

SEM0360

Fundamentos Termodinâmicos

AULA 10: Usando a entropia

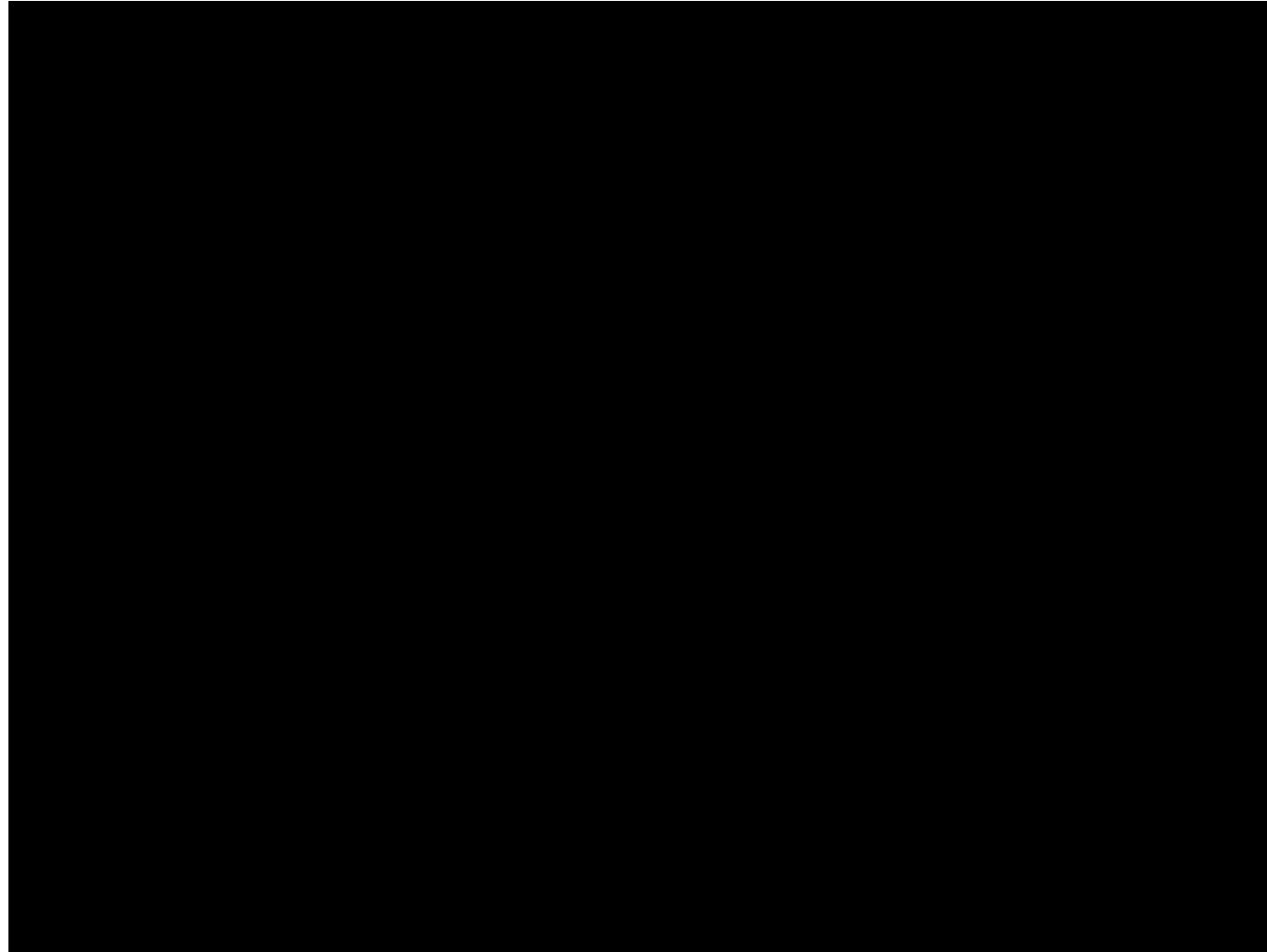
Arthur V. S. Oliveira
(avs.oliveira@usp.br)



