

## Ciclo de potência a gás Otto

Um ciclo padrão a ar Otto opera a 300K e 95KPa no início da compressão. A razão de compressão é de 10.5 e a temperatura máxima no ciclo é de 1800K.

Considere calores específicos constantes avaliados a 300K. Determine

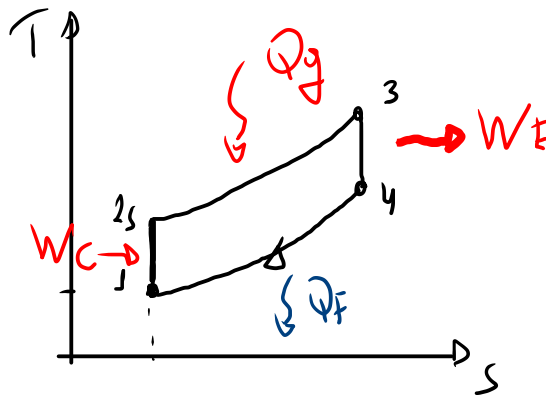
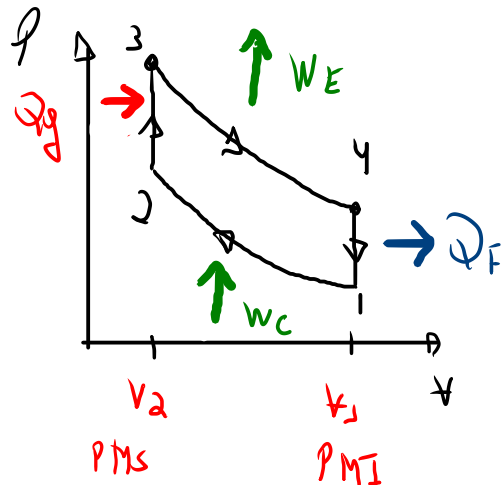
- a) Temperatura no final da compressão
- b) Pressão máxima
- c) Adição de calor por ciclo
- d) trabalho líquido por ciclo
- e) eficiência térmica do ciclo

# Ciclo de potência a gás Otto

Um ciclo padrão a ar Otto opera a 300K e 95KPa no início da compressão. A razão de compressão é de 10.5 e a temperatura máxima no ciclo é de 1800K.

Considere calores específicos constantes avaliados a 300K. Determine

- Temperatura no final da compressão
- Pressão máxima
- Adição de calor por ciclo
- trabalho líquido por ciclo
- eficiência térmica do ciclo



# Solução

## Desenhe os diagramas P-v e T-s

- 1. quantidade fixa de ar no interior do pistão-cilindro
- 2. sempre ar ( não é convertido em produtos de combustão)
- 3. sempre gás ideal
- 4. Processo de combustão substituído por transferência de calor de uma fonte externa à *volume* constante
- 5. Não há processos de admissão nem exaustão.
- 6. Processos internamente reversíveis
- 7. A análise a ar frio considera calores específicos constantes avaliados à temperatura ambiente (298K)

Processos:

- 1. 1-2: Compressão adiabática
- 2. 2-3: Transferência calor a volume constante (Adição)
- 3. 3-4: Expansão adiabática
- 4. 4-1: Transferência calor a volume constante (Rejeição)

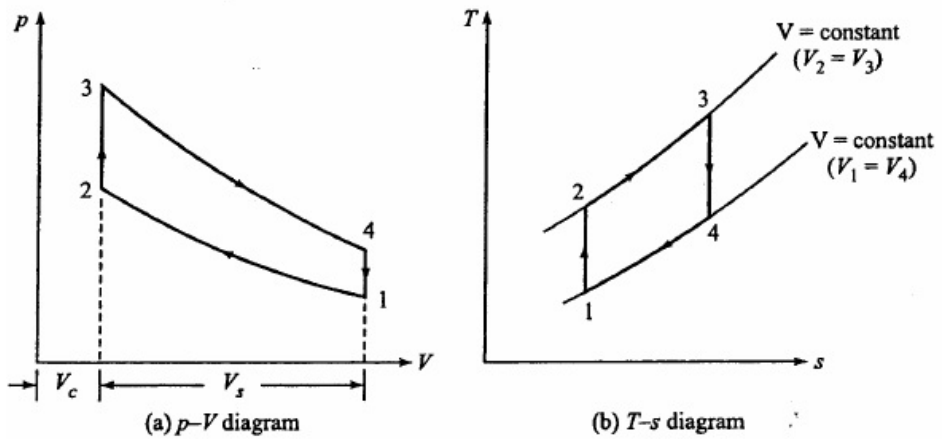


Figure 2.1 Otto cycle.

