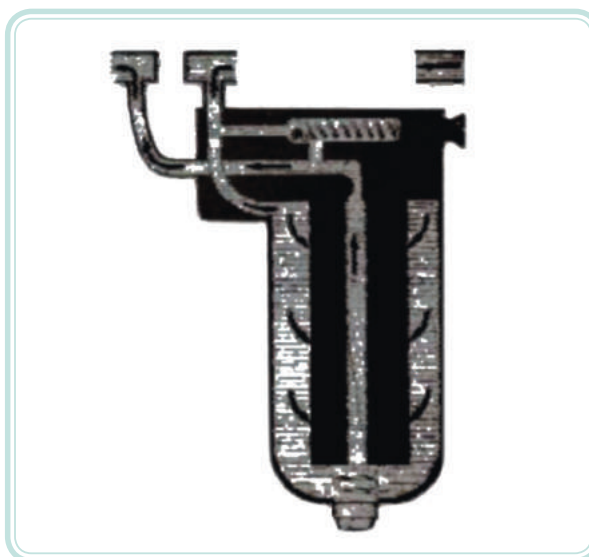


**Figura 4.49: Galerias do óleo lubrificante**

Fonte: Fram, 2003

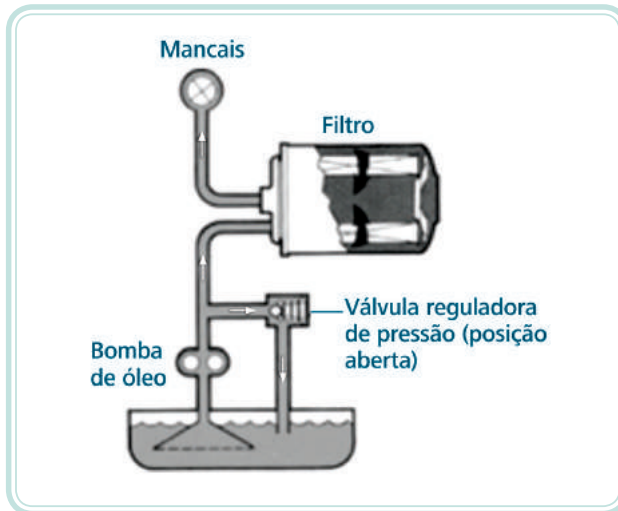
A lubrificação protege os componentes contra corrosão e melhora a vedação entre os pistões e os cilindros, além de refrigerar as superfícies em contato.

Todo óleo destinado à lubrificação do motor é forçado a passar por um sistema de filtragem no qual são retidas as partículas existentes. Em casos de obstrução do elemento filtrante do tipo cartucho de papel especial, uma válvula de segurança intercalada no circuito abre-se e permite a passagem do óleo para lubrificar o motor, porém com óleo não filtrado.



**Figura 4.50: Esquema de funcionamento do filtro de óleo lubrificante**

Fonte: Fram, 2003



**Figura 4.51: Diagrama básico de lubrificação**

Fonte: Fram, 2003

O filtro de óleo é posicionado após a saída da bomba de óleo, para que as impurezas sejam retidas pelo elemento filtrante antes da passagem do óleo lubrificante para o motor.

### 4.5.1 Composição dos filtros do óleo lubrificante

O filtro do óleo é constituído de carcaça e papel especial. A carcaça é fabricada em chapa de aço, oferecendo grande resistência a pressões internas.

Já o papel especial é tratado, resinado, corrugado e plissado homogeneamente, proporcionando alta eficiência na retenção dos contaminantes e baixa restrição ao fluxo do óleo.



**Figura 4.52: Detalhe do elemento filtrante**

Fonte: Fram, 2003

Os filtros lubrificantes devem atender às funções de reter todos os contaminantes que possam causar danos ao perfeito funcionamento do motor, mantendo as características de estrutura do óleo, uniformidade de circulação e eficiência no período de uso pelo motor e oferecendo proteção máxima para os motores.

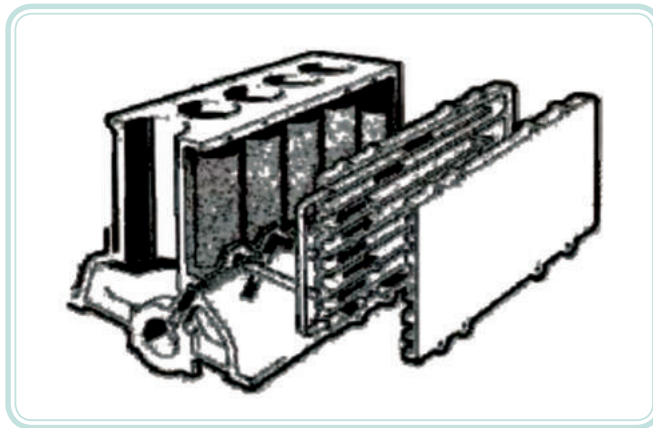
Os contaminantes contidos no sistema de lubrificação, principalmente os abrasivos (metais), provenientes do atrito das partes móveis do motor e da decomposição química que permanecem em suspensão no óleo lubrificante e do carbono resultante da queima do combustível que causa o desgaste prematuro, reduzindo a vida útil do motor.



Para saber mais sobre trocador de calor, acesse: <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema074/trocador/index.htm>

### 4.5.2 Trocador de calor

O trocador de calor ou intercambiador de calor é um dispositivo que permite manter o óleo lubrificante na temperatura ideal de trabalho, independentemente da carga do motor ou de fatores externos. Fluindo por um sistema de canais em contato com o circuito de água do sistema de arrefecimento, o óleo lubrificante é aquecido rapidamente nas partidas e arrefecido durante o serviço contínuo.



**Figura 4.53: Esquema de arrefecimento do óleo lubrificante**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

### 4.5.3 Sistemas de lubrificação tradicionais

Os sistemas de lubrificação tradicionais admitem as seguintes características inerentes ao seu projeto:

- a) **Salpico** – a bomba de óleo alimenta as cubas colocadas perto da passagem de cada biela; estas são munidas de uma colher (pescador) que apanha o óleo que passa pela cuba; por inércia, o óleo penetra em seguida na biela e lubrifica o moente. Os mancais são diretamente alimentados por tubos que saem do coletor principal. Com a lubrificação por salpico, a pressão fornecida pela bomba é pouco elevada, de 0,1 a 0,4 kg/cm<sup>2</sup>. O manômetro é graduado em metros de coluna de água (1 a 4 mca). Para facilitar a lubrificação, bielas e mancais devem possuir grandes ranhuras de circulação.



- b) Pressão** – o virabrequim possui condutos especiais. O óleo chega aos mancais sob pressão, e daí é canalizado até aos moentes para lubrificar as bielas. Os mancais e as bielas não possuem ranhuras de lubrificação, exceto algumas câmaras de óleo curtas que não desembocam no exterior. A pressão de lubrificação é de 1 a 3 kg/cm<sup>2</sup>. Essa pressão impulsiona o óleo como uma cunha entre as superfícies a lubrificar, realizando o atrito fluido. Frequentemente, a cabeça da biela é munida de um pequeno orifício dirigido ao cilindro e destinado a lubrificar o pistão. Em alguns casos, uma canalização ao longo da biela permite, igualmente, assegurar uma melhor lubrificação do eixo do pistão.
- c) Projeção** – esta disposição compreende a lubrificação sob pressão de todos os mancais e a lubrificação das bielas por um jato de óleo. Cada biela tem uma colher. A rotação contra o jato intensifica a penetração de óleo no interior da biela. Por outro lado, o jato de óleo sobre toda a cabeça da biela favorece a sua refrigeração. A pressão de lubrificação é de 1 a 3 kg/cm<sup>2</sup>. Nos motores de pouca cilindrada, a lubrificação por projeção é simplificada. O virabrequim aciona uma roda munida de palhetas. Esta roda está semissubmersa no óleo do cárter e sua orientação faz com que ela projete o óleo diretamente sobre a biela e no cilindro.
- d) Mistura** – o óleo é misturado com o combustível e penetra no motor proporcionalmente ao seu consumo. Esse sistema de lubrificação não é apropriado aos motores a 2 tempos que funcionam com pré-compressão no cárter. A proporção do lubrificante em relação ao combustível é, geralmente, de 5%. Uma quantidade mais elevada leva a um entupimento das câmaras de explosão e de escape, assim como a um empobrecimento da carburação.
- e) Cárter seco** – neste sistema de lubrificação, o óleo é contido num reservatório independente. Uma bomba leva o óleo do reservatório ao motor, introduzindo-o com pressão nos elementos a lubrificar. Uma segunda bomba, chamada bomba de retorno, aspira o óleo que tende a acumular-se no fundo do cárter e remete-o ao reservatório.

Seja qual for o sistema, a lubrificação dos cilindros é assegurada, unicamente, pelo óleo projetado pelas bielas em rotação. Quando se põe o motor frio em funcionamento, o óleo circula com dificuldade, e a lubrificação dos cilindros é insuficiente, por isso justifica o aquecimento do motor em baixa rotação. Em motores de lubrificação sob pressão, não circula nenhum óleo nos primeiros

minutos de funcionamento. O salpico e a projeção efetuam com maior rapidez essa lubrificação dos cilindros.

Além das questões relativas à lubrificação, a circulação de óleo deve garantir a refrigeração das bielas e do virabrequim. Partindo do reservatório com aproximadamente 50°C, o óleo, em aquecimento pleno do motor, atinge de 80 a 120°C quando passa pelas bielas.

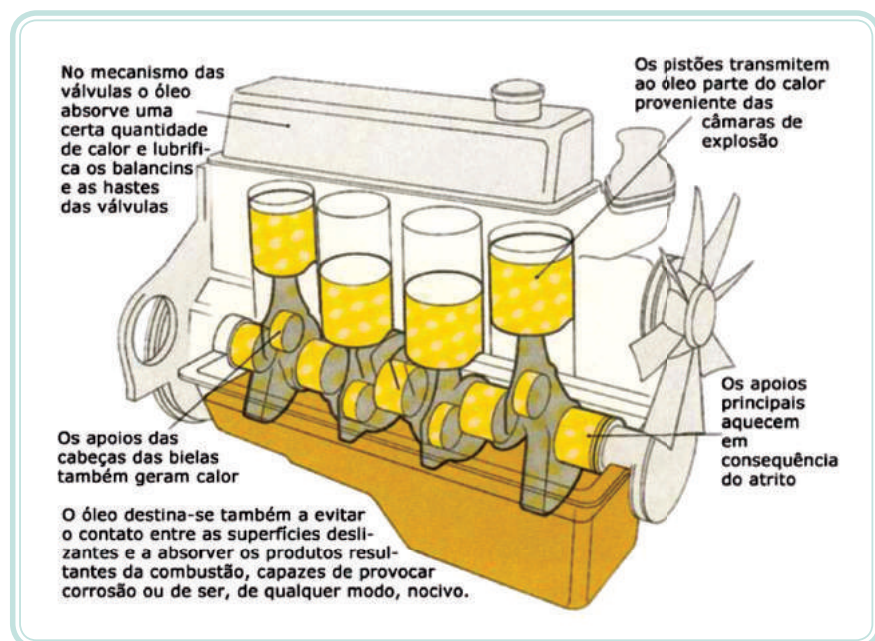
Em motores novos ou ajustados, as folgas estão no seu mínimo. O óleo circula com mais dificuldade e, portanto, refrigera mal as peças, havendo maior risco de gripagem ou de fusão do metal antifricção por falta de lubrificação.



Pesquise mais sobre sistema de lubrificação dos motores de combustão interna, acessando o material complementar no seguinte link:  
[http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154\\_motores\\_e\\_tratores/motores/apresenta/sistema%20de%20lubrificacao.pdf](http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/motores/apresenta/sistema%20de%20lubrificacao.pdf)

Assista ao vídeo "Sistema de Lubrificação de Motores Diesel" em:  
<http://www.youtube.com/watch?v=Oiv3lxUuZys>

<http://carros.hsw.uol.com.br/motores-de-carros2.htm>



**Figura 4.54: Esquema de lubrificação dos motores**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

#### 4.5.4 Atritos – no sistema de lubrificação

Quando duas superfícies de contato se deslocam uma em relação à outra, ocorre o fenômeno de atrito que pode ser classificado segundo três tipos:

- **Atrito seco** – em que as superfícies estão em contato sem a interposição de lubrificante.
- **Atrito úmido** – em que uma pequena película de lubrificante favorece a fricção sem impedir que as superfícies entrem em contato pela crista das suas rugosidades.

- **Atrito líquido** – em que a película de lubrificante é contínua e homogênea, impedindo, assim, que as duas superfícies entrem em contato.

Todas as peças em movimento de um motor de combustão interna devem ser lubrificadas de modo a permitirem um atrito líquido (desgaste mínimo). Contudo, na prática, não é exatamente este o resultado que se alcança. Sob a pressão das peças, o óleo é expulso, a película desgasta-se e as superfícies entram em contato acontecendo o atrito úmido.

A passagem do atrito líquido ao atrito úmido é tanto mais fácil quanto maiores forem as pressões e as temperaturas e quanto pior for a qualidade do óleo lubrificante.

### 4.5.5 Óleos lubrificantes

Os óleos destinados à lubrificação dos motores de combustão interna devem possuir certo número de qualidades perfeitamente determinadas.

Os óleos lubrificantes dos motores podem ser constituídos de uma base mineral ou sintética com a adição de aditivos. Sob o ponto de vista prático, eles são caracterizados principalmente pela sua viscosidade, seu ponto de combustão e seu ponto de congelamento.

A viscosidade caracteriza as particularidades de escoamento do óleo. Pode-se medir por diferentes métodos, fazendo parte de cada um deles um sistema de unidades. O método Engler é o mais comumente utilizado. O escoamento de certa quantidade de óleo por um orifício de pequeno diâmetro é comparado ao escoamento de uma mesma quantidade de água. A relação dos tempos de escoamento é obtida em graus Engler, relativa à viscosidade do óleo. Por exemplo, um escoamento seis vezes mais lento que o da água é designado por 6° Engler.

Pode-se exprimir a viscosidade por centistock (1/100 de stock). É a viscosidade física absoluta do lubrificante, isto é, a resistência real do deslocamento das suas moléculas, umas em relação às outras. Determina-se a viscosidade medindo a força necessária para fazer deslocar de 1 cm, no seio do lubrificante, uma superfície de 1 cm<sup>2</sup>, à velocidade de 1 cm/seg. Para fazer essa medida, usa-se, também, a massa específica do lubrificante utilizado.

Esse método de medição da viscosidade pode ser utilizado para todos os lubrificantes, desde os óleos mais líquidos às graxas mais consistentes.

A viscosidade de um óleo modifica-se com a temperatura. Quanto mais quente está o óleo, menor é a viscosidade.

A principal qualidade de um óleo deve ser a de que a sua viscosidade seja ainda suficiente para assegurar um atrito líquido a temperaturas de funcionamento das peças do motor de 80 a 150°C. Com um óleo de qualidade inferior, a viscosidade diminui a tal ponto, que o motor só trabalha a atritos úmidos (desgaste rápido).

O ponto de combustão é a temperatura em que o óleo emite vapores suscetíveis de serem inflamados. Ele deve ser o mais elevado possível, de modo a evitar as fugas por vaporização ao contato com as partes inferiores do pistão do motor quente. A temperatura de combustão é, geralmente, superior a 220°C para os óleos finos e ultrapassa 250°C para os óleos espessos.

O ponto de congelamento é a temperatura em que o óleo não escorre mais de uma proveta quando esta é inclinada. O ponto de congelamento deve ser o mais baixo possível, de modo a facilitar que o motor entre em movimento depois de tempo prolongado sob temperaturas muito baixas.

As diferentes estruturas moleculares dos óleos lhe dão algumas qualidades particulares que influenciam o seu comportamento no motor. A qualidade de aderir a superfícies metálicas é denominada de **adesividade**. Essa qualidade favorece a formação de uma película lubrificante e se mantém contínua, mesmo em presença de cargas fortes. Em alguns casos, a adesividade e a viscosidade são paralelas.

A uma viscosidade mais elevada corresponde uma maior adesividade. Mas, a uma viscosidade igual, a adesividade pode ser diferente, conforme a estrutura molecular de cada lubrificante.

De modo geral, os óleos destinados aos motores de combustão interna são de origem mineral. Esses óleos possuem uma grande estabilidade química, contudo, o seu poder lubrificante diminui rapidamente acima dos 120°C. O uso de óleos lubrificantes de origem vegetal, principalmente extraído do rícino (mamona), assegura melhor lubrificação a temperaturas elevadas, mas a sua estabilidade química é pequena, dando origem ao aparecimento de ácidos orgânicos não aconselháveis às partes internas do motor.

A-Z

**adesividade**

Propriedade que um corpo tem de aderir a outro.

<http://www.dicio.com.br/adesividade/>

Atualmente, adicionam-se elementos químicos apropriados, como os aditivos, que podem melhorar a qualidade dos óleos no momento da sua utilização.

Os aditivos podem ser diretamente adicionados ao óleo na sua fabricação. Nesse caso, recebem o nome de óleos aditivos, designados comumente por óleos HD (*Heavy Duty*). Os óleos HD são vendidos no mercado sob diversas designações, dependendo da proporção de aditivos que eles contêm.

O aperfeiçoamento progressivo dos óleos minerais destinados aos motores de combustão interna deu origem ao aparecimento de óleos de todas as estações ou de multiviscosos. Esses óleos são, em geral, formados por vários óleos de base com estruturas moleculares diferentes, aos quais foram adicionados os aditivos habituais dos óleos HD.

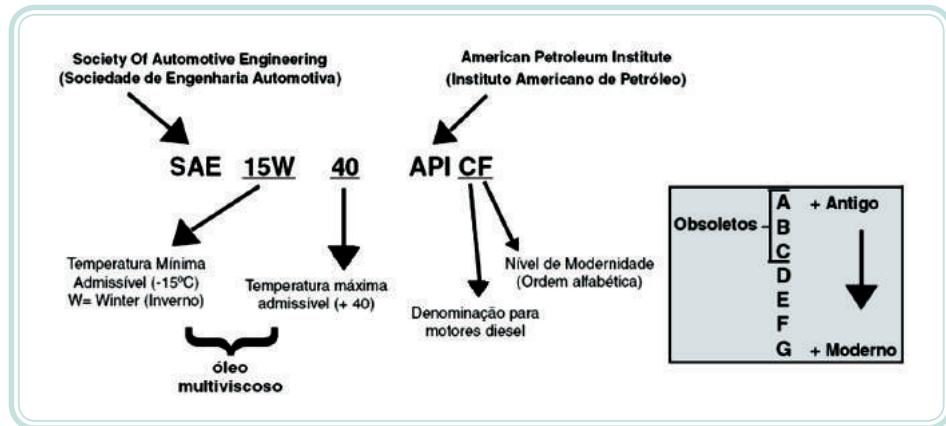
#### 4.5.6 Classificação geral dos óleos

Por muito tempo os óleos foram classificados apenas sob o aspecto da sua viscosidade, medida à temperatura de 50°C (323 K). O Quadro 4.1 especifica as designações, os grupos S.A.E. (*Society of Automotive Engineering*) e as viscosidades correspondentes.