Aula de hoje

- Moran e Shapiro (8ª ed): Capítulo 6
- Çengel e Boles (7ª ed): Capítulo 7

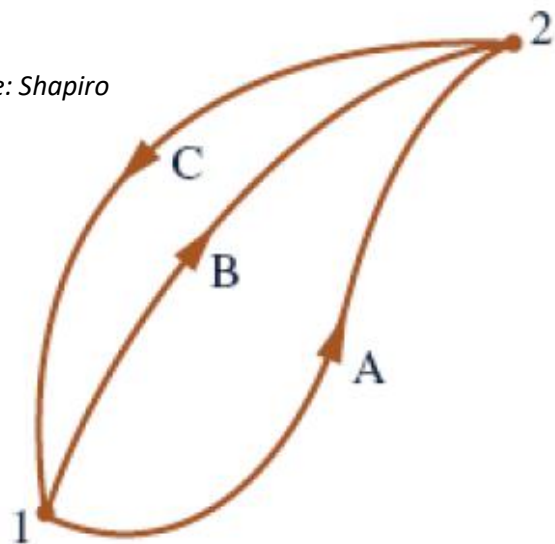
Curiosidade: reversibilidade do escoamento de Couette



Da aula passada

Dois ciclos internamente reversíveis (A-C vs B-C):

Fonte: Shapiro



Ciclo A-C:

$$\left(\oint_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right)_A + \left(\oint_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right)_C = -\sigma_{AC} = 0$$

Ciclo B-C:

$$\left(\oint_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right)_B + \left(\oint_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right)_C = -\sigma_{AC} = 0$$

Logo:

$$\left(\oint_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right)_A = \left(\oint_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right)_B$$



$$S_2 - S_1 = \left(\oint_1^2 \frac{\delta Q}{T} \right)_{int rev}$$

Princípio do aumento de entropia

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}$$

- Geração de entropia:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \sigma$$

- σ : $\left\{ \begin{array}{l} \text{sempre positivo } (> 0) \\ \text{depende do processo} \\ \text{Se nulo: reversível} \end{array} \right.$