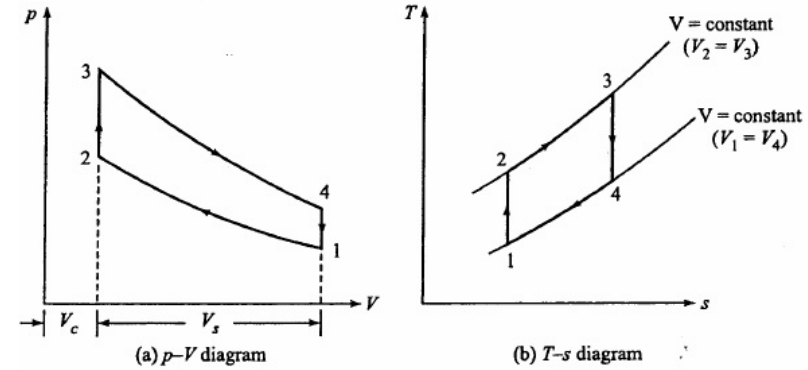
Gupta, 2009

## Faça uma tabela dos estados

Preencha os valores conhecidos na tabela

Um ciclo padrão a ar Otto opera a 300K e 95KPa no início da compressão. A razão de compressão é de 10.5 e a temperatura máxima no ciclo é de 1800K. Considere calores específicos constantes avaliados a 300K. Determine

Estado	P[KPa]	T[K]	$v[m^3/Kg]$
1	95	300	$p v = R T$
2			
3		1800	
4			



Gupta, 2009

Calcule as propriedades restantes

$$\eta = \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_4}{v_3}$$

# Calcule as propriedades restantes

- Estado 1

A pressão e temperatura do ponto já foram fornecidas. Vamos calcular o volume específico com o uso da equação dos gases ideais:

$$P_1 \cdot v_1 = R \cdot T_1 \rightarrow v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{287 \left[ \frac{J}{Kg \cdot K} \right] \cdot 300 [K]}{95 \cdot 10^3 [Pa]} = 0,906315789474 [m^3 / Kg]$$

$$\eta = v_3 / v_2$$

Atualizando a tabela dos estados:

Estado	P[KPa]	T[K]	v[m <sup>3</sup> /Kg]
1	95	300	0,90632
2		✓	v <sub>2</sub> /η
3		1800	
4			

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{1-k}$$

$$\left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{1-k} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{v_2}{v_1} \right)^{(1-k) \cdot k} \quad \text{ou} \quad P_2 v_2 = R T_2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

Processos:

- 1-2: Compressão adiabática
- 2-3: Transferência calor a volume constante (Adição)
- 3-4: Expansão adiabática
- 4-1: Transferência calor a volume constante (Rejeição)

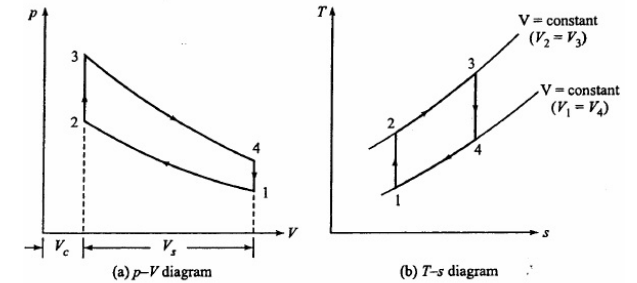


Figure 2.1 Otto cycle.

Gupta, 2009

• Estado 2

No ciclo Otto a razão de compressão é relativa à razão entre os volumes máximo e mínimo na câmara de combustão,  $v_2$  e  $v_1$ , respectivamente. Assim:

$$\frac{v_1}{v_2} = r \rightarrow v_2 = \frac{v_1}{r} \rightarrow v_2 = \frac{0,906315789474}{10,5} = 0,086315789[m^3/Kg] \quad (19.2)$$

O processo 1 a 2 é uma compressão adiabática e reversível (isoentrópica). Dessa forma, podemos utilizar as equações isoentrópicas para gases ideais.

