

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE QUÍMICA DE SÃO CARLOS**



Operações Unitárias I

Balanço de Energia

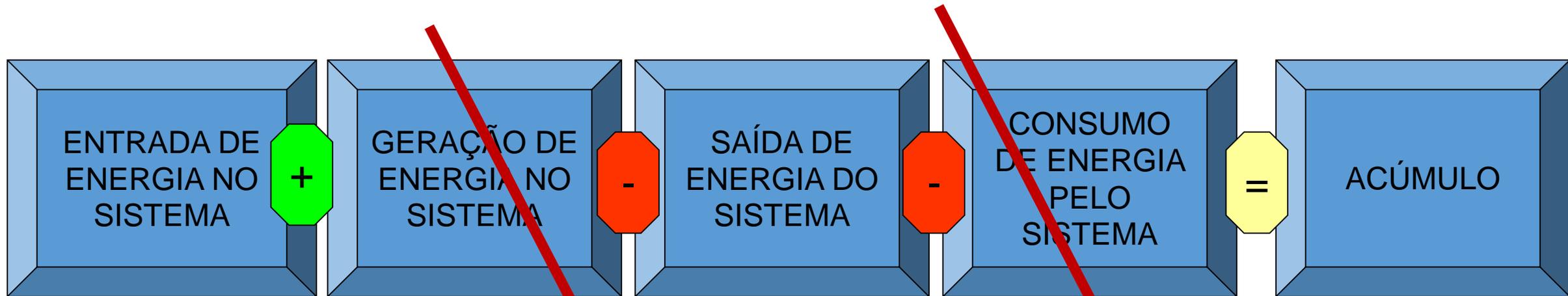
AULA 11

Profa. Dra. Bianca Chierigato Maniglia

biancamaniglia@usp.br

biancamaniglia@iqsc.usp.br

BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMAS FECHADOS

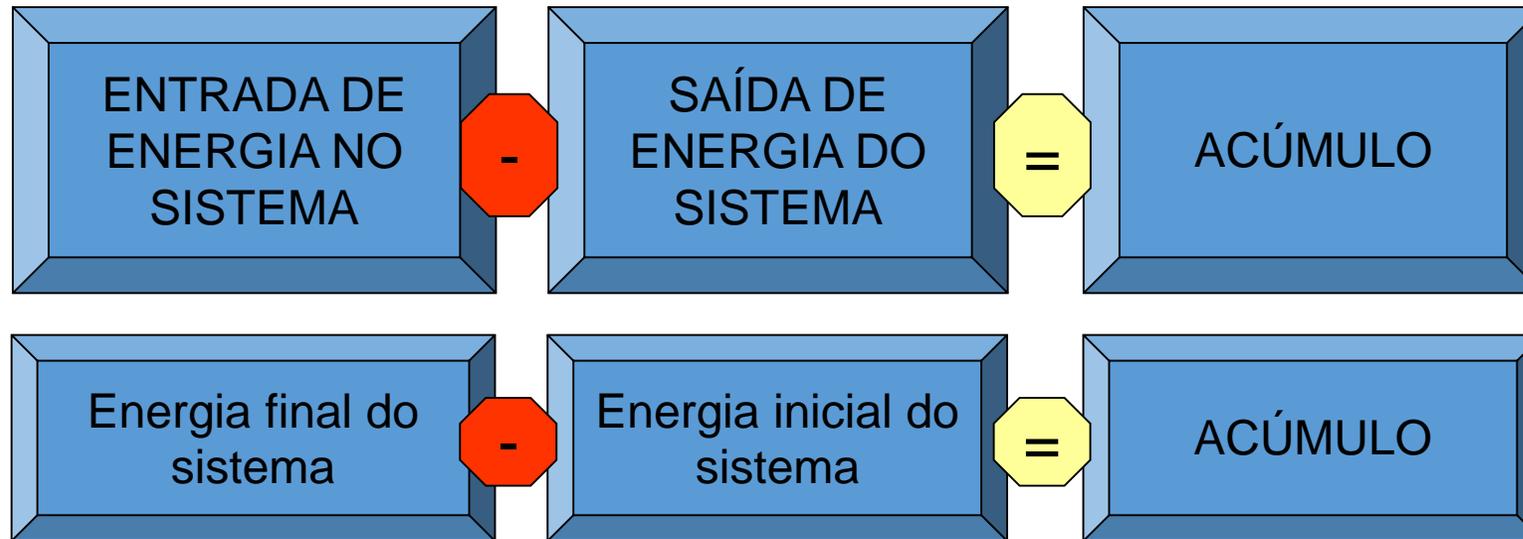


SEM REAÇÃO QUÍMICA



**Fechado
energia pode
passar pela
fronteira**

BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMAS FECHADOS



