



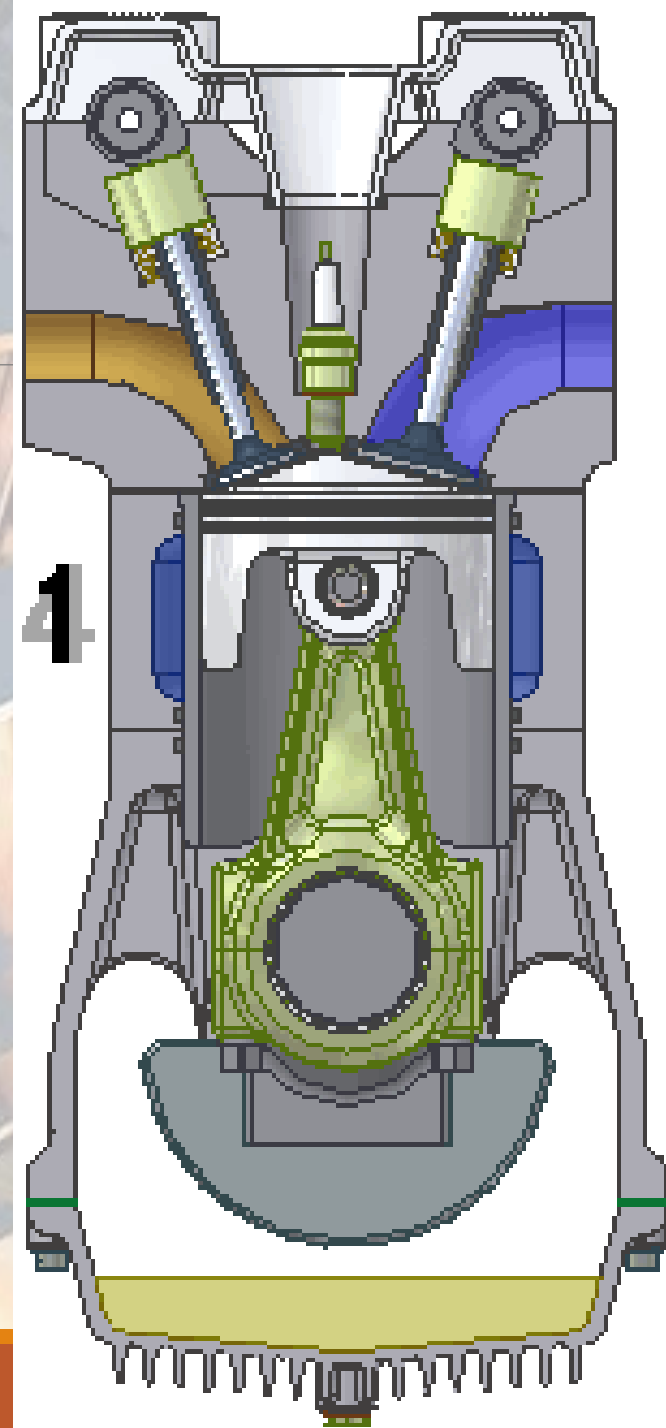
MOTORES TÉRMICOS

AULA 8-9 – MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

PROF.: KAIO DUTRA

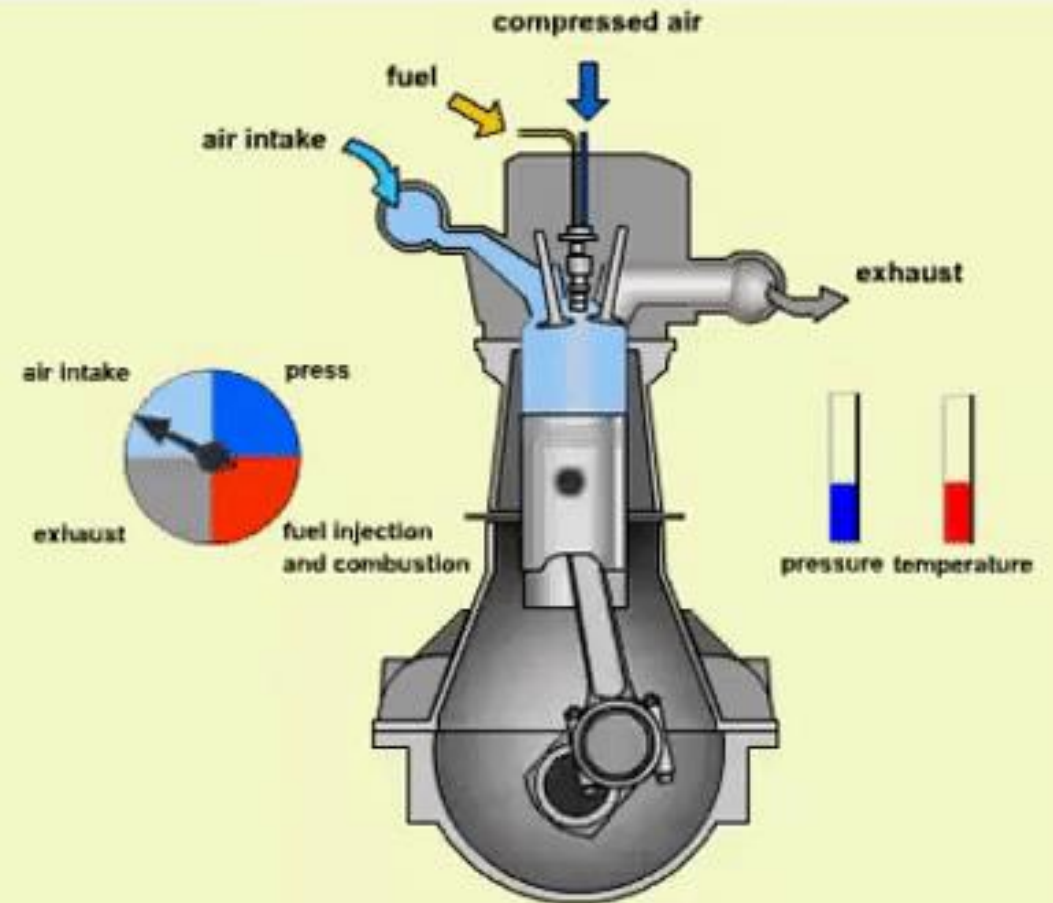
Motores de Combustão Interna

- Dois tipos principais de motores de combustão interna alternativos são o motor com ignição por centelha e o motor com ignição por compressão.
- Num motor com ignição por centelha, uma mistura de combustível e ar é incendiada por uma vela.