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{1-k} \left(\frac{1}{10,5}\right)^{1-1,4}$$

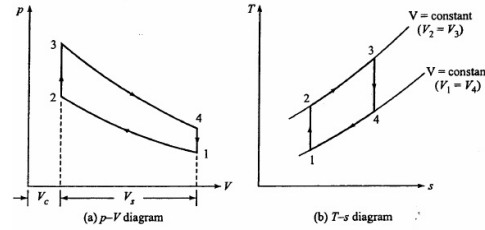
$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{1-k} \rightarrow T_2 = 300 \left(\frac{1}{10,5}\right)^{1-1,4} \rightarrow T_2 = 768,417017658[K]$$

$$\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{1-k} \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{\frac{(1-k)k}{k-1}} \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{-k}$$

$$P_2 = 95[KPa] \cdot \frac{1}{10,5}^{-1,4} \rightarrow P_2 = 2554,98658371[KPa]$$

Processos:

1. 1-2: Compressão adiabática
2. 2-3: Transferência calor a volume constante (Adição)
3. 3-4: Expansão adiabática
4. 4-1: Transferência calor a volume constante (Rejeição)



Gupta, 2009

Atualizando a tabela dos estados:

Estado	P[KPa]	T[K]	v[m <sup>3</sup> /Kg]
1	95	300	0,90632
2 <sub>s</sub>	2554,98	768,417	0,08631
3		1800	v <sub>3</sub> = v <sub>2</sub>
4			

$$w_c = \frac{w_{cs}}{m_c} \rightarrow T_2 - T_1 = \frac{T_{2s} - T_1}{\eta}$$

www.cienciaftermicas.com  
Rodrigo Lisita Ribera

$$s_2 - s_{2s} = c_p \ln\left(\frac{T_2}{T_{2s}}\right) - R \ln\left(\frac{P_2}{P_{1s}}\right)$$

$$s_2 - s_{2s} = c_v \ln\left(\frac{T_2}{T_{2s}}\right) + R \ln\left(\frac{v_2}{v_{2s}}\right)$$

- Estado 3

Nesta etapa ocorre a adição de calor à volume constante. Assim  $v_3 = v_2$ .

Para a pressão no ponto 3, há duas opções:

$$P_0 = RT \Rightarrow P = \frac{P_0}{T}$$

- Utilizando a equação dos gases ideais no ponto 3:

$$P_3 v_3 = RT_3 \rightarrow P_3 = \frac{RT_3}{v_3}$$

$$P_3 = \frac{287[J/Kg.K]1800[K]}{0,08631[m^3/s]} \rightarrow P_3 = 5985,00[KPa]$$

- Considerando os processos 2 e 3, a volume constante e utilizando a equação dos gases ideais:

$$\frac{P_3 v_3}{T_3} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \rightarrow P_3 = P_2 \frac{T_3}{T_2} \rightarrow P_3 = 2554,98 \frac{1800}{768,417} \rightarrow P_3 = 5984,98[KPa]$$

Processos:

- 1-2: Compressão adiabática
- 2-3: Transferência calor a volume constante (Adição)
- 3-4: Expansão adiabática
- 4-1: Transferência calor a volume constante (Rejeição)

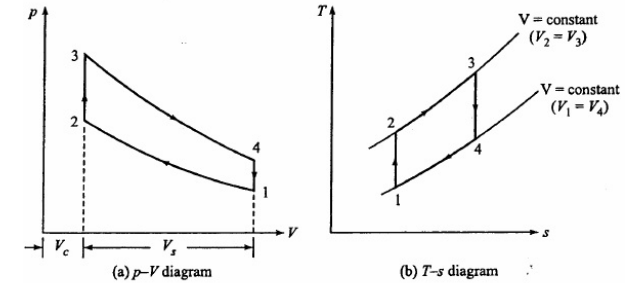


Figure 2.1 Otto cycle.

Gupta, 2009

Atualizando a tabela dos estados:

Estado	P[KPa]	T[K]	v[m <sup>3</sup> /Kg]
1	95	300	0,90632
2	2554,98	768,417	0,08631
3	5985,00	1800	0,08631
4			0,91

- Estado 4

Sabemos que  $v_4 = v_1$ . Além disso, o processo 3 a 4 é uma expansão adiabática e reversível (isoentrópica). Dessa forma, podemos utilizar as equações isoentrópicas para gases ideais.