Quadro 4.1: Classificação geral dos óleos lubrificantes			
Designações	Grupo	Viscosidade média a 323 K	
		graus Engler	graus centistock
Muito fluido	S.A.E. 5	2.0 a 2.3°	12 a 15°
	S.A.E. 10	2.3 a 3.3°	15 a 24°
Fluido	S.A.E. 20	3.3 a 6.6°	24 a 50°
	S.A.E. 30	6.6 a 9.7°	50 a 74°
Viscoso	S.A.E. 40	9.7 a 14.0°	74 a 107°
	S.A.E. 50	14.0 a 21.0°	107 a 160°

Fonte: Rahde

Atualmente, tende-se classificar os óleos conforme o gênero de trabalho exigido do motor, isto é, conforme a espécie de serviço a que este é submetido, conforme se observa na Figura 4.55, que corresponde ao sistema de classificação de tipos de óleos.



**Figura 4.55: Sistema de classificação de tipos de óleos**

Fonte: MWM International, 2009

### 4.5.7 Particularidades dos óleos aditivos

Como a composição dos óleos aditivos varia conforme o fabricante é fundamental não misturar óleos HD de proveniências diferentes, a fim de evitar o comprometimento de sua estabilidade.

Por outro lado, o poder detergente confere ao óleo uma propriedade de penetração muito grande. Essa propriedade faz com que seja mais difícil efetuar a vedação do motor e provoca mais facilmente a subida de óleo nas câmaras de combustão, o que pode resultar num pequeno aumento de consumo de lubrificante.

Em um motor usado, a introdução de óleo aditivo origina a dissolução dos depósitos. Os elementos móveis e, em particular, os anéis de compressão trabalham mais livremente. Desse fato resulta uma melhoria da compressão e da potência, mas frequentemente a marcha do motor é um pouco mais ruidosa.

A introdução de um óleo aditivo altamente detergente em um motor que anteriormente já funcionou com óleo comum apresenta certos riscos. O óleo aditivo provoca o desprendimento dos depósitos de carvão internos. Esses depósitos, de volume apreciável, não se dissolvem totalmente no óleo, acumulando-se no fundo do cárter, nos filtros e nos condutos de lubrificação onde sua presença pode criar graves incidentes.

### 4.5.8 Óleos multiviscosos

Os óleos multiviscosos abrangem uma categoria de lubrificantes atuais que apresentam uma pequena variação de viscosidade em relação às variações da sua temperatura. A frio, por exemplo, um óleo multiviscoso possui a mesma

viscosidade de óleos comuns S.A.E. 10, enquanto a quente, sua viscosidade é idêntica a dos óleos grupo S.A.E. 30. Obtém-se essa característica por meio de uma mistura apropriada de vários óleos de base.

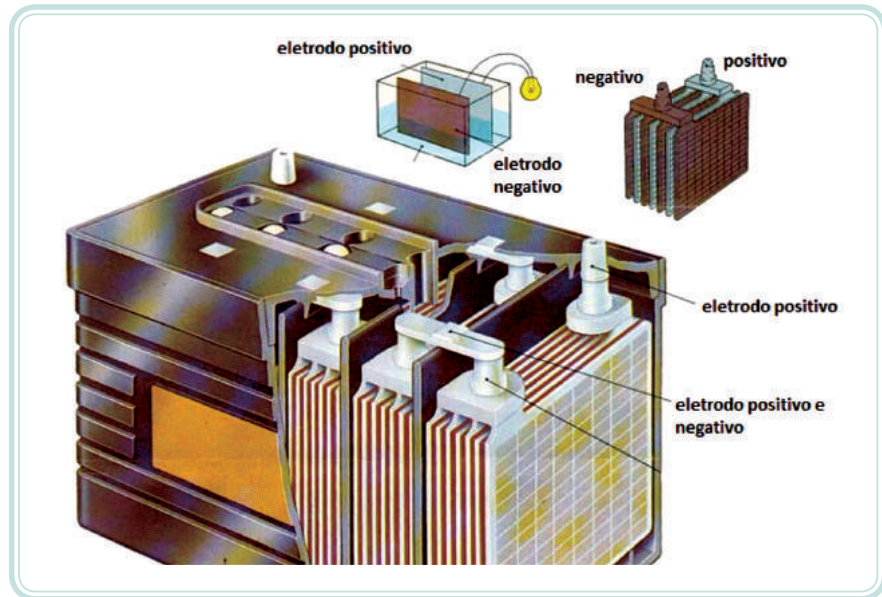
Os óleos multiviscosos asseguram uma lubrificação correta em todas as condições de funcionamento do motor e independem das condições climáticas. São munidos de aditivos habituais dos óleos H.D. e requerem as mesmas precauções quanto a sua utilização. As vantagens principais que apresentam são as de assegurar excelentes condições para partida a frio, uma lubrificação imediata no momento do acionamento, conservando um poder lubrificante a alta temperatura.

## 4.6 Sistema elétrico

O sistema elétrico dos motores é composto pela bateria que se comporta como um acumulador de energia elétrica, considerada o principal elemento desse sistema; motor de partida ou arranque, é o componente que tem a função de iniciar o movimento do motor; alternador, que transforma parte da energia produzida pelo motor em energia elétrica para atender à demanda de consumo dos dispositivos elétricos consumidores e manter a carga da bateria; cabos condutores, que interligam eletricamente os componentes do sistema elétrico; quadro de fusíveis, que se caracteriza por garantir que cargas elétricas excessivas não danifiquem os componentes e acessórios consumidores; dispositivos elétricos consumidores, que possuem funções múltiplas (dependendo da aplicação podem ser enquadrados como sensores eletrônicos que atuam, principalmente, como variadores de potência, registradores de consumo, monitores de funções: pressão, temperatura, ajustes, etc., como também, dizem respeito aos faróis, lanternas, buzina, sinalizadores, controladores e monitoramento eletrônicos).



Saiba mais sobre motor de partida, acessando:  
[http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/eletrica/mot\\_partida.htm](http://www.bosch.com.br/br/autopecas/produtos/eletrica/mot_partida.htm)

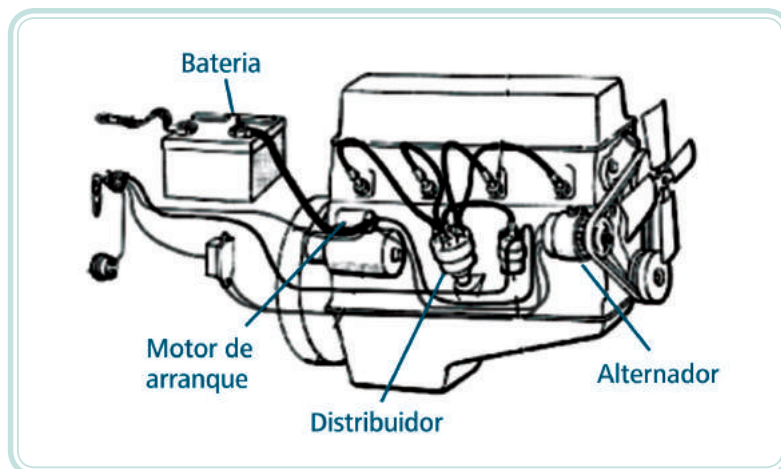


**Figura 4.56: Bateria**

Fonte: Bosch, 2010

### 4.6.1 Sistema de partida dos motores de combustão interna

No momento do acionamento da chave, a bateria emite sinal ao motor de partida ou motor de arranque. Um pinhão na extremidade do motor de partida desliza sobre a cremalheira do volante do motor, iniciando-se o funcionamento do motor. Através de polias e correia o motor faz funcionar o gerador (alternador) que, por sua vez, mantém a carga da bateria estável.



**Figura 4.57: Esquema da rede elétrica do motor**

Fonte: Bosch, 2010



## 4.6.2 Motor do ciclo Otto – ignição por centelha

Para obter a centelha de ignição no momento exato em que deverá ocorrer a combustão da mistura ar mais combustível, os motores de ciclo Otto dispõem de um sistema de ignição composto por:

- **Bateria** – que transforma energia química em energia elétrica e armazena a energia elétrica gerada pelo alternador.
- **Chave de ignição** – interrompe ou não a passagem da corrente elétrica para a bobina.
- **Bobina de ignição** – possui um circuito primário e um secundária que, a partir de uma baixa tensão, geralmente 12 V, induz uma alta tensão, da ordem de 20.000 V, que será distribuída para as velas de ignição.
- **Distribuidor** – recebe a alta tensão da bobina e a distribui através do motor para os cilindros (velas de ignição).
- **Vela de ignição** – emite a centelha elétrica na cabeça do pistão no momento da combustão.
- **Ignição elétrica** – transforma a corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA).

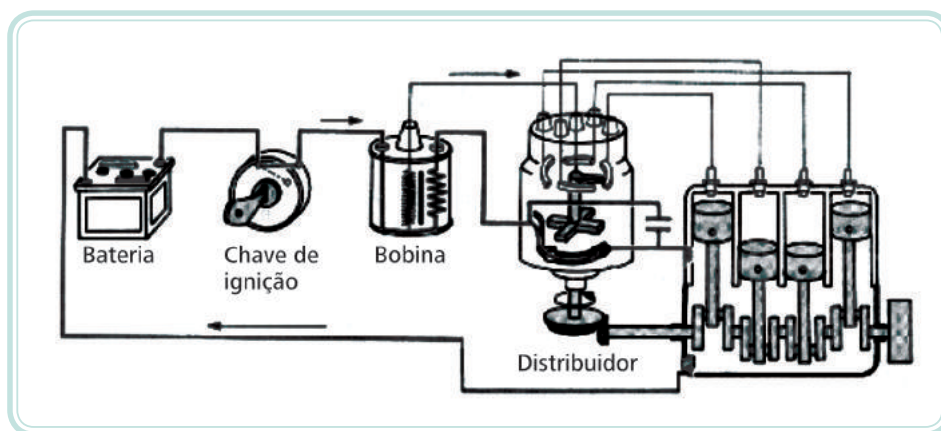


Figura 4.58: Esquema de distribuição de energia ao motor

Fonte: Bosch, 2010

### 4.6.3 Motor do ciclo Diesel – ignição por compressão

O motor do ciclo Diesel se diferencia dos demais pelo simples fato de não apresentar vela de ignição e distribuidor de energia, o que reduz significativamente o uso do acionamento elétrico. Entretanto, os demais componentes são importantes e necessários para o bom funcionamento do motor.

### Resumo

Estudamos nesta aula a identificação dos principais sistemas complementares: ar, arrefecimento, lubrificação, combustível e elétrico que auxiliam no processo de funcionamento, especificamente como auxiliares na transformação da energia contida nos combustíveis em energia mecânica nos motores de combustão interna.



### Atividades de aprendizagem

1. Qual é o dispositivo automático pertencente ao sistema de arrefecimento, que tem a função de normalizar rapidamente a temperatura do motor?
2. Qual é a função do tanque de expansão no sistema de arrefecimento do motor?
3. No que consiste o mecanismo básico de injeção bomba-tubo-bico?
4. O que diferencia um filtro a banho de óleo de um filtro seco utilizado nos motores?
5. Qual é a função da bomba injetora nos motores de ciclo Diesel?

# Aula 5 – Princípio de funcionamento dos motores de combustão interna

## Objetivos

Compreender os processos que regem os ciclos termodinâmicos através do ciclo de Carnot.

Identificar os motores segundo o ciclo de funcionamento Otto e Diesel.

Compreender as fases dos tempos de funcionamento dos motores e o processo de combustão.

## 5.1 Ciclos termodinâmicos

O funcionamento dos motores de combustão interna se realiza em ciclos denominados ciclos termodinâmicos, no qual se distinguem quatro fases ou quatros tempos: admissão, compressão, explosão/expansão e escape.

Conceitualmente, ciclo é uma série de processos que ocorrem quando um determinado sistema se desloca originalmente de um estado inicial para retornar ao estado original. Nesses processos, os elementos fundamentais que caracterizam um ciclo termodinâmico de uma máquina térmica são: substância de trabalho, fonte de calor, fonte fria e máquina térmica.

### 5.1.1 Ciclo de Carnot

Para entender melhor os ciclos de funcionamento de uma máquina térmica, apresentaremos, de forma resumida, o ciclo teórico desenvolvido pelo francês Nicholas Carnot – ciclo de Carnot. Em 1823, Carnot publicou uma brochura intitulada “Reflexões sobre a potência motriz do fogo”. Enunciava aí, um ciclo ideal que, partindo da transformação de gases perfeitos, deveria ter um rendimento de, aproximadamente, 72% nunca atingido por um motor térmico real.

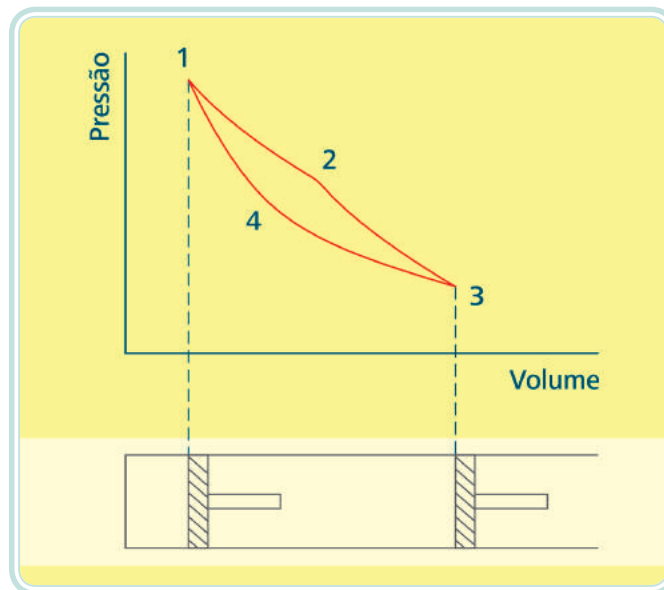
O ciclo de Carnot se compõe das fases mostradas na Figura 5.1:

- Expansão isotérmica – 1 a 2.

- Expansão adiabática – 2 a 3.
- Compressão isotérmica – 3 a 4.
- Compressão adiabática – 4 a 1.

O ciclo de Carnot não pode ser objeto de nenhuma realização na prática. Pode ser descrito, teoricamente, da seguinte maneira:

- Primeira fase – **expansão isotérmica** – o cilindro deve ser resfriado durante a expansão isotérmica. Esse mesmo cilindro exige aquecimento para tornar a temperatura constante.
- Segunda fase – **expansão adiabática** – continuando o repouso, faz-se cessar o reaquecimento do cilindro para que essa fase se efetue sem troca de calor com o cilindro, e que a massa gasosa retome o volume e a pressão que possuía no início da primeira fase.
- Terceira fase – **compressão isotérmica** – uma massa gasosa é introduzida no cilindro e, depois comprimida pelo pistão “temperatura constante”. O cilindro é esfriado durante essa fase.
- Quarta fase – **compressão adiabática** – interrompido o resfriamento do cilindro, continua-se a compressão rapidamente, de modo que nenhuma troca de calor tenha lugar entre o gás e o cilindro.



**Figura 5.1: Diagrama do ciclo de Carnot – pressão e volume**

Fonte: Adaptado de Van Wylen, 1994

O rendimento ( $n_1$ ) de um ciclo de Carnot depende somente das temperaturas nas quais o calor é fornecido ou rejeitado:

Equação 5.1

$$n_1 = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_4}{T_1} = 1 - \frac{T_3}{T_2}$$

Onde:  $n_1$  – rendimento  
 $T_L$  – temperatura baixa  
 $T_H$  – temperatura alta

O rendimento também pode ser expresso pela relação de pressão ( $R_{ps}$ ) ou taxa de compressão ( $R_{vs}$ ), durante os processos isoentrópicos da seguinte forma:

Taxa de pressão isoentrópica:

Equação 5.2

$$R_{ps} = \frac{P_1}{P_4} = \frac{P_2}{P_3} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{\frac{k}{1-k}}$$

Onde:  $R_{ps}$  – relação de pressão  
 $P_1, P_2, P_3$  e  $P_4$  – pressão  
 $T_3$  – temperatura baixa  
 $T_2$  – temperatura alta  
 $k$  – constante

Taxa de compressão isoentrópica:

Equação 5.3

$$R_{vs} = \frac{V_4}{V_1} = \frac{V_3}{V_2} = \left(\frac{T_3}{T_2}\right)^{\frac{k}{1-k}}$$

Onde:  $R_{vs}$  – taxa de compressão  
 $V_1, V_2, V_3$  e  $V_4$  – volume  
 $k$  – constante

Portanto, o rendimento ( $n_t$ ):

Equação 5.4

$$n_t = 1 - n_{ps}^{(1-k)/k} = 1 - r_{vs}^{1-k}$$

## 5.2 Classificação dos motores segundo o ciclo termodinâmico

Para a abordagem sobre a classificação, segundo os sistemas que consideram os ciclos termodinâmicos, é conveniente lembrar que, termodinâmica é a ciência que define as transformações do calor e do trabalho mecânico e o estudo das leis às quais obedecem os gases durante suas evoluções desde sua entrada no cilindro até sua saída para a atmosfera.

Nos motores de combustão interna, os gases são comprimidos, queimados, dilatados e expandidos sob o efeito da temperatura ou de um trabalho mecânico. Se é indispensável se conhecer profundamente a termodinâmica para construção dos motores, são também necessários conhecimentos elementares para se compreender o seu funcionamento.

Assim, segundo os ciclos termodinâmicos, podemos classificar os motores em: **ciclo Otto** e **ciclo Diesel**.



Para saber mais sobre ciclos termodinâmicos, ciclo Otto e ciclo Diesel, acesse: [http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/segunda\\_lei/segunda\\_lei.html](http://www.if.ufrj.br/teaching/fis2/segunda_lei/segunda_lei.html)

**Motores de ciclo Otto** – motores de combustão interna com ignição por centelha, utilizando como combustíveis: gasolina, gás ou álcool.

O convencional motor a gasolina é um motor de combustão interna no qual uma mistura ar + combustível é admitida num cilindro e comprimida pelo pistão ou êmbolo, após inflamada por uma centelha elétrica provocada pela vela de ignição.

**Motores de ciclo Diesel** – motores de combustão interna com ignição por compressão, utilizando como combustíveis: diesel, biodiesel e suas misturas.

O motor Diesel é um motor de combustão interna no qual o ar admitido no cilindro é comprimido pelo pistão ou êmbolo, atingindo devido à compressão, uma temperatura de 500 a 700°C. Uma vez injetado ou atomizado o combustível, a mistura inflama-se espontaneamente, graças ao calor resultante da compressão do ar.

### A-Z

#### combustão

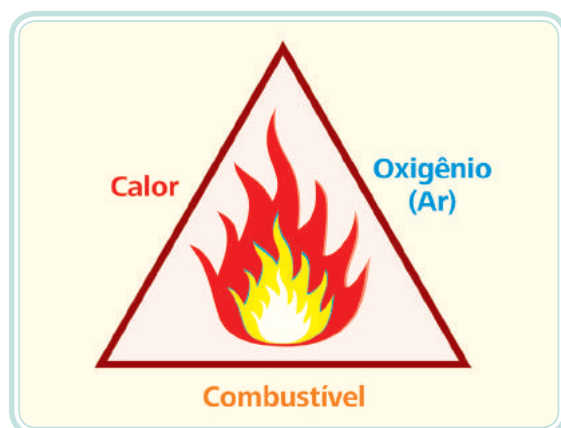
Ou queima, é uma reação química exotérmica entre uma substância, o combustível e um gás, o comburente, geralmente o oxigênio, para liberar calor e luz. Durante a reação de combustão são formados diversos produtos resultantes da combinação dos átomos dos reagentes.