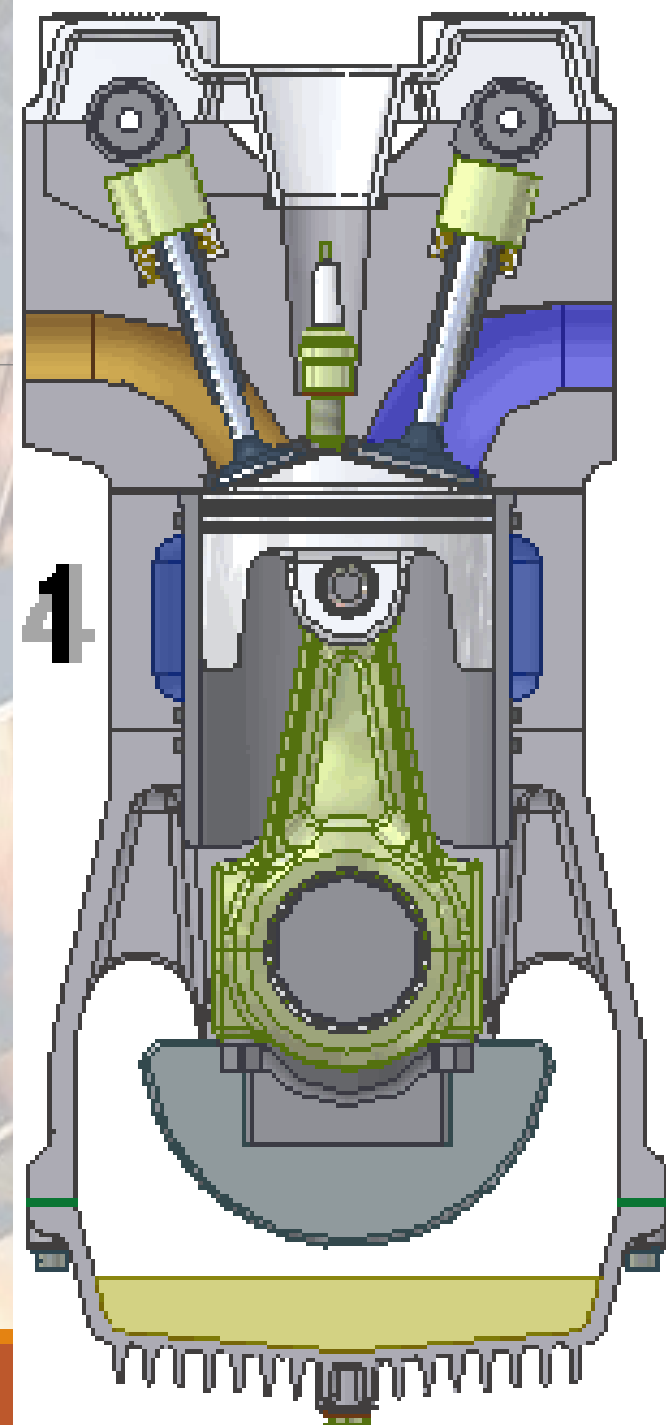
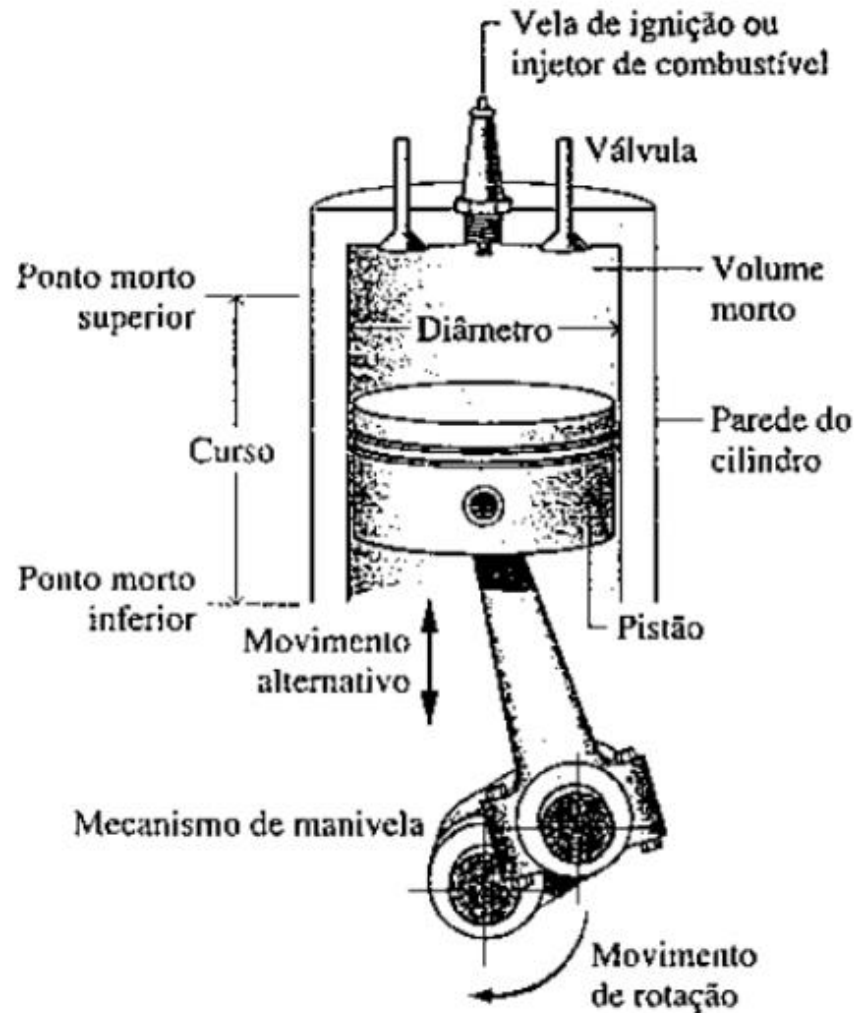


Motores de Combustão Interna

- Num motor de ignição por compressão, o ar é comprimido até uma pressão e temperatura elevadas o suficiente para que a combustão ocorra espontaneamente quando o combustível for injetado.



