

2.5 Estequiometria

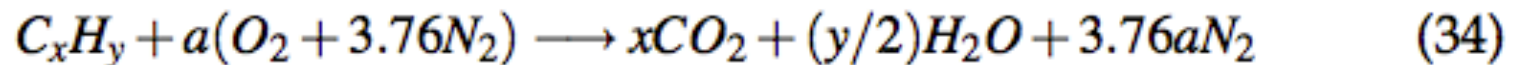
- Mistura Estequiométrica: Quantidade exata de oxidante (O_2) para a queima completa do combustível.
- Mistura Rica: Menos ar que o necessário.
- Mistura Pobre: Mais ar que o necessário.

2.5 Estequiometria

- Balanço Atômico

- Átomos se conservam nas reações de combustão. Espécies não.
- Combustão completa sem dissociação de C e H em CO_2 e H_2O

para hidrocarbonetos:



- balanço de O:

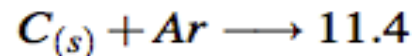
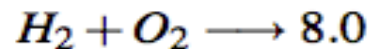
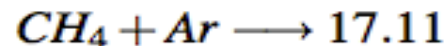
$$a = x + y/4$$

- composição do ar: 21% vol. O_2 , 79% vol. N_2

2.5 Estequiometria

- Razão *ar/combustível* estequiométrica

$$(A/F)_{st} = \left(\frac{m_{ar}}{m_{fuel}} \right)_{st} = \frac{4.76a}{1} \frac{W_{ar}}{W_{fuel}} \quad (35)$$



- Razão de Equivalência Φ

$$\Phi = \frac{(A/F)_{stq}}{(A/F)_{real}} = \frac{(F/A)_{real}}{(F/A)_{stq}} \quad (36)$$

$\Phi < 1$: mistura pobre (mais ar)

$\Phi = 1$: mistura estequiométrica

$\Phi > 1$: mistura rica (menos ar)

2.5 Estequiometria

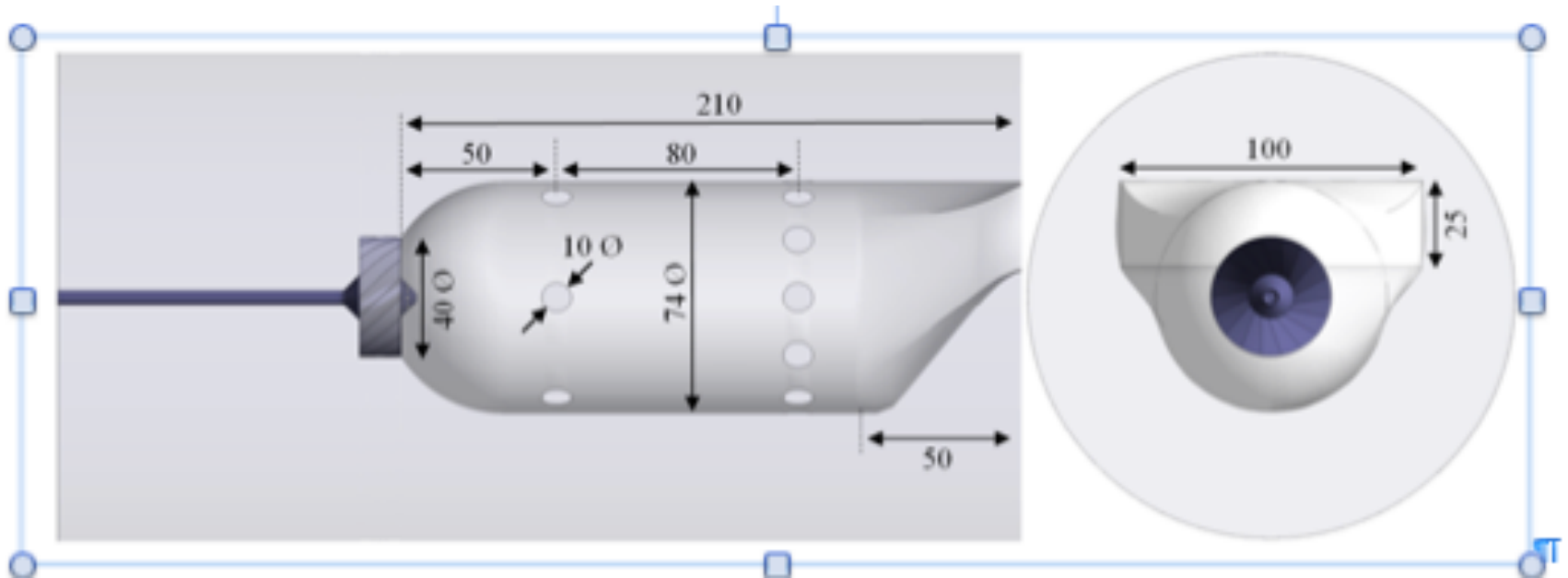
Φ é um parâmetro de "controle" importante no desempenho de muitos processos de combustão.