<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/motores/downloads/GCapitulo%20VI.pdf>

## 5.3 Processo de combustão nos motores

Para que haja uma **combustão** perfeita, é necessário dosar três elementos fundamentais, é o chamado triângulo do fogo: o ar, o calor e o combustível.

A combustão ou queima é um processo químico que exige a presença desses três componentes que, ao se combinarem na proporção adequada dentro do motor, promovem a explosão.



**Figura 5.2: Triângulo do fogo**

Fonte: CTISM

O tempo que leva para que a mescla ar + combustível entre em combustão é chamado de **atraso de combustão** e dura aproximadamente 1 milissegundos (ms).

Em alguns casos, existem condições que o atraso pode durar mais tempo, até 2 milissegundos (ms), isso devido a (à):

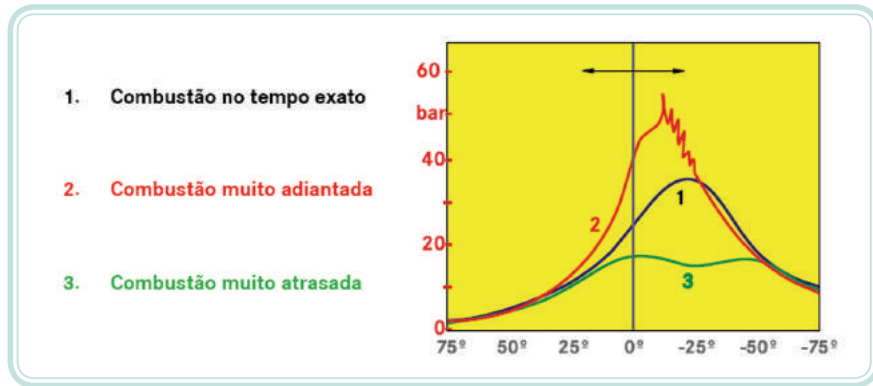
- Baixa temperatura de funcionamento do motor.
- Bicos injetores não atomizando perfeitamente.
- Ponto de início de injeção ajustado muito avançado.
- Má qualidade do combustível.
- Problemas mecânicos, específicos para o tipo de motor.

Como consequência do maior tempo de atraso de combustão, há o ruído de combustão chamado de batida de pino, ruído metálico gerado por frentes de chamas distintas dentro da câmara de combustão.

Outro fator que influencia o atraso de combustão é a pressão de compressão no interior da câmara de combustão. Quanto maior a pressão, menor o atraso de combustão, conforme mostra a Figura 5.3, a seguir: o efeito da temperatura (°C) *versus* níveis de pressão (bar).



Para saber mais sobre atraso de combustão, acesse: <http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/motores/downloads/GCapitulo%20VI.pdf>



**Figura 5.3: Tempo de combustão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

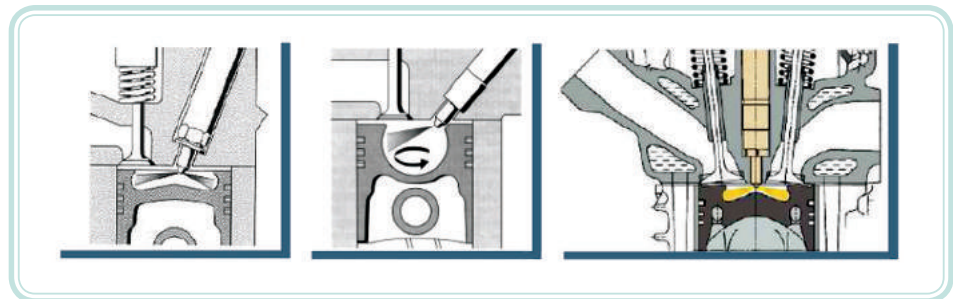
Nos **motores de ciclo Otto**, a mistura ar + combustível é realizada antecipadamente a sua entrada no cilindro por um elemento misturador, carburador ou, mais recentemente, pelo dosador eletrônico de combustível.

Nos motores de **ciclo Diesel**, há somente admissão do ar pelo sistema de captação do ar através dos filtros que deve preencher a câmara de combustão.

A forma da câmara de combustão, o posicionamento do bico injetor e o ângulo de injeção determinam o processo de formação da mescla ar + combustível.

Quanto ao formato da câmara de combustão, esta pode ser dividida em, pelo menos, dois tipos que garante o sistema de injeção: injeção direta e injeção indireta.

**Injeção direta** – a combustão se dá diretamente sobre a câmara de combustão da qual o pistão faz parte (Figura 5.4).



**Figura 5.4: Detalhes do tipo de injeção direta sobre os pistões**

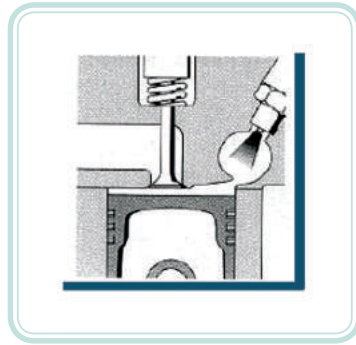
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

**Injeção indireta** – a combustão tem início no interior da pré-câmara expandindo-se para câmara de combustão principal no topo do pistão como mostra as Figuras 5.5 e 5.6.



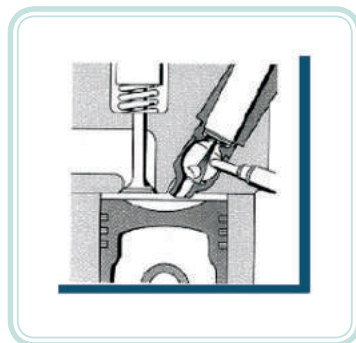
Para saber como funcionam os motores de injeção direta, acesse: <http://frisontech.com.br/artigos-em-portugues/44-como-funcionam-os-motores-de-injecao-direta.html>





**Figura 5.5: Injeção indireta – pré-câmara com turbilhonamento**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006



**Figura 5.6: Injeção indireta – pré-câmara com pré-aquecimento**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

## 5.4 Fases ou tempos de funcionamento dos motores alternativos

Para a compreensão do funcionamento é necessário familiarizar-se com alguns termos:

- **PMS – ponto morto superior** – posição do êmbolo mais próxima à parte superior do bloco.
- **PMI – ponto morto inferior** – posição do êmbolo mais próxima ao virabrequim ou à árvore de manivelas (ADM).
- **Câmara de compressão** – volume que fica no cilindro depois que o êmbolo atinge seu ponto máximo (PMS), também chamada de câmara de combustão.
- **Curso do pistão** – espaço linear percorrido pelo pistão ou êmbolo do PMI ao PMS e vice-versa.

- **Tempo motor** – corresponde a um curso do pistão/êmbolo (180 graus) ou à meia volta do virabrequim ou árvore de manivelas – ADM.

As fases que caracterizam o ciclo dos motores são as mesmas em qualquer motor alternativo de êmbolos e seguem os seguintes passos:

- Introduce-se o ar ou a mistura ar + combustível no cilindro.
- Comprime-se o ar ou a mistura ar + combustível, consumindo trabalho (deve ser fornecido pelo sistema).
- Queima ou combustão da mistura.
- Ocorre a expansão dos gases resultantes da combustão, gerando trabalho para o sistema.
- Ocorre a expulsão dos gases.

Nos motores alternativos de pistões, as fases dos ciclos mecânicos podem se completar de duas maneiras:



Para saber mais sobre motor a dois e quatro tempos, acesse: <http://www.rcmasters.com.br/files/motores2e4tempos.pdf>

- a) Motor de quatro tempos.
- b) Motor de dois tempos.

No primeiro tempo, com o pistão em movimento descendente ( $0^\circ \rightarrow 180^\circ$ ), dá-se a admissão que se verifica, na maioria dos casos, por aspiração automática da mistura ar + combustível (ciclo Otto), ou apenas ar (ciclo Diesel). Na maioria dos motores Diesel modernos, uma ventoinha (turbocompressor) empurra a carga de ar para dentro do cilindro.

No segundo tempo, ocorre a compressão, com o pistão em movimento ascendente ( $180^\circ \rightarrow 360^\circ$ ). Pouco antes do pistão completar o curso, ocorre a ignição por meio de dispositivo adequado: velas de ignição (ciclo Otto), ou a auto ignição (ciclo Diesel).

No terceiro tempo, com o pistão em movimento descendente ( $360^\circ \rightarrow 540^\circ$ ), temos a ignição com a expansão dos gases e transferência de energia ao pistão, também chamado tempo motor.

No quarto tempo, o pistão, em movimento ascendente ( $540^\circ \rightarrow 720^\circ$ ), empurra os gases de escape para a atmosfera.

Durante os quatro tempos, ou duas rotações do virabrequim, transmitiu-se trabalho ao pistão só uma vez.

Para a realização dos tempos, é necessário que haja um sincronismo entre alguns elementos móveis dependentes no motor, como as válvulas de admissão e de escapamento.

O sincronismo entre os tempos e as válvulas, abrindo e fechando nos momentos exatos, garante o bom funcionamento do motor. Nesse caso, a árvore de comando de válvulas ou eixo de cames, responsável pela abertura e fechamento das válvulas, gira a meia rotação do motor, completando uma volta a cada ciclo de quatro tempos.

## Resumo

Estudamos nesta aula o comportamento dos motores baseados nos ciclos termodinâmicos, especificamente no ciclo de Carnot, que nos permite classificar os ciclos Otto e Diesel, bem como identificar as fases de funcionamento dos motores de combustão.

## Atividades de aprendizagem

1. Marque a alternativa verdadeira (V) ou falsa (F).

- ( ) Os motores podem ser classificados segundo o ciclo termodinâmico em ciclo Otto e ciclo Diesel.
- ( ) Motores Otto utilizam gasolina, álcool e biodiesel como combustível.
- ( ) Os motores Diesel possuem ignição de explosão pela compressão dos gases de admissão em altas temperaturas.
- ( ) O motor convencional a gasolina é um motor de combustão interna no qual a mistura ar e gasolina, após ser comprimida, é inflamada por uma centelha elétrica.



- ( ) Nos motores Diesel não há mistura; o ar é admitido e comprimido antes da explosão.
- ( ) Nos motores Diesel a mistura ar + combustível é injetada em uma câmara de combustão, não necessitando de centelha elétrica para inflamar a mistura.
- ( ) Nos motores alternativos de êmbolos, o tempo correspondente ao de expansão, após a combustão, é considerado o responsável por gerar trabalho pelo sistema.
- ( ) Quanto ao formato, a câmara de combustão pode ser dividida: em injeção direta, injeção indireta e injeção inversa.
- ( ) Nos motores de combustão interna, dois tempos são correspondentes à produção de energia e dois são passivos, absorvem energia produzida.
- ( ) Os motores do ciclo Diesel, inicialmente, aspiram e comprimem o ar de admissão.

# Aula 6 – Processos de funcionamento dos motores de combustão interna

## Objetivos

Conhecer e identificar os processos de funcionamento dos motores, considerando os tempos e ciclos termodinâmicos.

### 6.1 Motor de 2 tempos mecânicos

Os motores deste tipo combinam em dois cursos do êmbolo as funções dos motores de quatro tempos. Assim, há um curso motor para cada volta do virabrequim. Normalmente esses motores não têm válvulas, eliminando-se o uso de tuchos, hastes e outros mecanismos, ou seja, todo o aparato do comando de válvulas. O cárter, que possui dimensões reduzidas, recebe a mistura ar + combustível e o óleo de lubrificação. Este deve ser cuidadosamente fechado, pois nele se dá a pré compressão da mistura, conforme mostrado na Figura 6.1.

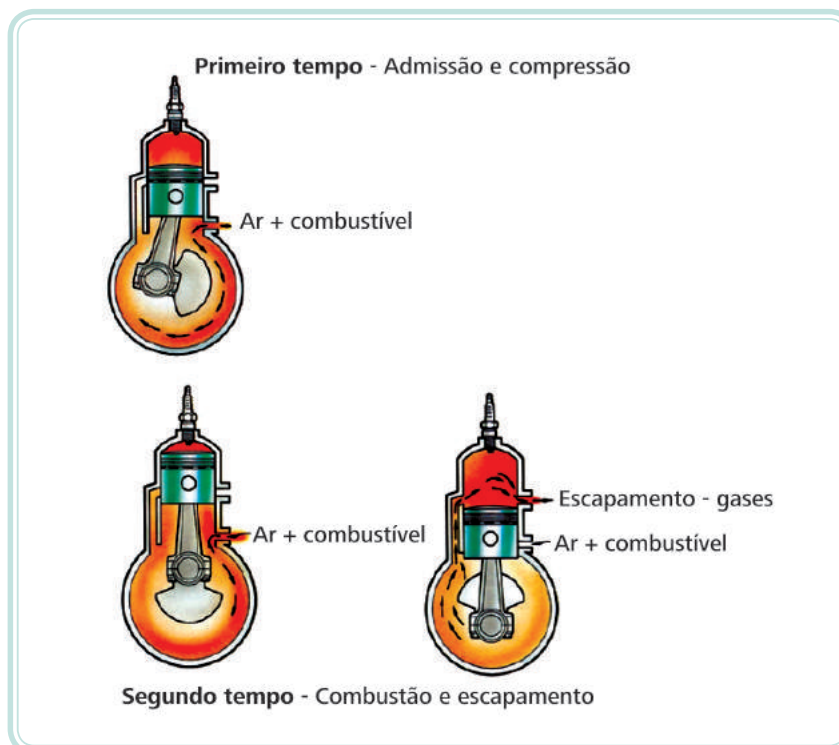


Figura 6.1: Funcionamento motor 2 tempos – ciclo Otto

Fonte: Mahle, 2007

## 6.1.1 Ciclo Otto – etanol, gasolina ou GNV

### 6.1.1.1 1º tempo – admissão e compressão

O êmbolo, ou pistão, dirige-se ao PMS, comprimindo a mistura ar + combustível. As janelas de escape e carga são fechadas, abrindo-se a janela de admissão. Com o movimento do êmbolo, gera-se uma pressão baixa dentro do cárter e, assim, por diferença de pressão, admite-se uma nova mistura ar + combustível + óleo lubrificante, que será utilizada no próximo ciclo. O virabrequim dá meia volta (180°) fechando o ciclo.

Pouco antes de atingir o PMS, ocorre a centelha, provocando a combustão da mistura e gerando uma força sobre o pistão. Inicia-se, então, o próximo ciclo.

### 6.1.1.2 2º tempo – combustão e escape

Considerado com curso de trabalho, iniciando a combustão no PMS, por meio de uma centelha, o êmbolo é forçado até o PMI. Durante o curso, o êmbolo passa na janela de descarga dando vazão aos gases da combustão. Ao mesmo tempo, o êmbolo abre a janela de carga, permitindo que uma nova mistura ar + combustível + óleo lubrificante entre no cilindro preparando-o para o novo ciclo e forçando os gases provenientes da combustão para fora (lavagem). O virabrequim, neste primeiro tempo, dá meia volta (180°).

## 6.1.2 Ciclo Diesel – diesel ou biodiesel

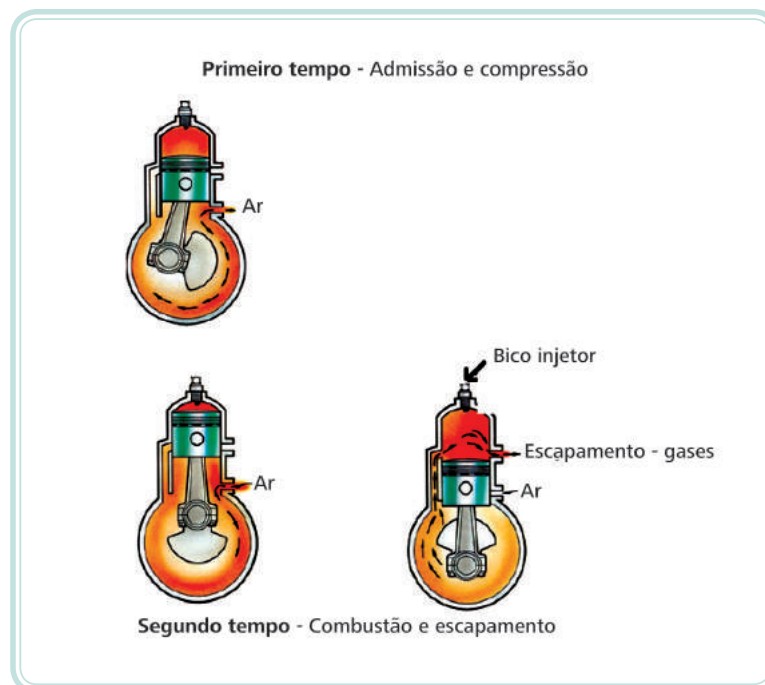


Figura 6.2: Funcionamento do motor 2 tempos – ciclo Diesel

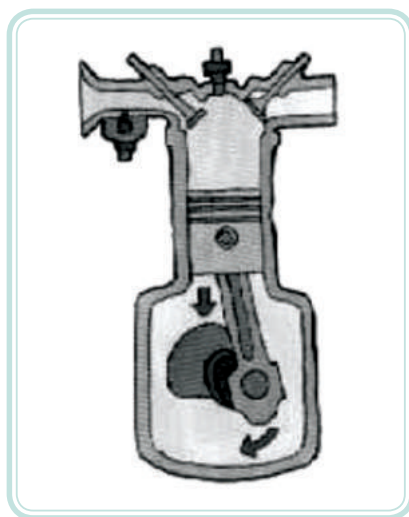
Fonte: Mahle, 2007

Os motores Diesel, de dois tempos, têm funcionamento semelhante ao motor de dois tempos a gasolina ou a álcool. Porém, admitem apenas ar puro, geralmente forçado no interior do cilindro por um compressor de baixa pressão (volumétrico). Possui também, um sistema de lubrificação forçada idêntica à dos motores de quatro tempos.

## 6.2 Motor de 4 tempos mecânicos

### 6.2.1 Ciclo Otto – etanol, gasolina ou GNV

O primeiro tempo, denominado admissão, é definido pelo movimento do pistão do PMS para o PMI. Neste instante, a válvula de admissão se abre, e a mistura de ar e combustível é vaporizada e aspirada para o interior do cilindro (Figura 6.3). O virabrequim efetua meia volta (180°).



