

**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS  
LER332 – Mecânica e Máquinas Motoras**

# **Motores de Combustão Interna Parte I**

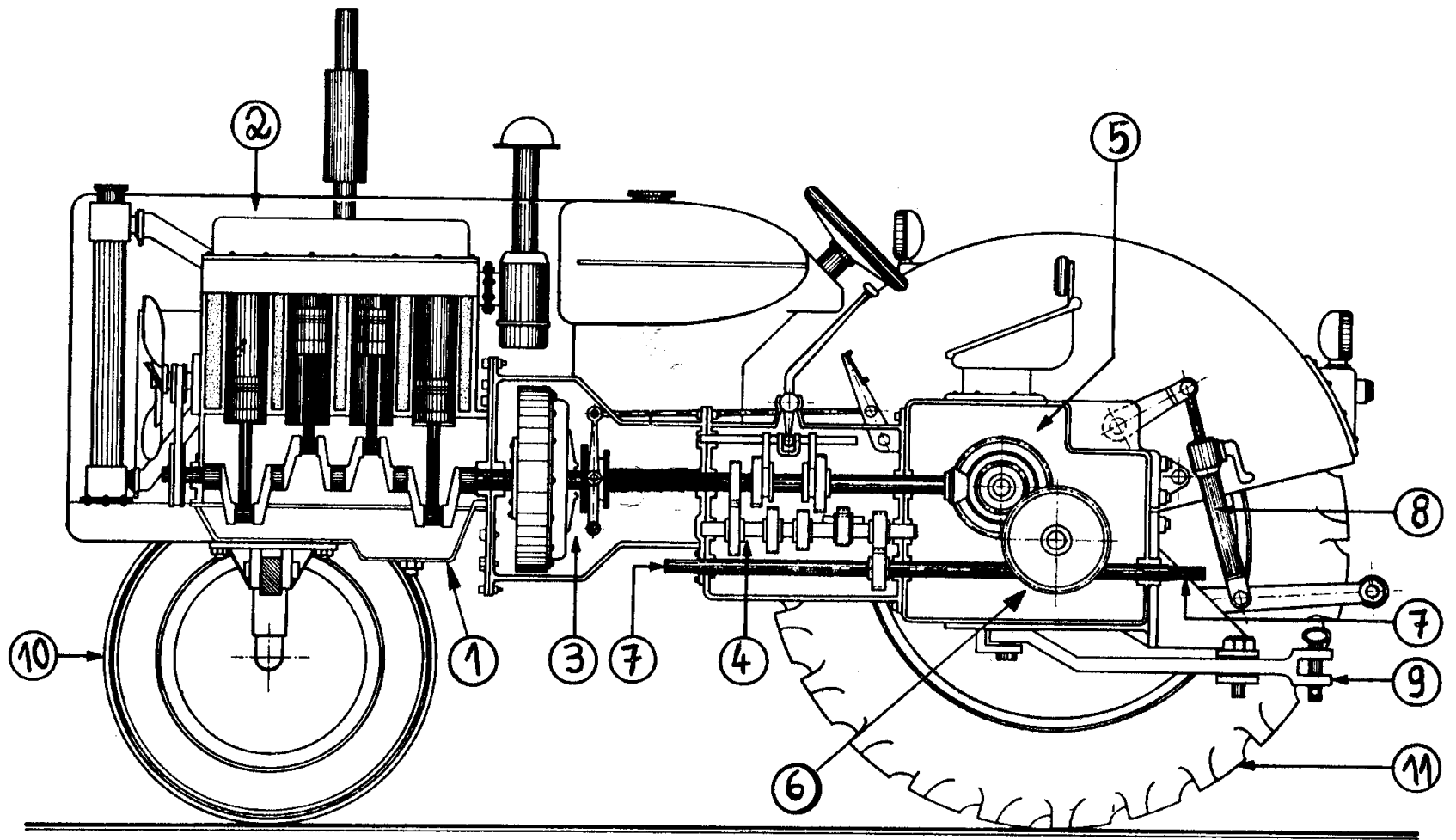
**Prof. Thiago Romanelli  
romanelli@usp.br**

**27/03/2012**

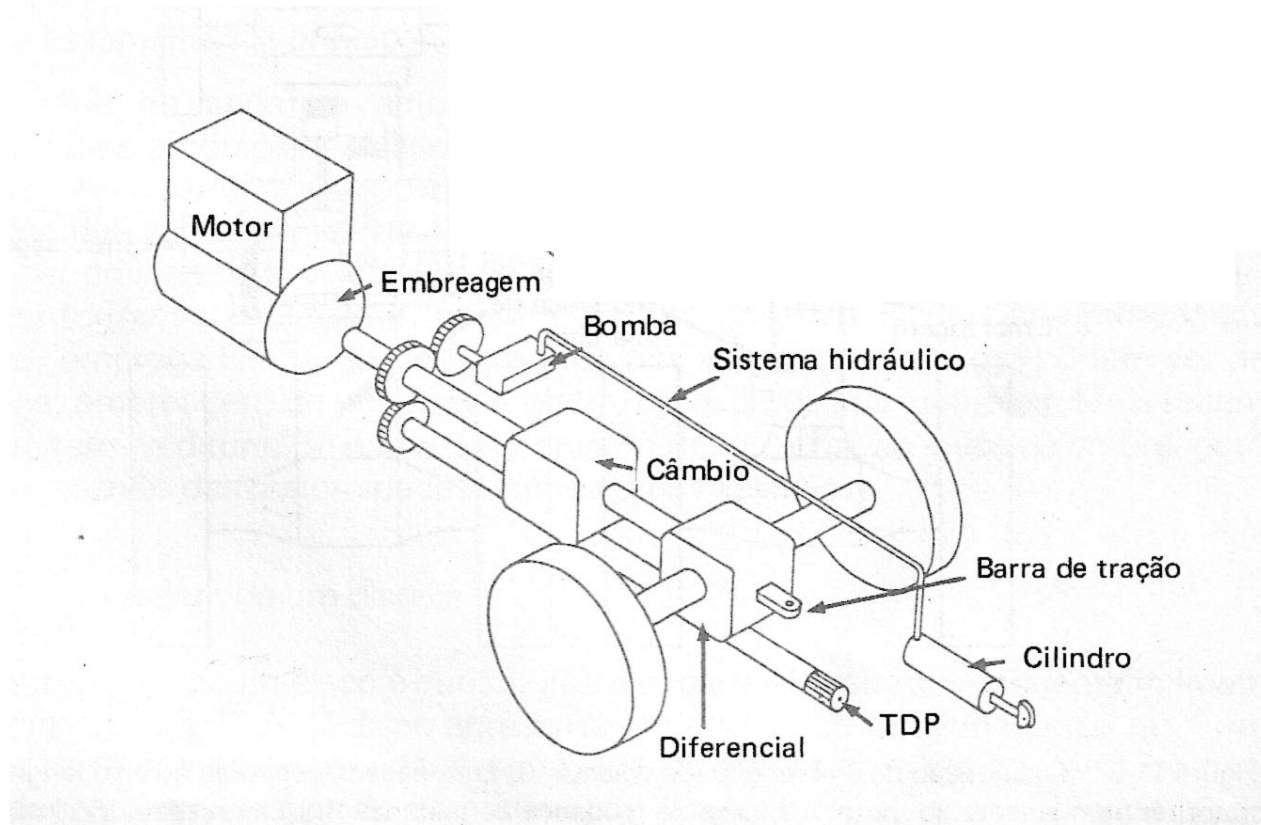
# Motores de Combustão Interna

- **Parte I – Introdução**
- **Parte II – Órgãos fundamentais**
- **Parte III – Sistemas complementares**

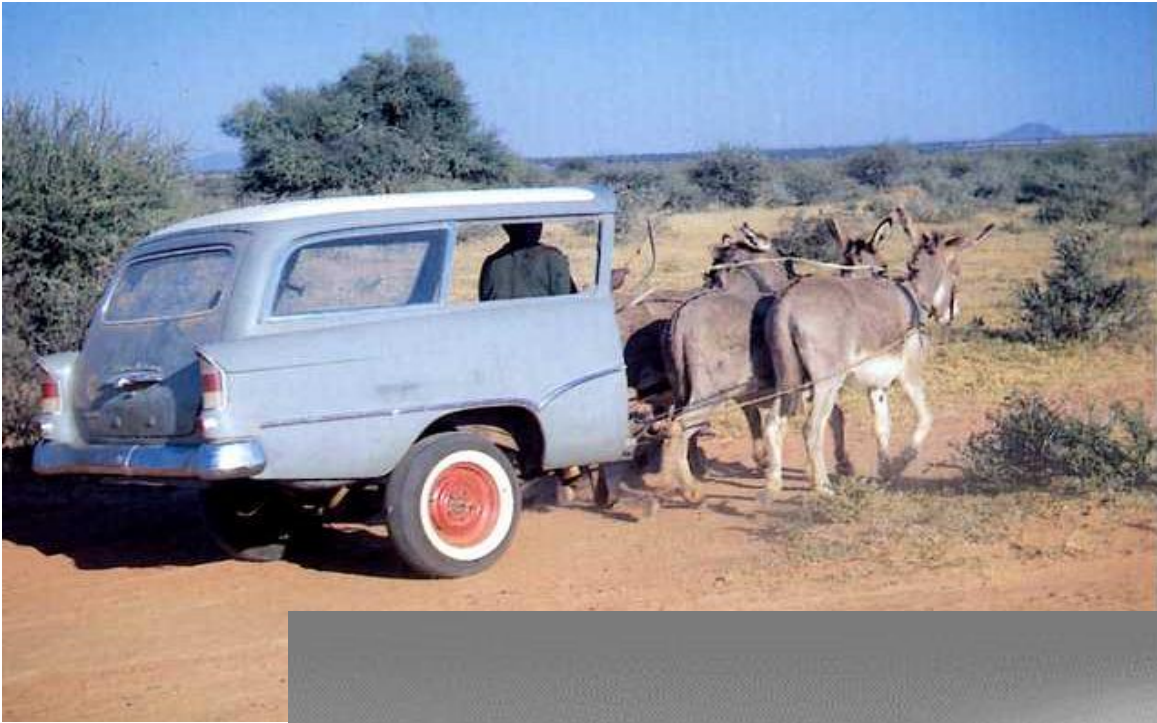
# CONSTITUIÇÃO GERAL DE UM TRATOR AGRÍCOLA



# Composição do trator



Traciona  
Aciona mecânica e hidráulicamente



# O CORPO HUMANO



# Estrutura do corpo

- Célula
- Tecido
- Órgão
- Sistemas
- Corpo

# Alguns sistemas



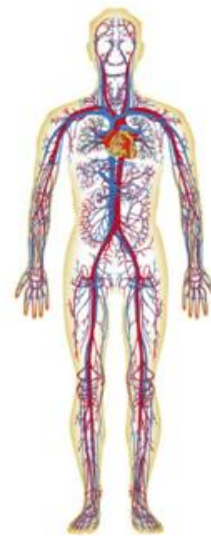
**Sistema Nervoso**



**Sistema Ósseo**



**Sistema Muscular**



**Sistema Circulatório**



**Sistema Respiratório**



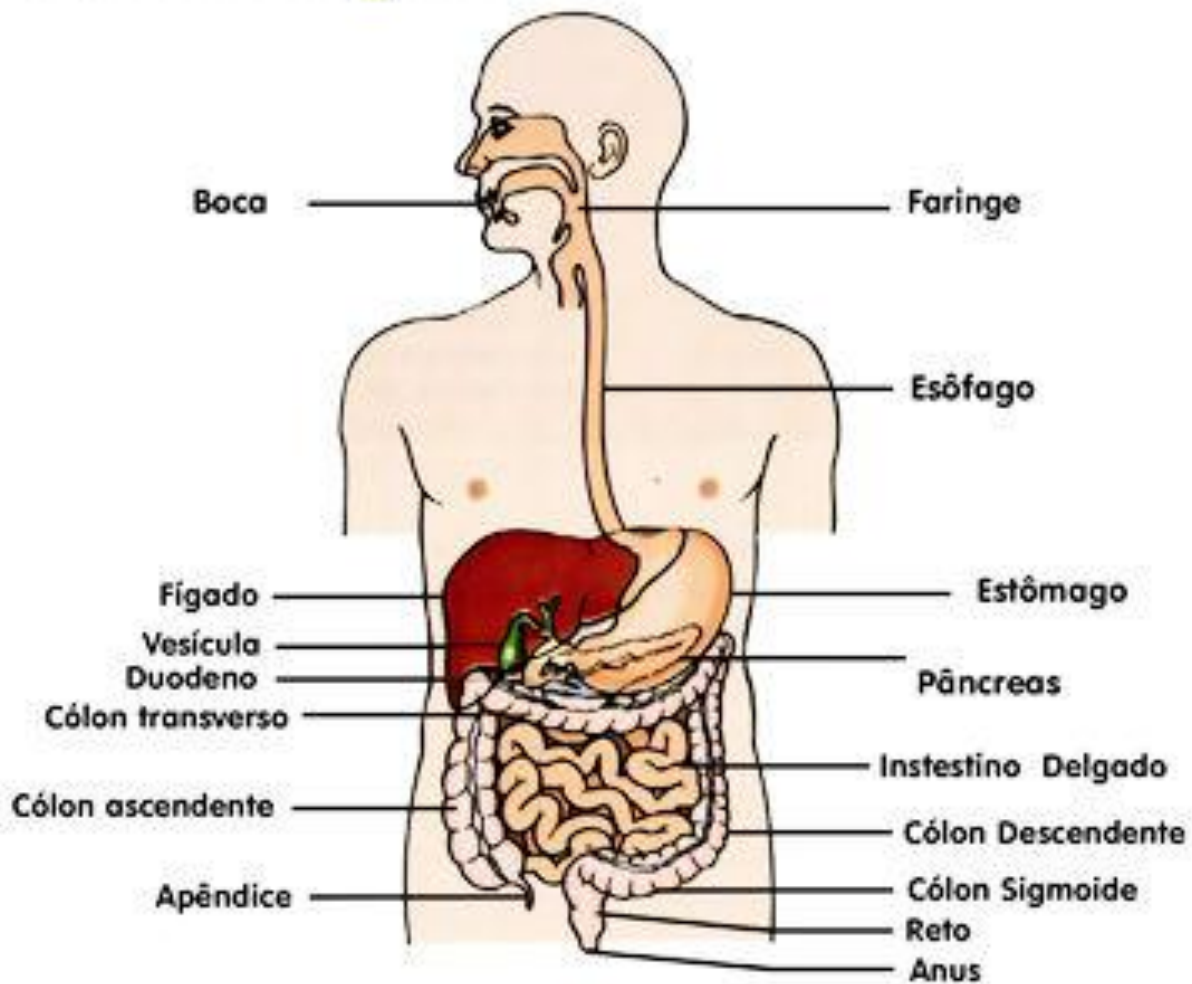
**Sistema Digestivo**



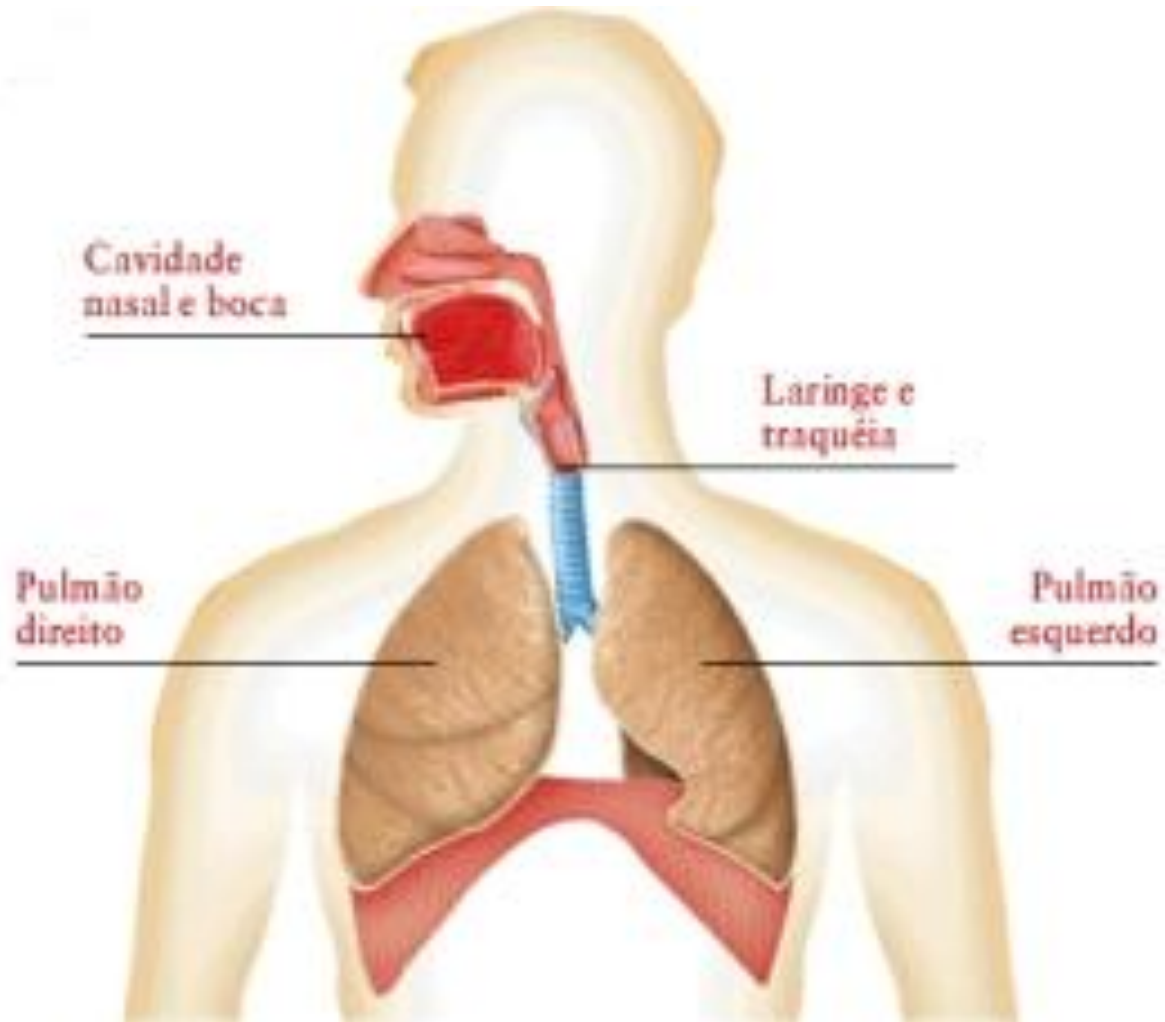
**Sistema Excretor**

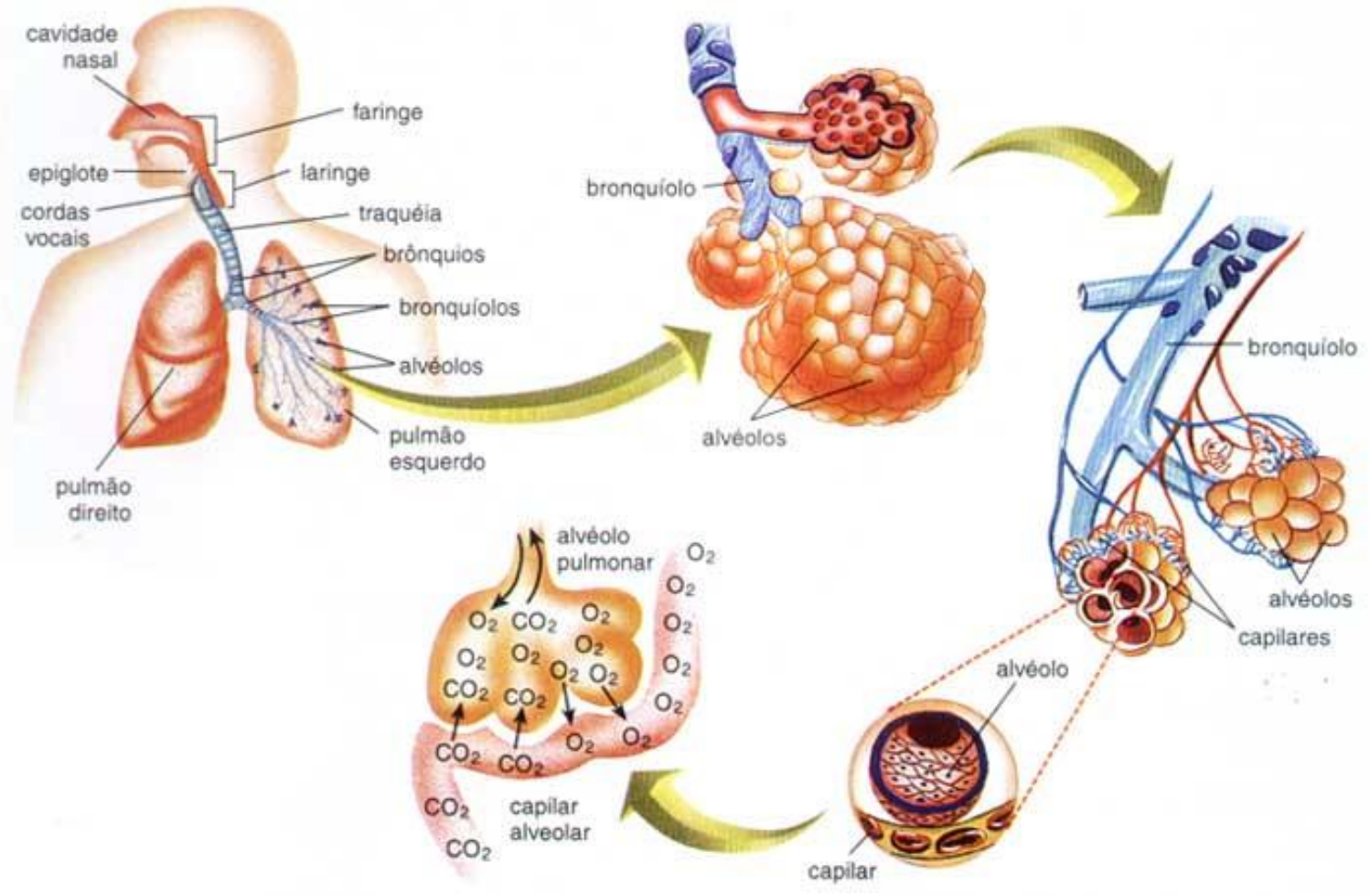


# Sistema Digestivo



# Sistema Respiratório





# O que é um motor?

- Um motor é um dispositivo que converte outras formas de energia em energia mecânica, de forma a impelir movimento a uma máquina ou veículo.
- O termo motor, no contexto da fisiologia, pode se referir aos músculos e a habilidade de movimento muscular, como em Coordenação Motora.