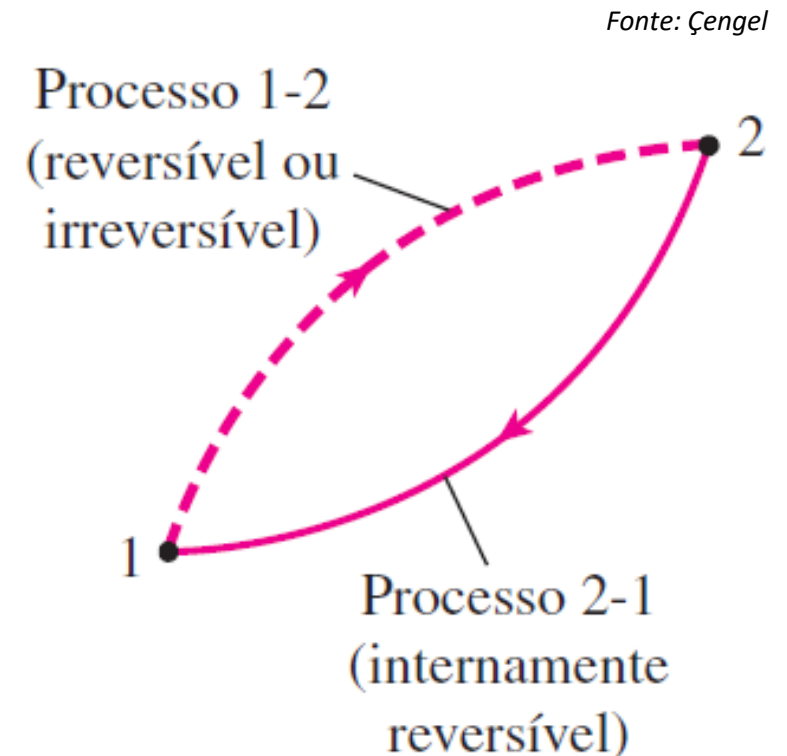
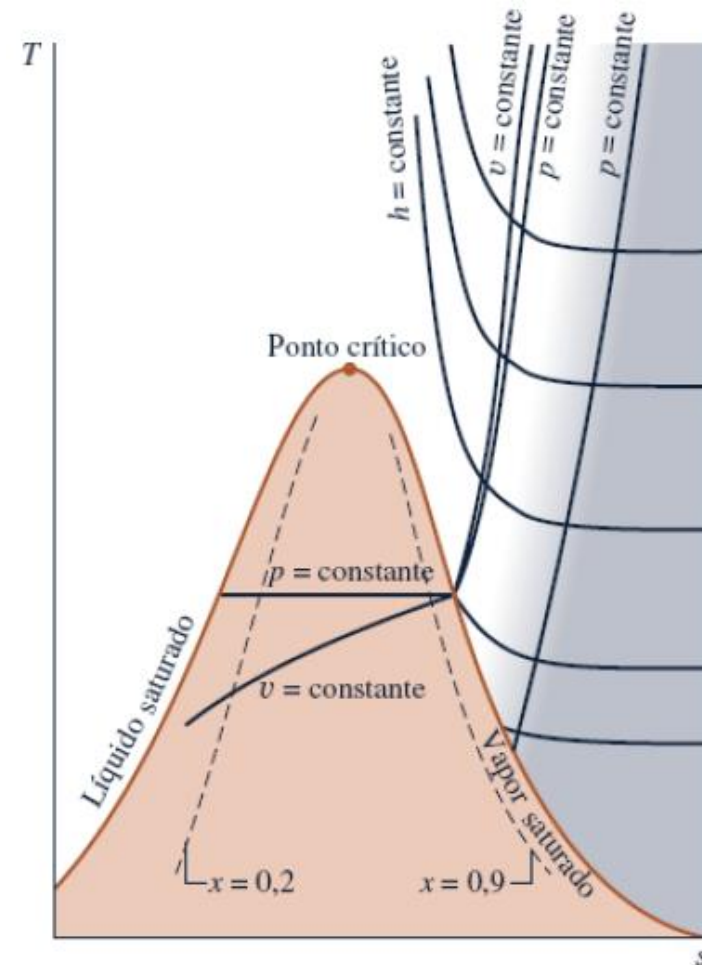
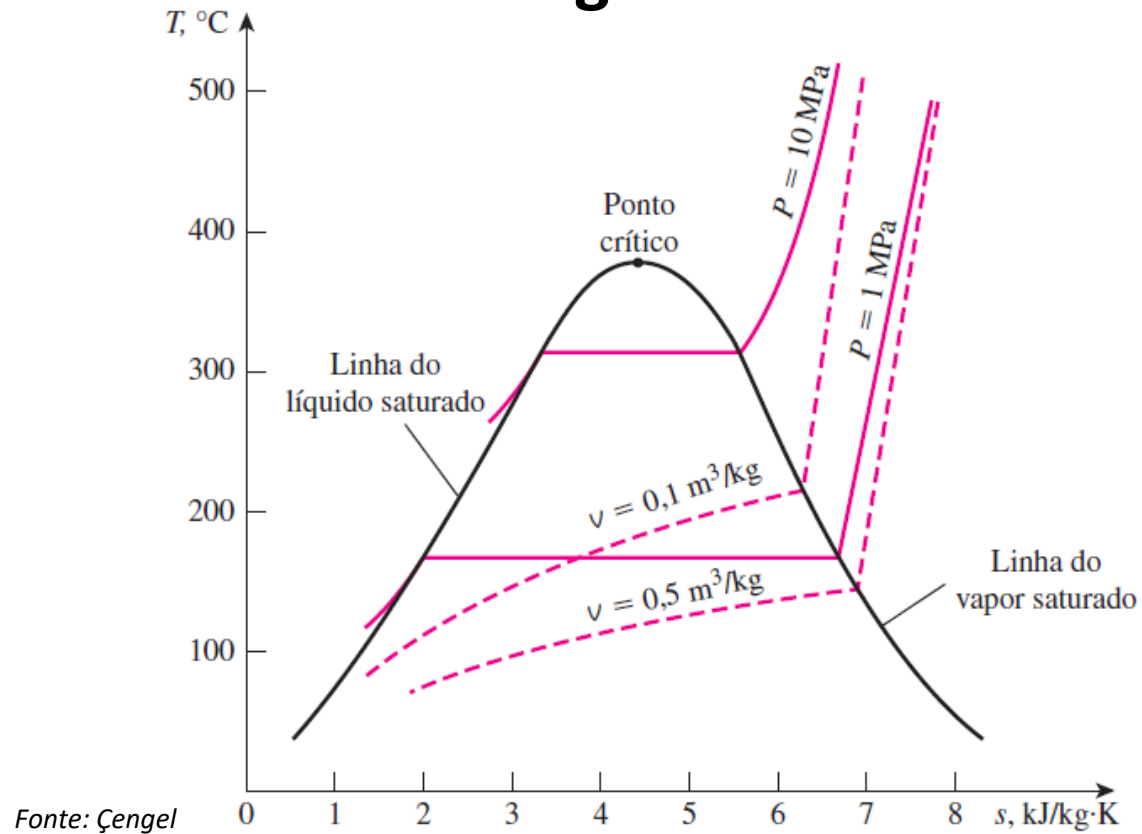