**Figura 6.3: 1º tempo – admissão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

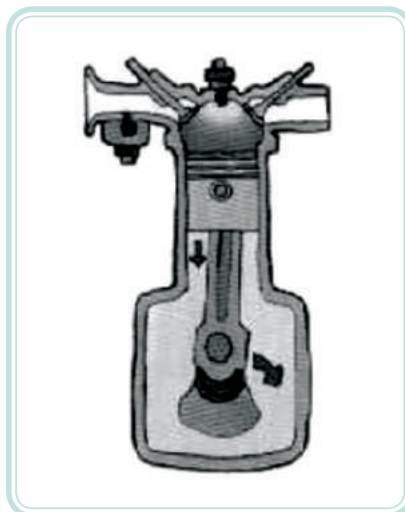
A compressão ocorre quando a válvula de admissão se fecha. À medida que o pistão se desloca para o PMS, comprime a mistura de combustível e ar (Figura 6.4). O virabrequim executa outra meia volta, completando a primeira volta completa (360°).



**Figura 6.4: 2º tempo – compressão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

O tempo de combustão ocorre pouco antes de o pistão atingir o PMS. O sistema de ignição transmite corrente elétrica a vela, fazendo saltar uma centelha entre os eletrodos, o que provoca logo a inflamação da mistura que se encontra fortemente comprimida. Os gases em expansão resultantes da combustão, forçam o pistão do PMS para o PMI (Figura 6.5). O virabrequim efetua outra meia volta (540°).

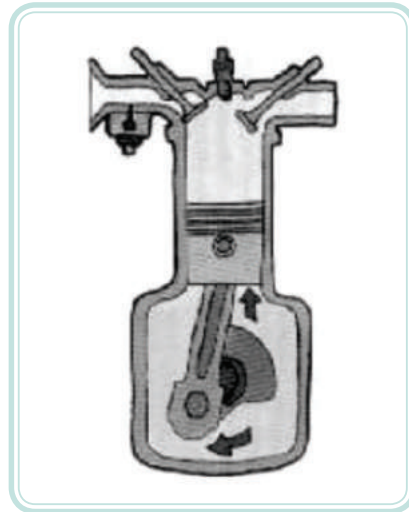


**Figura 6.5: 3º tempo – combustão/expansão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

O escape é o tempo decorrido após a queima da mistura e a expansão dos gases. É o momento em que a válvula de escape se abre. Os gases queimados são forçados para fora do cilindro, quando o pistão se movimenta do PMI para o PMS (Figura 6.6). O virabrequim executa outra meia-volta, completando a segunda volta completa (720°).





**Figura 6.6: 4º tempo – escape**

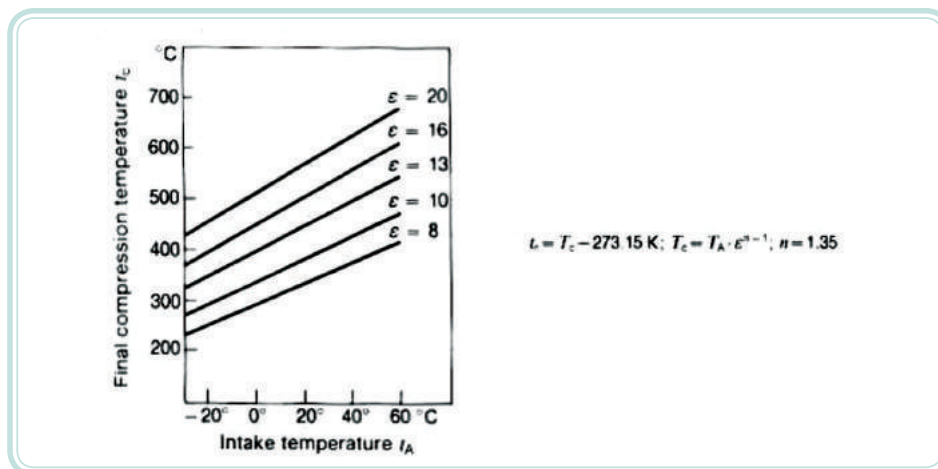
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

Uma vez que o pistão realiza quatro tempos – admissão, compressão, combustão e escape – o nome técnico dessa operação é ciclo de quatro tempos.

É importante salientar que, nos motores de quatro tempos, somente no tempo de **combustão** que se produz energia mecânica; os outros três tempos são passivos, isto é, absorvem energia.

### 6.2.1.1 Temperatura e pressão no final da compressão

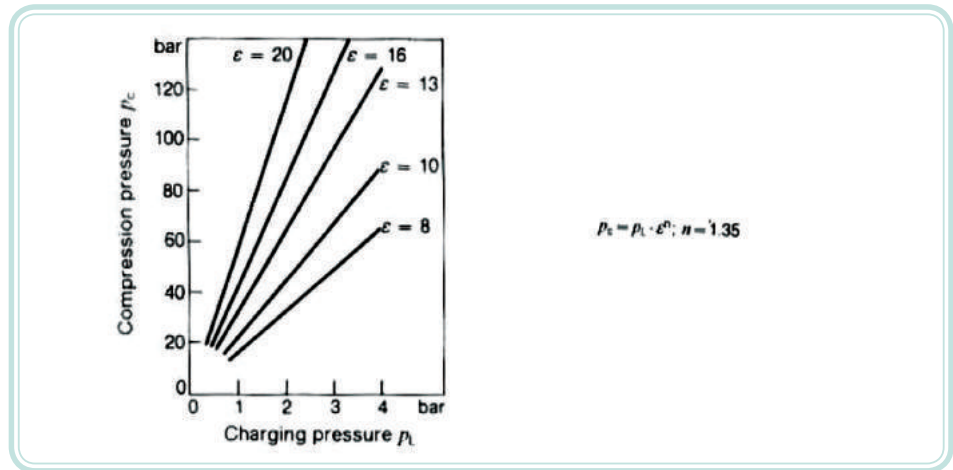
A temperatura, no final da compressão, é uma função da taxa de compressão e da temperatura de admissão (Figura 6.7).



**Figura 6.7: Temperatura no final da compressão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

A pressão, no final da compressão é uma função da taxa de compressão e da pressão de admissão (Figura 6.8).



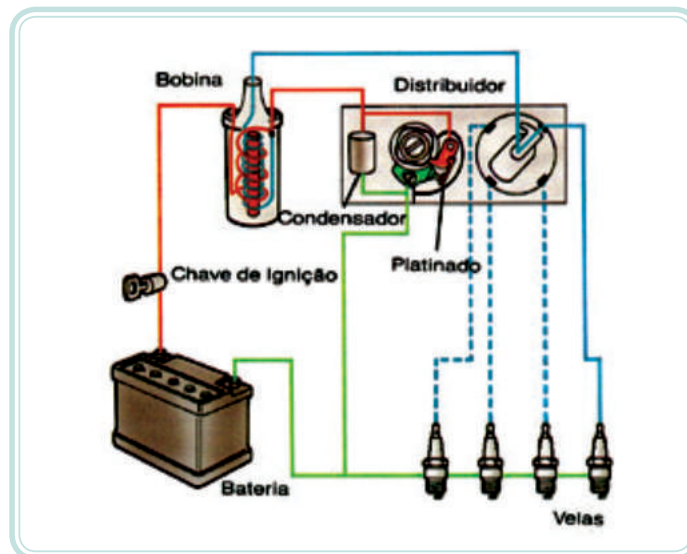
**Figura 6.8: Pressão no final da compressão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

Motores que utilizam o ciclo Otto necessitam de um sistema de ignição. Esse sistema é composto pela bateria que alimenta a voltagem induzida pela bobina. A bobina é um dispositivo capaz de elevar a voltagem elétrica recebida da bateria para alimentar as velas de ignição.

As velas são dispositivos que promovem as faíscas e estas, pelas altas tensões a que são submetidas, inflamam a mistura comprimida no cilindro. As velas de ignição, também, devem resistir às mudanças bruscas de temperatura e pressão, alta voltagem, vibração mecânica e corrosão química dos gases da combustão.

A Figura 6.9 mostra o esquema de ligação das velas de ignição com o sistema elétrico do motor.



**Figura 6.9: Esquema elétrico de ligação das velas do motor ciclo Otto**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

## 6.2.2 Ciclo Diesel – diesel ou biodiesel

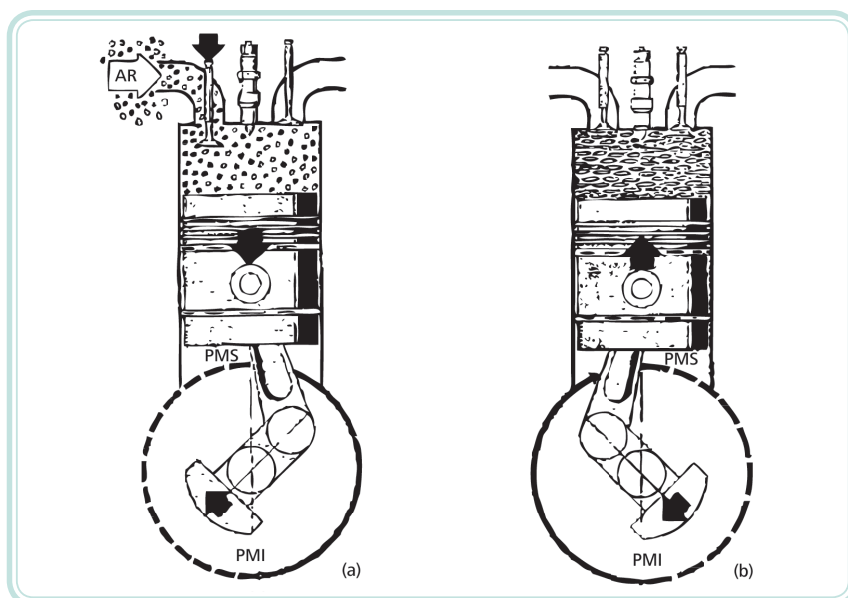
Rudolf Diesel, em 1897, utilizando um já melhorado monocilíndrico (com diâmetro de 250 mm, curso de 400 mm e consumo específico de 247 g de combustível por cavalo e por hora), desenvolve um motor de 20 hp a 172 rpm e rendimento térmico de 26,2% (os motores a gasolina rendiam 20% e os a vapor 10%).

O motor Diesel desenvolvido, trabalhando a quatro tempos, possui, basicamente, duas grandes diferenças de um motor 4 tempos a gasolina:

- a) O motor aspira e comprime apenas ar.
- b) Um sistema de injeção dosa, distribui e atomiza o combustível em direção dos cilindros. O combustível se inflama ao entrar em contato com o ar fortemente aquecido pela compressão, promovendo altas taxas de compressão.

**Admissão** – nesse tempo, o êmbolo se movimenta do PMS até o PMI. Com a válvula de admissão aberta, ocorre a aspiração somente de ar no interior do cilindro (Figura 6.10a). Diferencia-se do ciclo Otto no qual ocorre a aspiração da mistura ar-combustível. A árvore de manivelas gira de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ .

**Compressão** – com as duas válvulas fechadas, o êmbolo se desloca do PMI até o PMS, ocorrendo, então, a compressão do ar (Figura 6.10b) (diferencia-se do ciclo Otto pelas altas pressões de compressão atingidas). Nesse tempo, a árvore de manivelas gira mais  $180^\circ$ , de  $180^\circ$  a  $360^\circ$ , completando 1 volta.

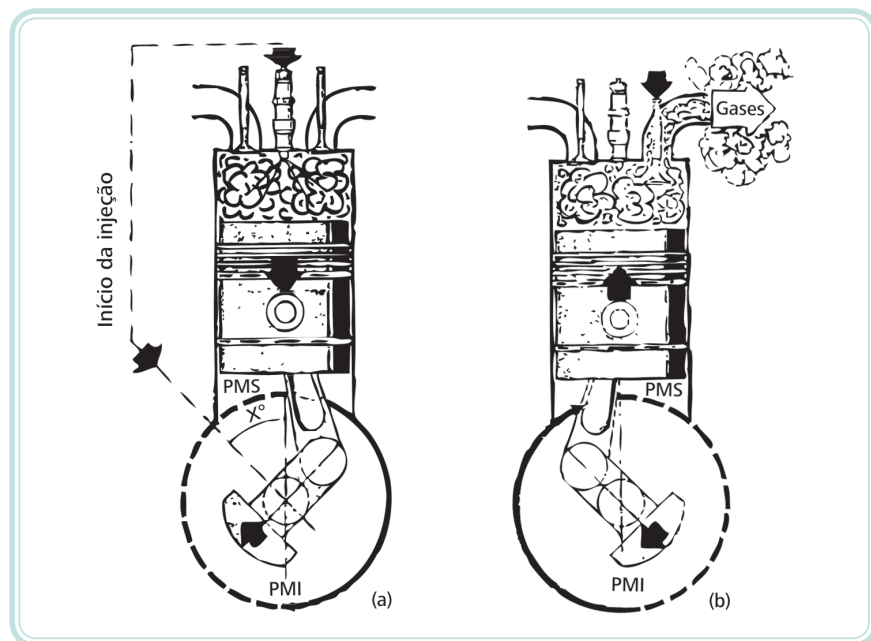


**Figura 6.10: Tempos do motor de ciclo Diesel – (a) admissão e (b) compressão**

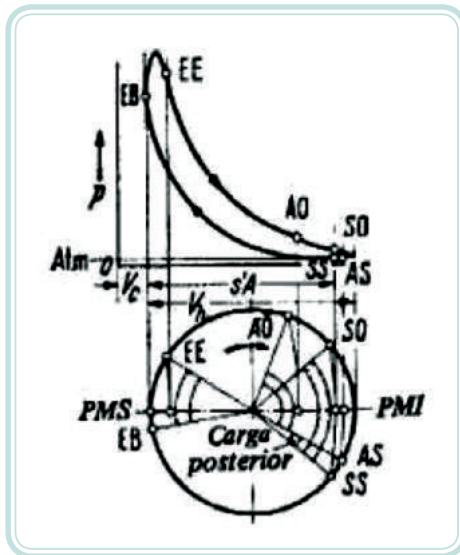
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

**Explosão/expansão** – quando o êmbolo está em sua posição máxima (PMS), o bico injetor pulveriza, fina e fortemente, um certo volume de combustível no interior da câmara de combustão (Figura 6.11a). Nesse momento, o ar está a uma temperatura de 500 a 700°C e a alta pressão, o diesel, injetado nessas condições, faz com que ocorra a autoignição, impulsionando o êmbolo a PMI, fazendo com que a biela transmita a força à árvore de manivela que gira de 360° a 540°. Nesse tempo, ocorre a realização de trabalho mecânico.

**Escape** – nesse tempo, com a válvula de escape aberta, os gases queimados são expelidos para fora do cilindro pelo movimento do êmbolo do PMI ao PMS (Figura 6.11b), pelo giro de 540° a 720°, encerrando-se assim, o ciclo.



**Figura 6.11: Tempos de um motor de ciclo Diesel – (a) explosão/expansão e (b) escape**  
Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006



**Figura 6.12: Gráfico de pressões em um motor ciclo Diesel de dois tempos com válvula de admissão no cabeçote e fendas de exaustão por fluxo contínuo**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

- Onde:
- SO – fendas de exaustão abertas
  - SS – fendas fechadas
  - AO → SO – expansão dos gases de combustão
  - AS → SS – carga posterior (às vezes alta pressão)
  - EB – início da injeção
  - EE – fim da injeção

Valores médios para os pontos de distribuição:

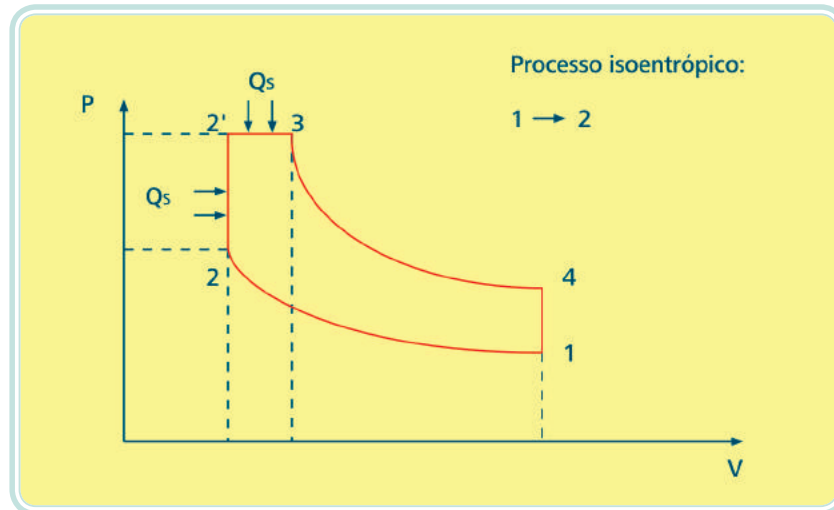
- AO = 70°C antes do PMI
- AS = 30°C depois do PMI
- SO = 40°C antes do PMI
- SS = 40°C depois do PMI

### 6.3 Ciclo misto

No ciclo Otto, o processo de combustão ocorre a volume constante, enquanto no ciclo Diesel, o processo ocorre a pressão constante. No entanto, na prática, esses dois ciclos não representam o ciclo de funcionamento real do motor.

No ciclo Otto, a combustão a volume constante pressupõe uma combustão instantânea.

O ciclo misto, representado pela Figura 6.13, é um compromisso entre ambos os ciclos. É o que melhor descreve a operação dos motores Diesel de alta rotação. Nesse ciclo a combustão ocorre em duas fases: com parte do calor sendo fornecida a volume constante e o restante sendo fornecido à pressão constante.



**Figura 6.13: Diagramas do ciclo misto**

Fonte: Reis et al., 2005

A expressão (Equação 6.1) para o rendimento térmico do ciclo é:

Equação 6.1

$$n_t = 1 - \frac{1}{r^{(k-1)}} \left[ \frac{ba^k - 1}{(b-1) + bk(a-1)} \right]$$

Onde:  $r = V_1/V_2$   
 $a = V_3/V_2'$   
 $b = P_2'/P_2$   
 $k = \gamma = c_p/c_v$

O rendimento térmico do ciclo misto é um valor intermediário entre o rendimento térmico do ciclo Diesel e o do ciclo Otto.

A Equação 6.1 é a mais geral. No caso, se o valor de  $b = 1$ , a Equação 6.1 corresponde ao valor do rendimento para um ciclo Diesel; se  $a = 1$ , a Equação 6.1 corresponde ao valor do rendimento para um ciclo Otto.

Os diagramas mostram bem que esses dois ciclos se assemelham no plano prático. Na realidade, o motor a gasolina não é completamente de pressão variável e de volume constante, mas se aproxima do ciclo misto, porque a “explosão” dos gases é apenas uma combustão rápida, mas não instantânea.

**Quadro 6.1: Comparação entre os motores de ciclo Otto e ciclo Diesel**

	Ciclo Otto	Ciclo Diesel
Admissão de combustível	Carburador/injeção	Injeção
Alteração da rotação	Mistura ar/combustível	Combustível
Ignição	Fonte externa	Autoignição
Taxa de compressão	6 a 9 gasolina 9 a 14 álcool	14 a 22
Tipo de combustível	Leves	Pesados

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006



Para saber mais sobre o princípio de funcionamento dos motores de combustão, acesse: <http://felisbertonneto.blogspot.com/2009/09/principio-de-funcionamento-dos-motores.html>

## Resumo

Nesta aula, verificou-se os processos de funcionamento dos motores considerando os ciclos termodinâmicos: ciclo Otto, que utiliza como combustível etanol, gasolina ou GNV e, ciclo Diesel, que tem como combustível o diesel ou biodiesel. Estes podem ser de 2 ou 4 tempos mecânicos. Os tempos podem ser classificados como admissão, compressão, combustão e escapamento, completando o ciclo de funcionamento.

