

# TERMO - P1

Bruno Koba

LEIS DA TERMODINÂMICA:  
Lei zero - Equilíbrio térmico  
1ª Lei - Cons. energia  
2ª Lei - Irrevers. e entropia

SISTEMA: Conjunto de moléculas fixo contido numa mesma superfície fechada imaginária chamada fronteira. Tudo que não é sistema ou fronteira é vizinhança/meio.

VOLUME DE CONTROLE: Um sistema que sofre alteração de massa e/ou energia por meio da superfície de controle (SC). Ou seja, é um sistema ABERTO.

FASE: Quantidade de matéria homogênea que apresenta mesma estrutura física. Pode ser sólida, líquida ou gasosa.

ESTADO: Conjunto de propriedades termodinâmicas que definem sua condição. Quando uma ou mais propriedades de uma substância se altera(m), ocorre mudança de estado.

Ex: se esquentarmos água numa panela, há infinitas mudanças de estado com o aumento da temperatura da água.

PROPRIEDADE: Qualquer característica observável e mensurável de uma substância.

INTENSIVAS - Não dependem da massa

EXTENSIVAS - Dependem da massa  $\rightarrow$  sempre que você divide por massa ou volume, você obtém uma propr. intensiva

EQUILÍBRIO TERMODINÂMICO = Eq. mecânica + Eq. Térmico + Eq. Químico + ...

PROCESSO: Caminho pelo qual o sistema passa, desde um estado inicial até final. Chamamos de ciclo uma sequência de processos em que o estado final é igual o inicial.  
Processo quase estático: Mudança de estado termodinâmico infinitesimal. É reversível.

Lei zero  $\Rightarrow$  se dois sistemas 1 e 2 estão em equilíbrio térmico com um terceiro sistema 3, então estão todos em equilíbrio térmico

CONVERSÕES IMPORTANTES:

1 atm = 101,325 kPa

1 bar = 100 kPa

1 atm = 760 mm Hg

MASSA E VOLUME ESPECÍFICOS:

$v = [m^3/kg]$

$\rho = [kg/m^3]$

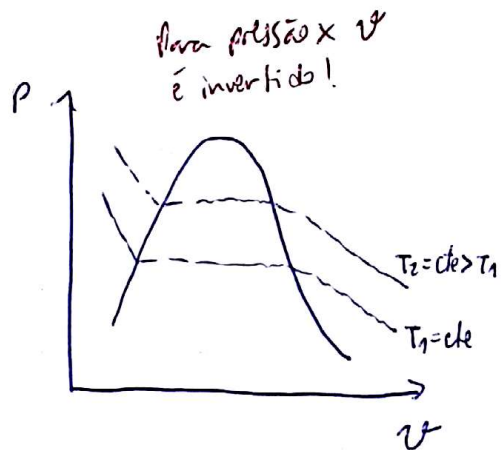
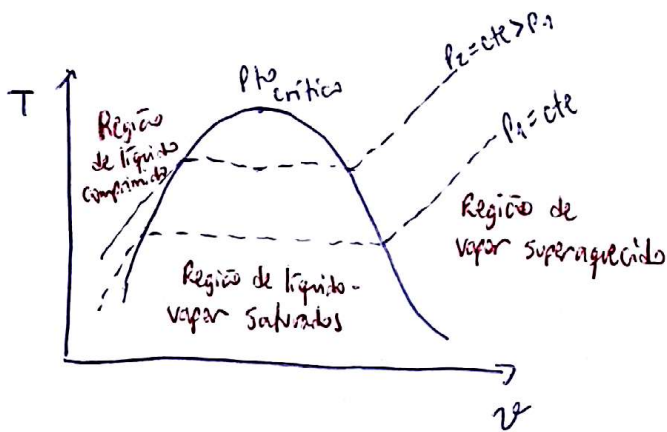
SUBSTÂNCIA PURA:

Composição química invariável e homogênea. Pode existir em mais de uma fase, mas composição química é a mesma nas fases.

Exs: água líquida, mistura de água líquida e vapor d'água, ar gasoso, etc.