Diagrama T-s

Água



Equações $T ds$

- Da 1ª Lei para um processo internamente reversível:

$$(\delta q)_{int\ rev} = du + (\delta w)_{int\ rev}$$

$$dh = du + d(pv)$$

$$dh = du + v dp + p dv$$

$$(\delta q)_{int\ rev} = T ds \quad (\delta w)_{int\ rev} = p dv$$

$$du + p dv = dh - v dp$$

$$T ds = du + p dv$$

$$T ds = dh - v dp$$

Mudança de fase a $p=cte$

$$T ds = dh$$

$$s_2 - s_1 = \frac{h_2 - h_1}{T}$$

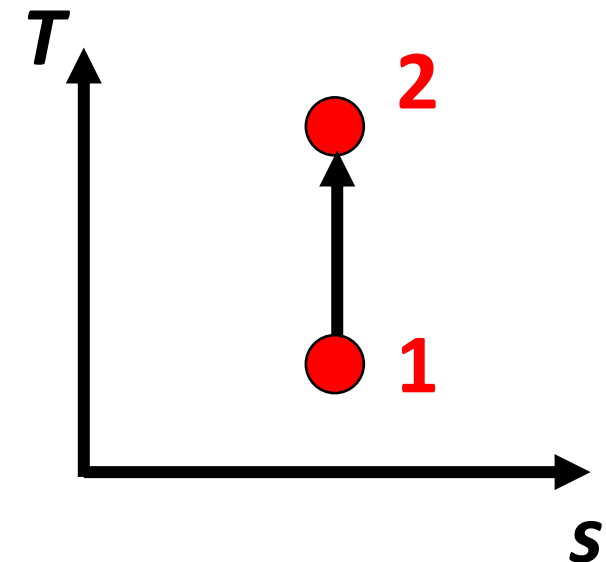
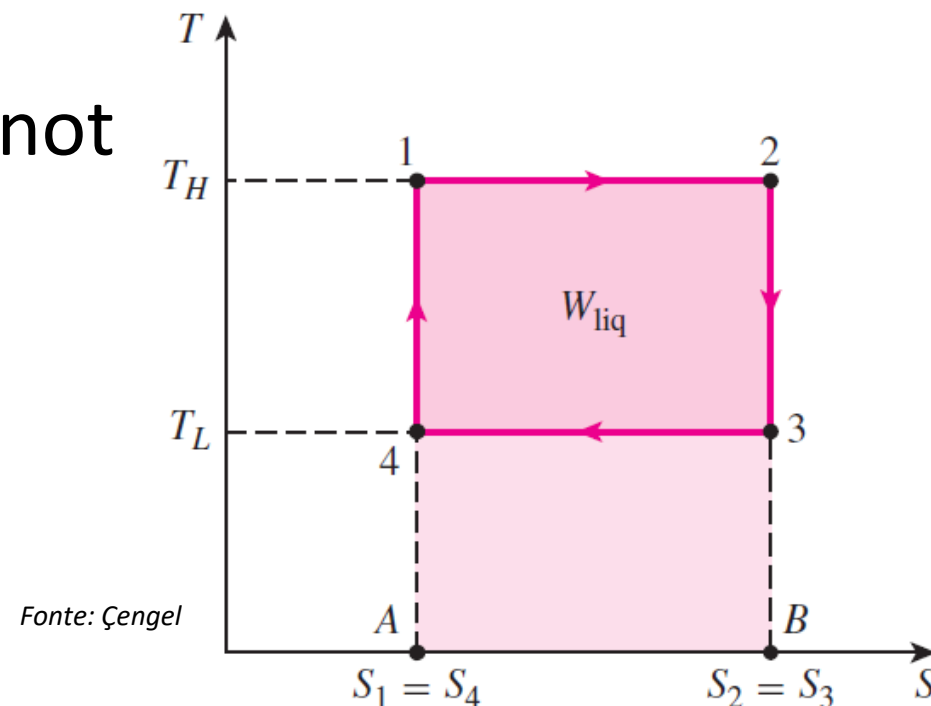
Processos isentrópicos