# Liberação de energia

- Necessário para “queimar” o combustível;
- Glicose + gás oxigênio  $\leftrightarrow$  Gás carbônico + água  
+ENERGIA

# Transformação de Energia química em trabalho



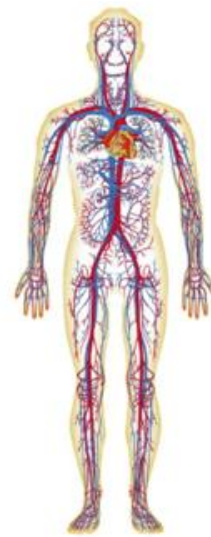
**Sistema Nervoso**



**Sistema Ósseo**



**Sistema Muscular**



**Sistema Circulatório**



**Sistema Respiratório**

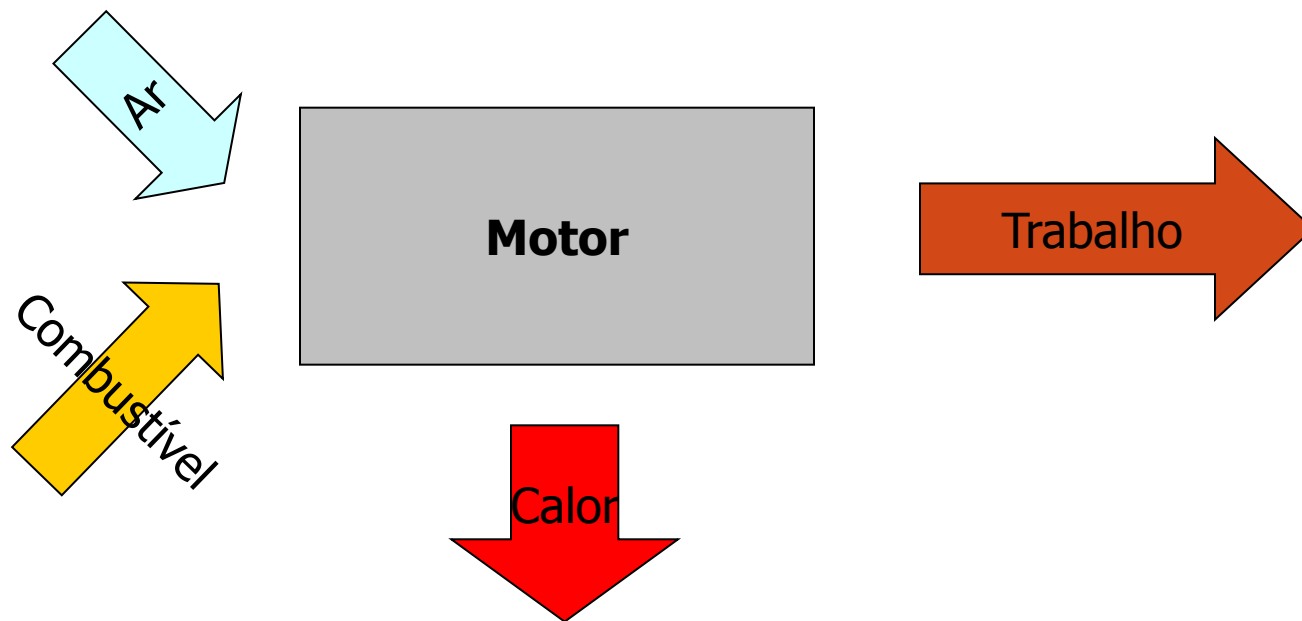


**Sistema Digestivo**



**Sistema Excretor**

# Motor a combustão interna



# Origem do motor de combustão interna de êmbolos

**IDÉIA DO MOTOR  
A PÓLVORA (1678)**



**CREMALHEIRA**



**MOTOR A GÁS  
BERSANTI-MATEUSSI  
(1857)  
LENOIR (1860)**

**MECANISMO  
BIELA-MANIVELA**



**MOTOR OTTO  
(1877-78)  
IGNIÇÃO POR  
CENTELHA**

**MOTOR DIESEL  
(1893-94)  
IGNIÇÃO POR COMPRESSÃO**



# NOÇÕES BÁSICAS SOBRE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

## ASPECTOS ORGÂNICOS



CONFIGURAÇÃO  
MOVIMENTOS RELATIVOS  
MATERIAL  
ETC

## PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO



PRINCÍPIOS  
TEORIAS FÍSICAS  
LEIS TERMODINÂMICAS  
FLUXO DE GASES  
TRANSFERÊNCIA DE CALOR

O que é combustão?

# O que é combustão?

- Combustão ou queima é uma reação química exotérmica entre uma substância (o combustível) e um gás (o comburente), geralmente o oxigênio, para liberar calor.

O que é trabalho?

# O que é trabalho?

- Uma das formas de transmissão de energia
- Trabalho (J) = Força (N) x deslocamento (m)
- Força (N) = massa (kg) x aceleração ( $\Delta v / \Delta t$ )

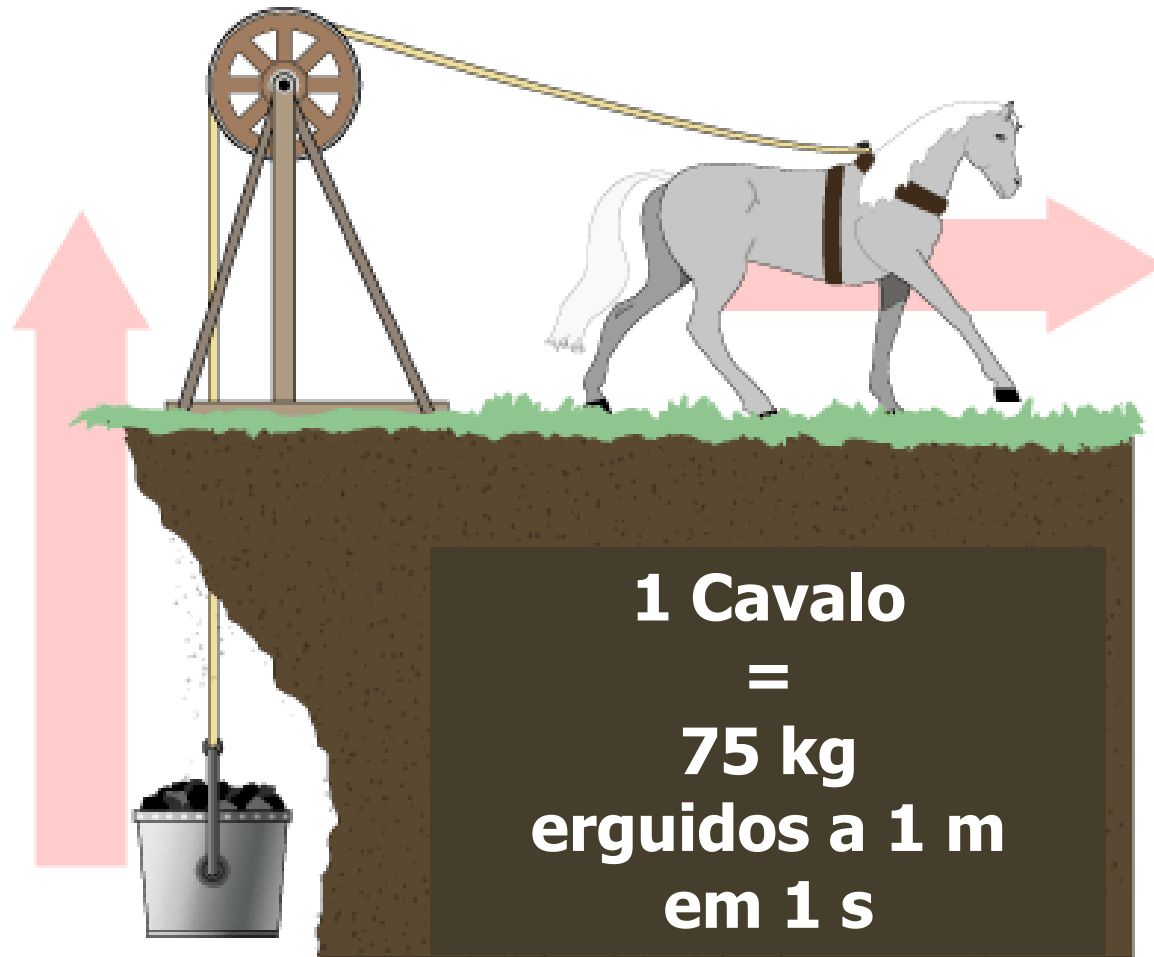
Força altera a velocidade de um corpo

O que é potência?

# O que é potência?

- Capacidade de transmitir energia por tempo
- Transmissão de energia pode ser por
  - Realização de trabalho; e/ou
  - Transmissão de calor
- Potência utilizada – mede o trabalho realizado por uma força no intervalo de tempo

# O que é potência?





# POTÊNCIA

PMS – Ponto Morto Superior



PMI – Ponto Morto Inferior

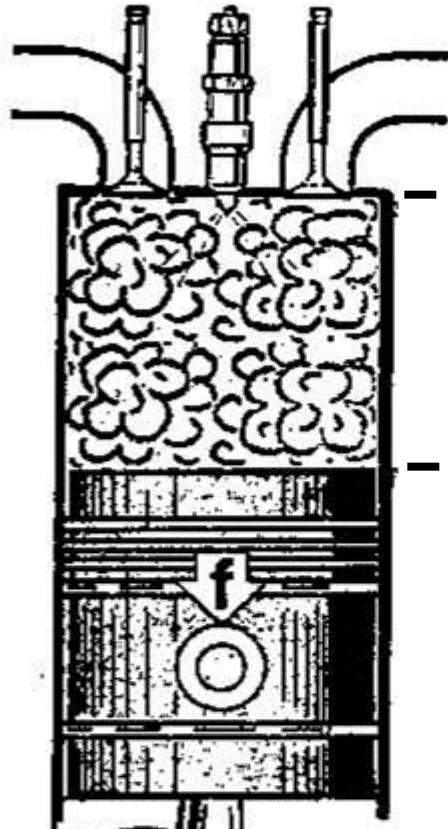
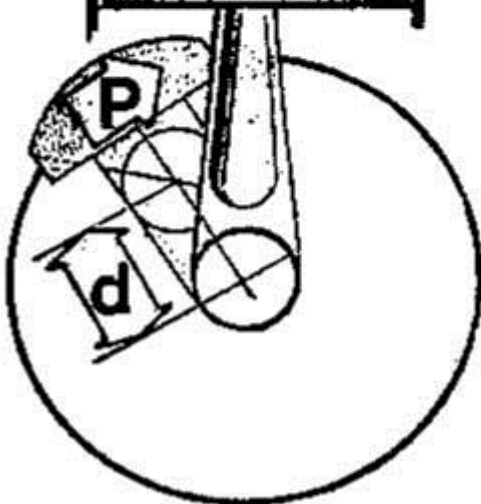
$$P = \frac{f \cdot d}{t}$$

P = POTÊNCIA

f = INTENSIDADE DA FORÇA

d = DISTÂNCIA PERPENDICULAR ENTRE  
O EIXO E A DIREÇÃO DA FORÇA

t = TEMPO



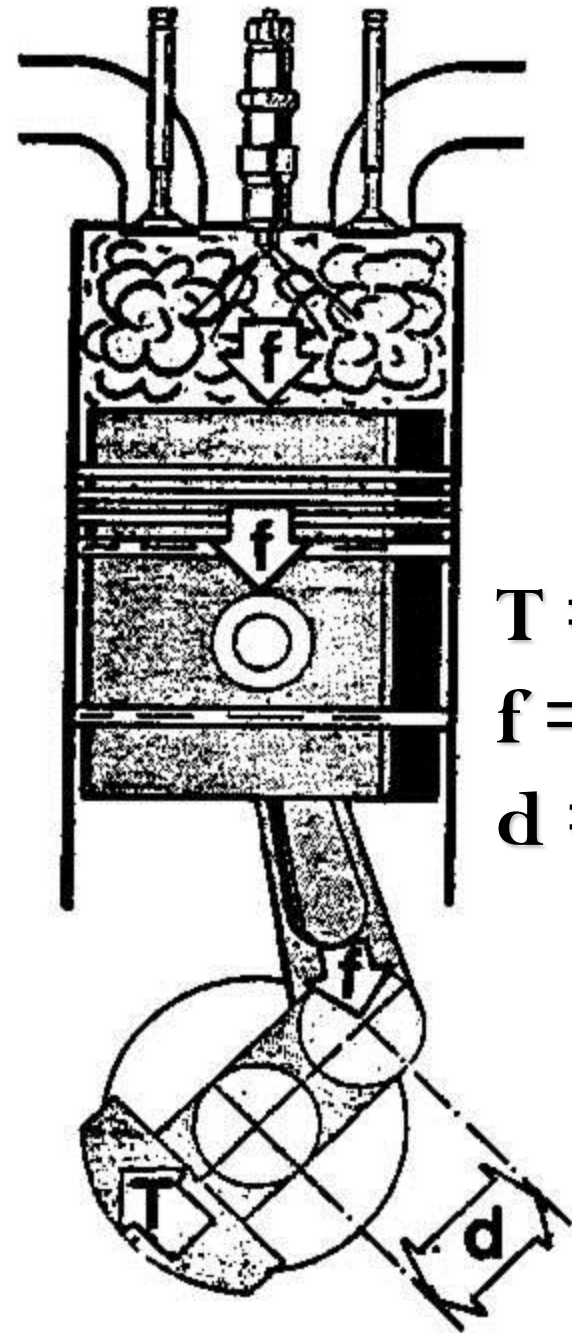
# TORQUE

$$T = f \times d$$

**T = TORQUE (mkgf)**

**f = INTENSIDADE DA FORÇA (kgf)**

**d = DISTÂNCIA PERPENDICULAR  
ENTRE O EIXO E A DIREÇÃO  
DA FORÇA.**



# Trabalho x Torque

Trabalho = Força x Deslocamento

$$J = N \times m$$

$$2\pi \times r = d$$

Torque = Força x raio x  $2\pi$

$$Nm = N \times m$$

$$\text{Pot} = \text{Torque} \times \text{Rotação} \times 2\pi$$

$$W = Nm \times rps$$

# POTÊNCIA DO MOTOR

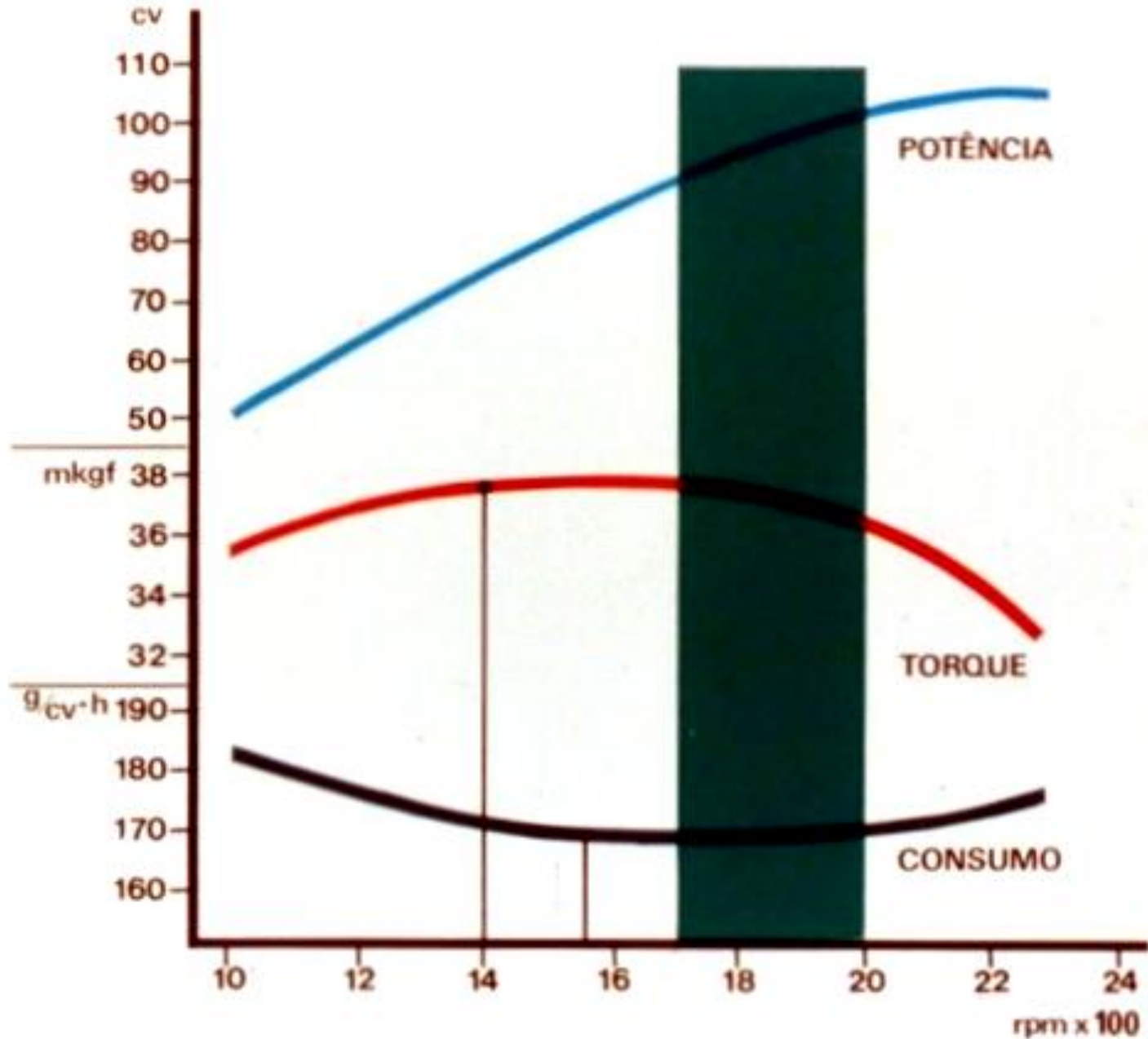
$$P_m = 2 \cdot \pi \cdot T_m \cdot N_m$$

$P_m$  - POTÊNCIA DO MOTOR

$T_m$  - TORQUE DO MOTOR

$N_m$  - ROTAÇÃO DO MOTOR

# MOTOR MWM D 229-6 TV (DIN 70020)



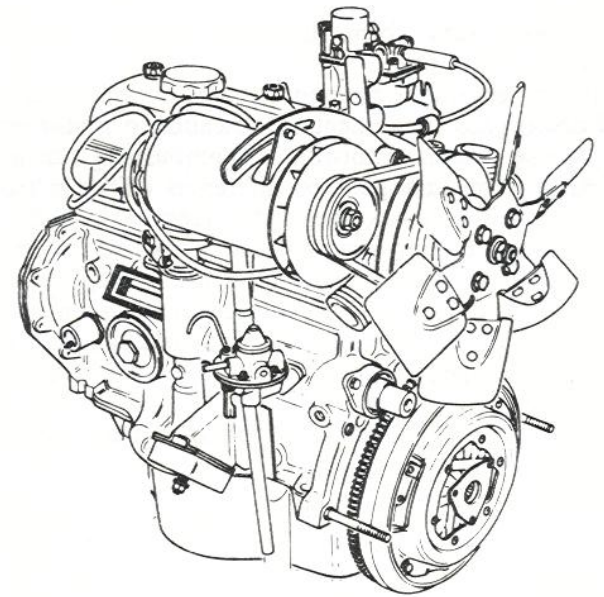
# PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DOS MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

# Conteúdo

- Tipos de ciclo de funcionamento
- Motores do ciclo otto
- Motores do ciclo diesel
- Motores de 4 e 2 tempos
- Funcionamento básico dos motores otto de 4 e 2 tempos
- Eficiência do ciclo dos motores

# Motores de combustão interna

Os motores de combustão interna ("endotérmicos") utilizados nos veículos automóveis, **transformam a energia térmica** gerada pela combustão da mistura comburente/combustível em **energia mecânica**



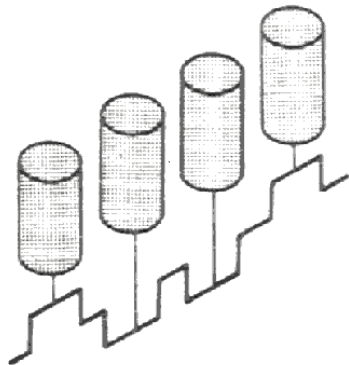


# Motores de movimento alternativo

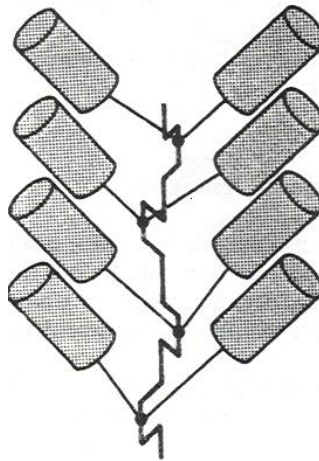
## Disposição dos cilindros

Os cilindros dos motores de movimento alternativo podem ter disposições diferentes

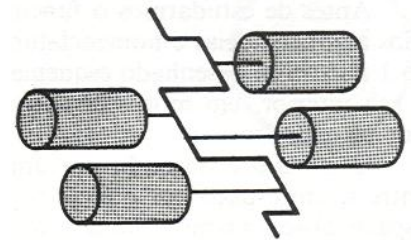
Cilindros em linha



Cilindros em V



Cilindros opostos



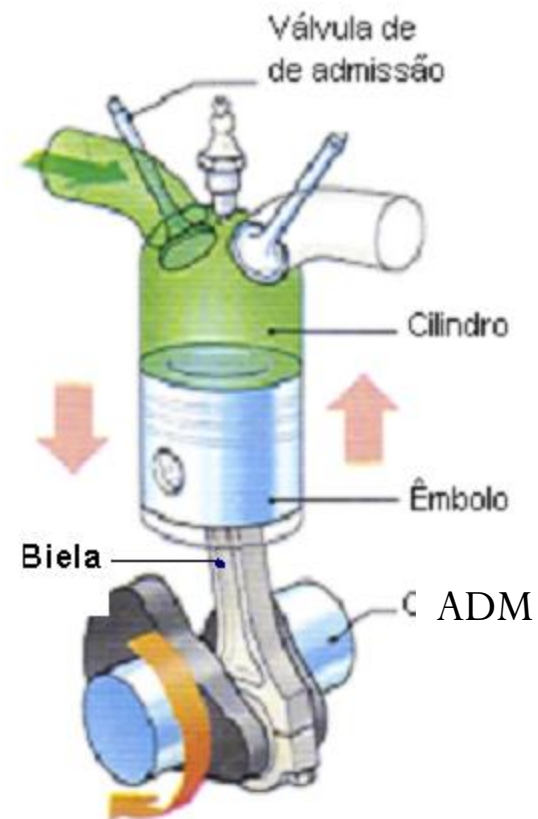
# Os diferentes tipos de motores

Os motores apresentam-se sob formas construtivas e de funcionamento muito diversas, podendo classificar-se **segundo o tipo de movimento** em:

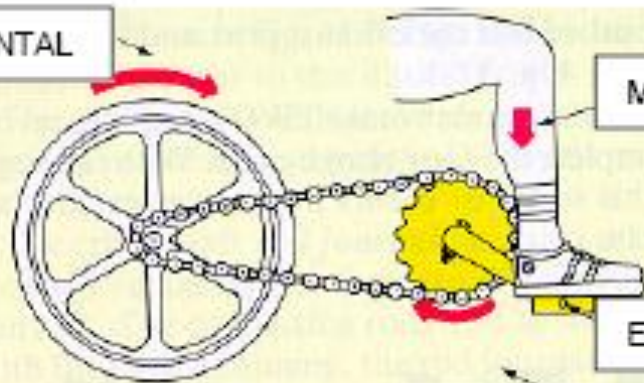
- **Motores de movimento alternativo**
- **Motores de movimento rotativo**

# Motores de movimento alternativo

Os motores de movimento alternativo, vulgarmente utilizados nos veículos automóveis, têm como princípio de funcionamento, o movimento alternativo do êmbolo no interior do cilindro que transmite, através da biela, um movimento circular à árvore de manivelas.