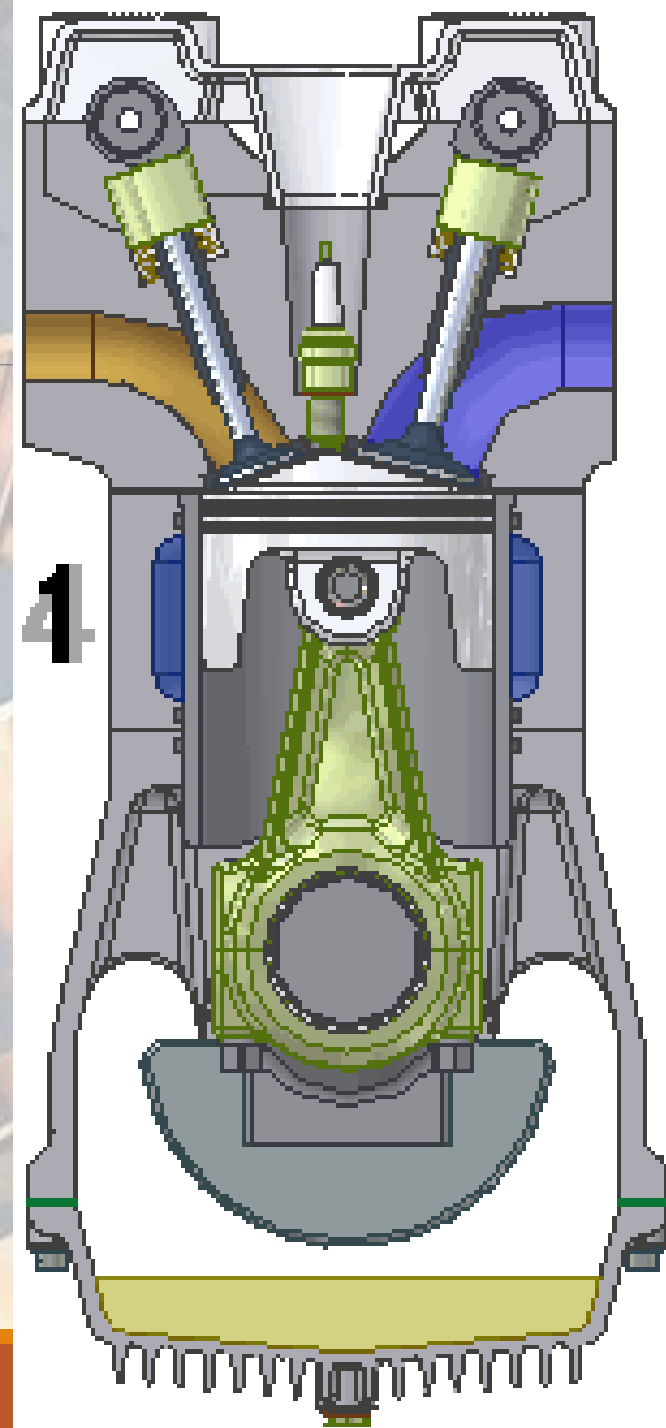
Terminologia de Motores



Terminologia de Motores

- Taxa de Compressão (r): É definida como o volume no PMI dividido pelo volume no PMS;
- Pressão média efetiva (p_{me}): é a pressão constante teórica que, se atuasse no pistão durante o curso de potência, produziria o mesmo trabalho líquido que o realmente produzido em um ciclo.

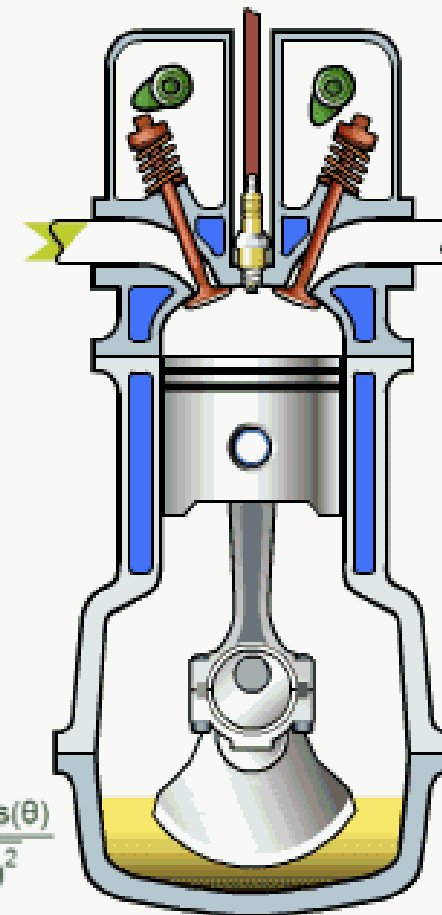
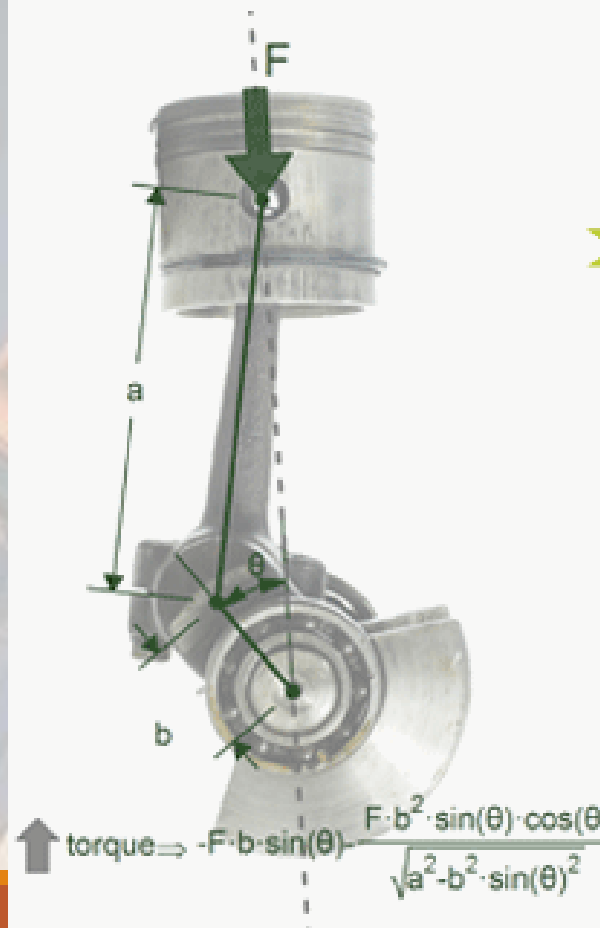
$p_{me} = \text{trabalho líquido para o ciclo} / \text{volume de deslocamento}$