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^{1-k} = \eta^{1-1,4}$$

$$T_4 = T_3 \frac{v_4^{1-k}}{v_3^{1-k}} \rightarrow T_4 = 1800(10,5)^{1-1,4} = 702,74341613[K]$$

$$\frac{P_4}{P_3} = \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^{-k} \rightarrow P_4 = (5985,0)(10,5^{-1,4}) \rightarrow P_4 = 222,535415108[KPa]$$

Processos:

- 1-2: Compressão adiabática
- 2-3: Transferência calor a volume constante (Adição)
- 3-4: Expansão adiabática
- 4-1: Transferência calor a volume constante (Rejeição)

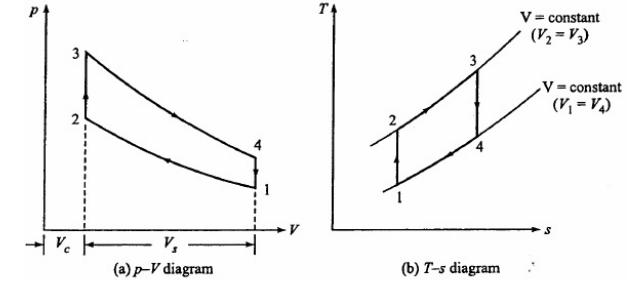


Figure 2.1 Otto cycle.

Gupta, 2009

Atualizando a tabela dos estados:

Estado	P[KPa]	T[K]	v[m <sup>3</sup> /Kg]
1	95	300	0,90632
2	2554,98	768,417	0,08631
3	5985,00	1800	0,08631
4	222,53	702,743	0,9063

Uma forma conveniente para verificar se os cálculos estão corretos é calcular a constante específica  $R$  do ar para cada um dos estados:  $R = \frac{P \cdot v}{T}$ .

Estado	P[KPa]	T[K]	v[m <sup>3</sup> /Kg]	R[KJ/Kg.K]
1	95	300	0,90632	0,287
2	2554,98	768,417	0,08631	0,287
3	5985,00	1800	0,08631	0,287
4	222,5391	702,743	0,9063	0,287

Faça a tabela dos calores e trabalhos

$$c_v = 0,718 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$$

Processo	q[KJ/Kg]	w[KJ/Kg]
1-2	0	$c_v(T_2 - T_1) = 336,32$
2-3	$c_v(T_3 - T_2) = 740,67$	0
3-4	0	$c_v(T_4 - T_3) = -787,83$
4-1	$c_v(T_1 - T_4) = -289,17$	0
$\Sigma$	$q_{liq} = 451,51$	$w_{liq} = -451,51$

$$de = \delta q + \delta w$$

$$du + \cancel{dPv} + \cancel{dPv} = \delta q + \delta w$$

$$du = \delta q + \delta w$$

$$du = c_v dT$$

Processos:

- 1-2: Compressão adiabática
- 2-3: Transferência calor a volume constante (Adição)
- 3-4: Expansão adiabática
- 4-1: Transferência calor a volume constante (Rejeição)

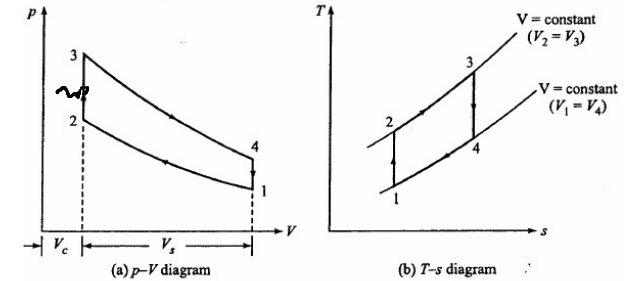


Figure 2.1 Otto cycle.

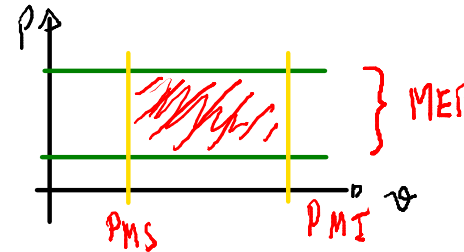
Gupta, 2009

Calcule o rendimento e MEP

$$\eta = \frac{451,51}{740,67} = 60,96\%$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} = 1 - \frac{1}{10,5^{1,4-1}} = 60,96\%$$

$$MEP = \frac{w_{liq}}{v_{desl}} = \frac{451,51 [KJ/Kg]}{0,90632 - 0,08631 [m^3/Kg]} = 550,61 [KPa]$$



$$\frac{\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{\frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = \frac{\text{kJ}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}^3} = \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = \text{KPa}$$