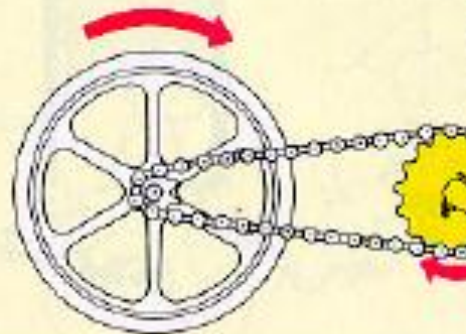
MOVIMENTO HORIZONTAL



MOVIMENTO VERTICAL

EIXO DE MANIVELAS

MOVIMENTO ROTATÓRIO



VELA DE IGNIÇÃO INICIA A COMBUSTÃO

COMBUSTÍVEL QUEIMA E SE EXPANDE

MOVIMENTO VERTICAL DO PISTÃO

BIELA

EIXO DE MANIVELAS

# Motores de movimento alternativo

## Número de cilindros

Os motores de movimento alternativo podem ser constituídos por apenas um cilindro (**monocilíndricos**) ou por vários cilindros (**policilíndricos**).

# Tipos de ciclos de funcionamento

- **OTTO** foi descrito por NIKOLAUS OTTO, 1876;
- **DIESEL** por RUDOLF DIESEL, 1893.

# Motores do ciclo OTTO

- Ignição por centelha
- Utilizam energia elétrica para dar início a reação de combustão. A centelha (faísca elétrica) é produzida pela vela de ignição;
- O combustível é misturado com o ar fora da câmara de combustão;
- Pode ser de 2 ou 4 tempos.

# Motores do ciclo DIESEL

- Ignição por compressão
- Utilizam o aumento da temperatura, devido a compressão da massa de ar admitida, para dar início a reação de combustão;
- O combustível é misturado com o ar dentro da câmara de combustão.



# Motores de movimento alternativo

A sequência de operações - admissão, compressão, expansão e escape - realiza-se num ciclo de 4 movimentos do êmbolo - **motor de 4 tempos**, ou num ciclo de 2 movimentos do êmbolo - **motor de 2 tempos**.

# O que é um tempo do motor?

**TEMPOS DO MOTOR: MOVIMENTO DO ÊMBOLO A CADA 180° DE GIRO DA ÁRVORE DE MANIVELAS (ADMISSÃO, COMPRESSÃO, EXPLOSÃO-EXPANSÃO E EXAUSTÃO).**

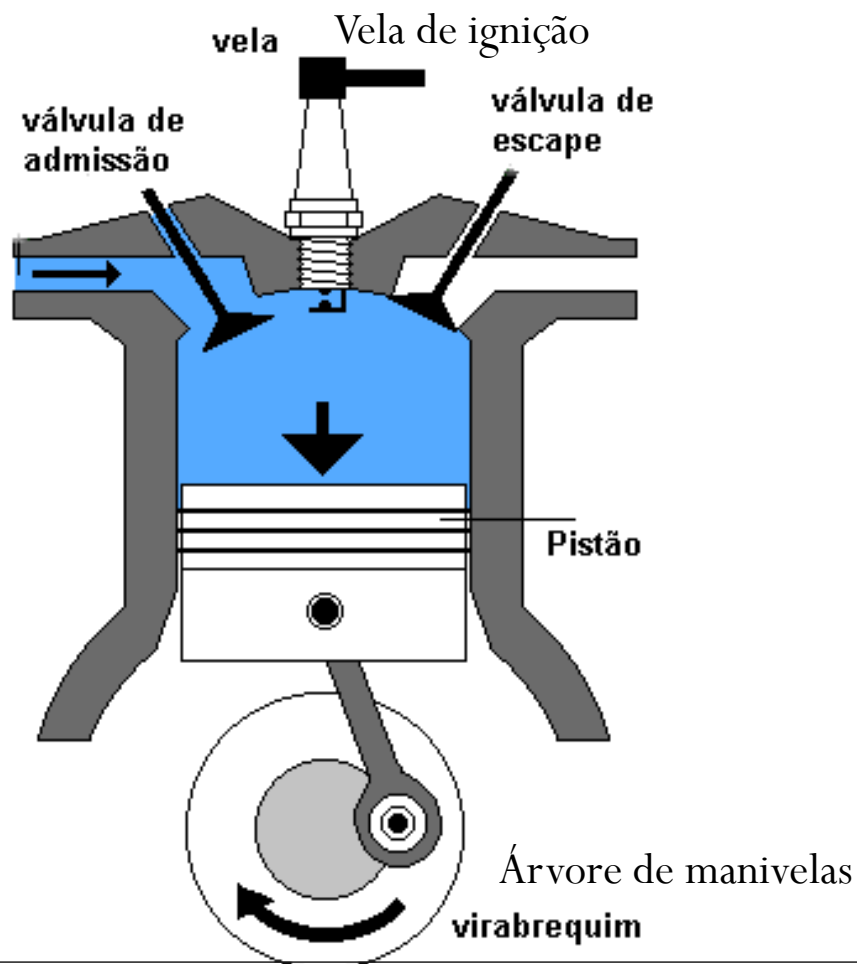
**TEMPO “MOTOR”:** É O DE EXPLOSÃO-EXPANSÃO, O ÚNICO ONDE OCORRE A TRANSFORMAÇÃO DA ENERGIA DO COMBUSTÍVEL EM MECÂNICA.

# Motores de 4 Tempos

- Realizam o ciclo em quatro etapas;
- O ciclo é equivalente a duas voltas ( $720^\circ$ ) na árvore de manivelas

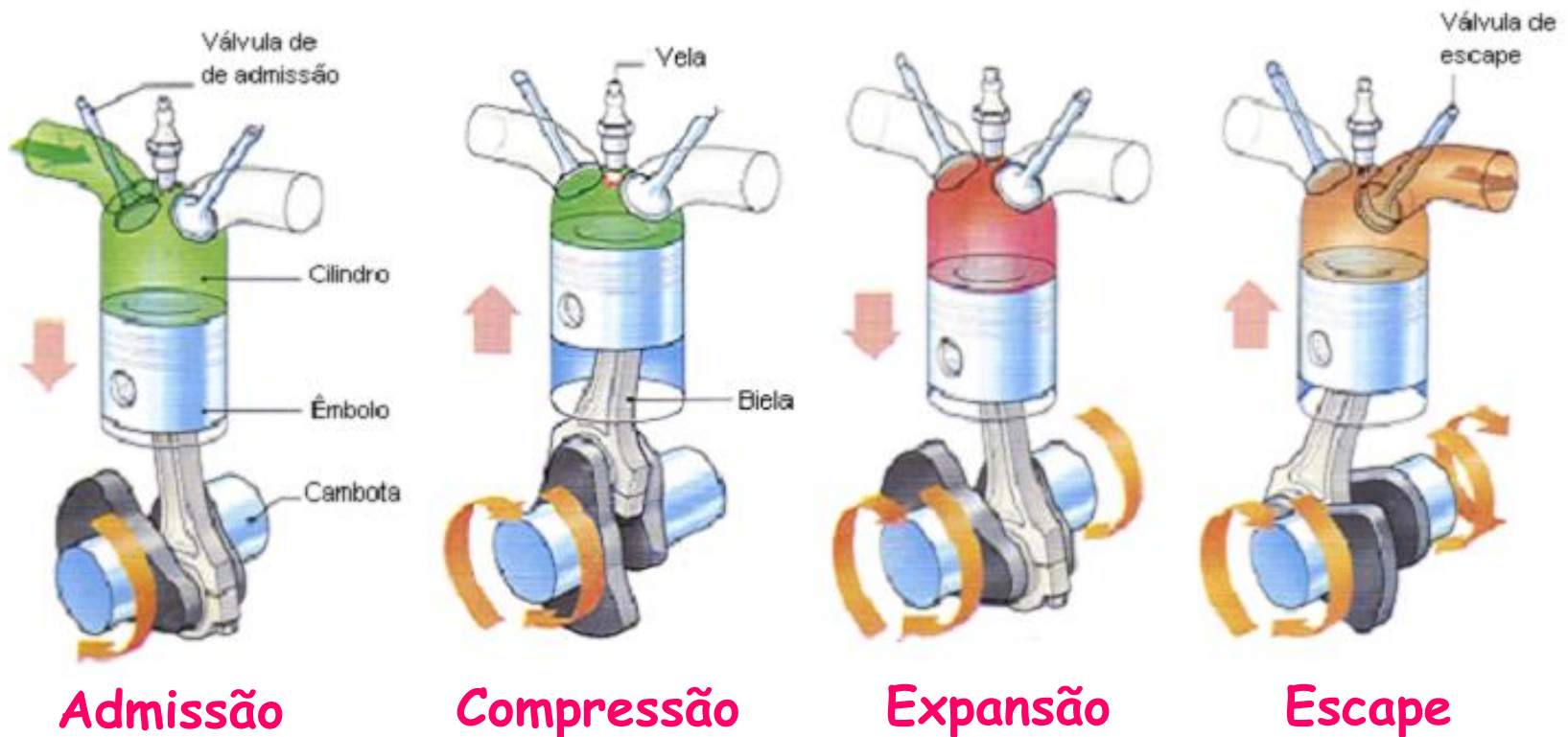
# Motores do ciclo otto de 4 tempos

- Os motores do ciclo otto de quatro tempos admitem mistura de ar e combustível.



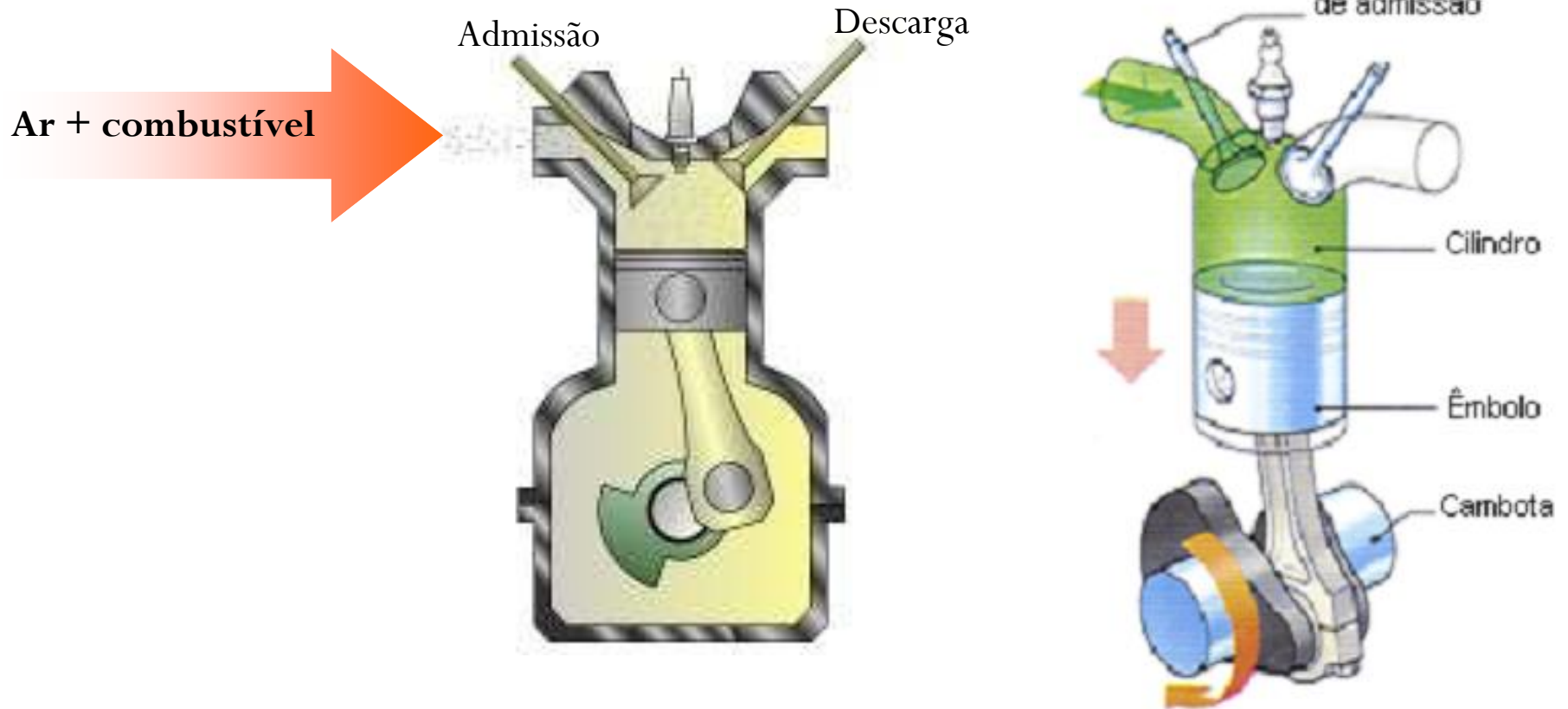
# O Ciclo de 4 tempos (motor de explosão - mistura ar/gasolina)

Ciclo completo - efetua 2 rotações da ADM

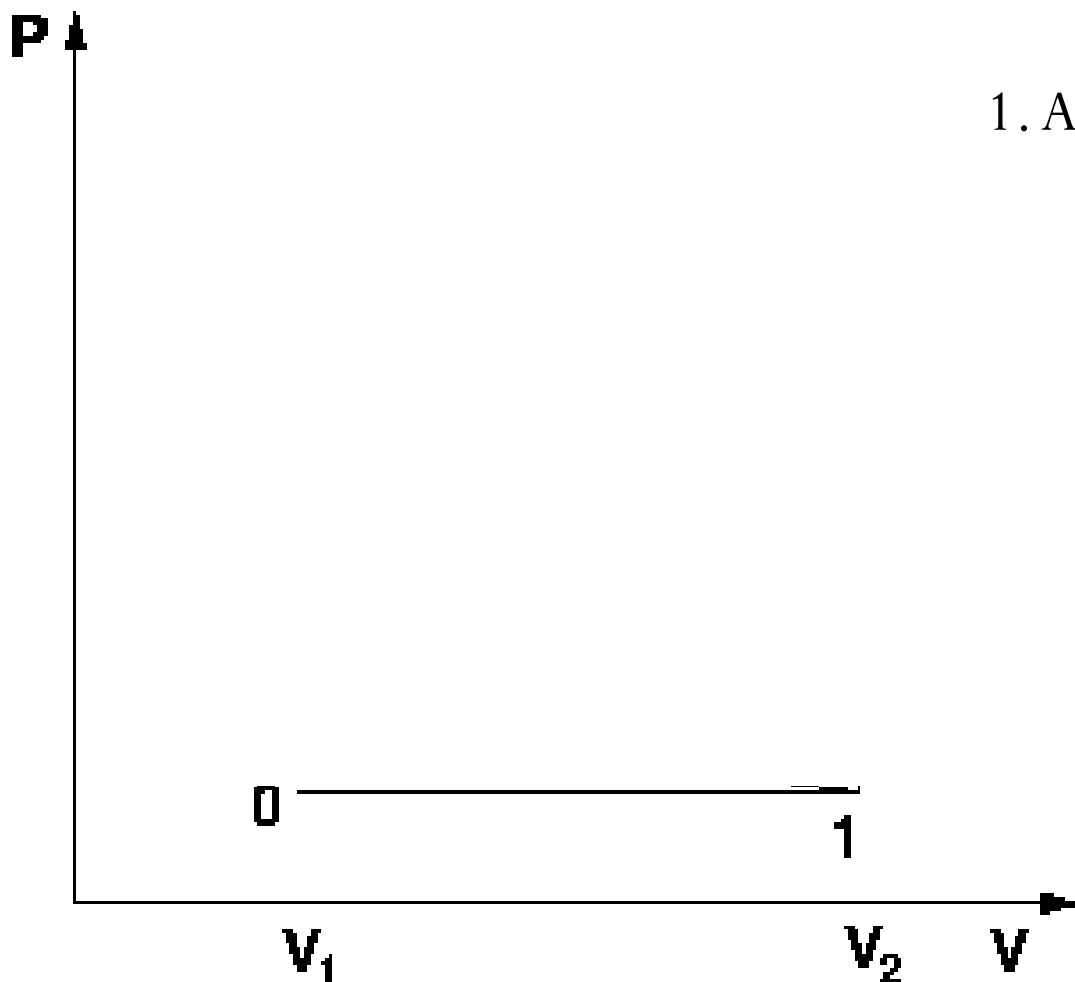


# Funcionamento básico dos motores de 4 tempos

- Primeiro curso: Admissão



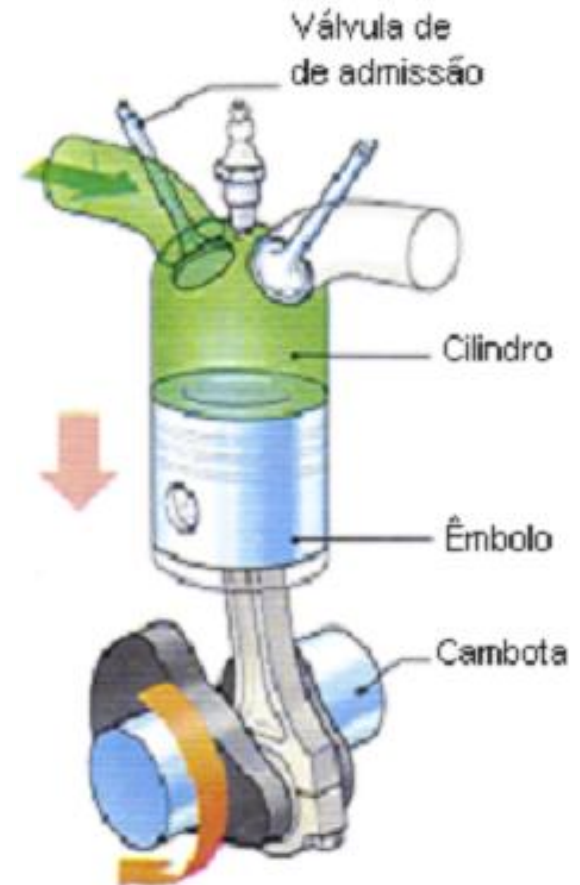
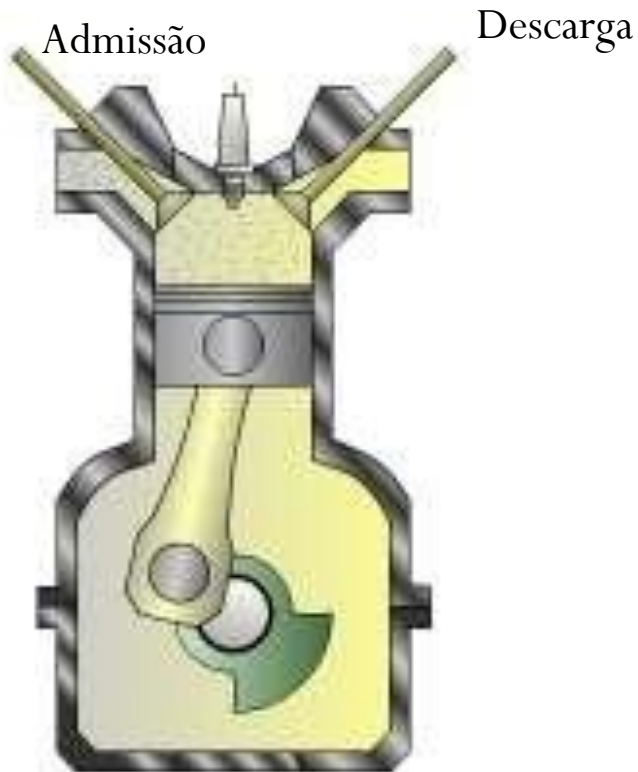
# Ciclo termodinâmico - Otto