Terminologia de Motores

- Em um motor de combustão interna de quatro tempos, o pistão executa quatro cursos distintos do cilindro para cada duas rotações do eixo de manivelas, são estes:
 - Curso de admissão;
 - Curso de compressão;
 - Curso de potência;
 - Curso de escape.

Como funcionam os motores

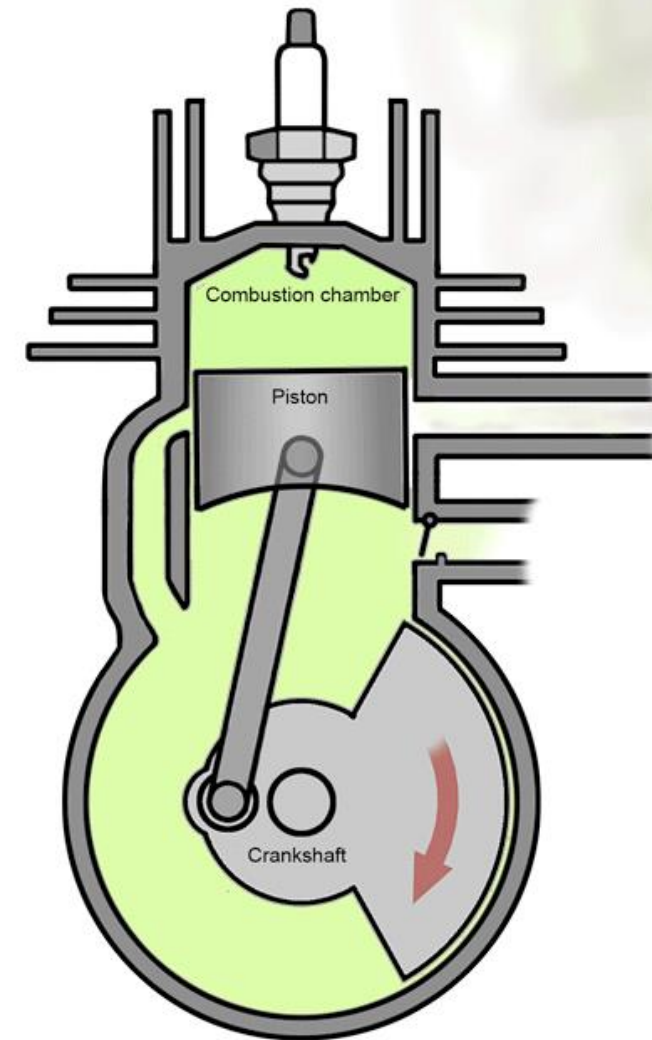


- Ponto morto superior
- ★ Fagulha

- 1 Admissão
- 2 Compressão
- 3 Combustão
- 4 Exaustão

Terminologia de Motores

- Nos motores de dois tempos, as operações de admissão, compressão, expansão e escape são obtidas em uma volta do eixo de manivela, realizando assim:
 - Curso de admissão e compressão;
 - Curso de potência e escape.



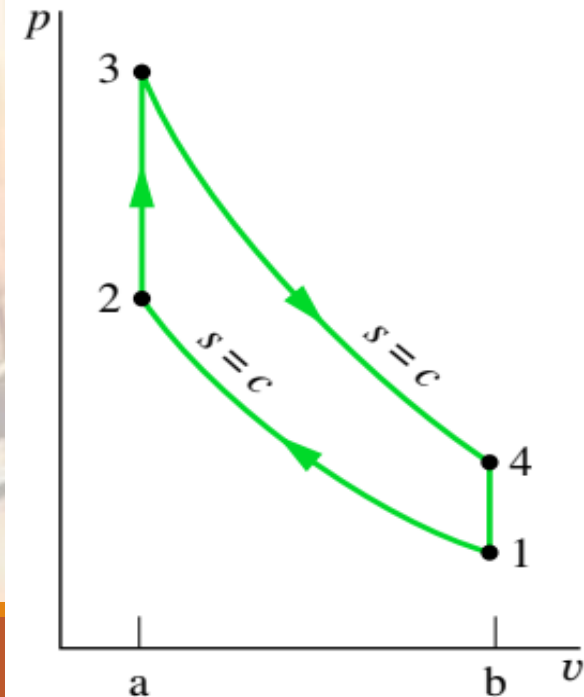
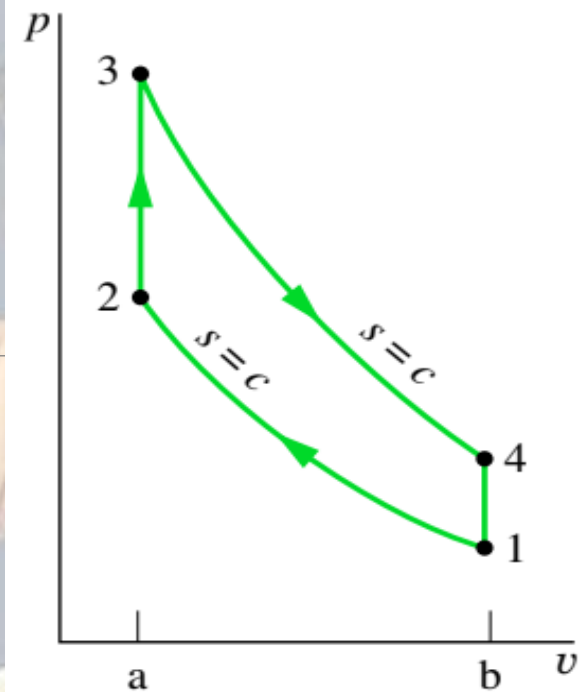
Terminologia de Motores