Fechado
energia pode
passar pela
fronteira

$$(\Delta \text{energia sistema}) = \Delta(\text{energia das vizinhanças})$$

$$E_{\text{sistema}} = U + E_c + E_p$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \text{Acúmulo} = (U + E_c + E_p)_{\text{final}} - (U + E_c + E_p)_{\text{inicial}}$$

$$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = \pm Q \pm W$$

BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMAS FECHADOS

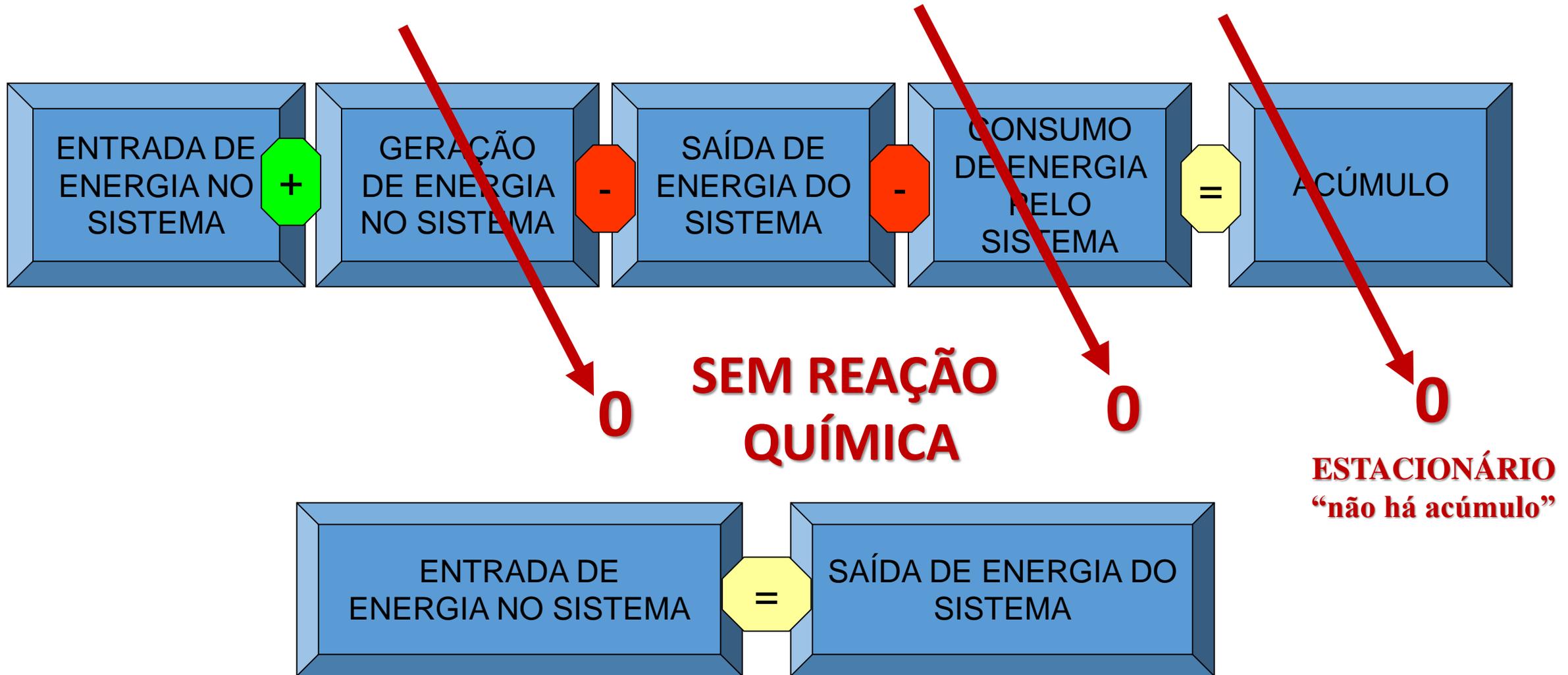
Considerações:

- Quando $\Delta T = 0$
sem mudança de fase ou composição química
 $\Delta U = 0$
- Sistema e Vizinhança mesma temperatura
Sistema adiabático
 $Q = 0$
- Sem movimento e sem geração de corrente
 $W = 0$

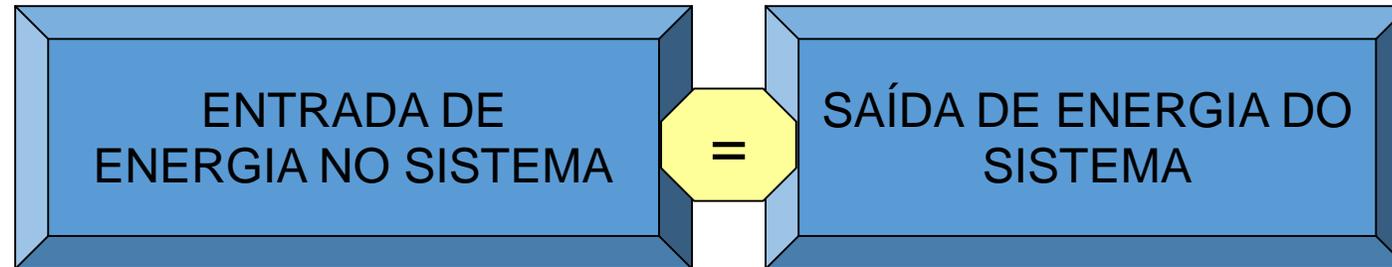
Exercício III.1) Um gás está contido em um cilindro em que está acoplado um pistão móvel. A T_{inicial} do gás é $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. O cilindro é colocado em água fervente com o pistão fixo em uma determinada posição (travado). Calor é absorvido pelo gás na quantidade de 2 kcal , até atingir o equilíbrio a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (e uma pressão mais alta). O pistão é então liberado e o gás realiza um trabalho de 100 J para movimentar o pistão para uma nova posição de equilíbrio. A temperatura final do gás é $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Escreva o Balanço de Energia para cada um dos dois estágios de processo. Despreze as alterações de E_p .

$$\Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W_e$$

BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMAS ABERTOS ESTADO ESTACIONÁRIO



BALANÇO DE ENERGIA EM SISTEMAS ABERTOS ESTADO ESTACIONÁRIO



$$(U + E_c + E_p)_{\text{final}} \pm Q \pm W = (U + E_c + E_p)_{\text{inicial}}$$

$$(U + E_c + E_p)_{\text{final}} - (U + E_c + E_p)_{\text{inicial}} = Q + W$$

TRABALHO TOTAL FEITO PELAS VIZINHANÇAS

$$W = W_e + W_f$$

$W_e \Rightarrow$ trabalho de eixo

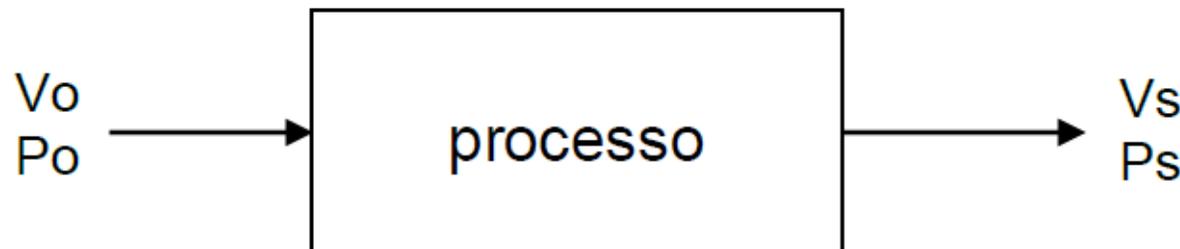
(trabalho feito sobre o fluido de processo por partes móveis dentro do sistema, p.ex. rotor de uma bomba).