## Atividades de aprendizagem

1. Diferencie um motor de 2 tempos de um de 4 tempos para ciclo Otto.
2. Como ocorre o processo de ignição nos motores de ciclo Diesel?
3. Como ocorre o processo de ignição nos motores de ciclo Otto?
4. Qual é a função do carburador nos motores de ciclo Otto?
5. Por que os motores do ciclo Diesel não podem operar somente com etanol?







# Aula 7 – Características técnicas de desempenho

## Objetivos

Familiarizar-se com noções e conceitos preliminares das grandezas físicas que explicam o comportamento mecânico e suas unidades de medidas.

Reconhecer diferentes instrumentos de medição utilizados na aferição dos padrões de precisão dimensionais.

Determinar as principais características técnicas de desempenho dos motores.

Relacionar as características técnicas com o processo de transformação de energia que ocorre nos motores de combustão.

## 7.1 Noções preliminares de mecânica

O desempenho dos motores está relacionado ao processo de transformação de energia dos combustíveis em energia mecânica e às especificações técnicas de projetos inerentes a cada modelo de motor, os quais possuem parâmetros específicos como: potência, torque, consumo de combustível e rendimento.

As características que melhor definem o desempenho dos motores de combustão podem ser entendidas pelas grandezas físicas que estão diretamente ligadas aos parâmetros mecânicos, bem como o ferramental disponível para avaliar medidas e conferir padrões técnicos específicos de cada sistema que compõe os motores. Assim, destacamos as seguintes grandezas físicas:

### 7.1.1 Força

Qualquer agente capaz de alterar o estado de repouso ou de movimento de um corpo. Para um corpo de massa constante, a força resultante sobre ele possui módulo igual ao produto entre massa e aceleração. Unidade: newton (N).

Equação 7.1

$$F = m \times a$$

### 7.1.2 Massa

É a medida da quantidade de matéria contida em uma substância. Não varia com a temperatura, pressão ou localização no espaço. Unidade: grama (g).

### 7.1.3 Peso

É uma medida da força gravitacional que atua sobre uma substância. Unidade: newton (N).

Equação 7.2

$$P = m \times g$$

### 7.1.4 Trabalho

É o resultado da ação de uma força atuante sobre um corpo em um determinado deslocamento. É uma medida da energia transferida pela aplicação de uma força ao longo de um deslocamento. Unidade: joule (J). Representado por *Work* (w).

Equação 7.3

$$w = \int F \times ds$$

### 7.1.5 Potência

É a grandeza que determina a quantidade de energia ou trabalho concedida por uma fonte a cada unidade de tempo. Unidade: watt (W). Pode ser calculada pela variação de energia do sistema em determinado intervalo de tempo. É a quantidade de trabalho realizada por unidade de tempo.

Equação 7.4

$$\text{Pot} = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

### 7.1.6 Potência de um motor

É a quantidade de energia fornecida pelo motor a cada unidade de tempo.

Equação 7.5

$$\text{Pot} = F \times v$$

Onde: Pot – potência de movimento

F – força

v – velocidade de deslocamento

Equação 7.6

$$\text{Pot} = T \times w$$

Onde: Pot – potência de movimento

T – torque

w – velocidade angular

Equação 7.7

$$\text{Potência} = (\text{força} \times \text{deslocamento}) / \text{tempo}$$

### 7.1.7 Torque

É uma quantidade física vetorial. É uma medida da força que age em um objeto fazendo com que ele mesmo gire.

- O objeto gira sobre um ponto central (ponto pivô).
- A distância do ponto pivô ao ponto onde atua uma força "F" é denominado braço do movimento e denotada por "r", assim definido pela relação:

Equação 7.8

$$|T| = |r| |F| \text{sen}(\theta)$$

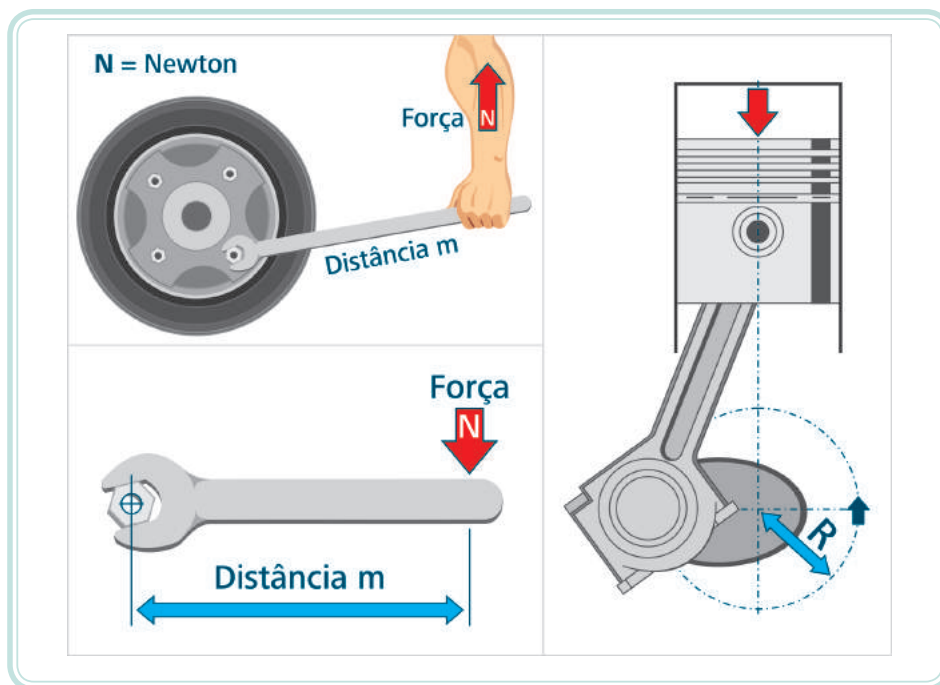


Figura 7.1: Esquema representativo do torque

Fonte: CTISM, adaptado de Mercedes Benz do Brasil, 2006

No Quadro 7.1, são apresentadas as novas unidades de medidas, segundo o Sistema Internacional de Unidades. No decorrer dos tempos, foram implantados diversos sistemas de medidas, cada vez mais difíceis de serem entendidos, por isso foram criadas novas unidades.

**Quadro 7.1: Unidades de medidas pelo Sistema Internacional**

Nomenclatura	Unidade Nova		Unidade Antiga	
	Denominação	Abreviatura	Denominação	Abreviatura
Potência	watt	W	cavalo vapor	cv
Momento de força	newton metro	Nm	metroquilograma força	mkgf
Massa	quilograma	kg	-	-
Força	newton	N	quilopound	kp
Pressão	bar	bar	quilograma força/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
Distância	metro	m	-	-
Intensidade de corrente	ampère	A	-	-
Tensão	volt	V	-	-

Fonte: Adaptado de UFMG – DEMEC, 2000

Outros aspectos correspondentes a uma análise técnica conjunta dizem respeito às características dimensionais que os motores apresentam.

## 7.2 Cilindrada

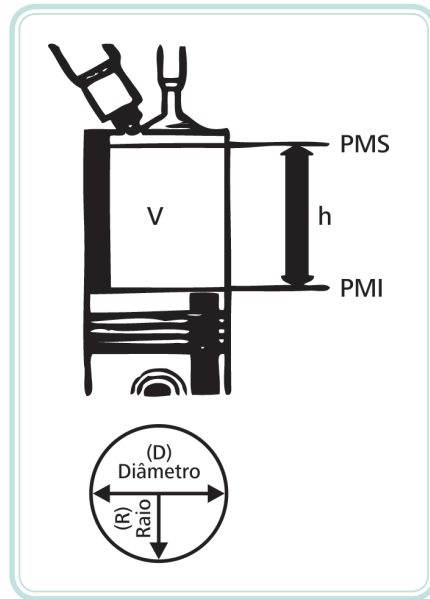
É o volume total deslocado pelo pistão em seu curso entre o ponto morto inferior (PMI) e o ponto morto superior (PMS), multiplicado pelo número de cilindros do motor. É indicada em centímetros cúbicos (cm<sup>3</sup>) ou litros e tem a seguinte fórmula (Equação 7.9):

Equação 7.9

$$C = \left( \frac{\pi \times D^2}{4} \times \text{Curso} \right) \times N_{\text{cilindros}}$$



[http://br.librosintinta.in/bibliotecas/?ler=http%3A%2F%2Fwww.ufrj.br%2Finstitutos%2Fit%2Fdeng%2Fvarela%2FDownloads%2FIT154\\_motores\\_e\\_tratados%2Fmotores%2FAulas%2Fcaracteristicas\\_dimensionais.pdf](http://br.librosintinta.in/bibliotecas/?ler=http%3A%2F%2Fwww.ufrj.br%2Finstitutos%2Fit%2Fdeng%2Fvarela%2FDownloads%2FIT154_motores_e_tratados%2Fmotores%2FAulas%2Fcaracteristicas_dimensionais.pdf)



**Figura 7.2: Esquema representativo da cilindrada no motor**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

Características técnicas para um motor de combustão ciclo Otto, a partir da análise do catálogo do fabricante, têm-se os seguintes dados:

- Motor dianteiro longitudinal M.P.F.I. (*Multi Point Fuel Injection*).
- Número de cilindros: 04.
- Diâmetro do cilindro: 86,0 mm.
- Curso do pistão: 86,0 mm.
- Taxa de compressão: 9,2:1.

Assim:

$$C = \left( \frac{\pi \times 8,6^2}{4} \times 8,6 \right) \times 4 = 1998,229 \text{ cm}^3$$

Os dados observados, referentes às características técnicas do motor, em estudos aplicados à Equação 7.8, possibilitaram definir a cilindrada desse motor como 2000 cm<sup>3</sup>, 2,0 litros ou popularmente como é conhecido, motorização 2.0 (dois ponto zero).

### 7.3 Câmara de compressão ou de combustão

É o espaço livre que fica acima do pistão, quando este se encontra no ponto morto superior (PMS). Nesse espaço, a mistura ar/combustível do motor a gasolina, que entrou pela válvula de admissão, será comprimida e, após, a faísca emitida pela vela de ignição explodirá para que a expansão dos gases movimente o pistão e dê sequência ao funcionamento do motor.

Nos motores de ciclo Diesel, no espaço da câmara de compressão é confinado o ar de admissão que entrou pela válvula de admissão, atingindo alta pressão e temperatura, ao ponto de receber a pulverização de combustível proveniente do bico injetor para realizar a detonação e a conseqüente combustão.

Dependendo do grau de modernidade do motor, a câmara pode estar inserida no cabeçote ou na cabeça dos pistões – esta mais comumente encontrada. Basicamente, o volume da câmara de combustão define a taxa de compressão do motor. Quanto menor for seu volume, maior será essa relação e, conseqüentemente, melhor o rendimento do motor. Todos os componentes que atuam em sua formação ou ao seu redor influenciam diretamente em sua eficiência como a posição das válvulas e o desenho dos dutos de admissão, por exemplo.



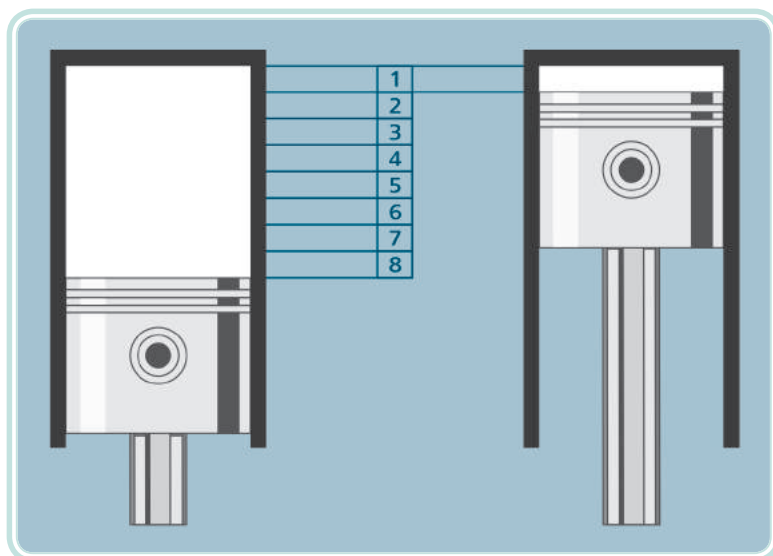
**Figura 7.3: Câmara de combustão – cabeça do pistão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

## 7.4 Relação ou taxa de compressão

É uma relação matemática que indica quantas vezes a mistura ar/combustível, ou simplesmente o ar, é aspirada (no caso dos motores de ciclo Diesel) para dentro dos cilindros pelo pistão e comprimida, dentro da câmara de combustão, antes que se inicie o processo de queima.

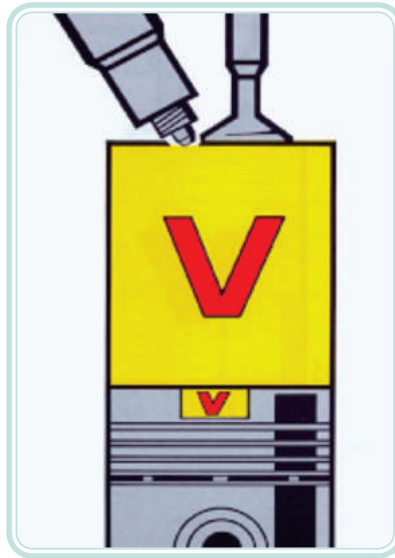
Assim, um motor a gasolina, que tenha especificada uma taxa de compressão de 8:1, por exemplo, indica que o volume aspirado para dentro do cilindro foi comprimido oito vezes antes que a centelha da vela de ignição iniciasse a combustão, Figura 7.4.



**Figura 7.4: Esquema demonstrativo da taxa de compressão**

Fonte: CTISM, adaptado de Mercedes Benz do Brasil, 2006

Do ponto de vista termodinâmico, a taxa de compressão é diretamente responsável pelo rendimento térmico do motor. Assim, quanto maior a taxa de compressão, melhor será o aproveitamento energético que o motor estará fazendo do combustível consumido. Por esse motivo é que os motores Diesel consomem menos que um similar a gasolina, funcionando com taxas de compressão altíssimas (17:1 nos turbodiesel e até 22:1 nos diesel aspirados), e geram a mesma potência, consumindo menos combustível.



**Figura 7.5: Relação de volumes para taxa de compressão**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

Há algumas limitações físicas e técnicas para a simples ampliação dessa taxa. Primeiramente, ocorre a dificuldade de obtenção de câmaras de combustão minúsculas. Já para as limitações técnicas, as restrições são quanto às propriedades do combustível. Alguns tipos toleram mais as taxas de compressão antes de se autoinflamarem (número de cetanos ou octanagem).

A taxa de compressão (TC) corresponde à relação:

Equação 7.10

$$TC = \frac{V + v}{v}$$

Onde: V – cilindrada do motor

v – volume da câmara de combustão



[http://w3.ufsm.br/laserg/admin/arquivos/2308071137\\_EXERCICIOS\\_DE\\_CILINDRADA\\_COM\\_RESPOSTA.pdf](http://w3.ufsm.br/laserg/admin/arquivos/2308071137_EXERCICIOS_DE_CILINDRADA_COM_RESPOSTA.pdf)

Como exemplo, tomamos as características técnicas para um motor ciclo Otto, obtidas pela análise dos dados do catálogo, observam-se as seguintes informações:

- Motor transversal gasolina M.P.F.I. (*Multi Point Fuel Injection*).
- Cilindrada: 1.6 litros / 1600 cm<sup>3</sup>.
- Número de cilindros: 04.
- Diâmetro do cilindro: 79,0 mm.



- Curso do pistão: 81,5 mm.
- Taxa de compressão: 9,4:1.

Como a taxa de compressão já é dada, pode-se calcular então o volume da câmara de combustão  $v$ .

**Motor 4 cilindros  $\rightarrow$  1600 cm<sup>3</sup>**  
**Um cilindro  $\rightarrow$  1600 / 4 = 400 cm<sup>3</sup>**  
**Cilindrada  $\rightarrow V = (\pi \times D^2 / 4) \times \text{curso}$**   
 **$(\pi \times (7,9)^2 / 4) \times 8,15 = 399,486 \text{ cm}^3$**   
**Taxa de compressão de 9,4 : 1**

Volume da câmara de combustão:

$$v = \frac{V}{(TC - 1)} = \frac{399,486}{(9,4 - 1)} = 47,56 \text{ cm}^3$$

Pode-se, então, calcular a altura deixada no cilindro para a abertura das válvulas:

$$v = \frac{\pi \times D^2}{4 \times h}$$

$$h = \frac{4v}{(\pi \times D^2)} = \frac{4 \times 47,56}{(\pi \times (7,9^2))} = 0,97 \text{ cm}$$

**h = 9,7 mm**

Podemos concluir que a taxa de compressão é uma propriedade inerente ao motor (bloco, cabeçote, pistões) e não ao combustível utilizado. Não se altera a taxa de compressão de um motor apenas modificando o tipo de combustível consumido.

Assim, para uma altura ( $h$ ) do cilindro que compõe o volume da câmara de combustão, que tenha sido rebaixada de 0,6 mm, qual será a nova taxa de compressão deste motor?

$$v = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = \frac{\pi \cdot 7,9^2}{4} \cdot (0,97 - 0,06) = 44,605 \text{ cm}^3$$

$$TC = \frac{V \cdot v}{v} = \frac{399,486 + 44,605}{44,605} = 9,956$$

Assim, com a diminuição de 0,6 mm, a taxa de compressão aumentará de 9,4:1 para aproximadamente 10,0:1.

## 7.5 Instrumentos de precisão e aferição

Para a aferição de peças ou elementos mecânicos que compõem os motores, sejam eles móveis ou fixos, por ocasião da montagem ou reposição dessas peças, são utilizadas ferramentas de precisão ou instrumentos de medidas que auxiliam essa tarefa. Todo esse conhecimento permite familiarizar-se com procedimentos e técnicas que resultam em ganhos de produtividade e qualidade dos produtos e serviços, bem como, a eliminação de desperdícios nas diversas atividades que envolvam os motores e seus sistemas diretamente. Assim, podemos destacar o seguinte instrumental básico:

### A-Z

#### Paquímetro

O paquímetro é um instrumento usado para medir as dimensões lineares internas, externas e de profundidade de uma peça. Consiste em uma régua graduada, com encosto fixo, sobre a qual desliza um cursor. <http://msohn.sites.uol.com.br/paquimet.htm>

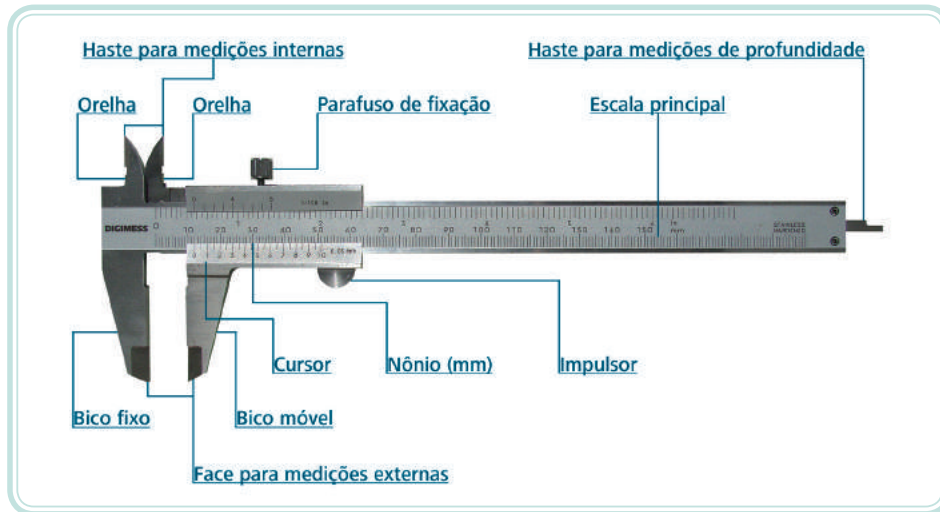
### 7.5.1 Paquímetro

É um instrumento de medição bastante preciso e muito usado nos trabalhos mecânicos em geral. Usado para medição de dimensões externas, internas, profundidades e ressalto. Composto por uma régua graduada sobre a qual corre um cursor. Hoje já existem paquímetros com visor digital.