- Se adiabático e sem irreversibilidades \rightarrow processo isentrópico

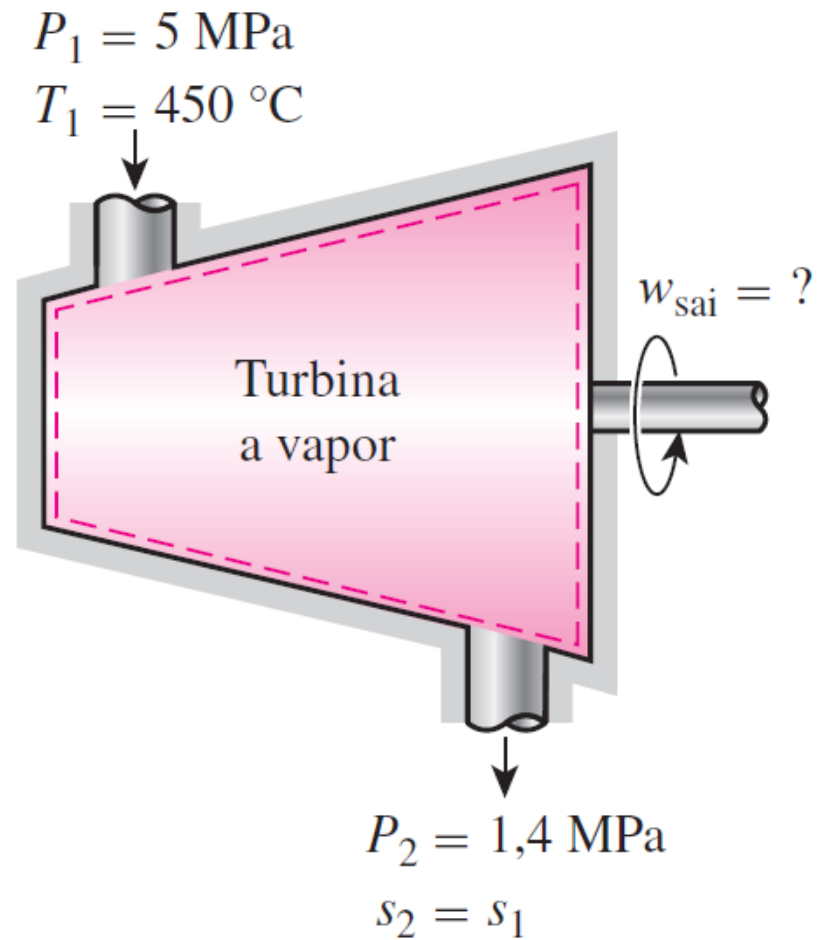
$$s_2 = s_1$$

- Ciclo de Carnot

Eficiência Carnot:
(p 443 Shapiro)