TEMPERATURA DE SATURAÇÃO:

Temperatura em que ocorre a vaporização a uma dada pressão



→  $x = \frac{m_v}{m} \equiv$  título de uma mistura líquido/vapor

•  $V = V_l + V_v = m_l \cdot v_l + m_v \cdot v_v$

•  $v = (1 - x) \cdot v_l + x \cdot v_v$

•  $x = \frac{v - v_l}{v_v - v_l}$

Útil saber:

$v_{lv} = v_v - v_l$

### Gás Ideal e a Equação de Clapeyron!

$$pV = m \cdot R_{gas} \cdot T$$

ou  
(:m)

$$p \cdot v = R_{gas} \cdot T$$

$R_{ar} = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$

"Como eu sei que tenho uma substância para ou gás ideal?"

R: Em geral, gás ideal é gás mono ou diatômico. O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>... ar também. H<sub>2</sub>O, Amônia, R410 e R134 serão, para o curso, as nossas substâncias PURAS, não gases ideais

→ Se você tem liq. compr. mas a uma pressão menor do que a menor pressão disponível na tabela: Nesse caso, vai na tabela de líquido saturado entrada por temperatura. O erro é menor do que se você usar entrada por pressão. Isso se você quiser descobrir qualquer propriedade do líquido comprimido (como v)

## TRABALHO E CALOR

TRABALHO → "um sistema realiza trabalho se o único efeito sobre a vizinhança puder ser o levantamento de um peso"

por unidade de massa:

$w = \frac{W}{m} \rightarrow [J/kg]$

- $W > 0$ : quando o trabalho é produzido pelo sistema (ou VC) → energia sai do sistema.
- $W < 0$ : quando o trabalho é realizado sobre o sistema (ou VC) → energia entra no sistema.

obs: é essencial conhecer a localização da fronteira do sistema

POTÊNCIA ⇒  $\dot{W} = \frac{\delta W}{dt} \rightarrow [J/s = W]$

DEFINIÇÃO CLÁSSICA:

$$W = \int_1^2 p \cdot dV$$

ISOBÁRICO ( $p = cte$ ):  ${}_1W_2 = p(V_2 - V_1)$

POLITRÓPICO ( $p \cdot v^n = cte$ ):  $\frac{p_1}{p_2}$  também

n é dado ou deduzimos da equação

•  $n = 1$  (processo isotérmico)

$${}_1W_2 = p_1 \cdot V_1 \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

GÁS IDEAL

•  $0 < n < 1$  ou  $n > 1$

$${}_1W_2 = \frac{p_2 \cdot V_2 - p_1 \cdot V_1}{1 - n}$$

GÁS IDEAL

CALOR → "Forma de energia transferida através de uma fronteira a um sistema ou meio em uma temperatura inferior"

↓  
por unidade de massa:

$q = \frac{Q}{m} \rightarrow [J/kg]$

- $Q > 0$ : quando o calor é adicionado ao sistema ou VC → energia entra no sistema
- $Q < 0$ : quando o calor é removido do sistema (ou VC) → energia Sai do sistema

Taxa de transferência de calor:  $\dot{Q} = \frac{dQ}{dt}$

**1ª LEI DA TERMODINÂMICA PARA SISTEMAS**

1ª Lei para um sistema percorrendo um ciclo

→ "Durante qualquer ciclo percorrido por um sistema, a integral cíclica do calor é proporcional à integral cíclica do trabalho"

$\Delta E$   
 ${}_1Q_2 = E_2 - E_1 + {}_1W_2$  → Forma mais básica da 1ª Lei

sendo  
 $E = U + E_c + E_p$

Em muitos exercícios,  $\Delta E_c = \Delta E_p = 0$ .  
Assim, uma forma comum é:  
 ${}_1Q_2 = m(u_2 - u_1) + mp(v_2^2 - v_1^2)$

${}_1Q_2 = U_2 - U_1 + \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2) + mg(z_2 - z_1) + {}_1W_2$

(pode dividir tudo por "m" e trabalhar com propriedades intensivas)

→  $u = (1-x) \cdot u_l + x \cdot u_v$

→  $x = \frac{u - u_l}{u_v - u_l}$

Em taxas:

$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$

# ENTALPIA

A entalpia não existe fisicamente, ela é uma combinação de propriedades.