Análise de Ar-Padrão

- Uma simplificação considerável é necessária para conduzir análises termodinâmicas elementares de motores de combustão interna.
- O procedimento consiste em empregar uma análise de Ar-Padrão com os seguintes elementos:
 - Uma quantidade fixa de ar modelado como gás ideal é o fluido de trabalho;
 - O processo de combustão é substituído por uma transferência de calor de uma fonte externa.
 - Não existem os processos de admissão e descarga como no motor real.
 - Todos os processos são internamente reversíveis.

Ciclo de Ar-Padrão Otto

- O ciclo Otto consiste em quatro processos internamente reversíveis em série:
 - Processo 1-2: é uma compressão isentrópica do ar conforme o pistão se move do PMI para o PMS.
 - Processo 2-3: é uma transferência de calor a volume constante para o ar enquanto o pistão está no PMS.
 - Processo 3-4: é uma expansão isentrópica.
 - Processo 4-1: é uma transferência de calor a volume constante no qual o calor é rejeitado do ar conforme o pistão está no PMI.



Ciclo de Ar-Padrão Otto

Análise do Ciclo

- O ciclo de ar-padrão Otto consiste em dois processos nos quais há trabalho mas não há transferência de calor, os Processos 1-2 e 3-4, e em dois processos nos quais há transferência de calor, mas não há trabalho, os Processos 2-3 e 4-1.

$$\frac{W_{12}}{m} = u_2 - u_1,$$

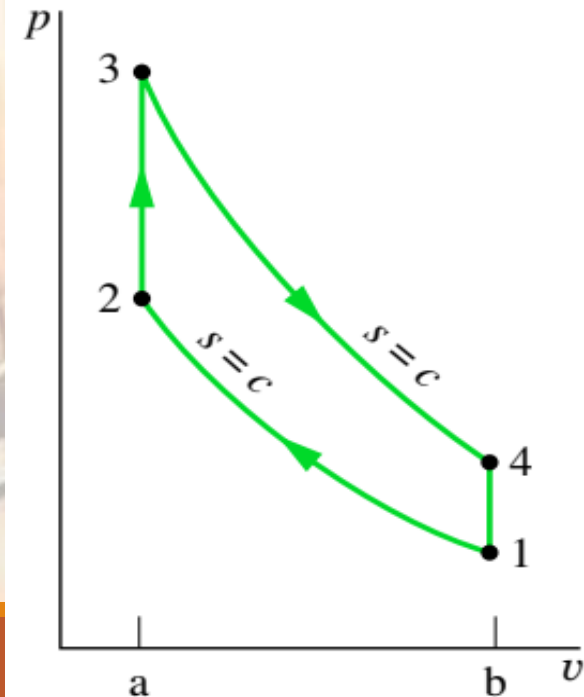
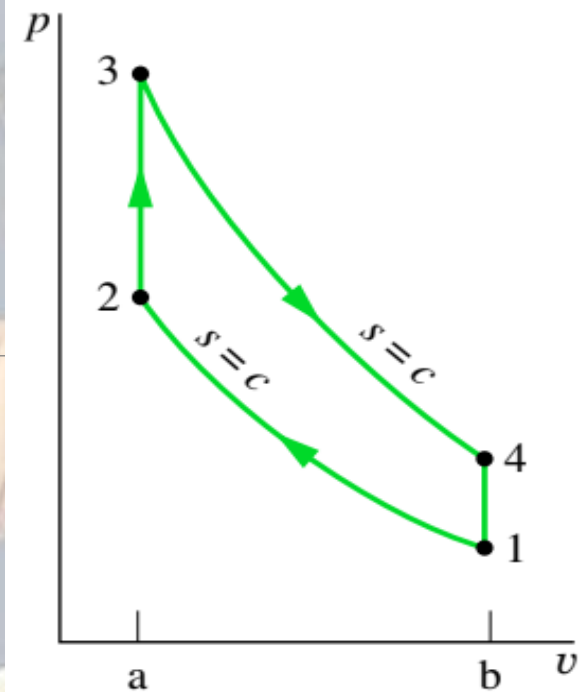
$$\frac{W_{34}}{m} = u_3 - u_4$$

$$\frac{Q_{23}}{m} = u_3 - u_2,$$

$$\frac{Q_{41}}{m} = u_4 - u_1$$

$$\frac{W_{\text{cycle}}}{m} = \frac{W_{34}}{m} - \frac{W_{12}}{m} = (u_3 - u_4) - (u_2 - u_1)$$

$$\eta = \frac{(u_3 - u_2) - (u_4 - u_1)}{u_3 - u_2} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{u_3 - u_2}$$



Ciclo de Ar-Padrão Otto

Efeito da Taxa de Compressão

$$\eta = \frac{(u_3 - u_2) - (u_4 - u_1)}{u_3 - u_2} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{u_3 - u_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1}$$