1. Admissão isobárica 0-1.

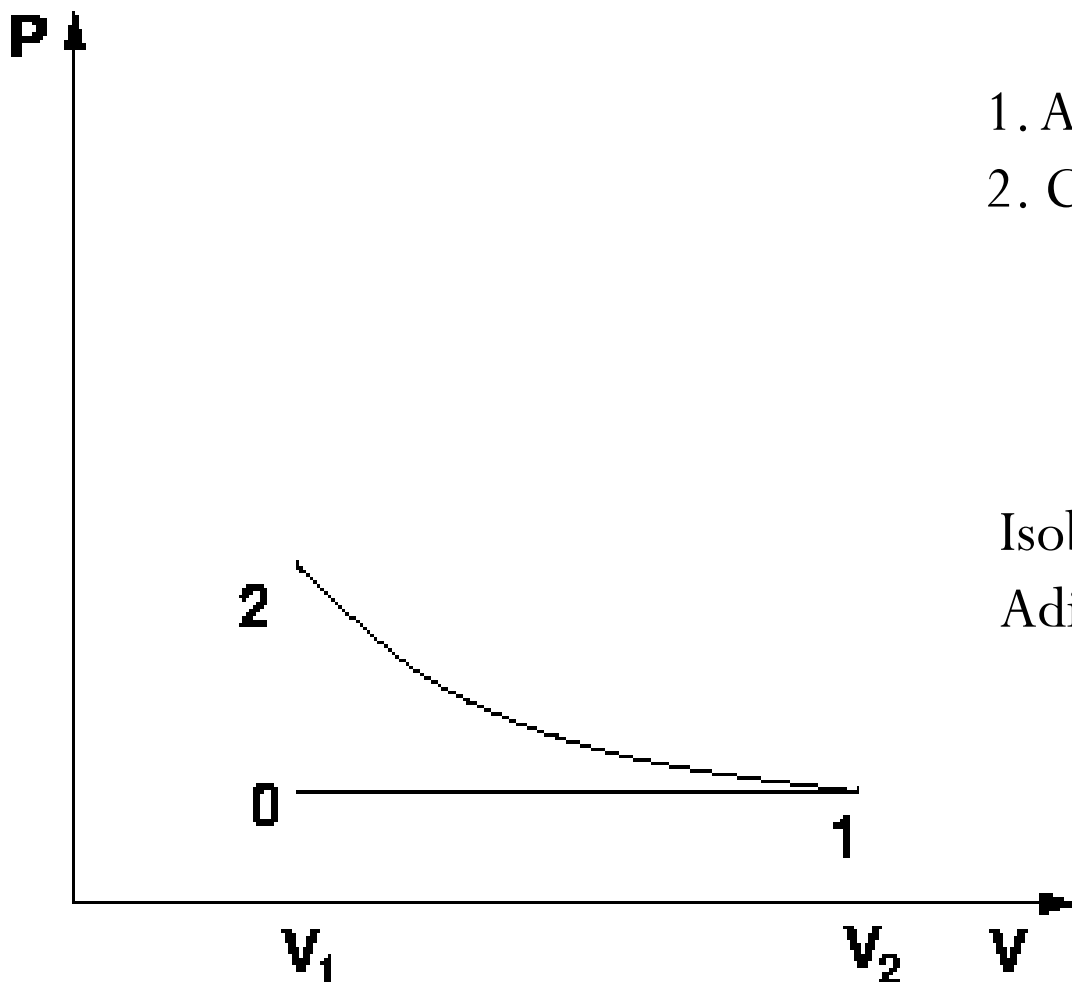
# Funcionamento básico dos motores de 4 tempos

- Segundo curso: Compressão





# Ciclo termodinâmico - Otto



1. Admissão isobárica 0-1.

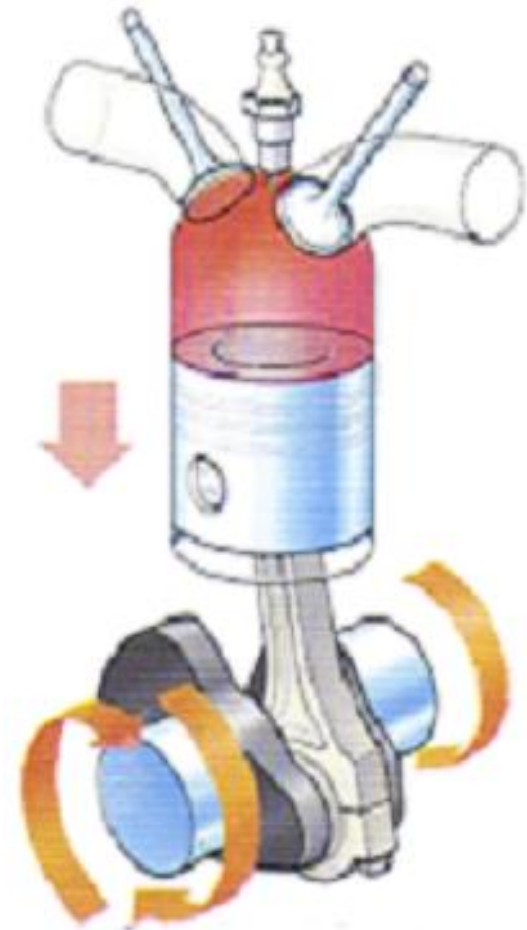
2. Compressão adiabática 1-2.

Isobárica =  $P$  constante

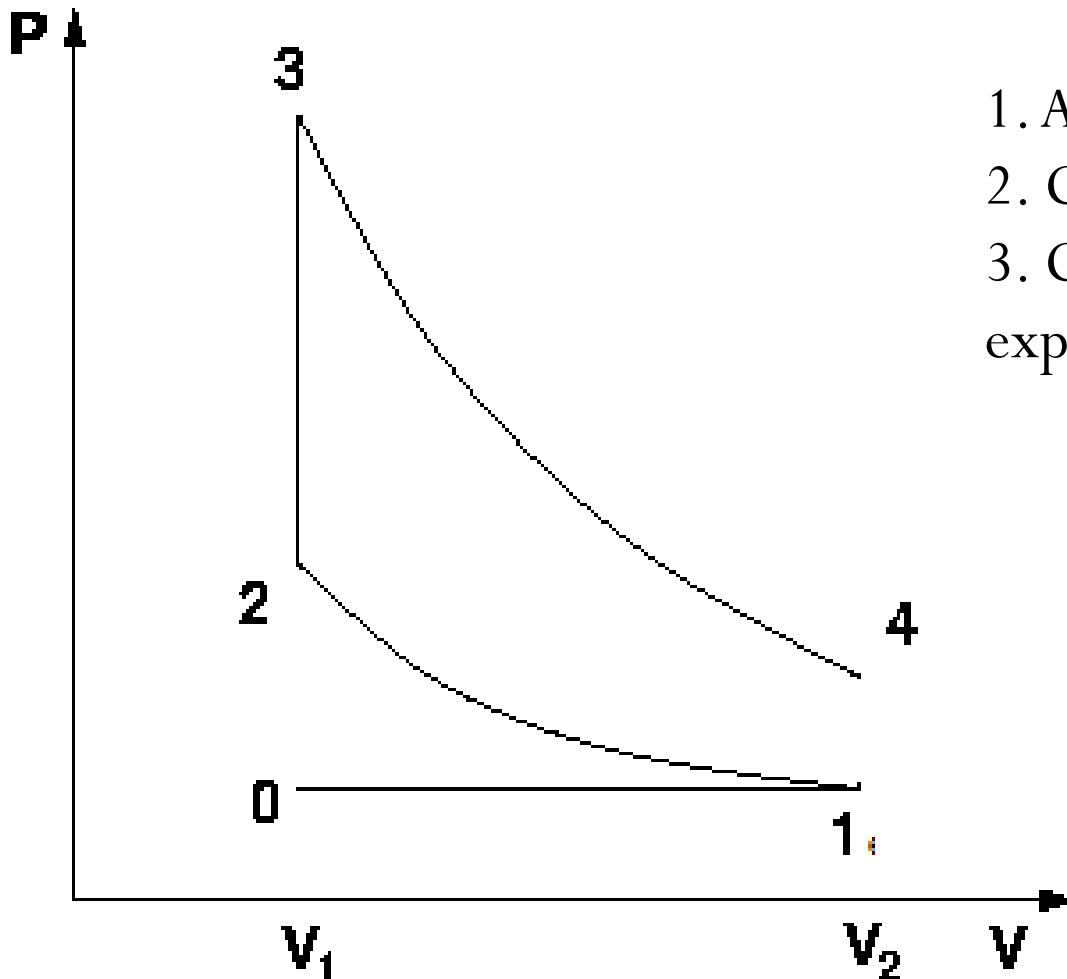
Adiabática = sem transferir calor

# Funcionamento básico dos motores de 4 tempos

- Terceiro curso: Expansão



# Ciclo termodinâmico - Otto

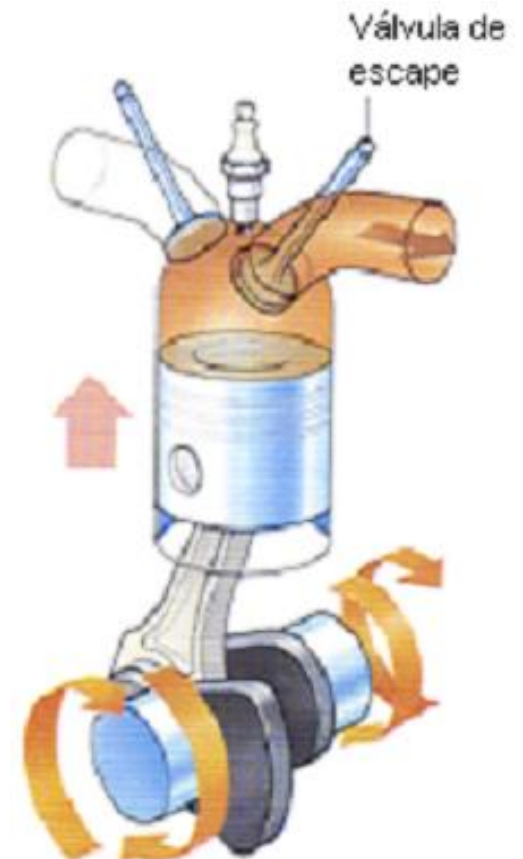
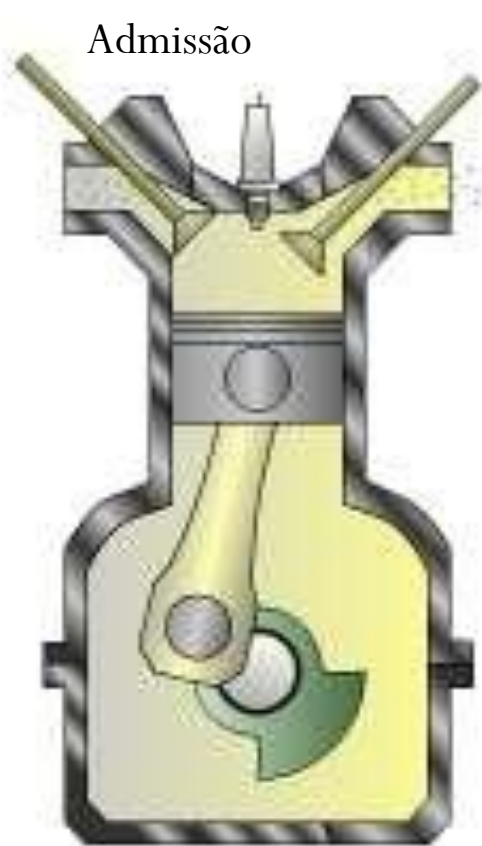


1. Admissão isobárica 0-1.
2. Compressão adiabática 1-2.
3. Combustão isocórica 2-3, expansão adiabática 3-4.

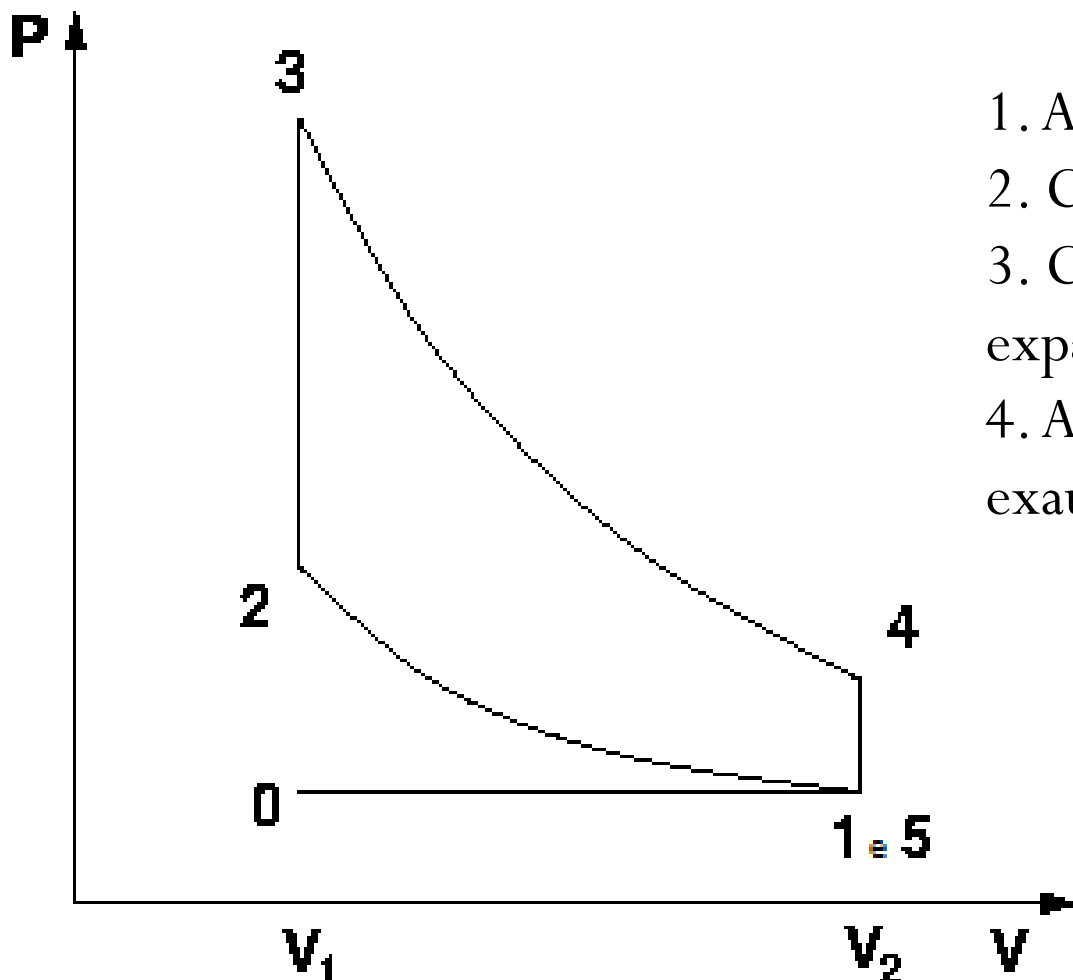
Isocórica = V constante

# Funcionamento básico dos motores de 4 tempos

- Quarto curso: Descarga



# Ciclo termodinâmico - Otto



1. Admissão isobárica 0-1.
2. Compressão adiabática 1-2.
3. Combustão isocórica 2-3, expansão adiabática 3-4.
4. Abertura de válvula 4-5, exaustão isobárica 5-0.

# Motor Diesel

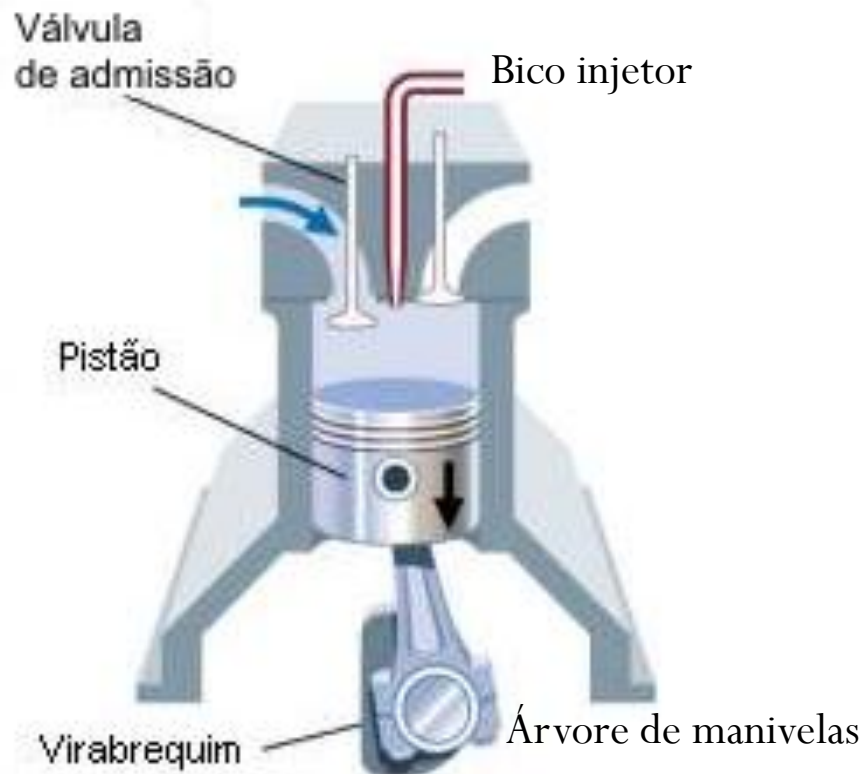
Este motor, inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel, é, do ponto de vista estrutural igual ao motor a gasolina.

Nestes motores, de ignição por compressão, a mistura ar/combustível é feita na câmara de combustão.

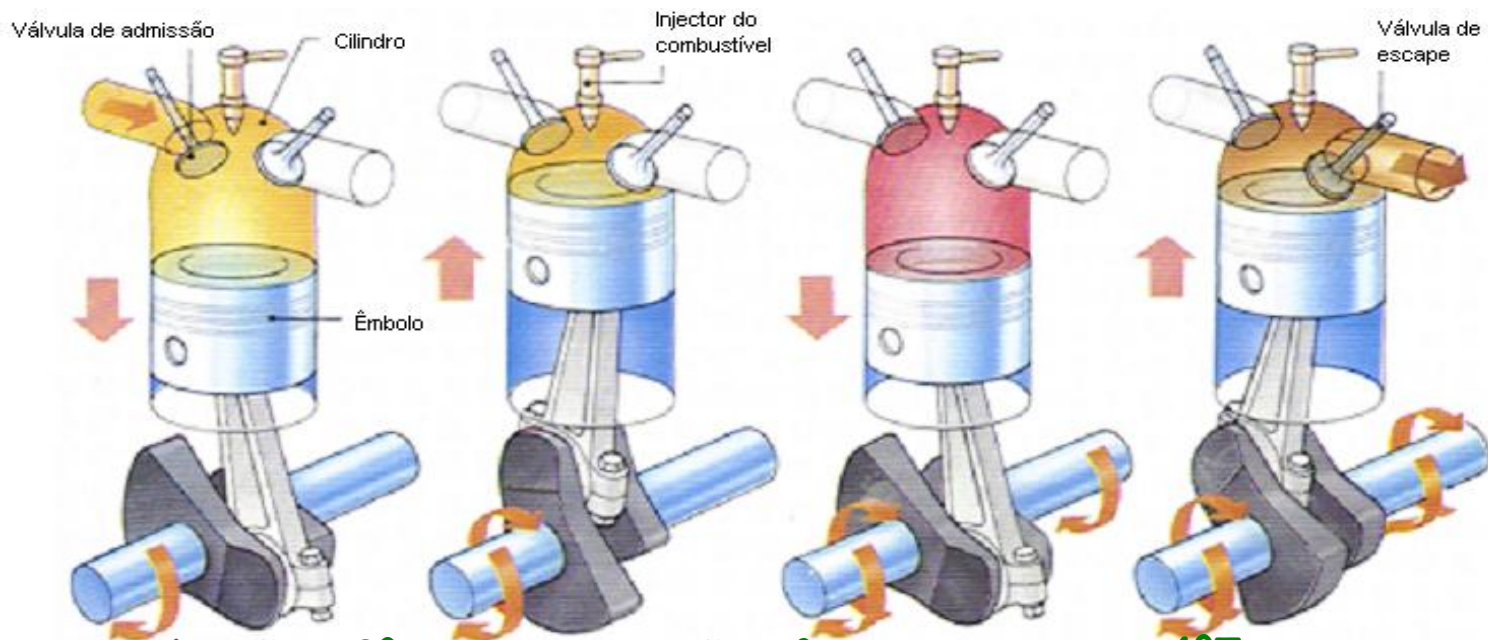
O ar, que entra na câmara de combustão na fase de admissão, é submetido a uma elevada compressão, seguindo-se a entrada de combustível, que inflama, ao contactar com o ar quente comprimido.

# Motores do ciclo diesel de 4 tempos

- Os motores do ciclo diesel de quatro tempos admitem somente ar.



# Motor Diesel (4 tempos)



## 1º Tempo - admissão

O êmbolo ao descer **aspira ar** para dentro do cilindro através da válvula de admissão aberta.

## 2º Tempo - compressão

A válvula de admissão fecha-se e o êmbolo ao subir, **comprime** o ar, aquecendo-o. O combustível é injetado.