$W_f \Rightarrow$ trabalho de fluxo

(trabalho realizado sobre o fluido na entrada do sistema menos trabalho feito pelo fluido na saída do sistema).

$$W_f = P_o V_o - P_s V_s$$

$$W_f = \sum P_{oj} V_{oj} - \sum P_{sj} V_{sj}$$



$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = \frac{\text{N.m}}{\text{s}}$$

$$W = W_e + W_f$$

$$W_f = \sum P_o j V_o j - \sum P_s j V_s j$$

$$\sum (U + E_c + E_p + P_s V_s)_{\text{final}} - \sum (U + E_c + E_p + P_o V_o)_{\text{inicial}} = Q + W_e$$

Entalpia

$$H = (U + PV)$$

$$\sum s (H_s + E_c + E_p)_s - \sum e (H_o + E_c + E_p)_e = Q + W_e$$

$$\Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W_e$$

$$\Delta E_c = \frac{m}{2g_c} (v_2^2 - v_1^2)$$

$$\Delta E_p = m \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1)$$

Observações:

1) Se não há partes em movimento no sistema:

$$\mathbf{We = 0 \Rightarrow \Delta H + \Delta Ec + \Delta Ep = Q}$$

2) Se o sistema e sua vizinhança estão na mesma T:

$$\mathbf{Q = 0 \Rightarrow \Delta H + \Delta Ec + \Delta Ep = We}$$

3) Se as velocidades de todas as correntes são as mesmas:

$$\mathbf{\Delta Ec = 0 \Rightarrow \Delta H + \Delta Ep = Q + We}$$

4) Se todas as correntes entram e saem do processo à mesma altura:

$$\mathbf{\Delta Ep = 0 \Rightarrow \Delta H + \Delta Ec = Q + We}$$

Procedimento para a realização do Balanço de Energia

- 1) Desenho do fluxograma
- 2) Indicar todos os dados pertinentes a todas as correntes: T, P, vazão, estado de agregação (sólido, líquido, gás). É necessário incluir as informações para o cálculo da entalpia de cada componente.
- 3) Escolher base de cálculo adequada
- 4) Efetuar Balanço de Massa
- 5) Considerar perdas de calor no equipamento
- 6) Escrever o Balanço de Energia

Lembrar de avaliar as propriedades térmicas e termodinâmicas dos participantes do processo (capacidade calorífica, entalpia, calor latente)

Exercício III.2) 500 kg/h de vapor acionam uma turbina. O vapor entra na turbina a 44 atm e 450 °C e velocidade linear de 60 m/s e a deixa a um ponto 5 m abaixo da entrada, a pressão atmosférica e velocidade de 360 m/s. A turbina necessita liberar trabalho de eixo a taxa de 70 kW e as perdas de calor na turbina são estimadas em 10^4 kcal/h. Calcule a variação de entalpia associada ao processo.

$$\Delta H + \Delta E_c + \Delta E_p = Q + W_e$$

$$\text{Potência} = \frac{\text{Energia}}{\text{tempo}} \quad \longrightarrow \quad \frac{\text{massa}}{\text{tempo}} = Qm$$

$$\text{Energia} \quad \longrightarrow \quad \text{massa}$$

Energia	Sinal	Efeito
W realizado sobre o sistema	$W < 0$	O sist. ganha energia e o volume diminui
W realizado pelo sistema	$W > 0$	O sist. perde energia e o volume aumenta
O sistema não realiza W	$W = 0$	Não há trabalho sendo feito e o volume é const.
O sistema recebe Q	$Q > 0$	A energia interna do sist. aumenta
O sistema perde Q	$Q < 0$	A energia interna do sist. diminui
Não há troca de Q	$Q = 0$	Chamada transformação adiabática