Características técnicas:

- Inteiramente de aço inoxidável.
- Régua, bicos e pontas de medição temperados e estabilizados: superfícies de medição lapidadas.
- Graduações gravadas a ácido e enegrecidas por oxidação de metal.
- Régua e nônio cromado a fosco com proteção da graduação da régua através de duas guias ressaltadas.
- Precisão.

- Nônio regulável.



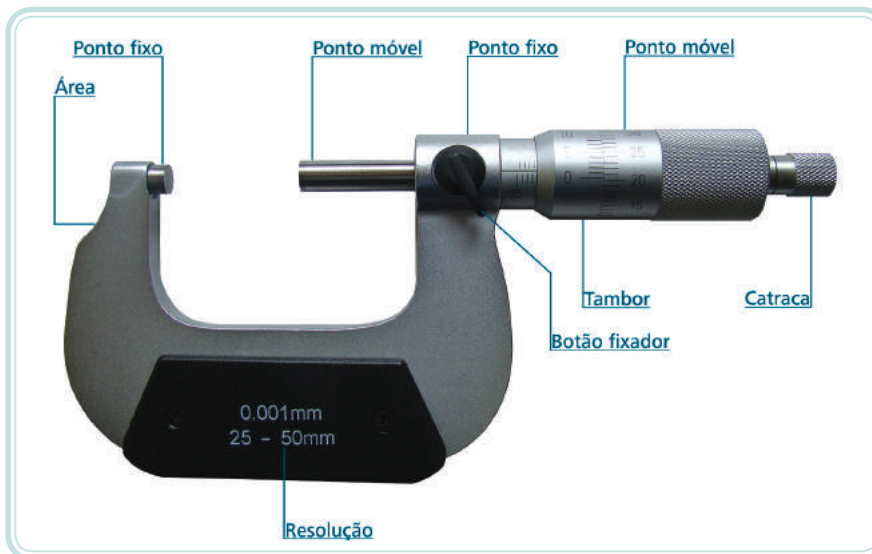
**Figura 7.6: Paquímetro**

Fonte: Adaptado de <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/SI.htm>

### 7.5.2 Micrômetro

Sob a denominação de micrômetro, agrupam-se vários instrumentos com funções similares que, no entanto, também são diferentes entre si. Seu nome deriva da capacidade de medir dimensões ou diferenças de dimensões de natureza micrométrica, sendo, portanto, um instrumento mais preciso que o paquímetro.

O micrômetro pode apresentar precisão de 0,01 mm ou 0,001 mm.



**Figura 7.7: Micrômetro convencional**

Fonte: Adaptado de <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/SI.htm>

### A-Z

#### Micrômetro

O micrômetro e o paquímetro são instrumentos que medem com exatidão a espessura e têm grande uso na indústria mecânica, medindo toda a espécie de objetos, como peças de máquinas.

[http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema092/Documentos/APOSTILA\\_PARTE\\_II\\_cap\\_4\\_Micrometros.pdf](http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema092/Documentos/APOSTILA_PARTE_II_cap_4_Micrometros.pdf)

## A-Z

### Relógio comparador

O relógio comparador é um instrumento de medição por comparação, dotado de uma escala e de um ponteiro, ligados por mecanismos diversos a uma ponta de contato.

[http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema092/Documents/APOSTILA\\_PARTE\\_II\\_cap\\_4\\_Micrometros.pdf](http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema092/Documents/APOSTILA_PARTE_II_cap_4_Micrometros.pdf)



[http://www.labmetro.ufsc.br/Disciplinas/EMC5236/Relogio\\_comparador.pdf](http://www.labmetro.ufsc.br/Disciplinas/EMC5236/Relogio_comparador.pdf)

## 7.5.3 Relógio comparador

São instrumentos para medir por meio de comparação. Fixado e regulado para comparar produtos ou medidas com um padrão inicialmente determinado. Existem vários modelos com diferentes características técnicas, porém, o princípio de funcionamento é o mesmo.

A aproximação de leitura pode ser de 0,01 mm ou 0,001 mm.



**Figura 7.8: Relógio comparador**

Fonte: Adaptado de <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/SI.htm>

## A-Z

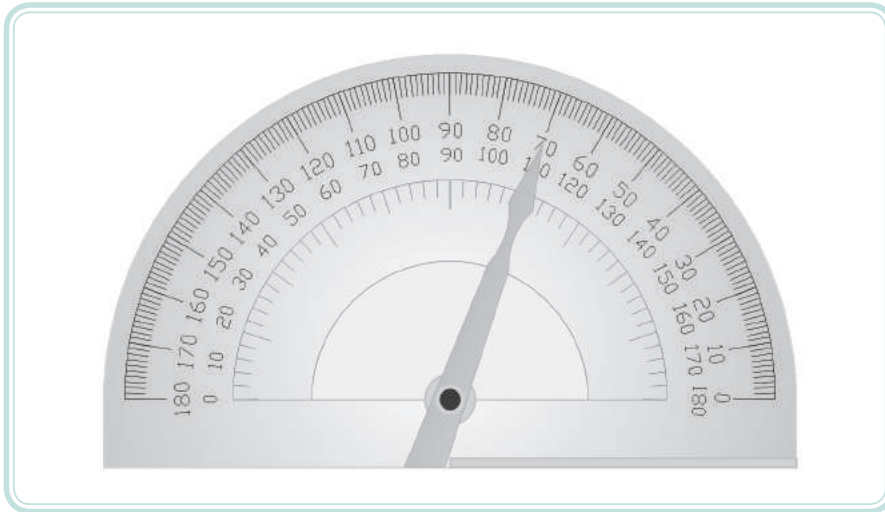
### Goniômetro

Um goniômetro é um instrumento de medida em forma semicircular ou circular graduada em 180° ou 360°, utilizado para medir ou construir ângulos.

[http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema092/Documents/APOSTILA\\_PARTE\\_II\\_cap\\_4\\_Micrometros.pdf](http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema092/Documents/APOSTILA_PARTE_II_cap_4_Micrometros.pdf)

## 7.5.4 Goniômetro

É um instrumento de medição que agrupa uma gama muito grande com diferentes formatos, concepções e graus de precisão. É usado quando o produto a ser medido tem um ângulo maior ou menor que o quadrante determinado. A escolha do instrumento a ser usado é influenciada pela precisão e grau de acabamento da superfície da peça.



**Figura 7.9: Goniômetro convencional**

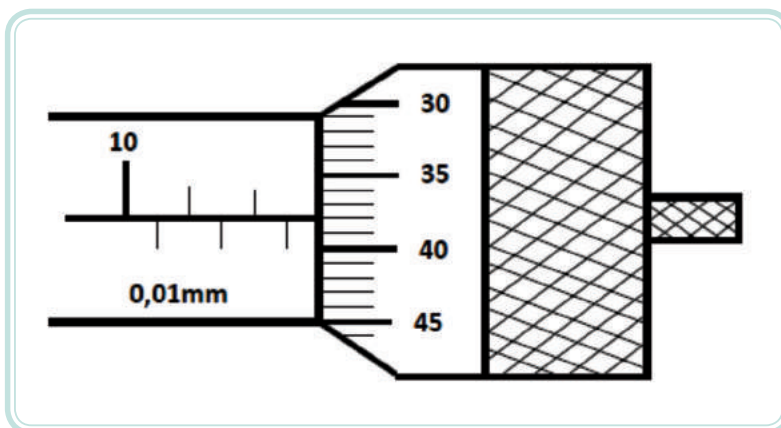
Fonte: Adaptado de <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/SI.htm>

## Resumo

Nesta aula procuramos estudar as características técnicas do desempenho dos motores de combustão, considerando alguns parâmetros físicos que nos permitem entender essas características, principalmente potência e torque. A cilindrada, câmara de combustão e a relação ou taxa de compressão, aqui, também são consideradas como elementos importantes nessa classificação. Outro aspecto faz referência a alguns instrumentos de precisão e aferição que permitem identificar os parâmetros de análise dos motores.

## Atividades de aprendizagem

1. Analisando a figura (Exercício 1.1), é possível dizer que o valor medido pelo micrômetro corresponde a:



**Exercício 1.1: Micrômetro**

Fonte: [www.stefanelli.eng.br](http://www.stefanelli.eng.br)

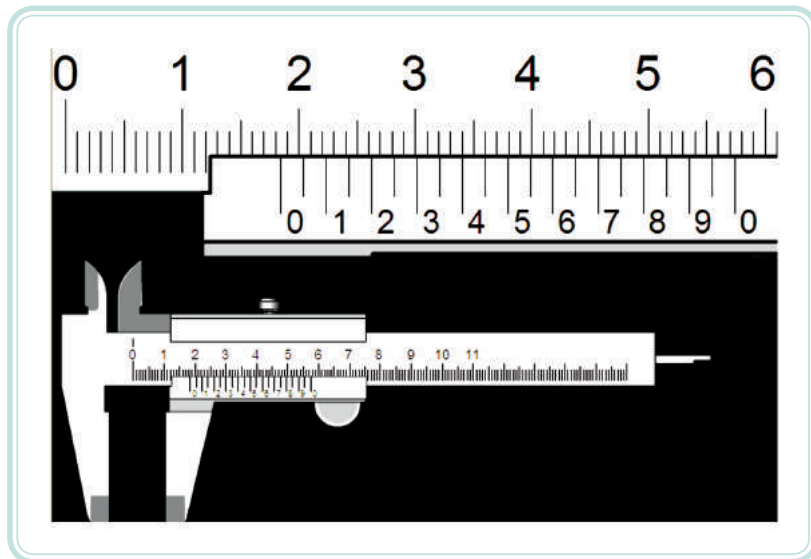
a) 11,31 mm

b) 13,32 mm

c) 10,20 mm

d) 12,88 mm

2. Analisando a figura (Exercício 2.1), você pode afirmar que o valor medido pelo paquímetro corresponde a:



### Exercício 2.1: Paquímetro

Fonte: [www.stefanelli.eng.br](http://www.stefanelli.eng.br)

a) 15,3 mm

b) 18,4 mm

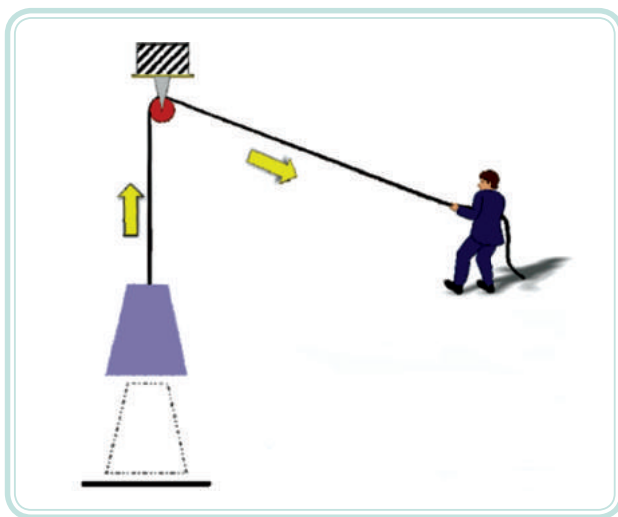
c) 20,0 mm

d) 12,4 mm

e) 13,7 mm

3. As figuras a seguir (Exercício 3.1 e 3.2) referem-se às noções preliminares de mecânica. Analise as afirmativas e responda o que se pede.

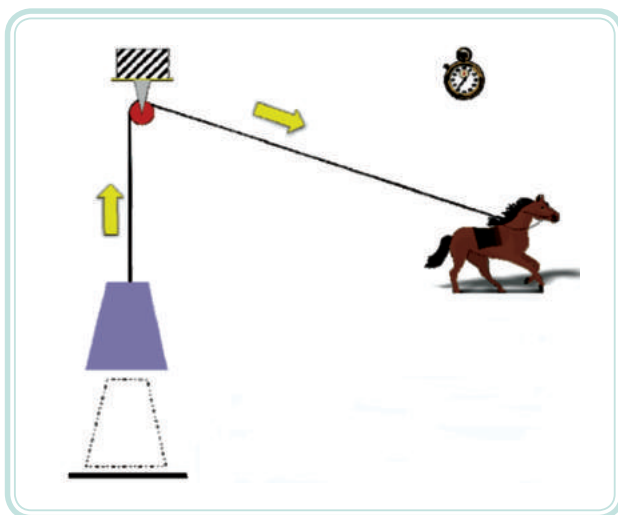
- a) A figura do Exercício 3.1 representa o trabalho exercido por uma força, onde: “Força é toda causa capaz de produzir ou alterar o movimento de um corpo” e, “trabalho é o movimento de um corpo através de uma distância definida, não importando quanto for seu peso”. Nessas condições, determine o trabalho despendido, se for aplicada uma força de 100 newtons para movimentar um corpo a uma distância de 10 metros.



**Exercício 3.1: Representação do trabalho exercido por uma força**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

- b) A figura do Exercício 3.2 representa a potência dispendida por um trabalho, onde: “Potência é todo o trabalho realizado por um corpo em um determinado período de tempo”. Para que um corpo seja deslocado a uma distância de 10 metros, aplica-se uma força de 100 newtons em um tempo de 5 segundos. Nessas condições, determine a potência dispendida.



**Exercício 3.2: Representação da potência dispendida por um trabalho**

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006





# Aula 8 – Avaliação dos parâmetros de desempenho

## Objetivos

Identificar e determinar os principais parâmetros de desempenho dos motores e suas relações entre potência, torque e consumo de combustível através das curvas de desempenho.

## 8.1 Parâmetros de desempenho

Anteriormente apresentamos algumas características técnicas de desempenho inerentes aos motores. Neste item, faremos referência aos parâmetros de desempenho os quais validam as características de desempenho mecânico dos motores. Tais parâmetros são obtidos de forma indireta através da aquisição de dados pelos ensaios de desempenho desenvolvidos em bancadas dinamométricas, caracterizados pelos **dinamômetros** de freios ou hidráulicos, os quais constituem equipamentos e instrumentos para avaliar, mensurar e conferir os dados técnicos fornecidos pelos fabricantes.

Nesse ensaio os instrumentos e equipamentos fornecem, através de leitura direta, os registros que dizem respeito ao torque ou momento de força, à velocidade angular e ao consumo horário de combustível, além do monitoramento das pressões relativas à tubulação de admissão e escapamento e das temperaturas respectivas do ar de admissão, do combustível, do óleo lubrificante, do líquido de arrefecimento e dos gases do escapamento.

A partir desses dados, são calculados a potência efetiva, o torque e o consumo específico, apresentados em forma de planilha de dados ou em forma gráfica por meio das curvas características, conforme se apresenta na Figura 8.1.

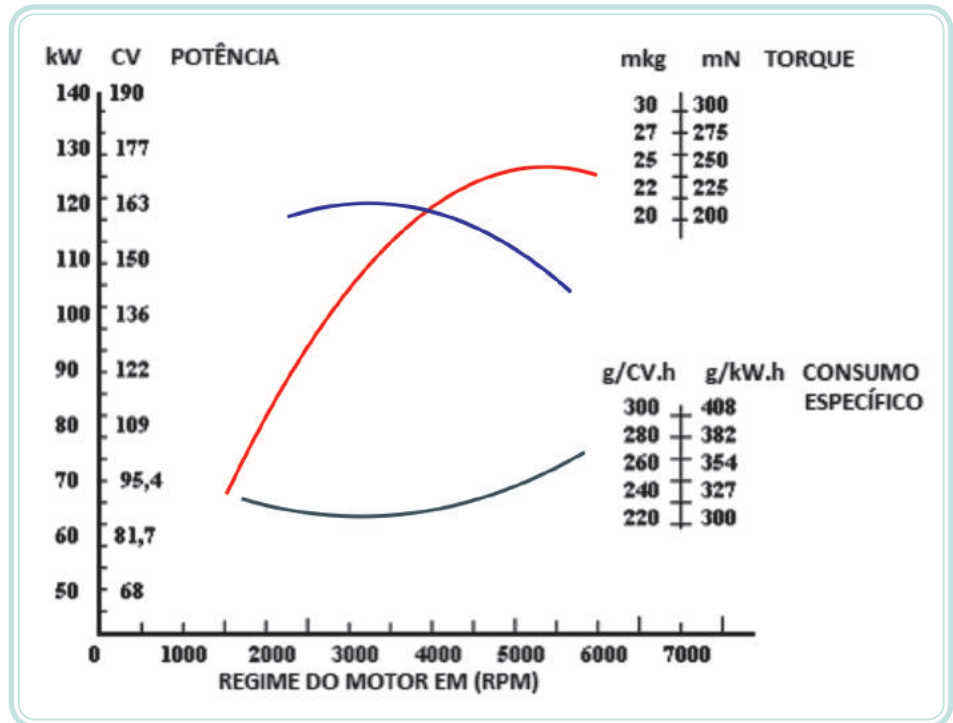
### A-Z

#### dinamômetro

Chama-se dinamômetro (ou abreviadamente dyno) um aparelho destinado a medir a rotação (rpm) e o binário produzidos por um motor.  
<http://pt.wikipedia.org/wiki/Dinam%C3%B3metro>



Saiba mais sobre curvas características dos motores de combustão, acessando: <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo1B/mrendimento.html>



**Figura 8.1: Curvas características da avaliação de desempenho**

Fonte: Adaptado de Jinma Tractor, 2010

A Figura 8.2 apresenta um trator agrícola acoplado ao dinamômetro para determinação indireta das características de desempenho do motor através da aquisição dos dados pela TDP (Tomada de Potência) na parte posterior do trator.



**Figura 8.2: Trator agrícola acoplado ao dinamômetro**

Fonte: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA, 2006

## 8.2 Potência mecânica

A energia mecânica desenvolvida por um motor é medida com precisão num banco de ensaios. É igualmente possível calcular esta energia com certa aproximação, levando-se em conta as particularidades do motor considerado. Em ambos os casos, determina-se a quantidade de trabalho mecânico efetuada em um dado tempo. Do resultado obtido, deduz-se a potência.