- Excesso de Ar

$$\% \text{ excesso de ar} = \frac{1 - \Phi}{\Phi} \cdot 100\%$$

MCI: $\lambda = \frac{1}{\Phi}$

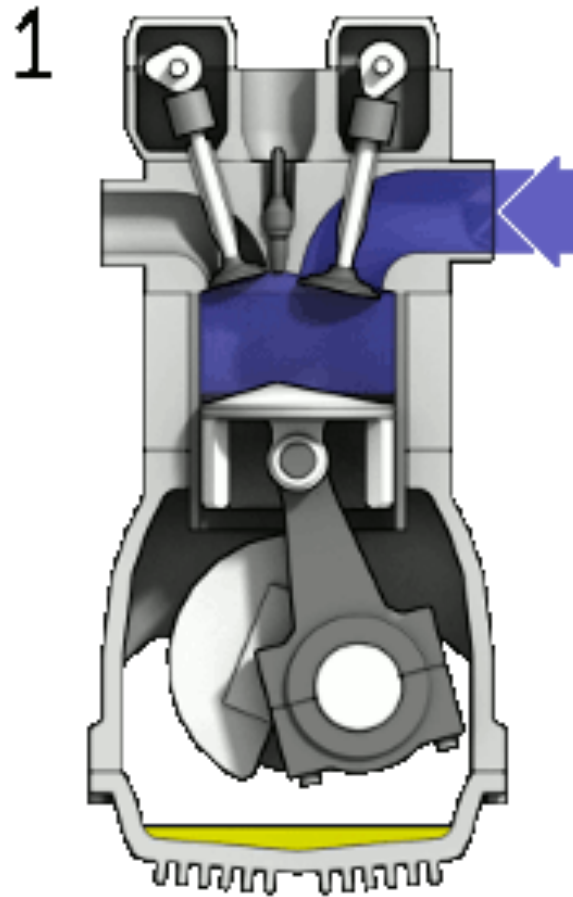
Câmara de Combustão de Turbina a Gás



Razao de Equivalencia $\gg 1.0$ (ex 2.5; 3.5)

Parâmetro Global não é representativo

Câmara de Combustão de MCI – Ciclo Otto



Razao de Equivalencia ≈ 1.0
Parâmetro Global é representativo

2.5 Estequiometria

Exercício:

Calcule a razão ar/combustível estequiométrica para etanol (C_2H_5OH)

2.6 Entalpia de Formação e Absoluta

- Entalpia Absoluta da espécie "i"

$$\begin{array}{ccc} \bar{h}_i(T) & = & \bar{h}_{f,i}^{\circ}(T_{ref}) & + & \Delta\bar{h}_{s,i}(T) \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ \text{Entalpia absoluta} & & \text{entalpia de formação da espécie "i"} & & \text{Entalpia sensível} \\ \text{da espécie "i"} & & \text{no estado de referencia (}^{\circ}\text{)} & & \text{devido à mudança de} \\ & & (T_{ref}=298.15 \text{ K; } P^{\circ}=1 \text{ atm}) & & \text{temperatura de } T_{ref} \text{ para } T \end{array} \quad (37)$$