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = \frac{1}{r^{k-1}}$$

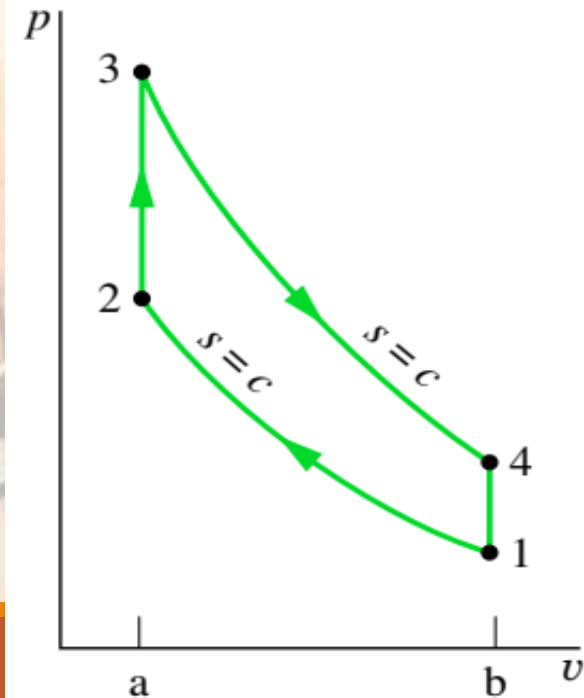
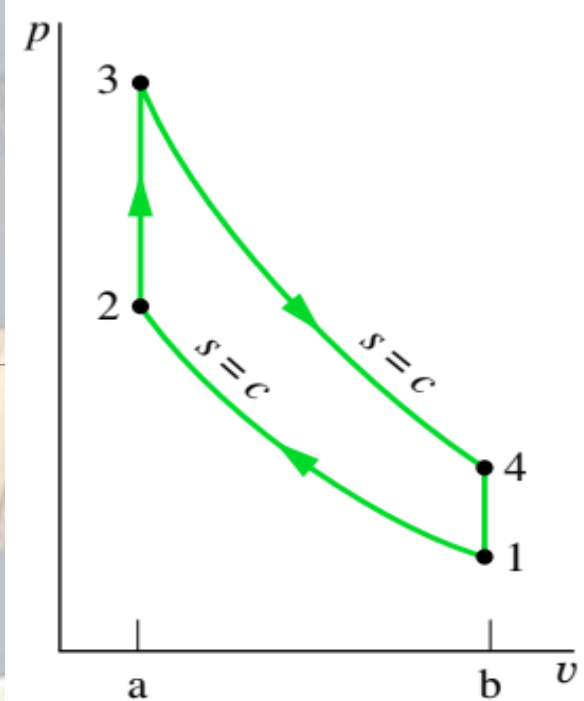
$$T_4/T_1 = T_3/T_2$$

$$\eta = 1 - \frac{c_v(T_4 - T_1)}{c_v(T_3 - T_2)}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} \left(\frac{T_4/T_1 - 1}{T_3/T_2 - 1} \right)$$

$$\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

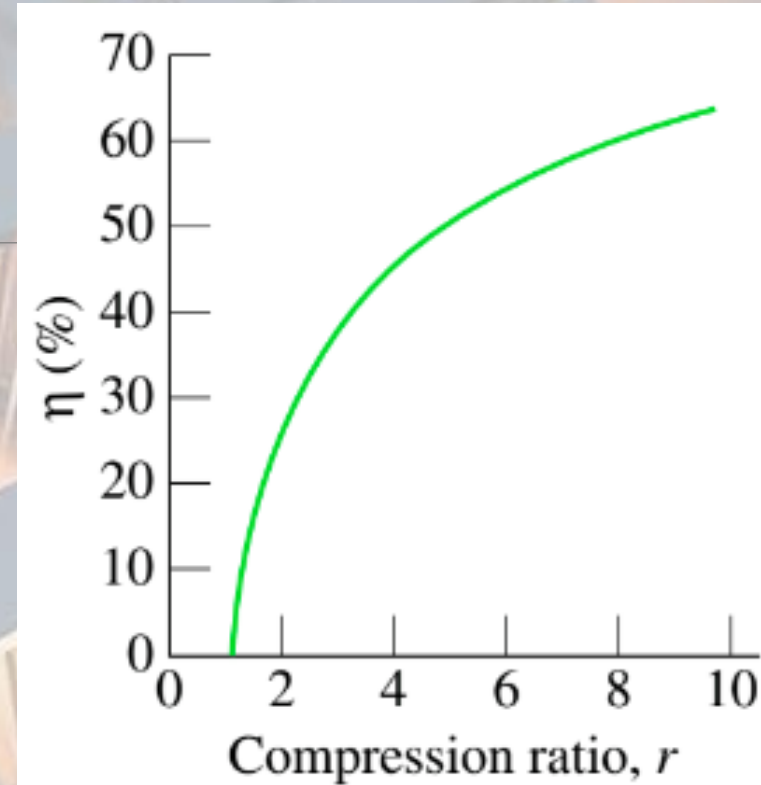
$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$







Ciclo de Ar-Padrão Otto

Efeito da Taxa de Compressão

- A equação indica que a eficiência do ciclo Otto é uma função apenas da taxa de compressão.
- Isto sugere que é vantajoso para os motores Otto possuírem razões de compressão elevadas. Porém, a possibilidade de auto-ignição estabelece um limite superior para a taxa de compressão.



Modelo	Motor	Taxa de Compressão	Fotografia	Modelo	Motor	Taxa de Compressão	Fotografia
Ford Ka	Rocam 1.0L 8V Flex	12,8:1		Ford Fiesta	Duratec 2.0L 16V Flex	10,8:1	
Celta	Celta 1.0 VHCE Flexpower	12,6:1		ASTRA SEDÃ	ASTRA SEDÃ 2.0 FLEXPOWER	11,5:1	