De início, recordemos que o trabalho mecânico é sempre composto dos dois fatores seguintes:

- a) Uma força que se mede em newton (N) e que atua por impulso ou por tração.
- b) Um deslocamento do ponto de ação desta força. Esse deslocamento é medido em metros na direção em que a força provoca o movimento.

O produto dos valores dessas duas grandezas fornece a quantidade de trabalho efetuado em joules. O joule (J) é a unidade do trabalho mecânico (N x m).

Se 10 J representam o trabalho efetuado por uma força de 10 N, produzindo um deslocamento de 1 m na direção em que a força atua, o trabalho efetuado por uma força de 20 N, produz um deslocamento de 2 m.

Para um trabalho fornecido pelo pistão de um motor que recebe durante o seu curso motriz um impulso médio de 1800 N, admitindo-se um curso do pistão de 80 mm (0,08 m), o trabalho efetuado a cada explosão será de:

$$1800 \text{ N} \times 0,08 \text{ m} = 144 \text{ J}$$

Esse impulso de 1800 N, atuando sobre uma distância de 0,08 m, produz um trabalho equivalente a um impulso de 144 J, atuando sobre uma distância de 1 m.

$$1 \text{ J/s} = 1 \text{ W}$$

$$1000 \text{ J/s} = 1 \text{ kW}$$

$$1000 \text{ J/s} = 1,36 \text{ cv ou } 1 \text{ cv} = 736 \text{ J/s}$$

Em um motor, o impulso que atua sobre o pistão é determinado pela pressão dos gases durante a explosão e, depois da explosão, durante a expansão. Durante a explosão, a pressão eleva-se até 40 bar, depois baixa rapidamente

no início e depois mais lentamente, até o fim do curso do pistão. No momento da abertura da válvula de escape, a pressão no cilindro não passa de alguns bars. O impulso recebido pelo pistão é, portanto, variável e o trabalho fornecido varia a cada posição do pistão. O cálculo de trabalho que um pistão dá a cada milímetro do seu curso é demasiado longo para se efetuar na prática.

Medem-se todas as variações de pressão por meio do indicador de Watt, e o diagrama fornecido por esse aparelho permite estabelecer uma pressão média. É a pressão média indicada que permite calcular o trabalho real fornecido pelo pistão durante o seu curso motriz.

Mas uma parte do trabalho fornecido pelo pistão é absorvida pelos atritos internos do motor, pelos tempos mortos, pelos efeitos de inércia, etc. O trabalho efetivo, disponível à saída do virabrequim é, portanto, mais fraco que o trabalho real fornecido pelo pistão.

Para calcular o trabalho efetivo disponível no virabrequim, adota-se uma pressão média mais fraca que a pressão média indicada. É a pressão média efetiva, que varia conforme os motores, o número de rotações e a relação volumétrica.

A pressão média efetiva ( $P_m$ ) permite, então, calcular o trabalho efetivo fornecido pelo motor. Este trabalho é tanto maior quanto maior é a superfície "S" do pistão, quanto mais longo é o curso "s" e quanto mais elevado é o número de cilindros.

### Exemplo

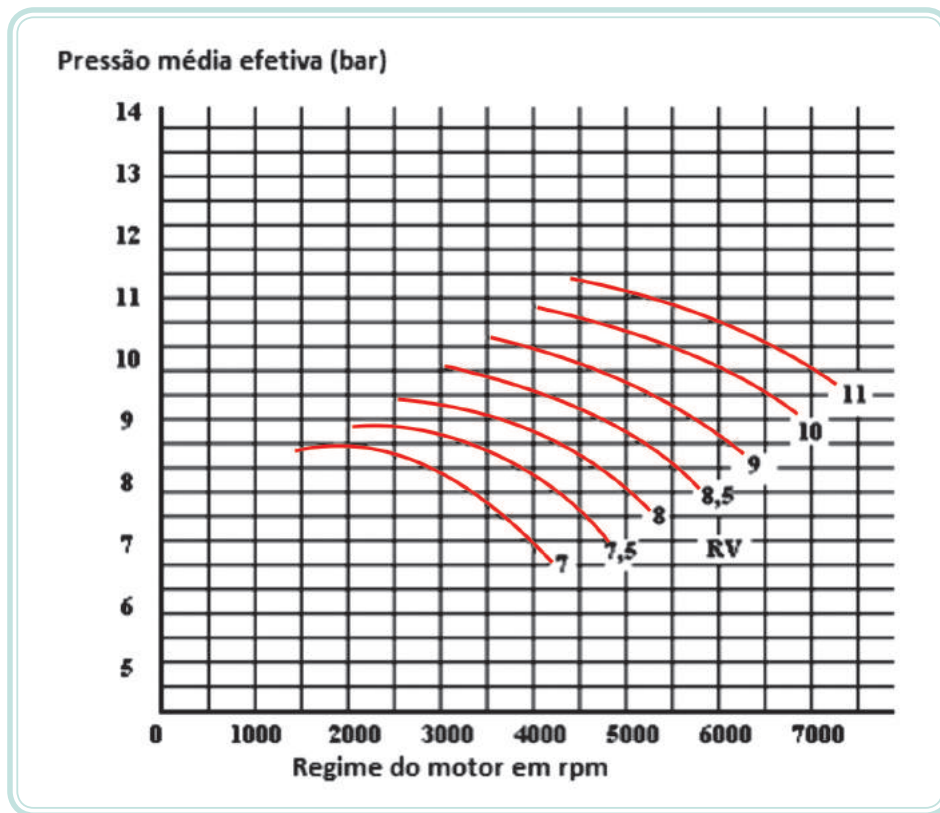
Que trabalho fornece, a cada curso motriz, um pistão de 56,5 mm (5,65 cm) de diâmetro, efetuando um curso  $s = 70$  mm (0,07 m) sob uma pressão média de 8 bar (80 kg/cm<sup>2</sup>), onde:

$$\text{Superfície do pistão: } S = \pi \times d^2/4 \text{ (m}^2\text{)}$$

$$\text{Impulso} = \pi \times d^2 \times P_m/4 \text{ (N} \times \text{m)}$$

$$\text{Trabalho} = \pi \times d^2 \times P_m \times s/4 = 3,14 \times (5,65)^2 \times 80 \times 7/4 = 140 \text{ J}$$

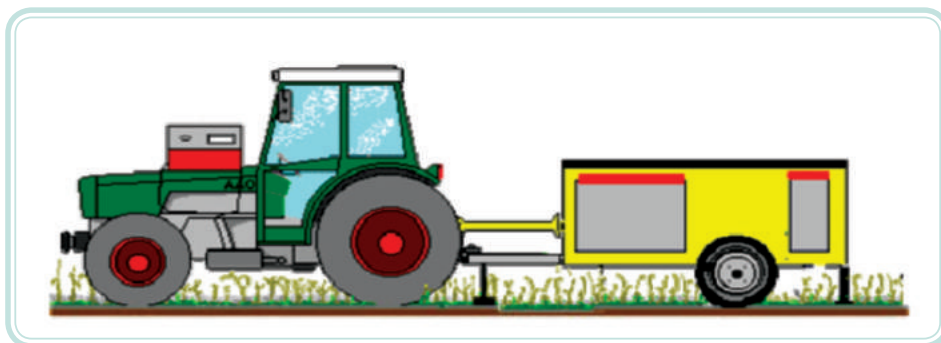
A Figura 8.3, apresenta as curvas de rendimento em função dos valores médios da pressão efetiva.



**Figura 8.3: Curvas de rendimento do motor**  
 Fonte: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA, 2006

### 8.3 Potência efetiva

A potência efetiva desenvolvida por um motor mede-se por meio do dinamômetro de freio, processo de dinamometria na bancada dinamométrica. O dinamômetro é constituído por duas partes essenciais: uma parte móvel ligada ao motor e outra acionada por ele; uma parte fixa provida de um dispositivo de frenagem que atua diretamente sobre a parte móvel. Um sistema de regulagem permite modificar a eficácia da frenagem.



**Figura 8.4: Dinamômetro de campo – análise de desempenho do motor do trator**  
 Fonte: Instituto Nacional de Tecnologia Agropecuária – INTA, 2006

A parte fixa é montada sobre um eixo de oscilação (braço de alavanca), sendo estabilizada por uma carga variável por meio de contrapesos e de uma mola calibrada.

Durante a frenagem, a parte fixa tende a ser acionada pela parte móvel. Esta levanta o contrapeso e atua sobre a mola até a obtenção de uma posição de equilíbrio. Conhecendo, então, o valor dos contrapesos em kg, conhece-se igualmente o esforço desenvolvido pelo motor à periferia do dispositivo de frenagem. Esse esforço tangencial se denomina torque equivalente no motor ou momento de força para cada rotação.

Qualquer que seja o tipo de freio empregado, o motor é sempre testado com o acelerador aberto, à potência máxima. Regulando a eficácia da frenagem, pode-se diminuir a velocidade de rotação do motor até travá-lo completamente ou deixá-lo embalar-se ociosamente.

Para conhecer as características exatas de um motor, mede-se a sua potência em diversos regimes de rotação. Começa-se pelos baixos regimes (1000 rpm) e sobe-se de 250 em 250 rotações, por exemplo, até o regime máximo, a partir do qual a potência começa a diminuir.

Os resultados obtidos permitem traçar a curva de potência do motor. Traça-se geralmente também a curva do torque. O torque pode ser apresentado tanto em mN como mkg e indica o esforço desenvolvido pelo motor na circunferência de um círculo com raio definido cujo centro de rotação se situa sobre o eixo do virabrequim.

Cálculo da potência efetiva de um motor monocilíndrico 80 x 90 girando a 4200 rpm com uma pressão média de 9,5 bar (95 N/cm<sup>2</sup>):

$$\text{Trabalho de uma explosão } 3,14 \times 8^2 \times 9,5 \times 0,09/4 = 430 \text{ J}$$

$$\text{Trabalho por segundo } 430 \times 4200/60 \times 2 = 15050 \text{ J/s}$$

Denominadores para motor a 4 tempos, 1 explosão a cada 2 rotações.

$$\text{Potência efetiva} = 15050/1000 = 15,03 \text{ kW}$$

Praticamente, a potência efetiva de um motor em novas unidades (kW) tem como valor os três quartos da potência em cv. Um motor de 80 cv tem uma potência de 60 kW.

Podemos resumir todas as operações do cálculo da potência efetiva do motor em uma só fórmula:

Equação 8.1

$$P_e = \pi \times d^2 \times P_m \times s \times n \times l \times 10/4 \times 60 \times 2 \times 1000$$

Onde:  $\pi = 3,14$

d – corresponde ao diâmetro do cilindro em cm

P<sub>m</sub> – pressão média em bar

s – curso do pistão em m

n – regime do motor em rotações por minuto em rpm

l – número de cilindros

O numerador 10 transforma a pressão média dada em bar, de modo a efetuar um impulso médio em N/cm<sup>2</sup>; o denominador 1000 permite obter o resultado em kW.

Atualmente, tende-se a dar mais importância ao torque motor que à potência. De fato, o torque motor depende diretamente do impulso transmitido pelos pistões ao virabrequim. Ele informa, portanto, de modo preciso sobre o enchimento dos cilindros e sobre a força explosiva da carga aspirada.

Constata-se que essa carga é máxima para um regime de rotações relativamente baixo e que ela diminui com o aumento do regime de rotações. Ora, o motor será tanto mais capaz de subir as rampas em marcha direta (relação de transmissão 1:1) quanto mais inclinada para a direita for a curva de seu torque. De fato, como em rampa a velocidade diminui tal como o regime do motor, o torque do motor vai aumentar, ou seja, o que se perde em velocidade, ganha-se em torque.

## 8.4 Reserva de torque

Os pontos definidos pelo torque máximo e torque na rotação de potência máxima estabelecem os valores correspondentes à faixa de velocidade de uso do motor, conferindo também, a reserva de torque (RTo), caracterizando o incremento percentual de torque na rotação nominal ao torque máximo o que, de forma prática, permite um incremento temporário ao motor superando uma eventual resistência, conforme equação que segue:

Equação 8.2

$$RTo (\%) = 1 - \left( \frac{T_A}{T_B} \right) \times 100$$

Onde: RTo – reserva de torque (%)

$T_A$  – torque na rotação de potência máxima

$T_B$  – torque máximo

As principais curvas de desempenho do motor são mostradas na Figura 8.5 que, em função da rpm, observam-se os valores característicos da potência, torque e consumo específico.

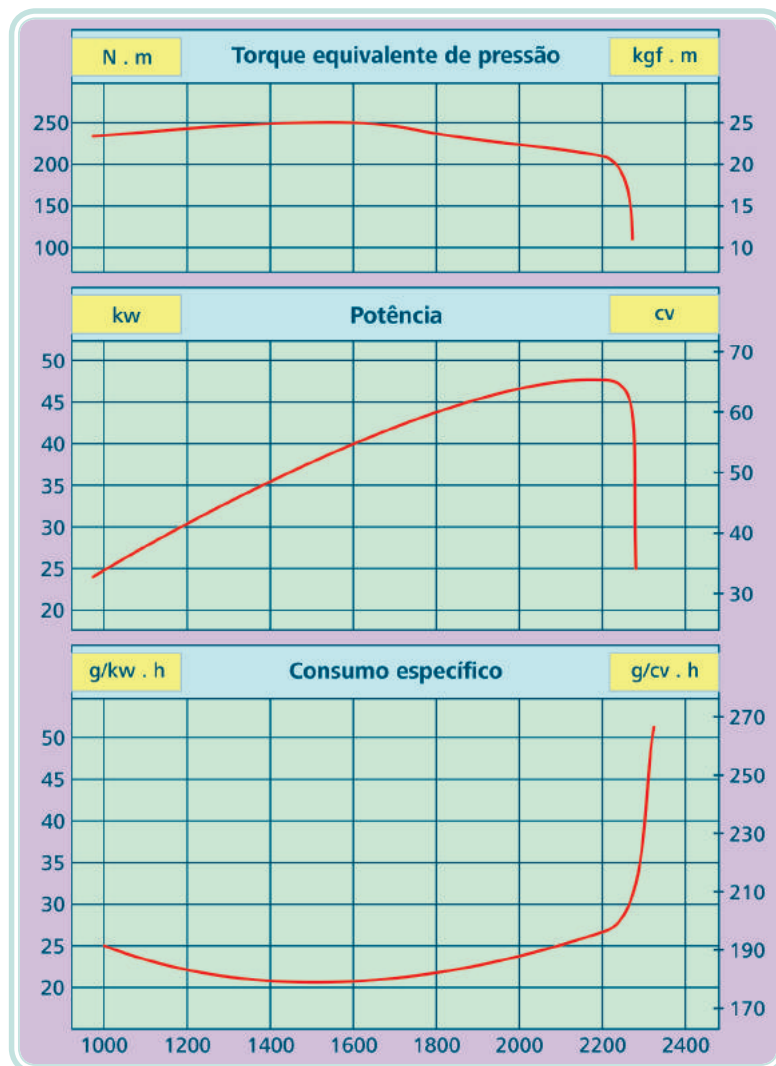


Figura 8.5: Curvas de desempenho do motor

Fonte: Adaptado pelo autor de Jinma Tractor, 2010



A curva de potência é o resultado do torque motor em mN ou mkg e do regime de rotação em rpm. Constata-se que ela atinge o seu máximo a um regime relativamente elevado.

Nos regimes baixos, a potência desenvolvida é relativamente fraca; o torque é importante, mas a velocidade em rpm é fraca.

Nos regimes médios, o torque diminui ligeiramente, mas a rotação aumenta fortemente; a potência é nitidamente mais elevada.

Nos regimes de potência máxima, a curva torna-se horizontal. O torque diminui fortemente, e essa diminuição é completamente compensada pelo aumento do regime. A potência estabiliza-se.

A um regime mais elevado, a diminuição do torque é tão importante que o aumento da rotação não a compensa mais. A potência diminui.

O regime de potência máxima é considerado regime normal do motor.

Praticamente, é interessante permanecer ligeiramente abaixo.

O regime do torque máximo é considerado o regime inferior limite para a marcha a plena admissão.

Durante os testes no dinamômetro, mede-se com exatidão o consumo do combustível. Conhecendo a potência desenvolvida, deduz-se o consumo em gramas por kWh (g/kW.h) ou cv por hora (g/cv.h). A curva de consumo específico informa sobre os regimes econômicos do motor.

Exemplificando, o consumo de um motor a gasolina é de aproximadamente 300 a 400 g/kW.h, (200 a 300 g/cv.h).

Para motor Diesel o consumo específico pode estar de 250 a 360 g/kW.h (170 a 240 g/cv.h).

## A-Z

### normas técnicas

Uma norma técnica (ou padrão) é um documento, normalmente produzido por um órgão oficialmente acreditado para tal, que estabelece regras, diretrizes, ou características acerca de um material, produto, processo ou serviço.

[http://pt.wikipedia.org/wiki/Norma\\_t%C3%A9cnica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Norma_t%C3%A9cnica)

## 8.5 Normas para avaliação de desempenho de motores

As **normas técnicas** são documentos e registros que ditam os padrões que regem as informações técnicas sobre máquinas e motores em geral, considerando sua nomenclatura, potência, torque, rotações, etc.

### 8.5.1 Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) – Conjunto de normas brasileiras que determinam como deverão ser expressos os dados relativos ao desempenho dos motores. O motor deve ser ensaiado considerando todos os seus acessórios, o que não impede que sejam apresentados dados referentes ao motor sem esses acessórios.

**ABNT NBR ISO 1585:1996** – Veículos rodoviários – Código de ensaio de motores – Potência líquida efetiva.

### 8.5.2 Normas da *Society of Automotive Engineers*

*Society of Automotive Engineers* (SAE) – Normas inglesa e americana que determinam o ensaio de motores sem a presença dos acessórios (bomba d'água, ventilador, alternador, etc.), considerando regulagem no sentido de se obter a potência máxima no ensaio.

### 8.5.3 Normas da *Deutsche Industrie Normem*

*Deutsche Industrie Normem* (DIN) – Norma alemã que determina os ensaios dos motores de forma a se obterem resultados idênticos aos determinados quando instalados em seus veículos, ou seja, completamente equipado com seus acessórios.

**DIN 70.020** – Estabelece fatores de correção para motores aspirados e turbinados.

### 8.5.4 Normas da Organização Internacional de Normalização

Organização Internacional de Normalização (ISO) – Conjunto de normas que estabelecem as características de peças e desempenho de sistemas nos motores. Aceita internacionalmente, geralmente usada como referência básica para atividades e relações comerciais entre países ou por alguns países como texto base.



Para saber mais sobre avaliação de desempenho motor, acesse: <http://cdeam.ufam.edu.br/artigos/77.pdf>

**ISO 1585:1996** – Veículos rodoviários – Código de ensaio de motores – Potência líquida efetiva.

## 8.6 Rendimento dos motores de combustão interna

### 8.6.1 Rendimento mecânico

O rendimento mecânico é a relação entre a potência produzida no eixo e a potência produzida no interior do cilindro provocada pela combustão. Esse rendimento é função da força de atrito que ocorre entre os seus diversos órgãos e das forças necessárias para acionarem os órgãos auxiliares.