Exemplo 7-5 (Çengel)



Processos isentrópicos em gases ideais

- Hipótese de c_p e c_v constantes:

$$pv^k = cte$$

Processo politrópico
onde $n = k$

- Lei dos gases ideais: $pV = mR_{gas}T \rightarrow pv = R_{gas}T$

- Logo:

$$Tv^{k-1} = cte$$

$$Tp^{\frac{1-k}{k}} = cte$$

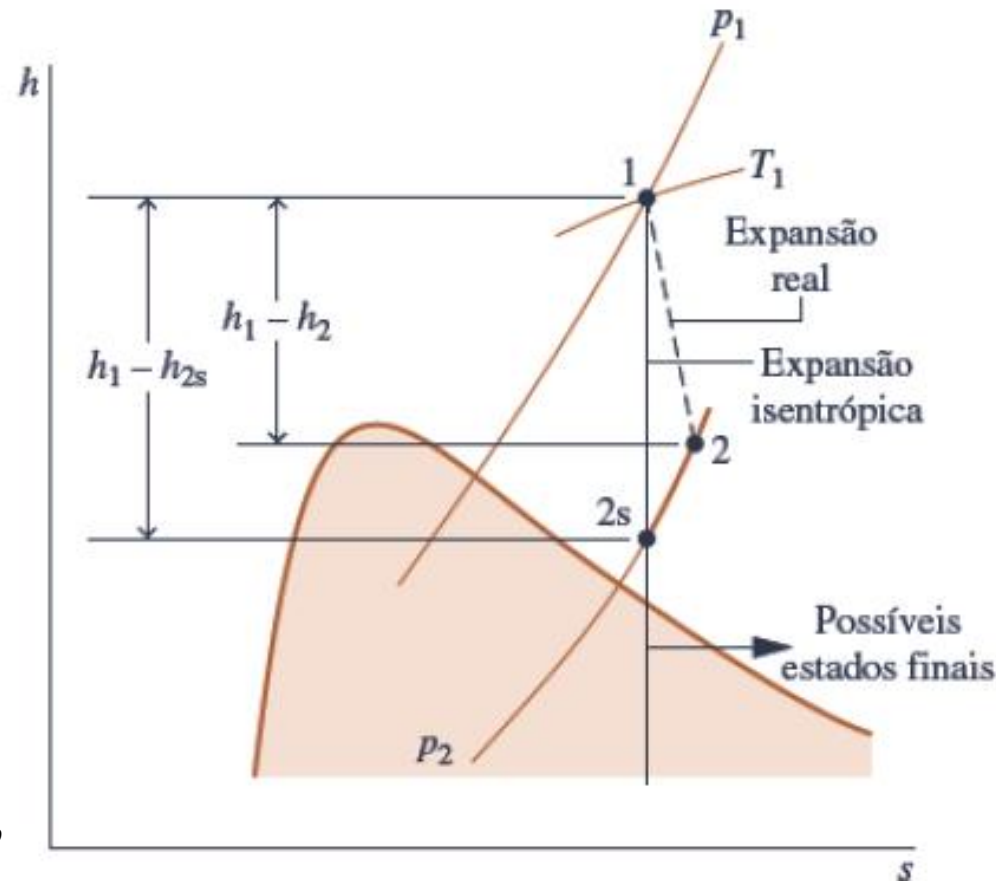
- Lembrete: **vapor d'água não é gás ideal!**

Eficiências isentrópicas de dispositivos

- **Subíndice “s”** agora indicará que a quantidade é avaliada para um **processo isentrópico**.
- Componente **desempenhará** sua função de forma **menos eficiente** comparativamente a um **processo isentrópico**
- Componentes:
 - Turbinas
 - Compressores e bombas
 - Bocais

Eficiências isentrópicas de dispositivos

- Exemplo: turbina



Fonte: Shapiro

$$\eta_t = \frac{\dot{W}_t/\dot{m}}{(\dot{W}_t/\dot{m})_s} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$