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

Ciclo de Ar-Padrão Otto

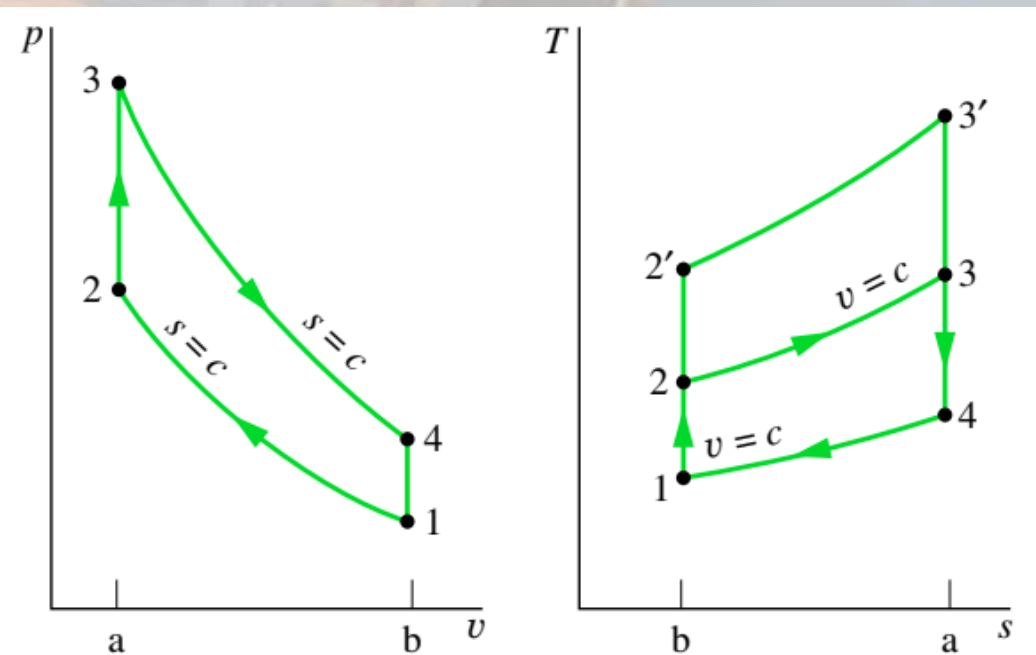
Exemplo 9.1

- A temperatura no início do processo de compressão de um ciclo de ar-padrão Otto com uma taxa de compressão de 8 é 540°R ($26,8^{\circ}\text{C}$) a pressão é de 1 atm e o volume do cilindro é $0,02\text{ft}^3$ ($0,001\text{m}^3$). A temperatura máxima durante o ciclo é 3600°R ($1726,8^{\circ}\text{C}$). Determine (a) temperatura e a pressão ao final de cada processo do ciclo, (b) a eficiência e (c) a pressão média efetiva.

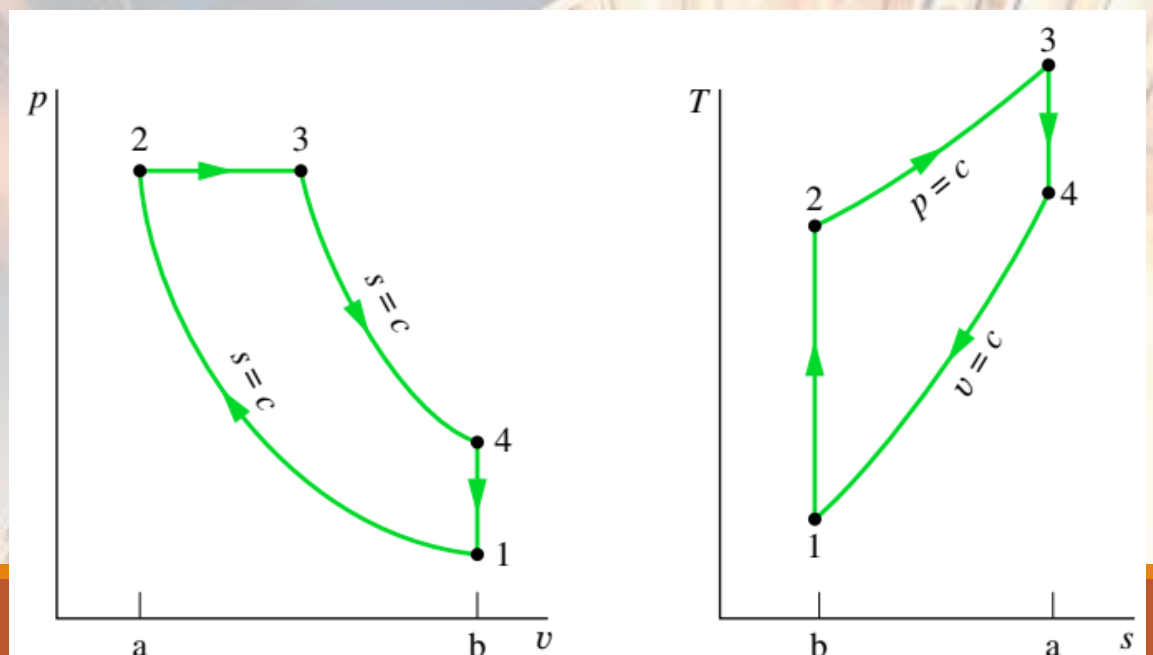
Ciclo de Ar-Padrão Diesel

- O ciclo de Ar-Padrão Diesel é um ciclo ideal que considera que a adição de calor ocorre durante um processo à pressão constante, que se inicia com o pistão no PMS.

Ciclo Otto

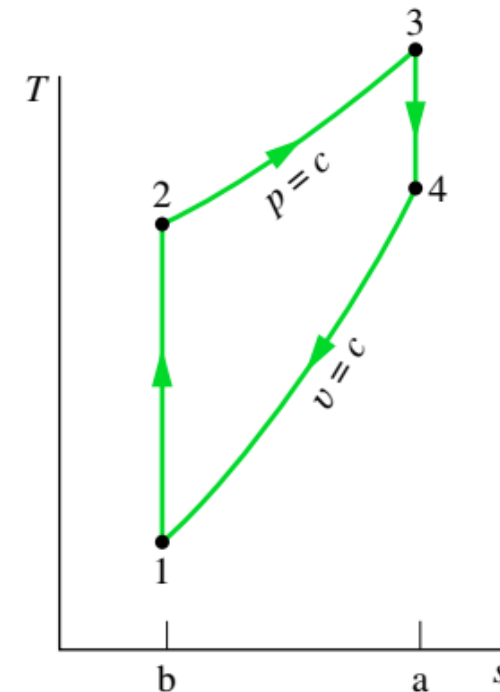
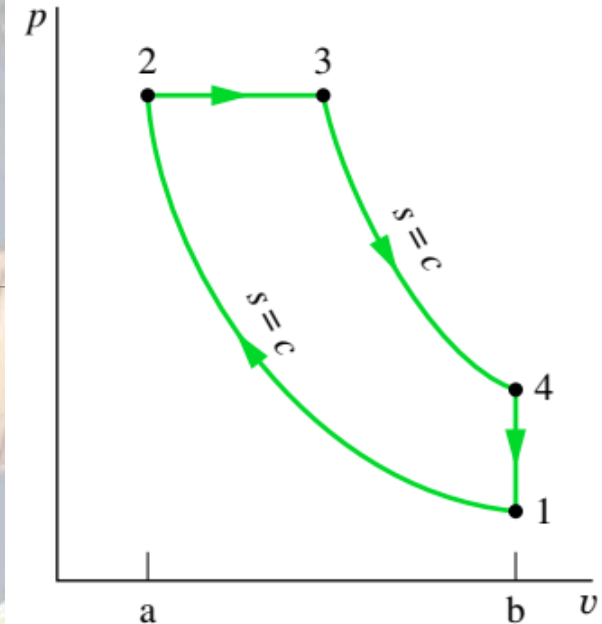