## 3º Tempo - expansão

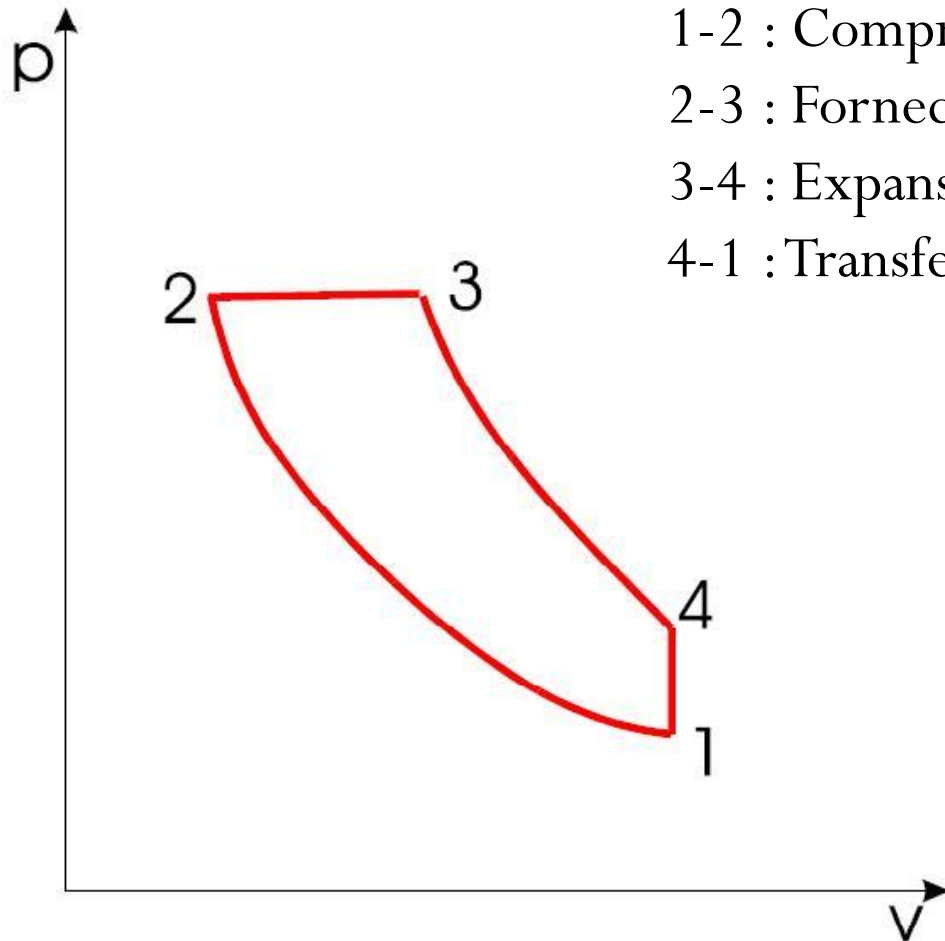
O combustível inflamado pelo ar que aqueceu **explode e empurra** o êmbolo para baixo.

## 4º Tempo - escape

A válvula de escape abre-se e o êmbolo ao subir, **expele** do cilindro os gases de combustão.



# Ciclo termodinâmico - Diesel



1-2 : Compressão adiabática

2-3 : Fornecimento de calor isobárico

3-4 : Expansão adiabática

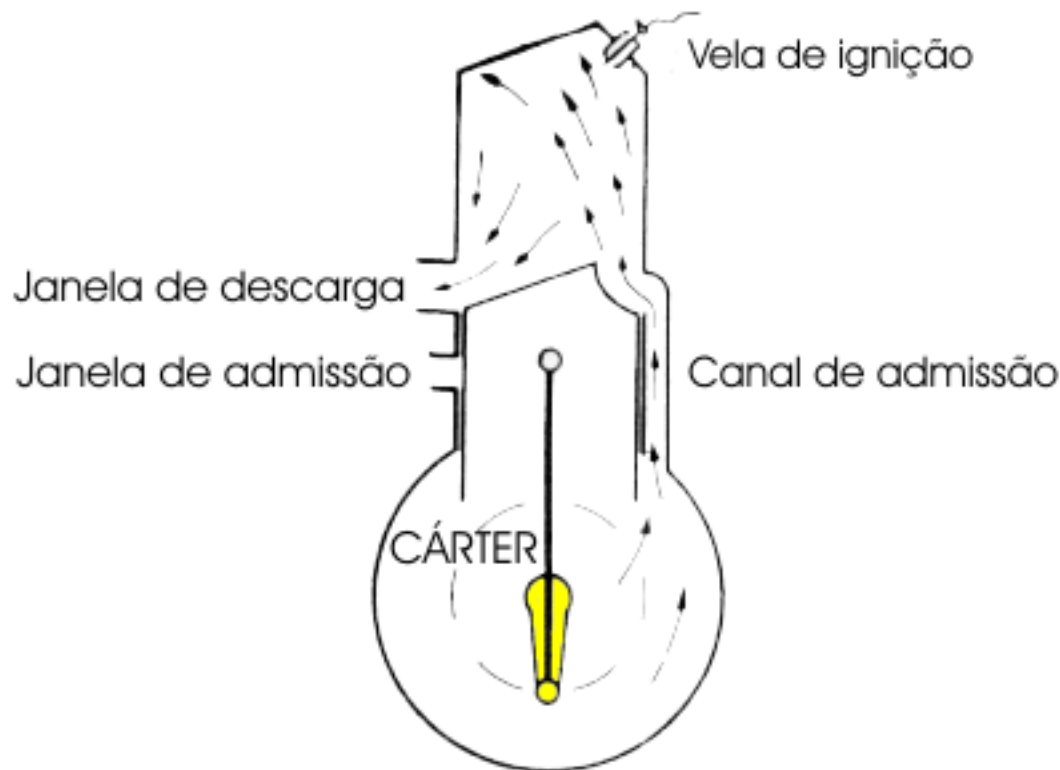
4-1 : Transferência de calor isocórica

# Motores de 2 Tempos

- Realizam o ciclo em dois cursos;
- O ciclo é equivalente a uma volta ( $360^\circ$ ) na árvore de manivelas

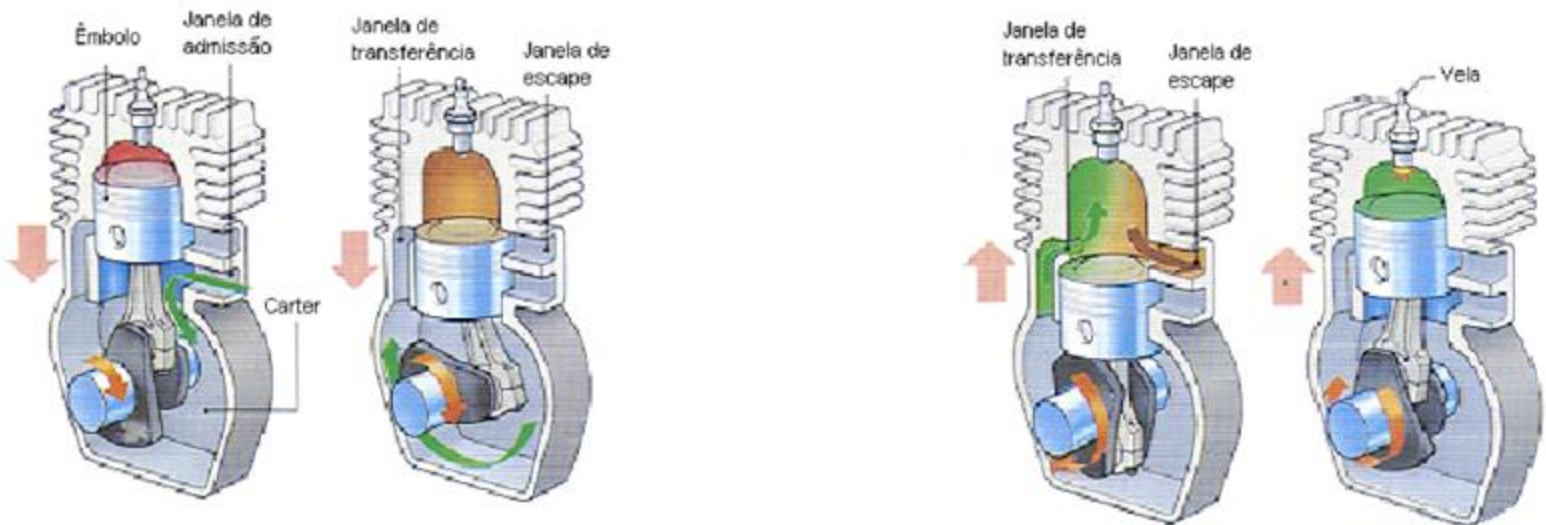
# Funcionamento básico dos motores do ciclo otto de 2 tempos

- Os motores do ciclo otto de dois tempos admitem mistura de ar, combustível e óleo lubrificante.



# O Ciclo de 2 tempos - (motor de explosão)

Ciclo completo – efetua 1 rotação da ADM



1º Tempo - Expansão/Admissão

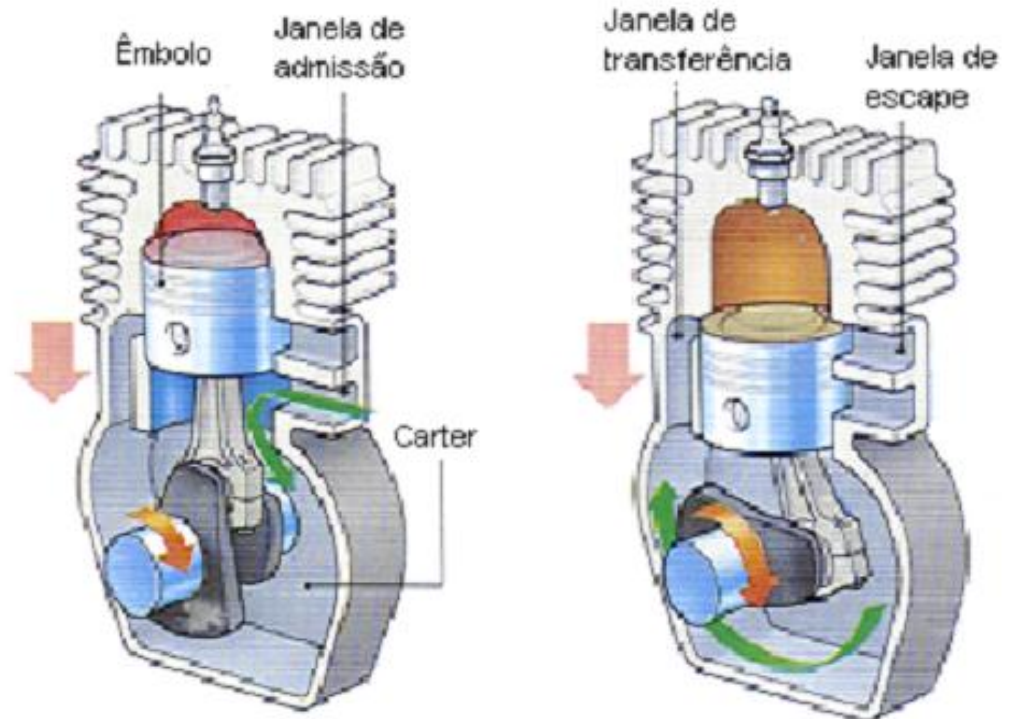
2º Tempo - Escape/Compressão

# O Ciclo de 2 tempos - (motor de explosão)

## 1º Tempo - Expansão/Admissão

A mistura gasolina-ar **explode** e empurra o êmbolo para baixo, **uma nova mistura** entra no cárter pela janela de admissão.

O êmbolo empurra a mistura nova para a janela de transferência e começa a abrir a janela de escape.

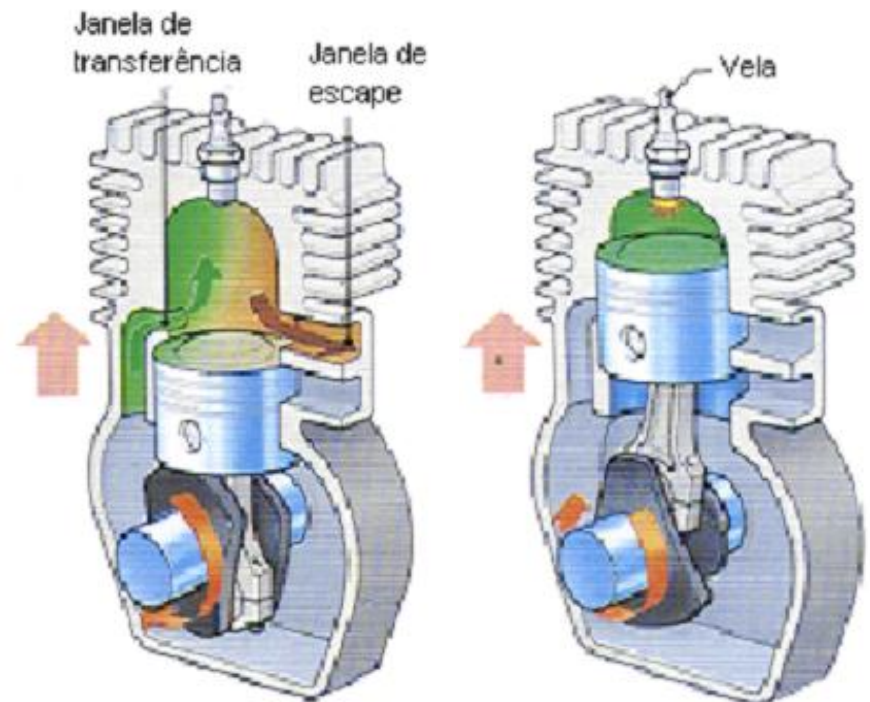


# O Ciclo de 2 tempos - (motor de explosão)

## 2º Tempo - Compressão/Escape

A janela de transferência é aberta, passando a mistura para a parte superior do cilindro o que ajuda a **expulsar os gases**.

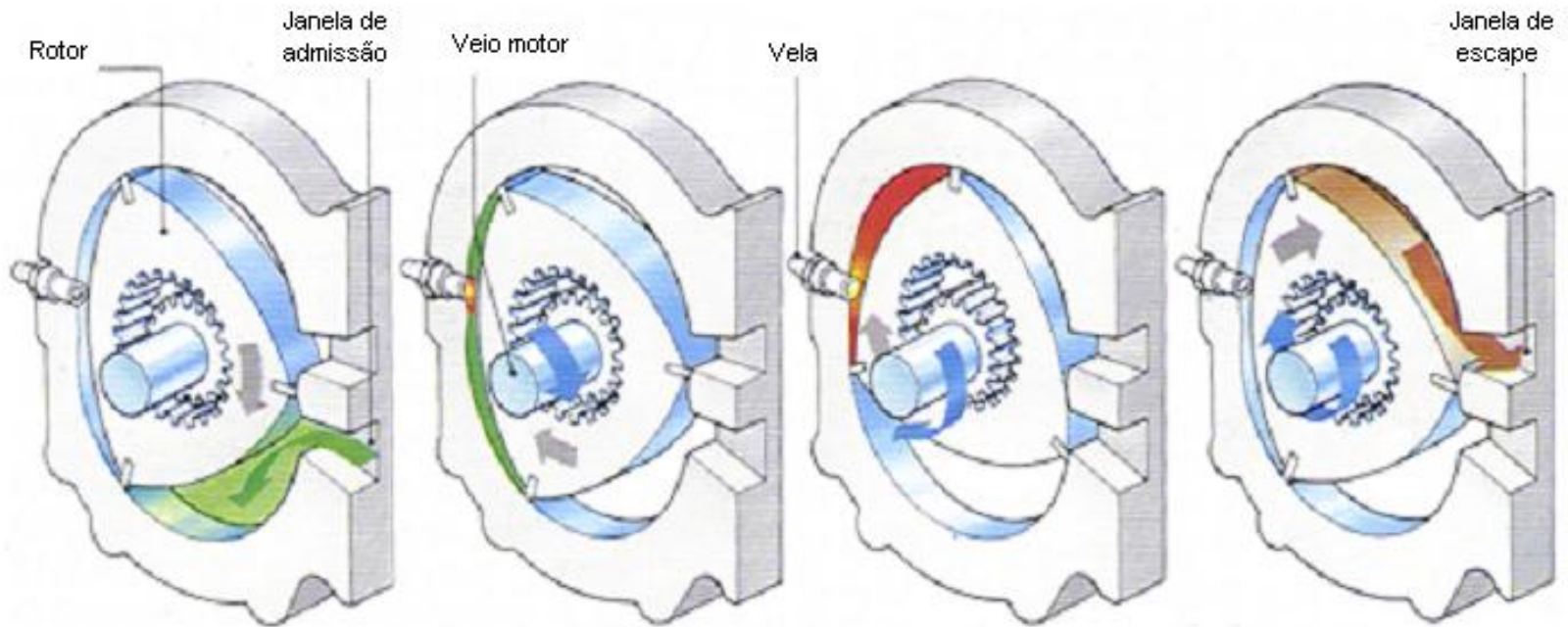
O êmbolo sobe, fechando a janela de escape e **comprimindo** a mistura. Na vela salta a faísca.



## Motor Wankel

Este motor, de movimento rotativo, menos usual do que os anteriores, realiza em cada rotação do rotor uma sequência de quatro operações - admissão, compressão, explosão e escape.