$$\begin{matrix} H = U + pV \\ h = u + pv \end{matrix} \Rightarrow \boxed{{}_1Q_2 = H_2 - H_1} \text{ (Em processos isobáricos)}$$

$$\rightarrow h = (1-x) \cdot h_l + x h_v$$

$$\rightarrow x = \frac{h - h_l}{h_v - h_l}$$

Para gás ideal eu posso falar que  $u = C_v \cdot T$ .  
Para subs pura, só  $\Delta u = C_v \cdot \Delta T$  (tipo H<sub>2</sub>O)

Calor específico à volume constante:  $C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$

Calor específico à pressão constante:  $\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p = C_p$

## 1ª LEI DA TERMODINÂMICA PARA VOLUMES DE CONTROLE

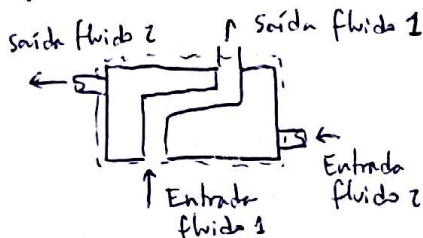
Formulação genérica:  $\dot{Q}_{vc} = \frac{d}{dt} \int_{vc} \rho \cdot p \cdot dV + \sum_{j=0}^{n_j} \left( h_j + \frac{V_j^2}{2} + g \cdot z_j \right) \cdot \dot{m}_j - \sum_{i=0}^{n_i} \left( h_i + \frac{V_i^2}{2} + g \cdot z_i \right) \cdot \dot{m}_i + \dot{W}_o$

"REGIME UNIFORME"

Se os estados nas entradas e saídas forem constantes no tempo:

$$\left[ \dot{m}_2 \left( u_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2 \right) - \dot{m}_1 \left( u_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 \right) \right] = \dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum \dot{m}_e \left( h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) - \sum \dot{m}_s \left( h_s + \frac{V_s^2}{2} + g z_s \right)$$

### Processo em REGIME PERMANENTE: TROCADORES DE CALOR



$$\rightarrow \dot{Q}_{vc} = 0$$

$$\rightarrow \Delta E_c = \Delta E_p = 0$$

$$\rightarrow \dot{W}_o = 0$$

ÚTIL SABER:

$$\dot{m} = \rho \cdot V \cdot A \text{ kg/s}$$

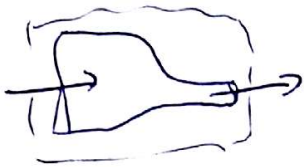
→ Conservação da massa:

$$\dot{m}_{1,e} = \dot{m}_{1,s}; \dot{m}_{2,e} = \dot{m}_{2,s}$$

→ Conservação da energia:

$$\dot{m}_{1,e} \cdot h_{1,e} + \dot{m}_{2,e} \cdot h_{2,e} = \dot{m}_{1,s} \cdot h_{1,s} + \dot{m}_{2,s} \cdot h_{2,s}$$

### ⇒ PROCESSO EM REGIME PERMANENTE : BOCAIS



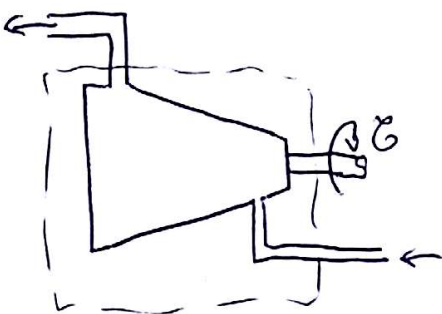
- $\dot{Q}_{vc} = 0$
- $\Delta \epsilon_p \geq 0$
- $\dot{W}_o = 0$
- Conservação da massa :  $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$
- Conservação da energia :  $h_e + \frac{V_e^2}{2} = h_s + \frac{V_s^2}{2}$

### ⇒ PROCESSO EM REGIME PERMANENTE : ESTRANGULAMENTO



- $\dot{Q}_{vc} = 0$
- $\Delta \epsilon_c = \Delta \epsilon_p \geq 0$
- $\dot{W}_o = 0$
- Conservação da massa :  $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$
- Conservação da energia :  $h_e = h_s$  ISO ENTÁLPICO