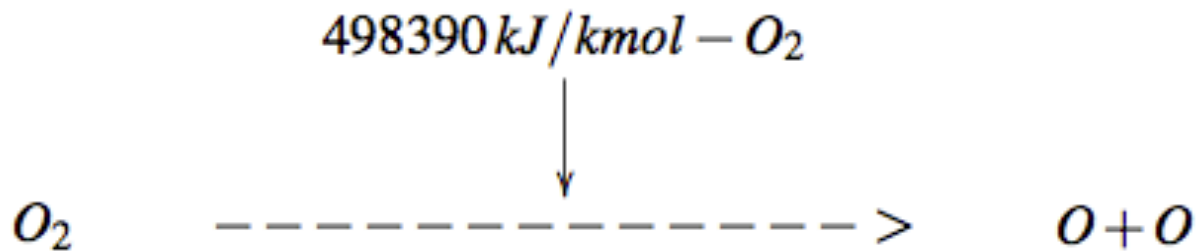
Convenção Espécies que, no estado padrão, se encontram com seu estado natural (mais comum), a entalpia de formação vale Zero

ex: Oxigênio a $T = 298.15 \text{ K}$ $p = 1 \text{ atm}$ é O_2 então: \bar{h}_{f,O_2}°

$$\bar{h}_{f,O_2}^{\circ} = 0$$

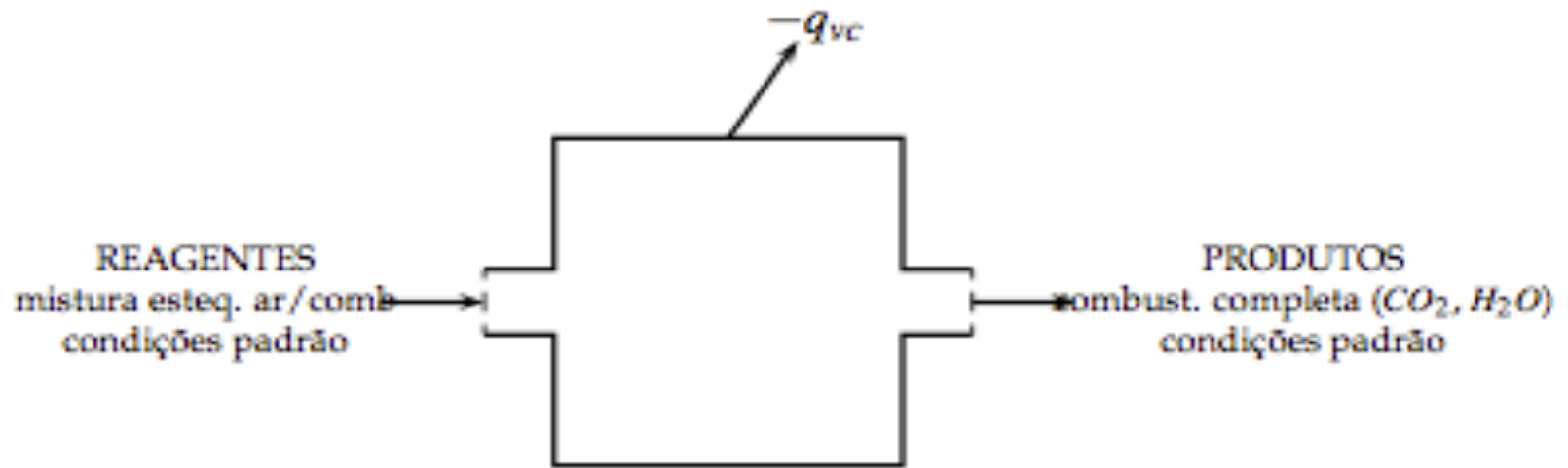
2.6 Entalpia de Formação e Absoluta

para formar O , têm-se que romper $O = O$, $\bar{h}_{f,O}^{\circ} = 498390 \text{ kJ/kmol} - O_2$



$$\bar{h}_{f,O}^{\circ} = 498390 / 2 = 249195 \text{ kJ / kmol} - O$$

2.7 Entalpia de Reação e Poder Calorífico



1ª Lei:

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \dot{m}(h_o - h_i)$$

$\div \dot{m}$

$$q_{vc} - w_{vc} = h_o - h_i$$

$w_{vc} = 0$

$$q_{vc} = h_o - h_i = h_{prod} - h_{reag}$$

(38)

2.7 Entalpia de Reação e Poder Calorífico

- Entalpia de reação (Δh_R)

$$\Delta h_R \equiv q_{vc} = h_{prod} - h_{reag} \quad (39)$$

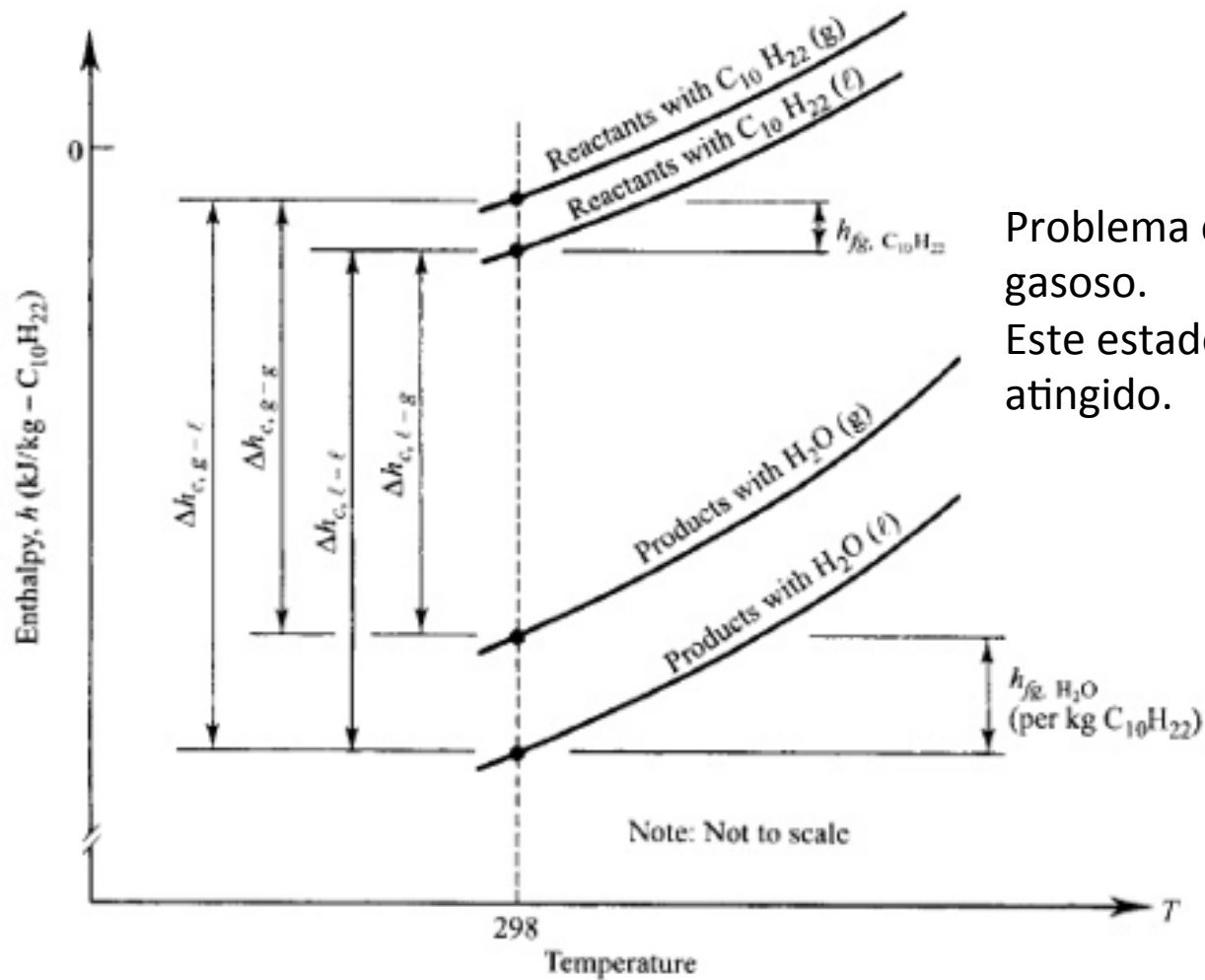
- Poder calorífico (HHV, LHV, PCS, PCI)

$$\Delta \bar{h}_c \equiv -\frac{\Delta H_R}{N_{fuel}} \quad \text{ou} \quad \Delta h_c = \frac{\Delta \bar{h}_c}{M_{fuel}} \quad (40)$$