A perda de potência pelo atrito, torna-se cada vez maior, à medida que a rotação fica mais elevada. Os óleos lubrificantes, sejam de base mineral ou sintética, incorporam em suas fórmulas componentes que ajudam a minimizar essas perdas.

Por ocasião da construção do projeto de um motor de alta performance, muitos projetistas fazem longas conexões de bielas, finos anéis de pistão, anel raspador de óleo com baixa tensão, tanto quanto a precisão da máquina permitir de modo a minimizar as perdas por atrito. Essas modificações buscam um aumento na eficiência mecânica.

A principal força de atrito que ocorre em um motor é a provocada pelo contato direto entre o pistão e o cilindro a qual pode ser reduzida, por exemplo, por ocasião da retífica do motor. Nesta situação, os cilindros sofrem usinagem de brunimento, isto é, são feitos pequenas ranhuras ou riscos com ângulos indicados pelo fabricante. Essas ranhuras, geralmente com angulação de 120°, fazem com que o óleo permaneça mais tempo em contato com as paredes do cilindro, facilitando a lubrificação. Por outro lado, reduzem o rendimento mecânico devido ao aumento do coeficiente de atrito.

A eliminação completa desses riscos não é recomendável porque, se a parede for muito espelhada, a película de óleo não conseguirá mais ter aderência às paredes do cilindro, prejudicando a lubrificação do sistema. Todos os cilindros devem receber o mesmo polimento. Assim, consegue-se reduzir o coeficiente de atrito dos cilindros, aumentando-se o rendimento mecânico e evitando a grimpagem do pistão, que é comum em motores com altas solicitações.



Saiba mais sobre rendimento motor, acessando:  
[http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/motores/downloads/ACAPA\\_INDICE.pdf](http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/motores/downloads/ACAPA_INDICE.pdf)

## 8.6.2 Rendimento térmico

O rendimento térmico é a relação entre o calor que efetivamente se transforma em trabalho útil e o calor equivalente ao trabalho que poderia ser obtido pela queima do combustível. O aumento do rendimento térmico do motor pode ser conseguido das seguintes maneiras:

### 8.6.2.1 Aumentando a taxa de compressão

O modo mais fácil de aumentar o rendimento térmico do motor é aumentar a sua taxa de compressão. Aumentando a taxa (ou razão), aumenta-se a energia extraída de cada gota de combustível, ou seja, essa modificação proporciona um aumento na eficiência térmica. Esse aumento pode ser feito, dependendo da conveniência, através do rebaixamento do cabeçote ou troca dos pistões. De uma maneira geral, para cada ponto adicionado na taxa de compressão resultará um aumento de 4% na potência do motor. É claro que isso é limitado pela qualidade do combustível utilizado e pela geometria de construção do motor que pode tornar o motor propenso à detonação.

### 8.6.2.2 Otimizando a combustão

Quando algumas características do motor são alteradas, com a finalidade de se aumentar a potência, torna-se necessária a otimização da combustão da mistura, o que é possível de ser realizado modificando-se a bobina, vela de ignição, módulo de ignição e curva de avanço. Essa melhora na combustão da mistura torna-se necessária porque, ao se aumentar a taxa de compressão do motor, a capacidade de a faísca saltar entre os eletrodos da vela é reduzida. É importante lembrar que não se está considerando alterações no combustível, uma vez que não se trata de uma alteração no motor.

Com o aumento do peso específico da mistura (o que pode ser conseguido enriquecendo-se a mistura do combustível) aumentar-se-á a potência do motor.

Entretanto, se a mistura for extremamente rica, a combustão já não será perfeita, diminuindo por consequência o rendimento térmico do motor, reduzindo a potência.

### 8.6.2.3 Diminuindo a diferença de temperatura entre a saída e a entrada d'água de refrigeração do motor

O ideal seria transformar toda a energia química do combustível em energia térmica, mas, como já foi comentado, existem perdas pelas próprias características dos materiais envolvidos no processo construtivo do motor, que necessitam trocar o calor gerado pela combustão e os presentes atritos internos.

A variação da temperatura da entrada e saída d'água de refrigeração de um motor deve ser a menor possível, pois essa troca de calor, embora necessária, provoca perdas de energia. Portanto, essa variação de temperatura deve ser trabalhada com muito cuidado, caso contrário, o motor poderá apresentar superaquecimento ou ter uma boa parte dessa energia perdida pelo trocador de calor.

### 8.6.3 Rendimento volumétrico

O rendimento volumétrico é a relação entre o peso de ar efetivamente introduzido no cilindro e o peso teórico máximo, nas condições atmosféricas (150°C e 760 atm). A grande maioria das modificações para aumentar a performance está centrada no aumento de ar e combustível para dentro do motor.

O rendimento volumétrico em relação aos outros rendimentos é o que oferece um maior campo de atuação.

Existem vários modos de se fazer com que o volume de ar seja maior:

- Aumento do diâmetro do coletor de admissão, assim como, polimento do seu interior.
- Uso de coletor de escape dimensionado.
- Trabalho e polimento dos dutos do cabeçote.
- Corte da guia de válvula.
- Aumento do diâmetro das válvulas.
- Aumento das aberturas das válvulas (comando de válvulas).
- Aumento do número de válvulas.
- Polimento das válvulas, assim como redução no diâmetro da haste das válvulas.
- Aumento da rotação do motor.
- Mudança no carburador ou sistema de injeção eletrônica.

- Uso de filtro de ar esportivo.
- Uso de turbo compressor.
- Uso de compressores volumétricos.
- Uso de injeção de óxido nitroso.

### 8.6.4 Rendimento global ou total

Chama-se rendimento de um motor a relação entre potência mecânica desenvolvida à saída do virabrequim e a que lhe é fornecida sob a forma de combustível, onde um grama de gasolina tem um poder calorífico de 11000 calorias (pequenas calorias).

Uma caloria transformada totalmente em trabalho mecânico fornece 4,185 J, ou seja, uma força de 1 newton (N), provocando um deslocamento de 1 m.

Um motor que consome 340 g de gasolina como combustível por kWh recebe por segundo uma energia de:

$$340 \times 11000 \times 4,185/3600 = 4348$$

Sendo que:

$$1 \text{ kWh} = 3600000 \text{ j e } 1 \text{ kW} = 1000 \text{ j/s}$$

Esse motor recebe sob forma de combustível uma energia calorífica capaz de fornecer 4348 J/s; e rende 1000 J/s.

Assim, o seu rendimento térmico é de:

$$1000 \times 100/4348 = 23\%$$

Observa-se que o cálculo do rendimento de um motor pode ser feito com base no seu consumo de combustível por hora ou por segundo.

Como os catálogos dos motores indicavam, antigamente, o consumo em g por hp/hora, era lógico calcular o rendimento a partir desse valor e em relação ao hp/hora.

Com as novas unidades MKSA convém calcular o rendimento como base no consumo por segundo. A unidade de trabalho (J) é dez vezes menor que o (kgm) e a unidade de calor (cal) é mil vezes menor que a (kcal), pelo que, calculando por hora, obter-se-ão valores extremamente elevados e pouco comuns na prática. Aliás, sendo a nova unidade de potência dos motores, o kW, correspondente a 100 J/s, é mais simples calcular o rendimento sobre esta base de tempo.

Considera-se que o rendimento de um motor do ciclo Otto com alimentação por gasolina é de, em média, 21 a 25%, enquanto o rendimento de um motor do ciclo Diesel pode atingir mais de 35%.

A energia total desenvolvida pela combustão da gasolina no motor de ciclo Otto distribui-se do seguinte modo:

- 32% sob forma de calor gasto pelo sistema de arrefecimento dos cilindros.
- 35% sob forma de calor retirado pelos gases de escape.
- 8% sob forma de energia mecânica absorvida pelos atritos internos do motor.
- 25% sob forma de energia mecânica disponível na extremidade do virabrequim.

### 8.6.5 Rendimento volumétrico (potência por litro)

Para comparar os motores entre si, relaciona-se muitas vezes a sua potência efetiva à unidade de cilindrada expressa em litros, ou seja:

$$\text{Potência} / \text{cilindrada} = \text{potência por litro}$$

Nos primeiros motores atingiam-se 5 cv (3,6 kW) por litro. Esse valor era baseado na potência nominal utilizada ainda hoje por vários países.

Os motores modernos desenvolvem entre 30 kW (40 cv) e 37 kW (50 cv) por litro, e mais de 80 kW (100 cv) para os motores de alto rendimento.

Esses aperfeiçoamentos resultam principalmente no aumento dos regimes de rotação, da diminuição de peso das peças móveis e da qualidade dos combustíveis.

Para comparação mais exata das vantagens da execução mecânica dos motores, é preciso determinar a potência por litro por milhares de rpm, ou seja:

$$\text{Potência} / \text{cilindrada} \times \text{regime} = \text{potência por litro por 1000 rpm}$$

Os valores atuais situam-se entre 5 e 9 kW por litro/1000 rpm, ou seja, entre 7 e 12 cv.

## 8.7 Causas do baixo rendimento dos motores Diesel

Com cuidado e sob condições normais de funcionamento, as peças internas que estão permanentemente em atrito, responsáveis pelo funcionamento do motor, podem ter sua vida útil prolongada. Entretanto, após certa quilometragem ou horas de uso, o insignificante mas constante desgaste começa a se manifestar e evidenciar baixo rendimento do motor.

Os sintomas iniciais podem se caracterizar pelo alto consumo de óleo lubrificante, combustível, água de arrefecimento, perda de potência quando houver mais solicitação de carga. Nos desgastes excessivos ou falhas prematuras, a análise completa e detalhada de todos os sintomas geralmente revelará todos os fatores que contribuíram para ocorrência da falha.

Principais sintomas de dificuldades em um motor de combustão interna operando com ciclo Diesel:

- a) **Fumaça no escapamento** – pode ser indício de que alguma quantidade de óleo lubrificante está sendo queimada na câmara de combustão, junto com o combustível, provavelmente causado por desgaste prematuro de elementos mecânicos do motor.
- b) **Consumo elevado do óleo lubrificante** – parte do óleo é queimado na câmara de combustão ou perda por fuga em algum ponto do motor.
- c) **Consumo elevado de combustível** – provocado por fuga externa de combustível, condições de danificação das válvulas, baixa compressão por desgaste nas camisas ou anéis, desgaste nas guias das válvulas, etc.



- d) Irregularidades na combustão** – golpes ou ruídos que se manifestam durante a combustão podem ser provocados por tempo de explosão adiantado ou atrasado, combustível inadequado, depósitos de carvão contaminado com o óleo ou motor superaquecido.
- e) Ruídos no motor** – os ruídos internos presentes no motor são de difícil localização, podendo ser causados por folga nos tuchos, nas hastes, folga longitudinal nas bielas, desgaste no pé das bielas, anéis desgastados ou processo de falhas na combustão.
- f) Baixa pressão do óleo lubrificante** – cada modelo de motor funciona com uma pressão característica a uma determinada rotação específica em função do tipo de motor. As prováveis baixas de pressão pode ter origem na obstrução do filtro de sucção, desgaste ou defeito da bomba de óleo, fuga em função do desgaste nas bronzinas ou anéis, contaminação do óleo por água ou combustível causada por rachadura no bloco ou falha na vedação.
- g) Falhas de funcionamento** – quando um ou mais cilindros estão falhando, o motivo pode estar na presença de ar na admissão de combustível, falha no sistema elétrico, bomba injetora desregulada, água ou impurezas no combustível.
- h) Perda de potência** – as causas mais frequentes estão relacionadas ao descompasso no tempo de combustão, combustível inadequado ou contaminado, bomba injetora desregulada, baixa compressão por fuga de pressão nas tubulações ou no cilindro.
- i) Produção excessiva de gases pelo motor** – em muitos casos a presença de gases provenientes do motor deve-se ao desgaste dos anéis de segmento que alteram a pressão no cárter promovendo fuga dos gases pela tubulação de respiro do motor ou por trincas indevidas no bloco ou tampa de cilindros.
- j) Superaquecimento** – geralmente é determinado pela falta do fluido de arrefecimento, correia do ventilador frouxa ou rompida, atraso ou adiantamento no processo de combustão, radiador obstruído, mangueiras obstruídas ou defeito na bomba d'água.

## Resumo

Estudamos que, para a avaliação dos parâmetros de desempenho dos motores de combustão, é necessário entender o procedimento de aquisição dos principais dados que se referem ao comportamento dos motores. Através das curvas características de desempenho as quais relacionam potência, torque e consumo específico de combustível, podemos observar o comportamento do motor para diferentes rotações de trabalho, considerando como eficiente ferramenta na tomada de decisões. Concluindo, analisamos o rendimento e suas consequências nos motores de combustão.



## Atividades de aprendizagem

1. Calcular a relação de compressão de um motor cuja cilindrada individual é de  $984\text{ cm}^3$  e o volume da câmara de combustão é de  $42\text{ cm}^3$ .
2. Calcular a relação de compressão de um motor cuja cilindrada individual é de  $0,928\text{ dm}^3$  e o volume da câmara de combustão é de  $65615\text{ mm}^3$ .
3. Determinar a cilindrada de um motor de 6 cilindros cujo pistão tem um diâmetro de  $8,33\text{ cm}$  e um curso de  $16,45\text{ cm}$ .
4. Determinar a cilindrada de um motor de 4 cilindros, o qual apresenta um pistão com  $5,84\text{ cm}$  de diâmetro para um curso de  $10,4\text{ cm}$ .

## Referências

BARGER E. L.; LILJEDAHL, J. B.; CARLETON, W. M.; McKIBBEN, E. G. **Tratores e seus motores**. 1. ed. Rio de Janeiro: USAID, 1966.

BAUER. U. **Automotive handbook**. Robert Bosch GmbH. Alemanha: Ed. Bosch, 2000.

BOSCH, R. **Manual de tecnologia automotiva**. 25. ed. Tradução de Helga Madjiderey et al. São Paulo: Dgard Blücher, 2010.

DAIMLER CHYSLER DO BRASIL Ltda. **Global training**. Campinas: 2008. 64 p.

FRAN. **Filtros**. Apostila de manutenção. 2003. 15 p.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUÁRIA – INTA. **Publicaciones técnicas**. Argentina, 2006. Disponível em: <[www.inta.gob.ar](http://www.inta.gob.ar)>. Acesso em: 10 set. 2010.

INTERNATIONAL ENGINES. **Especificações técnicas** – motor modelo HS 2.5 T. Impresso. 2001. 91 p.

JINMA TRACTOR. **Curvas de desempenho do motor**. Disponível em: <<http://www.best-tractor.com/china/air-cooled-engine-1.html>>. Acesso em: nov. 2010.

LOPES, A; FURLANI, C. E. A; SILVA, R. P. Desenvolvimento de um protótipo para medição do consumo de combustível em tratores. **Revista Brasileira de Agroinformática**, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 24-31, 2003.

LOUREIRO, E. **Máquinas térmicas I**. Apresentação Power Point, 2010. Disponível em: <[http://www.eduloureiro.com.br/index\\_arquivos/MTAula1.pdf](http://www.eduloureiro.com.br/index_arquivos/MTAula1.pdf)>. Acesso em: 10 set. 2010.

MAHLE. **Driven by performance**. Apostila Treinamento. 2007. 221 p.

MARTIN, J. **Motores de combustão interna**. Université Catholique de Louvain. UCL. TERM., 2008.

MERCEDES BENZ DO BRASIL. **Apostila de treinamento técnico**: matemática e metrologia. Impresso. 2006. 38 p.

MIALHE, L.G. **Máquinas motoras na agricultura**. São Paulo: EPU/EDUSP, 1980. 289 p.

MURARO, W. **Avaliação do funcionamento de motor ICE com gás de baixo poder calorífico proveniente da gaseificação de casca de arroz**. 2006, 106 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 2006.

MWM International Motores. **Apostila motores Diesel** – Treinamento. 2009. 74 p.

NEBRA, S. A. **Máquinas térmicas**. Motores alternativos de combustão interna. FEM. UNICAMP, 2003. Disponível em: <[www.fem.unicamp.br/apresentação/powerpoint](http://www.fem.unicamp.br/apresentação/powerpoint)>. Acesso em: 14 out. 2008.

OBERT, E. F. **Motores de combustão interna**. Tradução de Fernando Luiz Carraro. 2. ed. Porto Alegre: Globo, 1971.

RAHDE, S. B. **Apostila de motores de combustão interna**. PUC, sd.

REIS, A. V.; MACHADO, A. L. L. T.; TILLMANN, C. A. C.; MORAES, M. L. B. **Motores, tratores, combustíveis e lubrificantes**. 2. ed. Pelotas: Editora Gráfica Unversitária UFPel, 2005.

SANTOS, L. C. A. **Sistema de injeção Diesel**. Departamento de Engenharia Electrotécnica (DEE) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP). Instituto Politécnico do Porto (IPP). 2009. Disponível em: <[http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act\\_lect/SIAUT/Trabalhos%202008-09/SIAUT2009\\_InjeccaoDiesel.pdf](http://ave.dee.isep.ipp.pt/~mjf/act_lect/SIAUT/Trabalhos%202008-09/SIAUT2009_InjeccaoDiesel.pdf)>. Acesso em: 08 dez. 2011.

SILVA, M. J. M. da; RUGGERO, P. A. **Efeitos da utilização da energia de biomassa sobre o meio ambiente**. UNICAMP. Campinas, 2003. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~em313/paginas/gaseif/gaseif.html>>. Acesso em: 17 nov. 2009.

STONE, R. **Internal combustion engines**. Society of Automotive Engineers, Inc. 2. ed. Warrendale, PA, USA, 1993.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. Departamento de Engenharia Mecânica – DEMEC. **Nota técnica**. Belo Horizonte, 2000. 25 p. Disponível em: <<http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/SI.htm>>. Acesso em: 12 out. 2009.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – COPPE. **Máquinas térmicas**. Disciplina de Motores. Apostila 2005. 96 p. Disponível em: <[http://mecanica.scire.coppe.ufrj.br/util/b2evolution/media/silvio/apmotoresMCI05\\_01.pdf](http://mecanica.scire.coppe.ufrj.br/util/b2evolution/media/silvio/apmotoresMCI05_01.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2009.

VAN WYLEN, G.; SONNTAG, R.; BORGNAPPE, C. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. São Paulo: Edgard Blücher, 1994.

VARELLA, C. A. A. Funcionamento dos motores de múltiplos cilindros. **Apostila motores e tratores**. Departamento de Engenharia. UFRRJ. 2010. 10 p.

## Currículo do professor-autor

**Carlos Antonio da Costa Tillmann** possui graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas (1988), Mestrado em Máquinas Agrícolas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (1994) e Doutorado em Ciência e Tecnologia de Sementes pela Universidade Federal de Pelotas (2006). Atualmente é Professor Adjunto do Centro de Engenharias da UFPel. Tem experiência na área de Engenharia Agrícola, com ênfase em Máquinas Agrícolas: Motores, Mecanização e Biocombustíveis; Engenharia de Produção: Sistemas de Gestão da Qualidade e Ambiental, atuando principalmente nos seguintes temas: Desenvolvimento de projetos em máquinas agrícolas, perdas na colheita e sistemas integrados de gestão.