# Motor Wankel



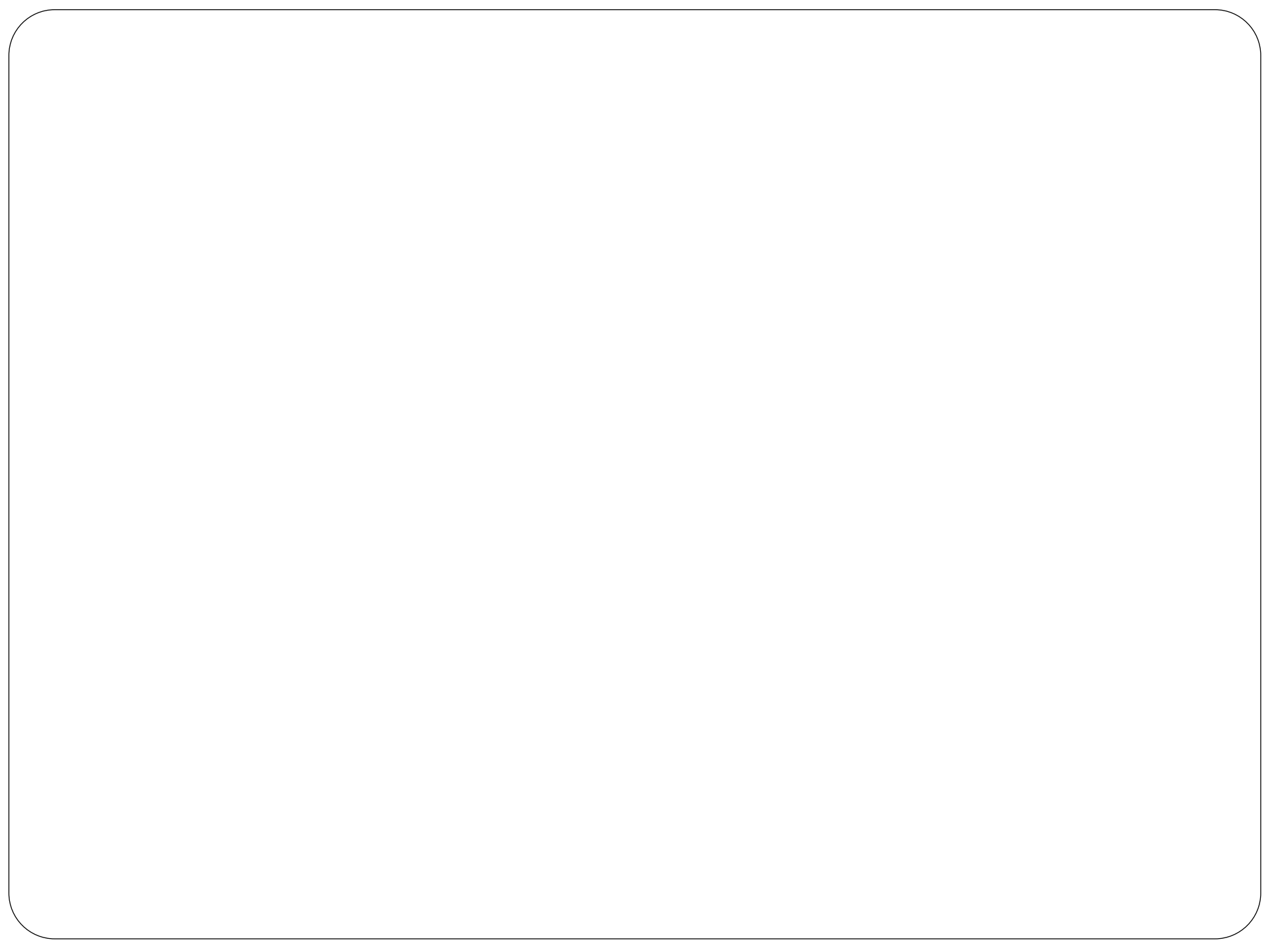
Admissão

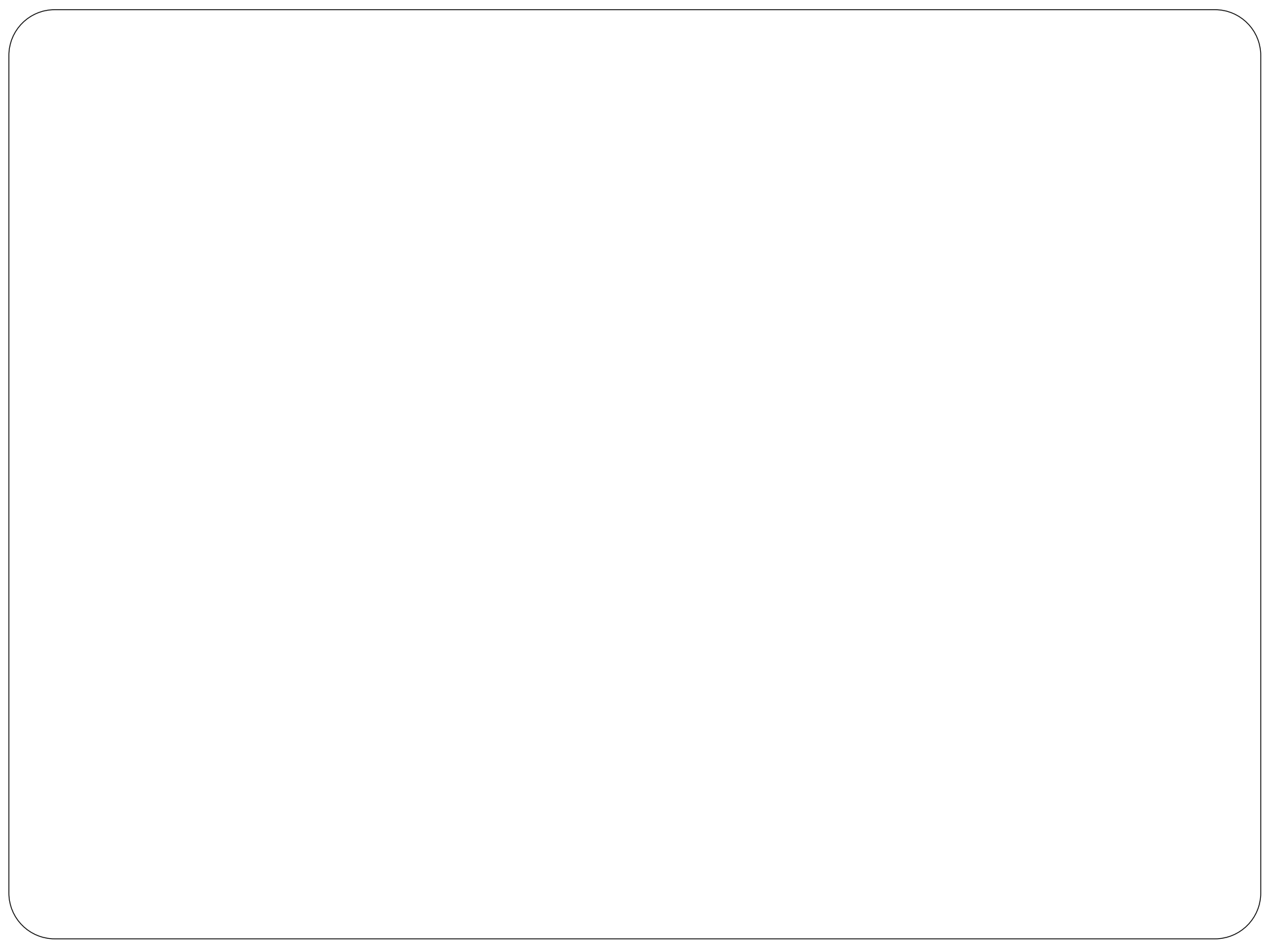
Compressão

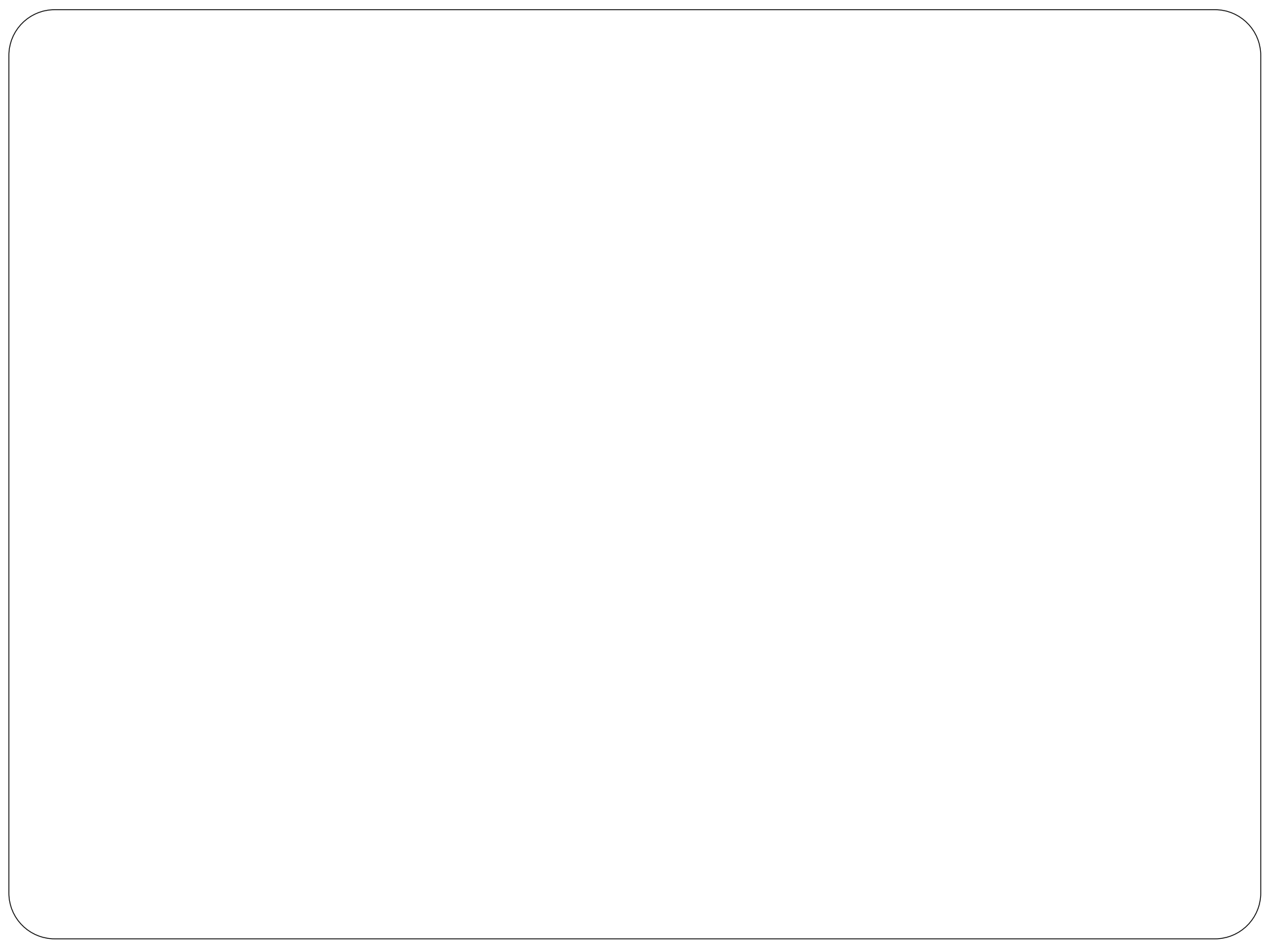
Explosão

Escape









**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS  
LEB332 – Mecânica e Máquinas Motoras**

# **Motores de Combustão Interna Parte II - ÓRGÃOS FUNDAMENTAIS**

**Prof. Thiago Romanelli  
romanelli@usp.br**

**09/04/2012**

# ÓRGÃOS FUNDAMENTAIS

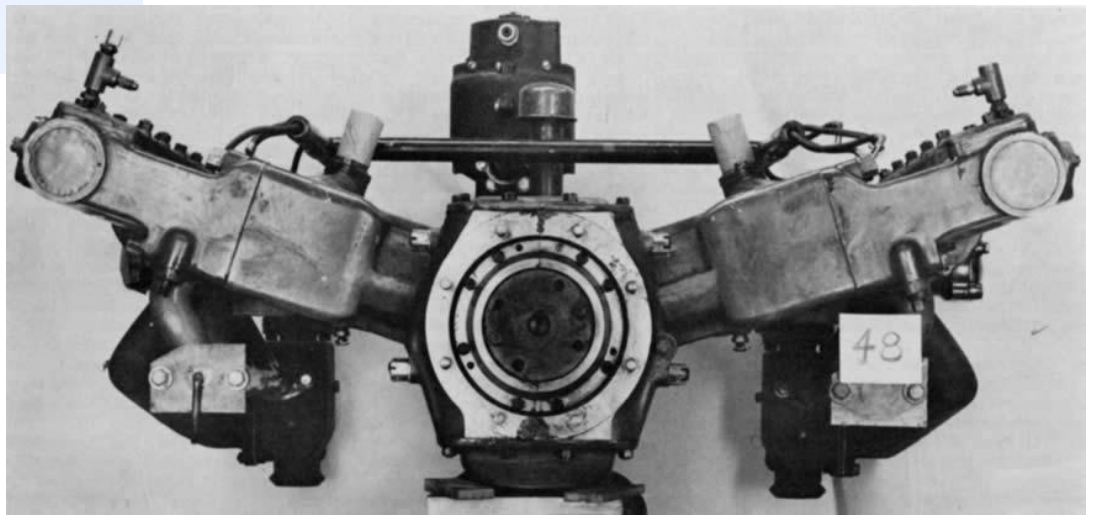
1. BLOCO,
2. CILINDRO,
3. CABEÇOTE,
4. CARTER,
5. ÊMBOLO,
6. ANÉIS DE SEGMENTO,
7. PINO DO ÊMBOLO,
8. CASQUILHOS,
9. BIELA,
10. ÁRVORE DE MANIVELAS (ADM),
11. VOLANTE.

# 1. Bloco

Constitui o suporte às demais partes constituintes do motor.

Geralmente construídos em ferro fundido.

Automóveis mais modernos em alumínio.



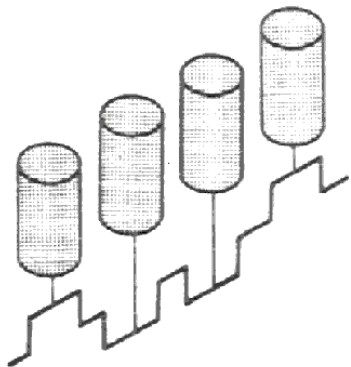
# Bloco – Sistema de arrefecimento

1. Bloco de cilindros externos – arrefecimento a ar
2. Bloco de cilindros internos – arrefecimento a água

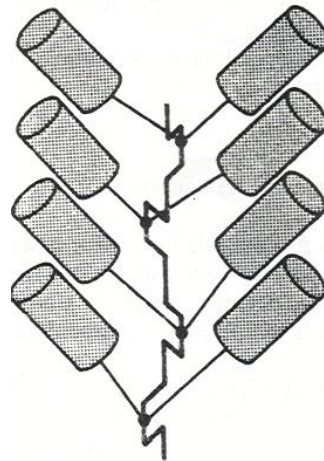


# Bloco – Arranjo dos cilindros

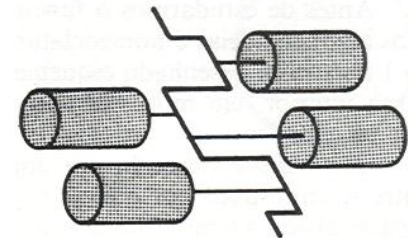
Cilindros em linha



Cilindros em V



Cilindros opostos



## 2. Cilindro

Onde ocorre a combustão, sob altas pressões e temperaturas.

Em geral são tubos removíveis, denominados “camisas”

.

Para que a pressão desloque o embolo, o sistema deve ser vedado → anéis de segmentos (ou anéis de vedação)

## 2. Cilindro

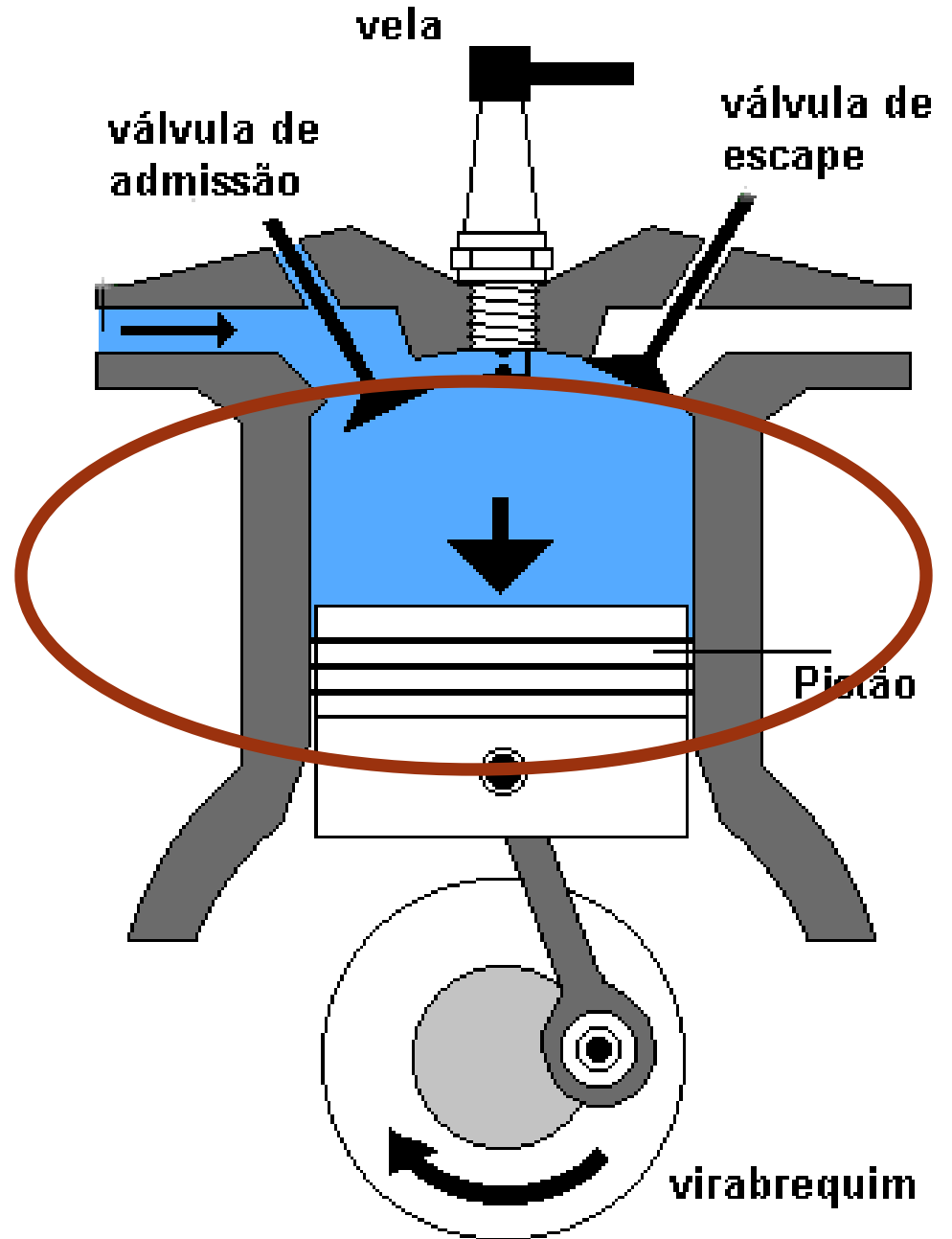
Alta resistência de desgaste

Mínimo atrito

Troca calor através de contato com o meio  
arrefecedor (água/ar) – câmaras de arrefecimento



**Camisas de cilindro**

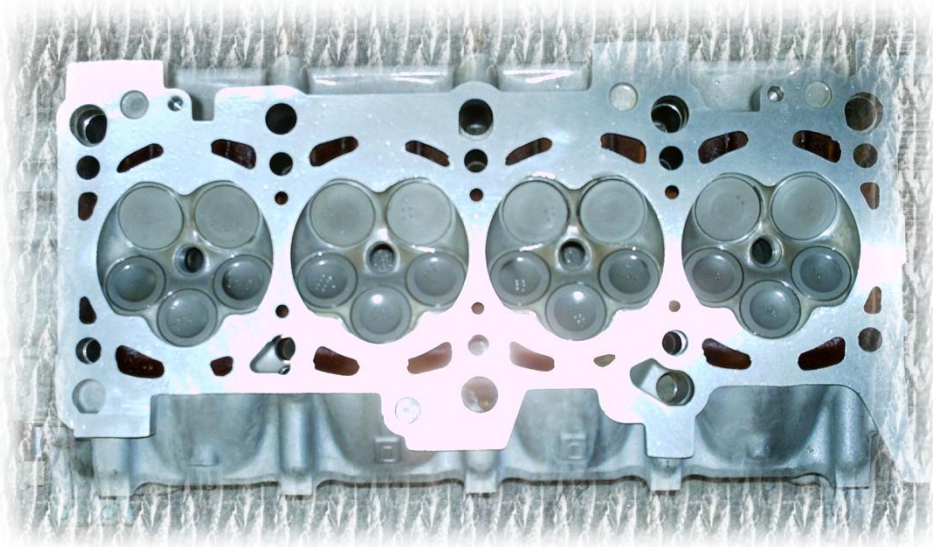


## 3. Cabeçote

Órgão que fecha o bloco e os cilindros na sua parte superior

Entre cabeçote e bloco, está a junta de cabeçote.

Na parte interna do cabeçote existem depressões chamadas câmaras de compressão.



## 4. Cáster

É o órgão que fecha a parte inferior do bloco, ao qual é fixado por meio de uma junta.

É um depósito de lubrificante e veda a parte inferior do motor, protegendo contra impacto e impurezas

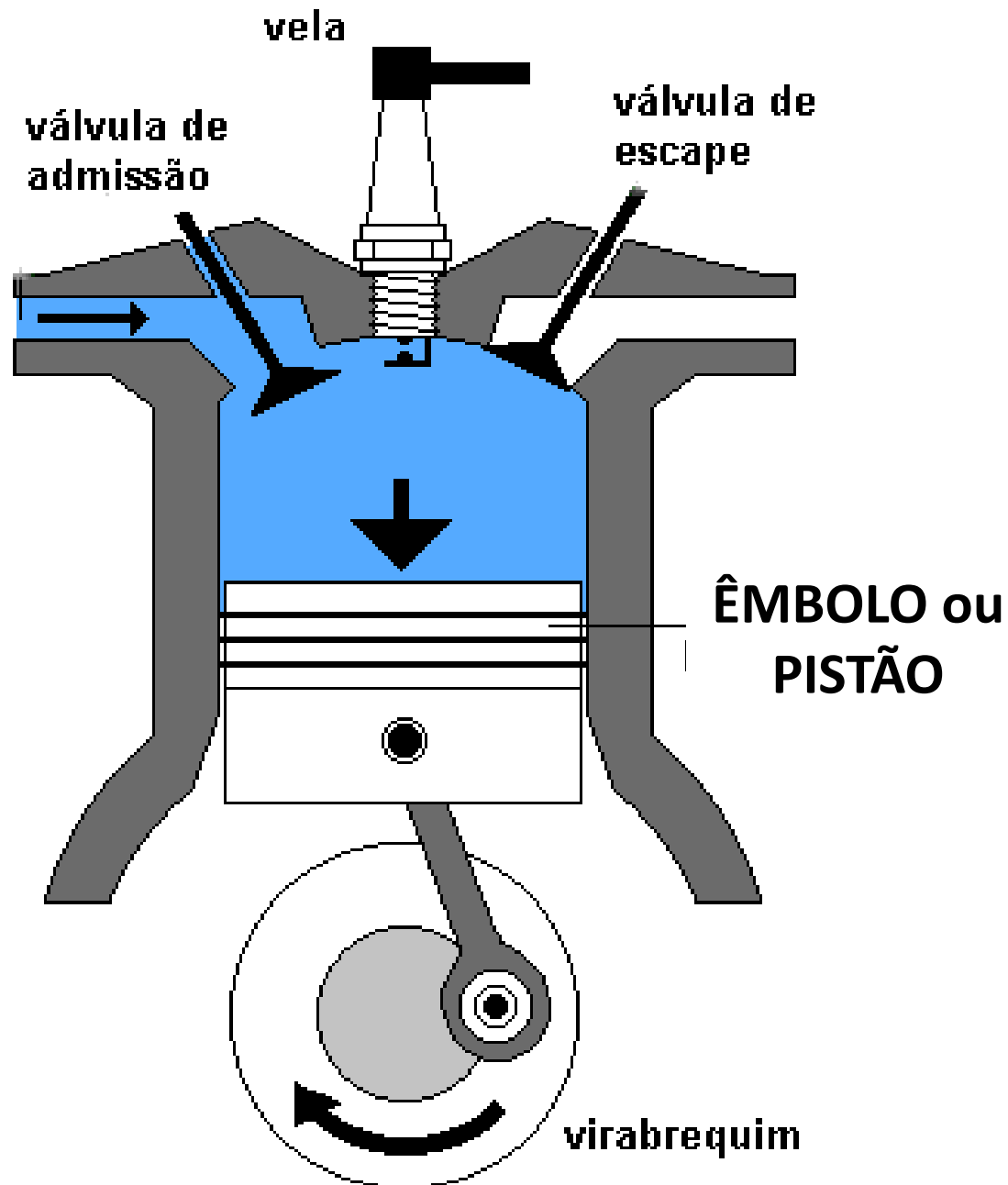




# 5. Êmbolo

Parte que se movimenta devido à explosão e expansão dos gases oriundos da combustão.

Através do pino e da biela transmite o movimento à árvore de manivelas.



## 6. Anéis de segmento

São localizados nas ranhuras circulares existentes na cabeça do êmbolo.