PCS (superior) $\rightarrow H_2O$ líquido nos produtos

PCI (inferior) $\rightarrow H_2O$ gasoso nos produtos

2.7 Entalpia de Reação e Poder Calorífico

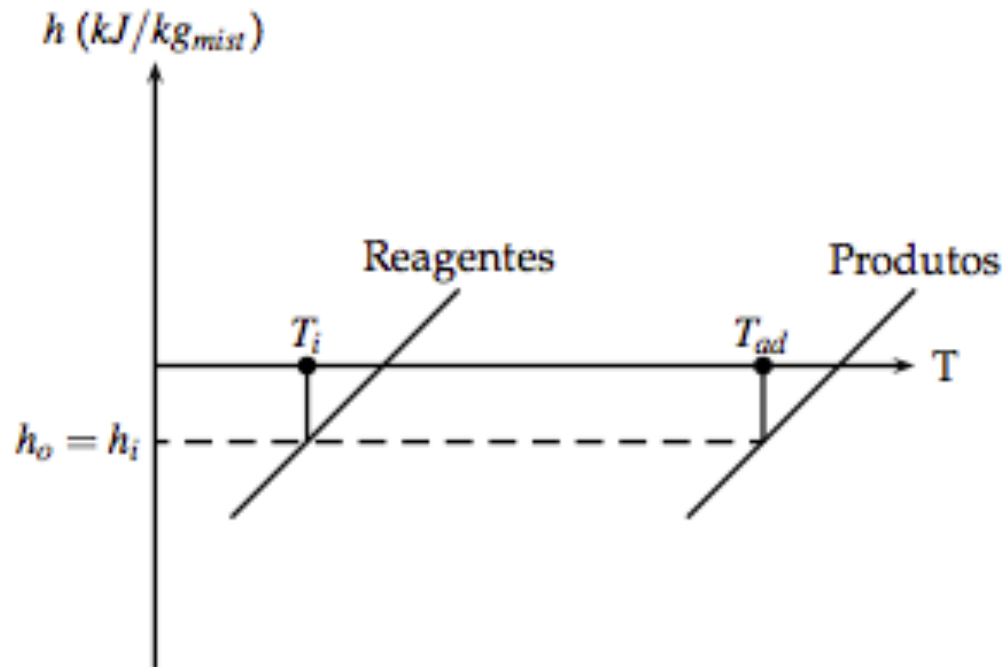


Problema com o estado final gasoso.
Este estado nunca é atingido.

2.8 Temperatura de chama adiabática

- A pressão constante (Fornos, turbinas, etc.) da Eq. (33) tem-se:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{vc} &= 0 & - \dot{W}_{vc} &= 0 & = \dot{m}(h_o - h_i) & & (41) \\ & & & & & & h_o = h_i \end{aligned}$$



2.8 Temperatura de chama adiabática

- A volume constante (MCI) da Eq. (29) e (30)

$$\begin{aligned} \underset{=0}{1Q_2} - \underset{=0}{1W_2} &= m(u_2 - u_1) \\ u_2 &= u_1 \\ u_{prod} &= u_{reag} \end{aligned} \tag{42}$$

- Concentrações dos produtos
Equilíbrio químico (CO, H, O, OH)
Combustão completa (CO_2, H_2O)

2.8 Temperatura de chama adiabática

- Referência para temperatura máxima que pode ocorrer;
- Diferença entre V e P constante;
- Dificilmente (nunca) ocorre no processo de combustão:
 - Transferência de calor no processo,
 - Razão de equivalência não unitária,
 - Combustão incompleta.