### ⇒ PROCESSO EM REGIME PERMANENTE : TURBINA



- $\dot{Q}_{vc} = 0$
  - $\Delta \epsilon_p \geq 0$
  - $\dot{W}_o \neq 0$
  - Conserv. da massa :  $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$
  - Conserv. da energia :  $(h_e + \frac{V_e^2}{2}) \cdot \dot{m}_e = \sum_{j=1}^{n_s} (h_j + \frac{V_j^2}{2}) \cdot \dot{m}_j + \dot{W}_o$
- $\dot{m}_e = \sum_{j=1}^{n_s} \dot{m}_j$
- simbol de "4"

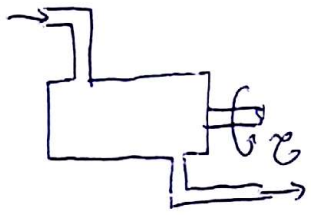
Para turbinas hidráulicas,  $\dot{Q}_{vc} = 0$ ,  $\Delta u \approx 0$ , e  $\Delta \epsilon_p \neq 0$ . Então segue a conservação de energia:

$$(P_e V_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e) \cdot \dot{m} = (P_s V_s + \frac{V_s^2}{2} + g z_s) \cdot \dot{m} + \dot{W}_o$$

Para líquidos, pode-se adotar que  $v_e \approx v_s = v$  (fluido incompressível). Logo,

$$\left( \frac{v_e^2}{2} + g z_e \right) \dot{m} = v \dot{m} (p_s - p_e) + \left( \frac{v_s^2}{2} + g z_s \right) \dot{m} + \dot{w}_o$$

⇒ PROCESSO EM REG. PERMANENTE: COMPRESSORES



→  $\dot{Q}_{vc} = 0$

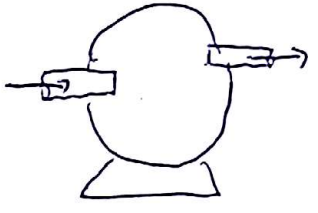
→  $\Delta E_c = \Delta E_p \approx 0$

→ Cons. da massa:  $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$

→ Cons. da energia:  $\dot{m} h_e = \dot{m} h_s + \dot{w}_o$

→  $w < 0$   
(Trabalho consumido pelo compressor)

⇒ PROCESSO EM REG. PERMANENTE: BOMBAS



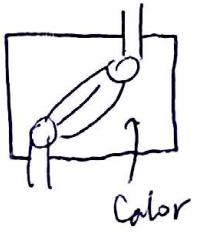
→  $\dot{Q}_{vc} = 0$

→  $\Delta E_c = \Delta E_p = \Delta u \approx 0$

→ Cons. da massa:  $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$

→  $0 = v \dot{m} (p_s - p_e) + \dot{w}_o$

⇒ PROCESSO EM REG. PERMANENTE: CALDEIRAS



→  $\Delta E_c = \Delta E_p \approx 0$

→  $\dot{w}_o = 0$

→ Cons. da massa:  $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$

→ Cons. da energia:  $\dot{Q}_{vc} + \dot{m} h_e = \dot{m} h_s$

→  $\dot{Q}_{vc}$  é só a água, em geral!

## PROCESSO EM REGIME TRANSITÓRIO: RESUMO

(8)

⇒ CONSERVAÇÃO DA MASSA:

$$(m_2 - m_1)_{vc} = \sum_{i=0}^{m_1} m_i - \sum_{j=0}^{n_s} m_j$$

⇒ CONSERVAÇÃO DA ENERGIA:

$$Q_{vc} = \left[ m_2 \left( u_2 + \frac{v_2^2}{2} + g z_2 \right) - m_1 \left( u_1 + \frac{v_1^2}{2} + g z_1 \right) \right]_{vc} + \sum_{j=0}^{n_s} \left( h_j + \frac{v_j^2}{2} + g z_j \right) m_j - \sum_{i=0}^{n_e} \left( h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) \cdot m_i + W_0$$

→ perceber que a equação acima é praticamente igual à equação de conservação de energia em regime uniforme. Se for regime PERMANENTE, você não escreve os trechos com  $m_1$  e  $m_2$ . Fica:

$$Q_{vc} + \sum m_e \left( h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e \right) = \sum m_s \left( h_s + \frac{v_s^2}{2} + g z_s \right) + W_{vc}$$

É necessário identificar logo no começo se se trata de um exercício de regime permanente ou uniforme.