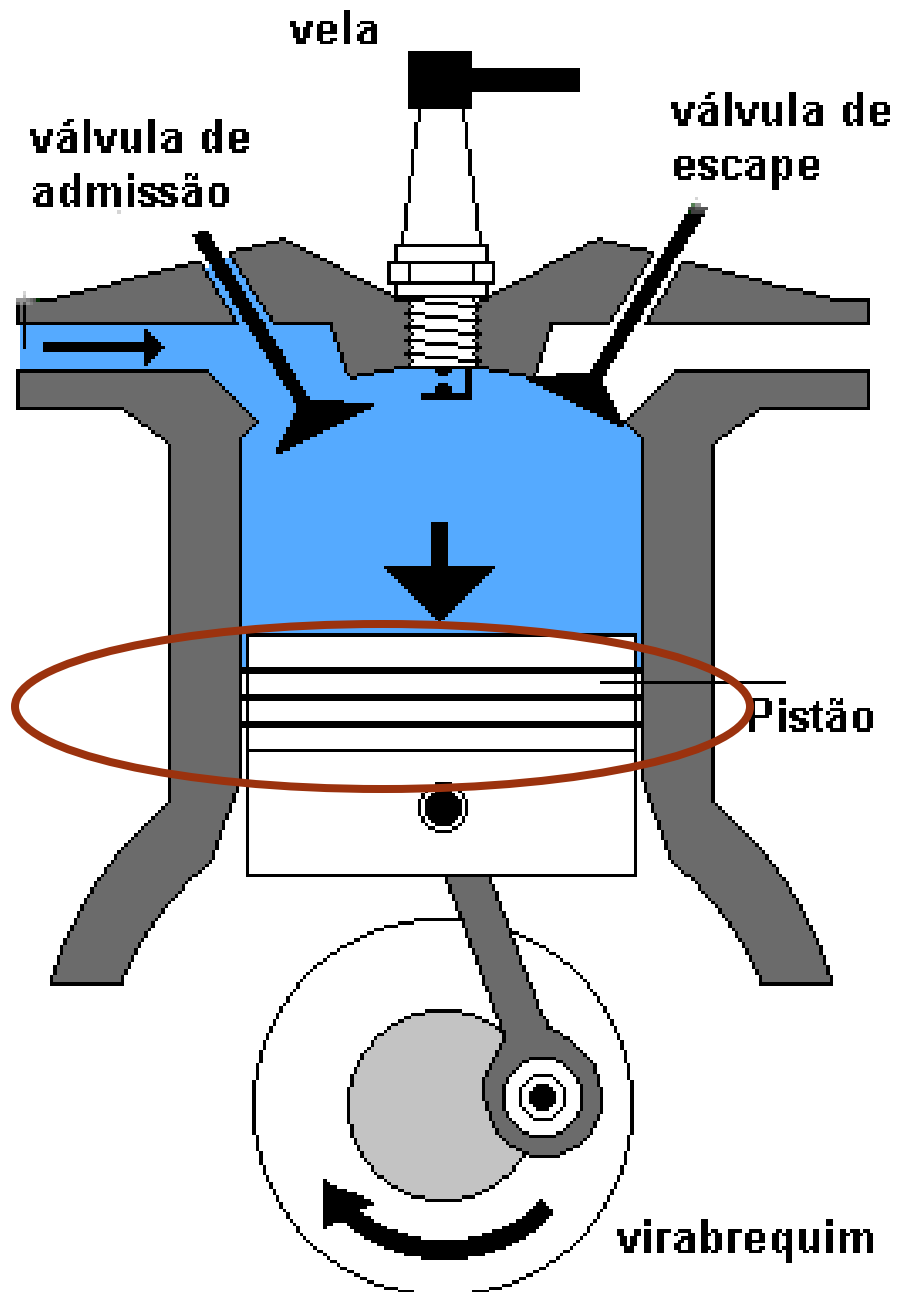
Suas funções:

- a) vedar a câmara do cilindro, retendo a compressão;
- b) reduzir a área de contato direto entre as paredes do êmbolo e do cilindro;
- c) controlar o fluxo de óleo nas paredes do cilindro;
- d) dissipar o calor do êmbolo pelas paredes do cilindro

# 6. Anéis de segmento

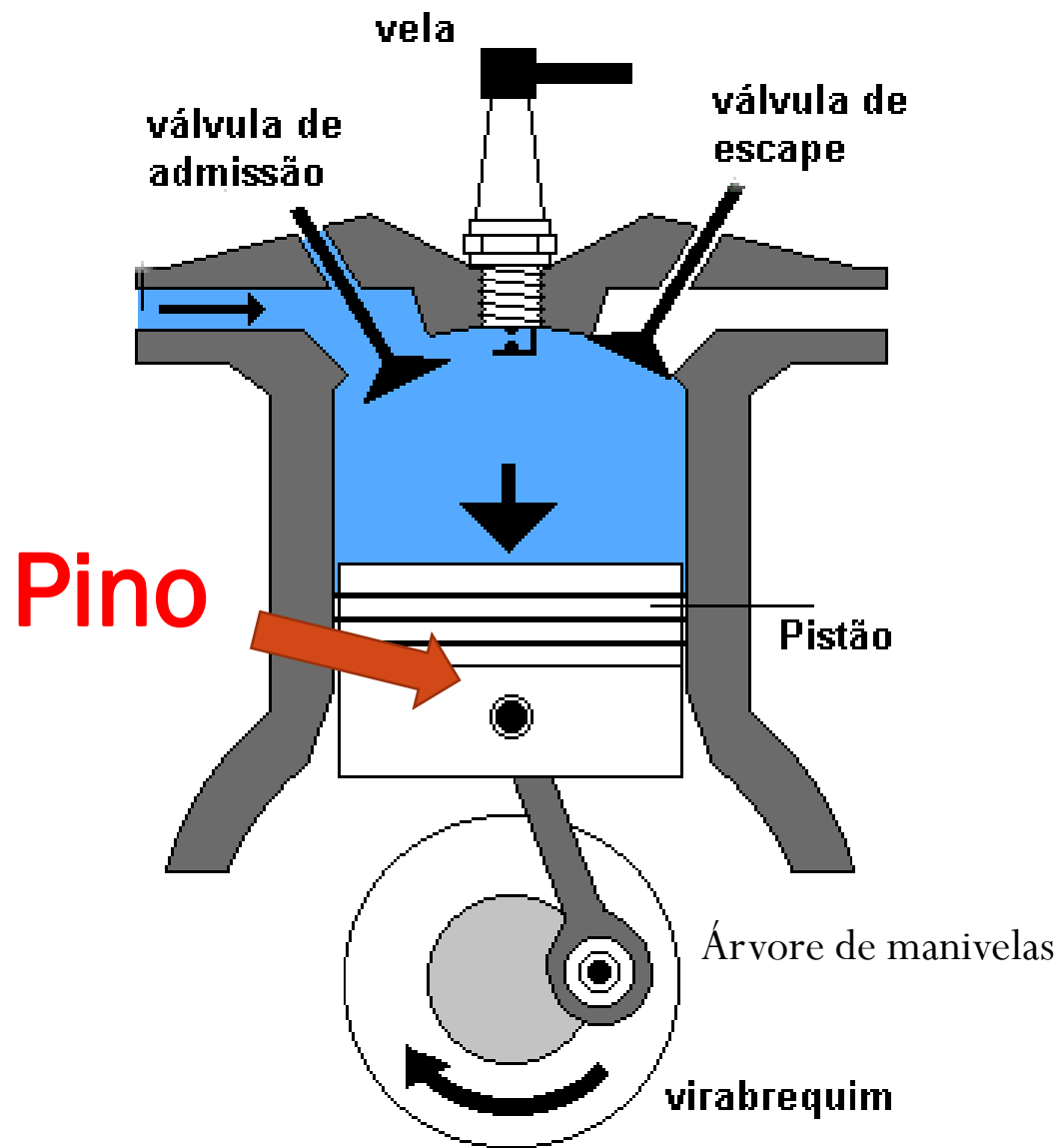
Existem dois tipos fundamentais de anéis

- a) De compressão – responsável pela vedação do cilindro; são maciços e colocados nas canaletas próximas ao topo do êmbolo.
- b) De lubrificação – responsáveis pelo controle de fluxo de óleo entre as paredes do êmbolo e cilindro; são providos de canaletas ou rasgos, interrompidos ao longo do perímetro.

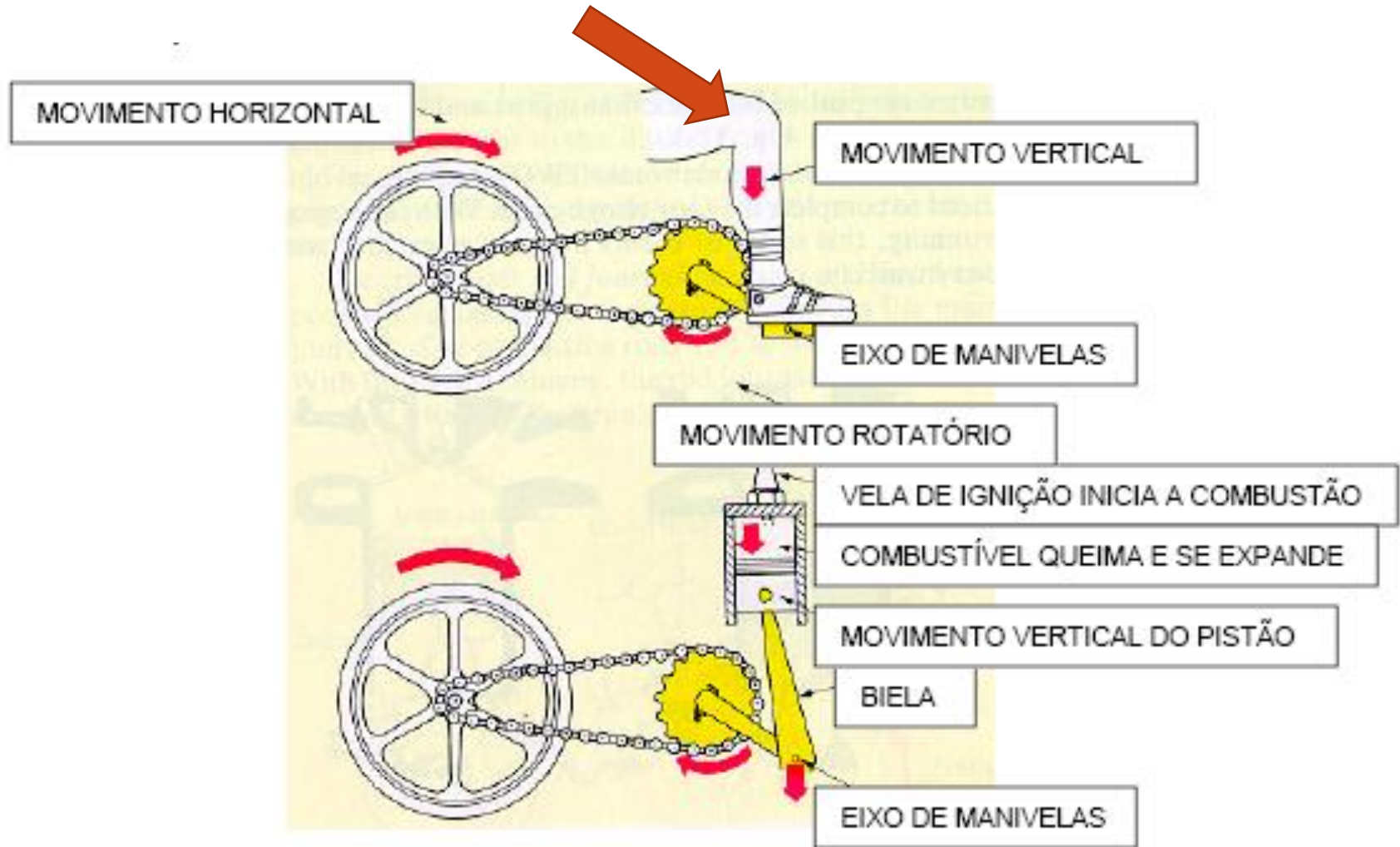


# 7. Pino do êmbolo

Proporciona uma ligação articulada entre biela e êmbolo



# Pino





## 8. Biela

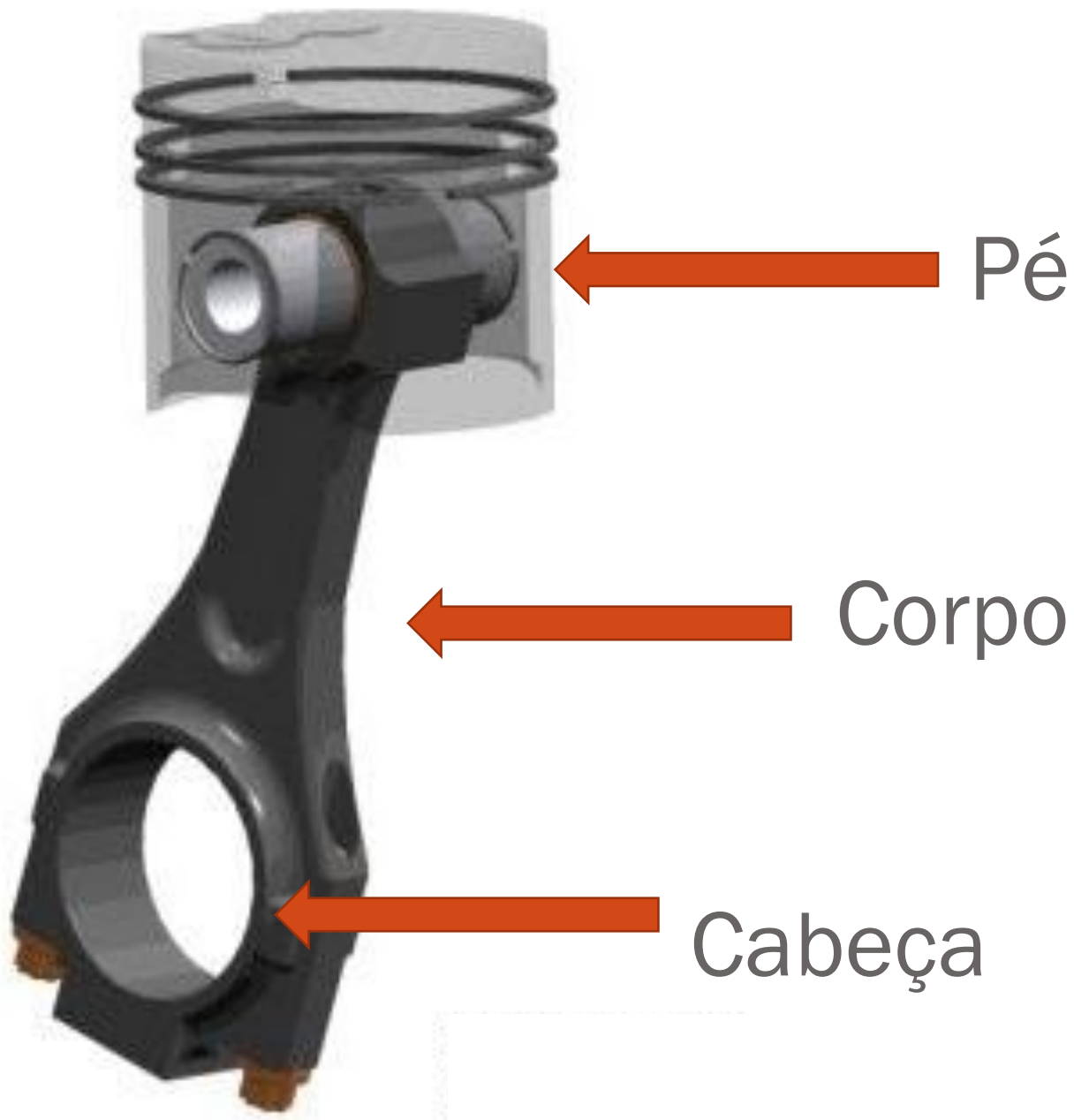
É o órgão que estabelece a conexão entre o êmbolo e a árvore de manivelas (ADM).

É um dos órgãos responsáveis por transformar o movimento retilíneo do êmbolo em movimento circular junto ao volante do motor.

Cabeça: parte que se prende aos moentes da ADM

Pé: parte que se acopla ao êmbolo, através do pino

Corpo: viga entre o pé e a cabeça que lhe confere o comprimento.



# 9. Casquilhos

São os elementos através dos quais estabelece-se o contato, sob condições especiais, entre a cabeça da biela e os moentes da ADM.

São duas cápsulas semi-cilíndricas recobertas de liga antifricção.

- baixo coeficiente de atrito

- ponto de fusão relativamente baixo

- resistência a corrosão



# 9. Casquilhos

Excesso de folga faz com a lubrificação seja prejudicada  
Anéis não conseguem retirar o excesso, excesso acaba sendo queimado

O excessivo escape de óleo ou extravasamento não uniforme gera a lubrificação deficiente e superaquecimento, quando há a fusão do casquilho.

“Motor fundido” → casquilhos fundidos

“Motor batendo” → ruído das batidas do mancal da biela contra o moente da ADM, pelo excesso de folga.

# 10. Árvore de manivelas

Árvore de transmissão de movimento que apresenta tantas manivelas quantos forem os cilindros do motor.

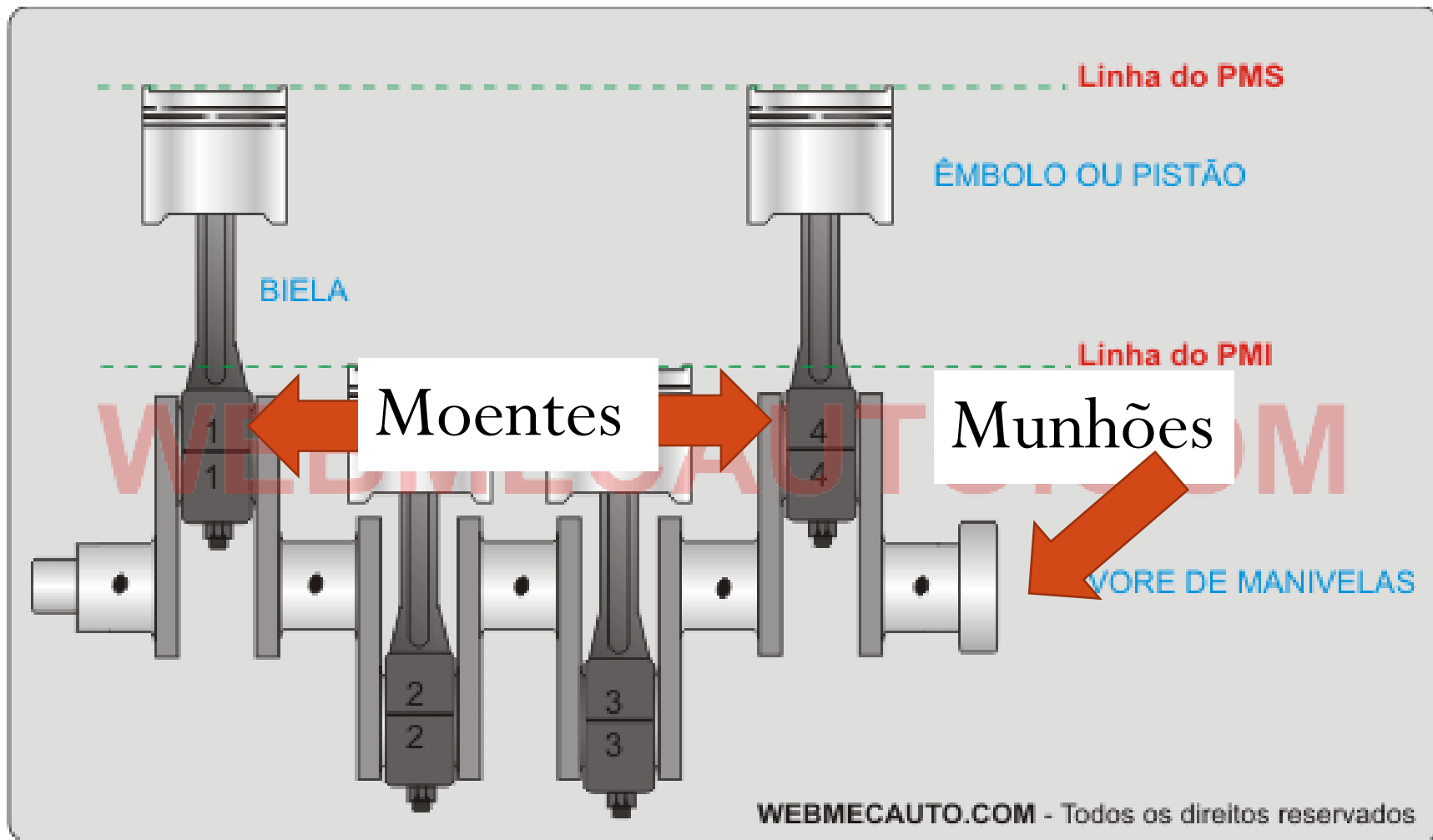
Na extremidade de cada manivela localiza-se um moente, ao qual se acopla o mancal da cabeça da biela.

Numa extremidade da ADM se acopla o volante do motor. Na outra a engrenagem ou a roda dentada de acionamento do comando de válvulas.



**MOENTES**







# ADM

O ângulo formado entre moentes da ADM se dá pelo número de cilindros e de tempos do motor

a) Motor de 4 tempos :  $720^\circ/n$

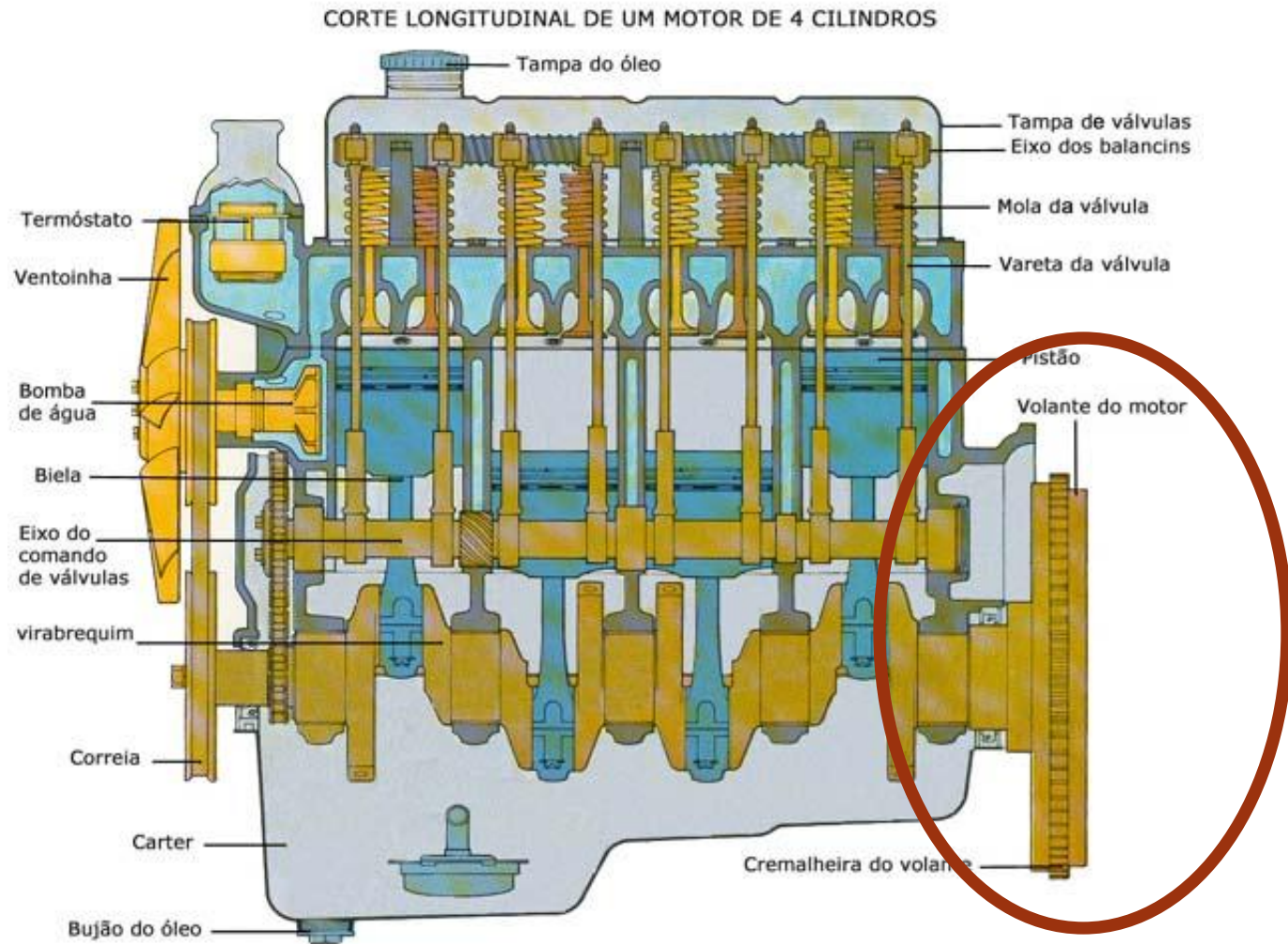
b) Motor de 2 tempos :  $360^\circ/n$

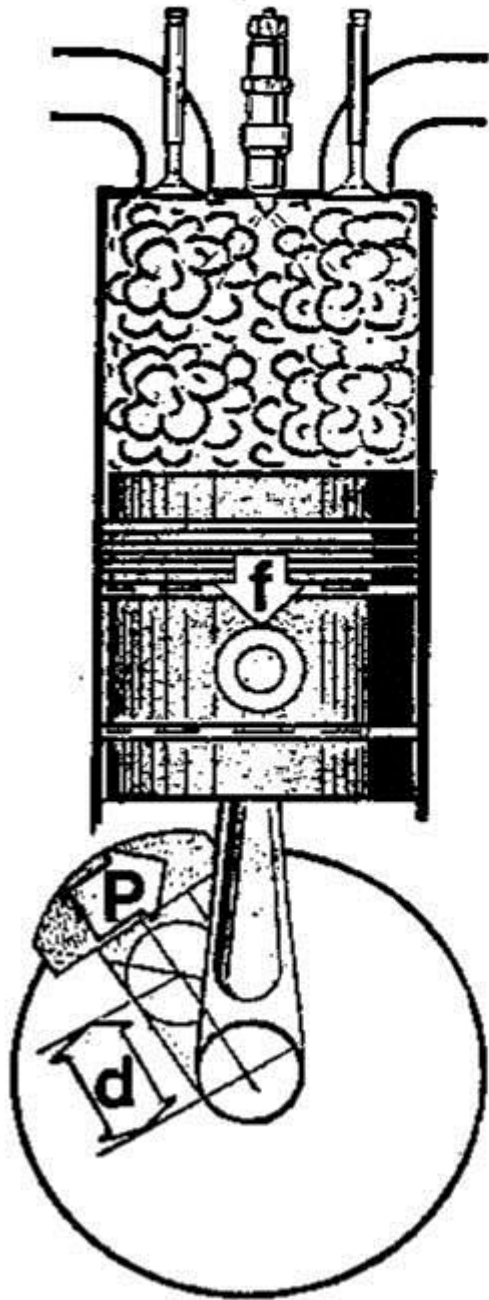
Onde  $n$  = número de cilindros

# 11. Volante do motor

Massa de ferro fundido que tem por função manter uniforme a velocidade angular da ADM, absorvendo a energia cinética durante os tempos de explosão para cedê-la de volta durante os outros tempos.