Ciclo Diesel



Ciclo de Ar-Padrão Diesel

- Processos para o Ciclo Ar-Padrão Diesel:
 - Processo 1-2: Compressão isentrópica;
 - Processo 2-3: Expansão isobárica;
 - Processo 3-4: Expansão isentrópica;
 - Processo 4-1: Transferência de calor a volume constante para a fonte fria.



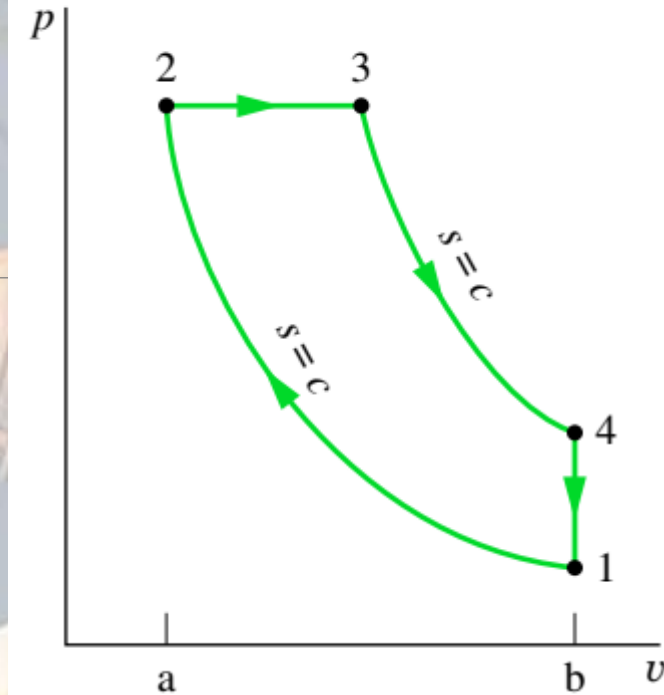
Ciclo de Ar-Padrão Diesel

Análise do Ciclo

- Para o Ciclo Ar-Padrão Diesel a eficiência fica:

$$\eta = \frac{W_{\text{cycle}}/m}{Q_{23}/m} = 1 - \frac{Q_{41}/m}{Q_{23}/m} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{h_3 - h_2}$$

- Assim como no ciclo Otto, a eficiência térmica do ciclo aumenta com o aumento da taxa de compressão. Conforme a equação:
- Onde $r_c = V_3/V_2$ chamado razão de corte.



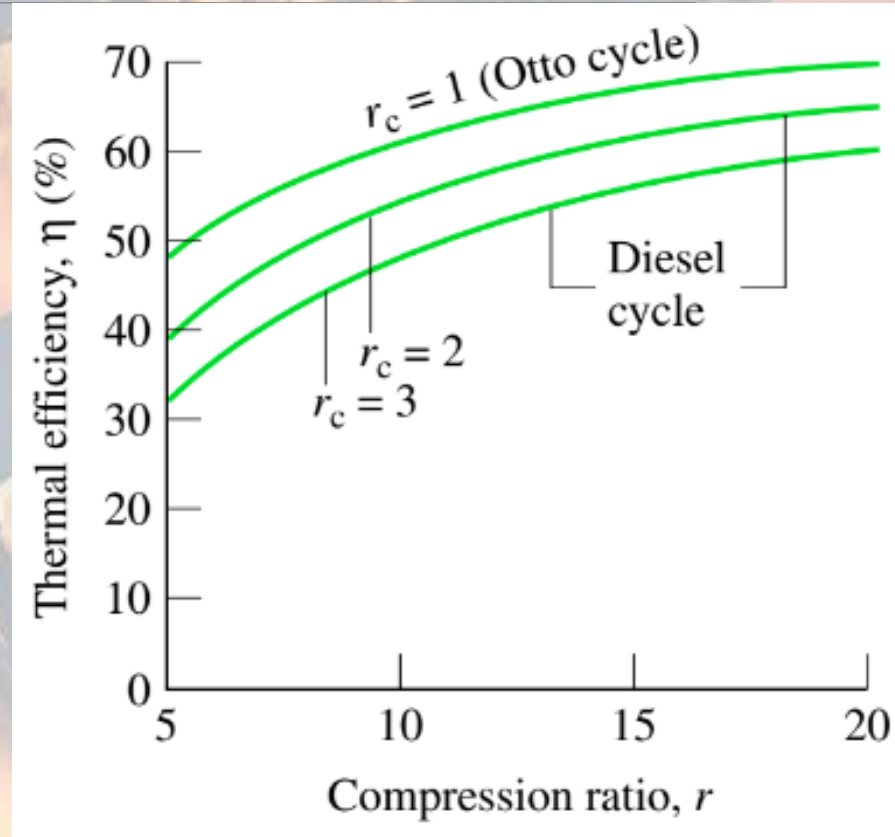
$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$

Ciclo de Ar-Padrão Diesel

Análise do Ciclo

- Assim quando a taxa de compressão é a mesma, a eficiência térmica do ciclo de ar-padrão frio Diesel seria menor do que aquela para o ciclo de ar-padrão frio Otto.

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[\frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$



Ciclo de Ar-Padrão Otto

Exemplo 9.2

- No início do processo de compressão de um ciclo de ar-padrão Diesel que opere com uma taxa de compressão de 18, a temperatura é 300K e a pressão é 0,1MPa. A razão de corte é 2. Determine (a) a temperatura e a pressão ao final de cada processos do ciclo, (b) a eficiência térmica e (c) a pressão média efetiva.