# 11. Volante do motor

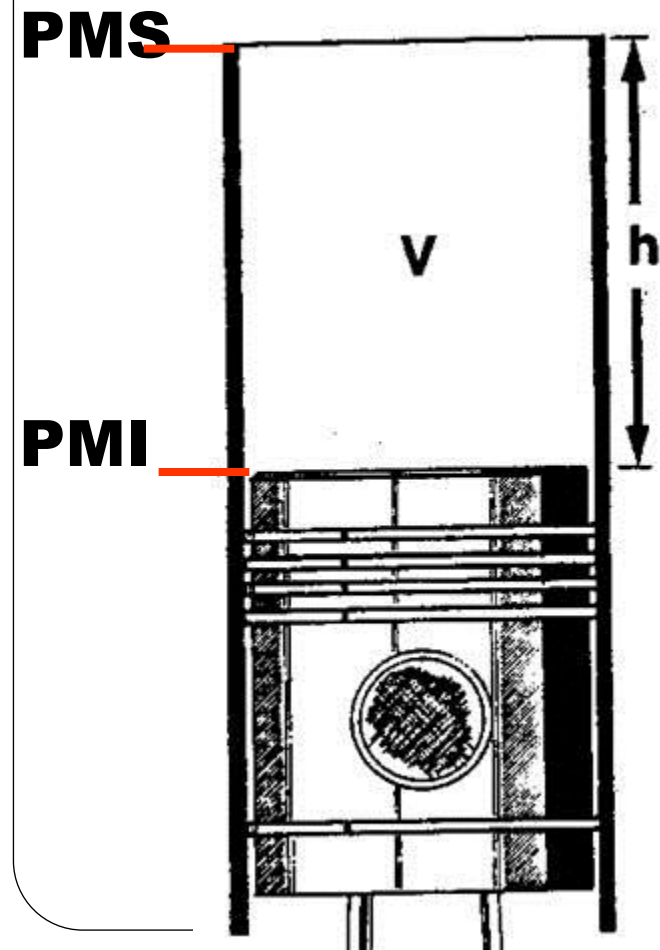




O que é Cilindrada?

O que significa falar que o motor é 2.0?

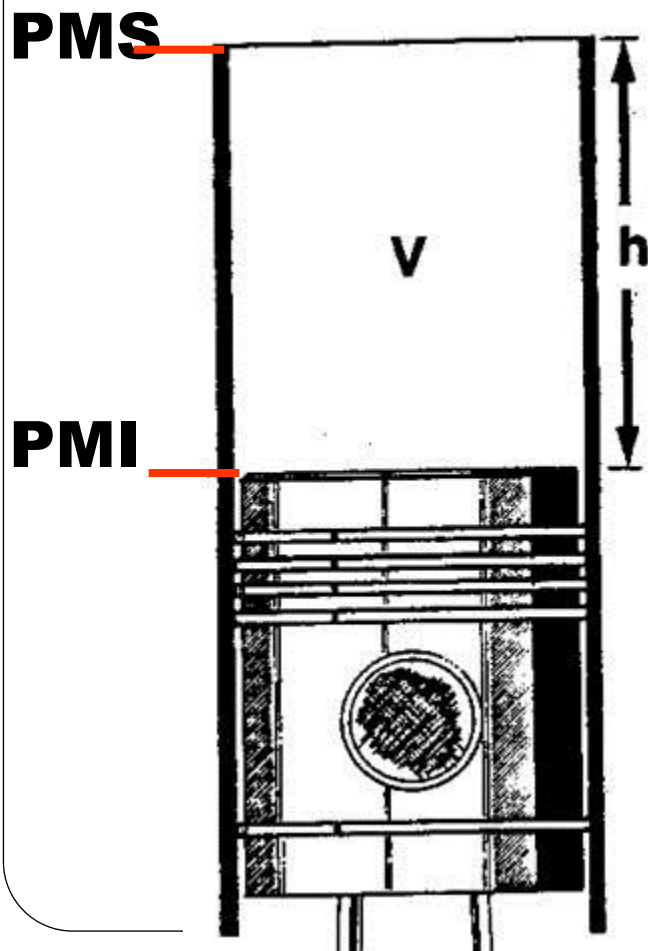
O que é um carro 1000?



O que é Cilindrada?

O que significa falar que o motor é 2.0?

O que é um carro 1000?



Volume deslocado pelo êmbolo durante o percurso do PMS ao PMI

$$CC = (\pi D^2/4) \times h \times N$$

D = DIÂMETRO DO CILINDRO

h = CURSO DO ÊMBOLO (PMI PARA PMS)

N = NÚMERO DE CILINDROS DO MOTOR

## Cálculo da cilindrada - Exemplo

Um motor de 3 cilindros, com diâmetro dos cilindros de 10 cm e curso do êmbolo de 120 mm, qual é sua cilindrada?

## Cálculo da cilindrada - Exemplo

Um motor de 3 cilindros, com diâmetro dos cilindros de 10 cm e curso do êmbolo de 120 mm, qual é sua cilindrada?

$$\begin{aligned} CC &= (\pi D^2/4) \times h \times N = \\ &= \pi 10^2/4 \times 12 \text{ cm} \times 3 = \\ &= \pi 25 \times 36 = 2827,4 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$



# Cálculo da pressão exercida no Êmbolo - Exemplo

Uma mistura combustível atinge pressão de 40 atm dentro do cilindro do motor. qual a força máxima aplicada pela biela contra o êmbolo, no tempo de compressão, sendo que o diâmetro do cilindro mede 96 mm?

$$1 \text{ atm} = 1,03329 \text{ kgf/cm}^2$$

$$A = \pi r^2 \text{ ou } \pi D^2/4$$

## Cálculo da pressão exercida no Êmbolo - Exemplo

Uma mistura combustível atinge pressão de 40 atm dentro do cilindro do motor. qual a força máxima aplicada pela biela contra o êmbolo, no tempo de compressão, sendo que o diâmetro do cilindro mede 96 mm?

$$1 \text{ atm} = 1,03329 \text{ kgf/cm}^2$$

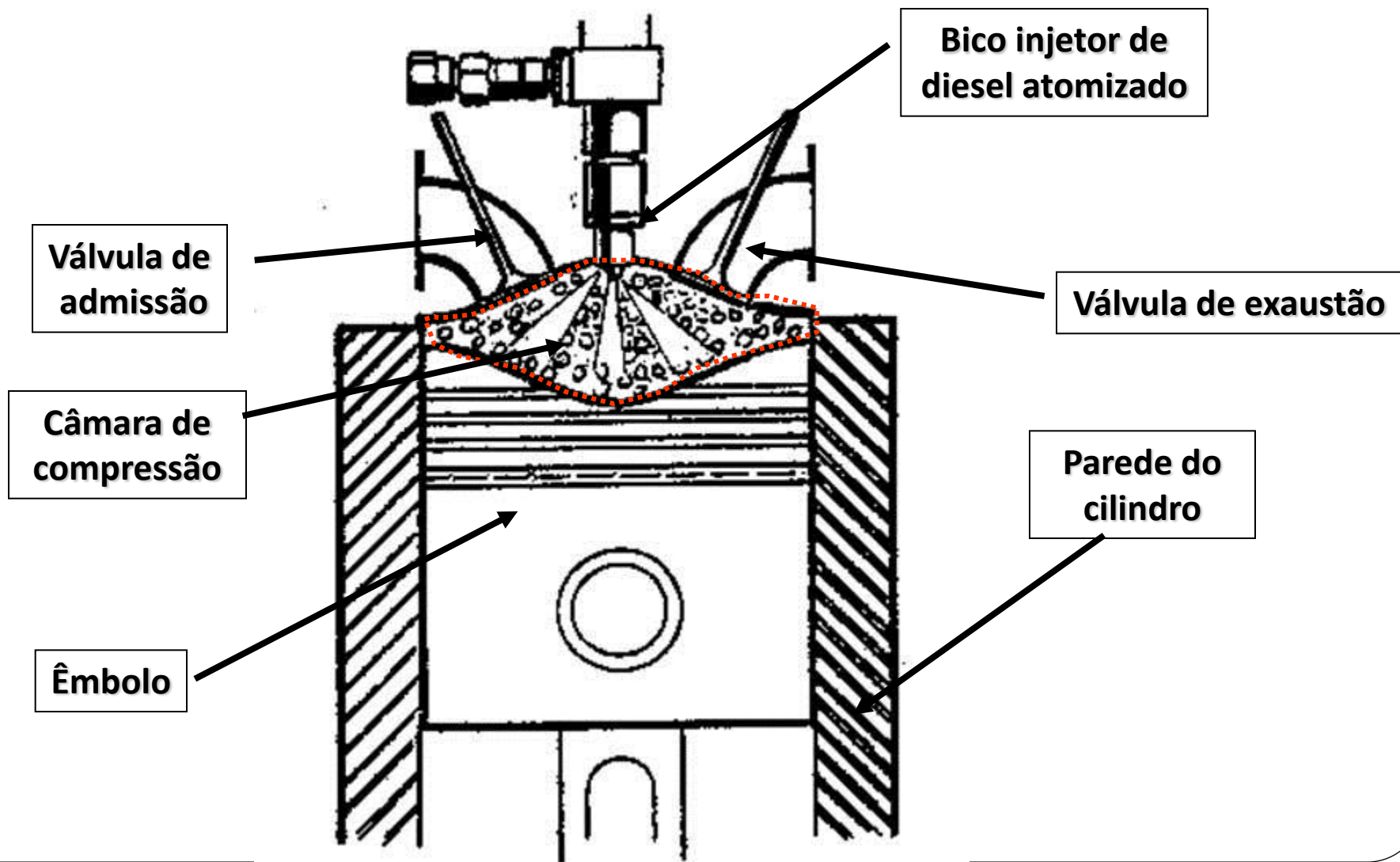
$$D = 96 \text{ mm, logo } r = 48 \text{ mm}$$

$$A = \pi r^2 = 7238,22 \text{ mm}^2 = 72,38 \text{ cm}^2$$

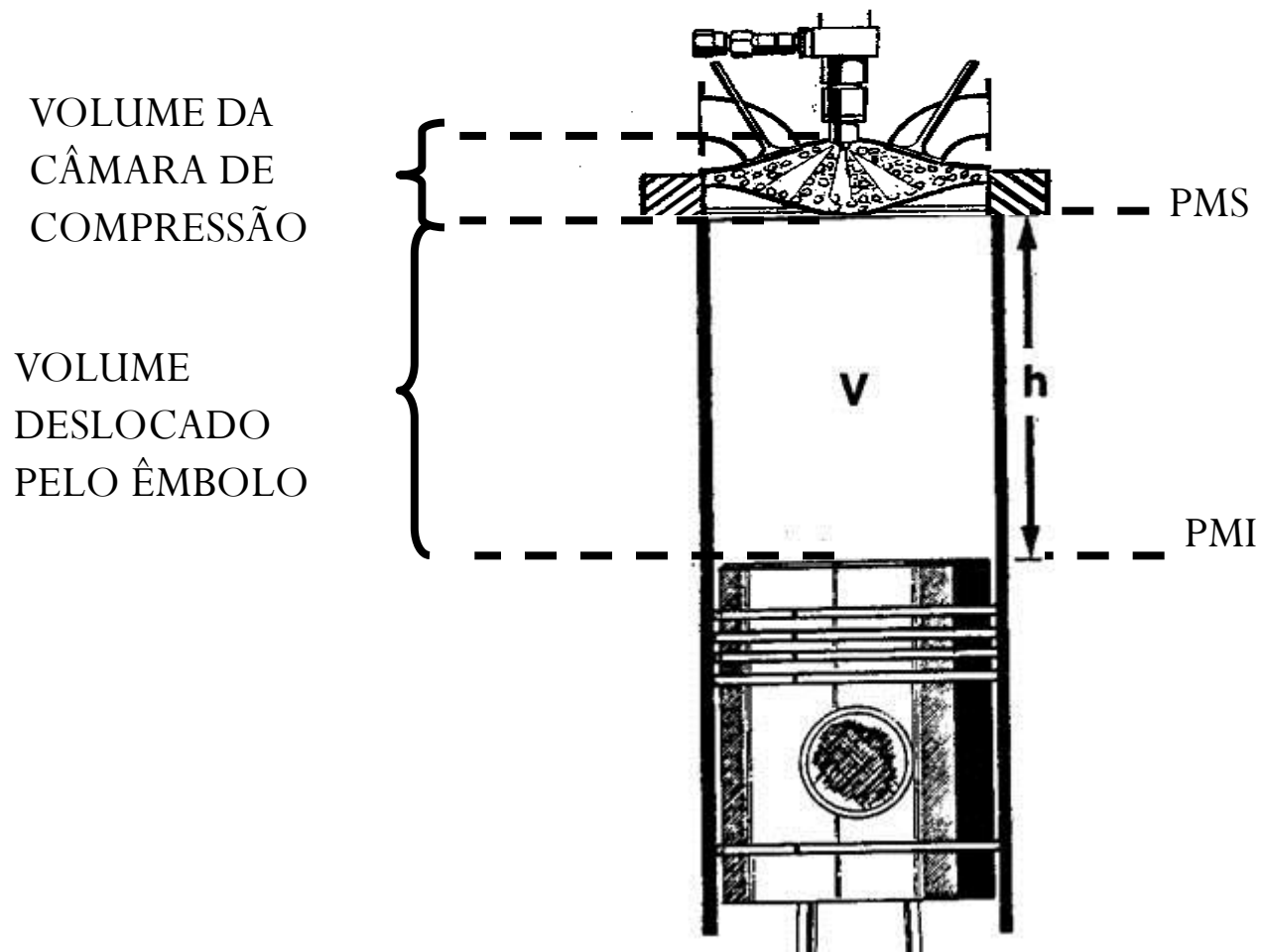
$$P = F/A, \text{ logo } F = P * A = 40 \text{ atm} * 72,38 \text{ cm}^2 * 1,03329 \text{ kgf/cm}^2$$

$$F = 2991,7 \text{ kgf}$$

**Câmara de compressão: volume remanescente, localizado no cabeçote, quanto o êmbolo se encontra em seu PMS.**



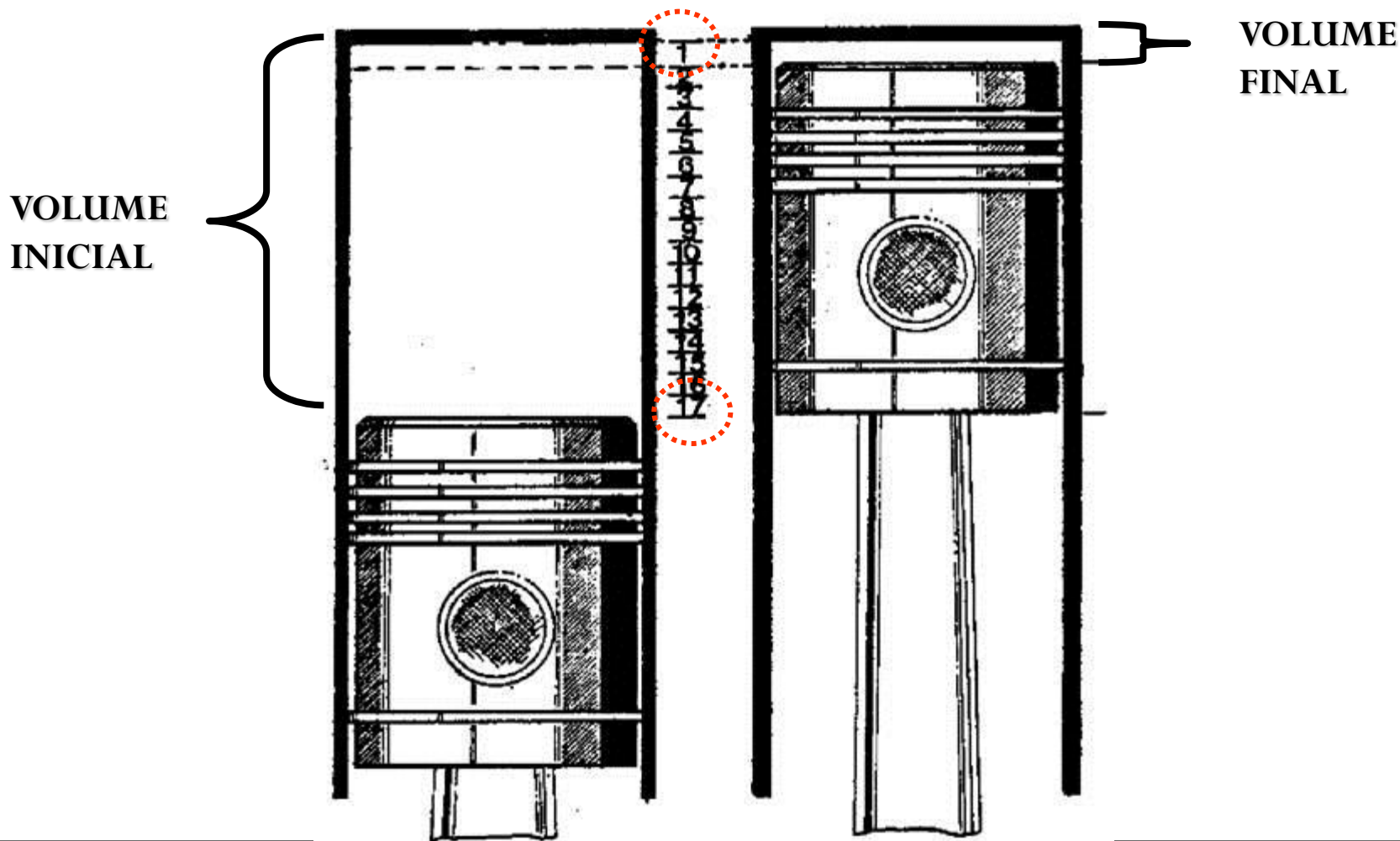
# Volume da câmara do cilindro: volume deslocado pelo êmbolo + volume da câmara de compressão.



# RAZÃO DE COMPRESSÃO:

VOL. DESLOCADO PELO ÊMBOLO + VOL. DA CÂMARA DE COMPRESSÃO  
VOLUME DA CÂMARA DE OMPRESSÃO

OU SEJA:  $R = \text{VOLUME INICIAL} / \text{VOLUME FINAL}$



# Cálculo da pressão exercida no Êmbolo - Exemplo

Calcular a razão de compressão de um motor com cilindrada de 3784 cc, com 4 cilindros e volume da câmara de compressão de 59 cm<sup>3</sup>.

RAZÃO DE COMPRESSÃO:

$$\frac{\text{VOL. DESLOCADO PELO ÊMBOLO} + \text{VOL. DA CÂMARA DE COMPRESSÃO}}{\text{VOLUME DA CÂMARA DE OMPRESSÃO}}$$

OU SEJA:  $R = \text{VOLUME INICIAL} / \text{VOLUME FINAL}$

# Cálculo da pressão exercida no Êmbolo - Exemplo

Calcular a razão de compressão de um motor com cilindrada de 3784 cc, com 4 cilindros e volume da câmara de compressão de 59 cm<sup>3</sup>.

$$\text{Volume inicial} = (3784 / 4) + 59 = 946 + 59 = 1005 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume final} = 59 \text{ cm}^3$$

$$\text{Razão} = V_{\text{inicial}} / V_{\text{final}} = 1005 / 59 = 17,03$$

