

Leis da termodinâmica e aplicações – Parte 2

Fundamentos de física para gestão
ambiental – 2016

Conteúdo - Halliday 8ª ed. Cap.20

- Processos irreversíveis e entropia
- Entropia como função de estado
- Segunda Lei da termodinâmica
- Força associada à entropia
- Máquinas térmicas
- Máquina de Carnot
- Eficiência de máquinas térmicas reais

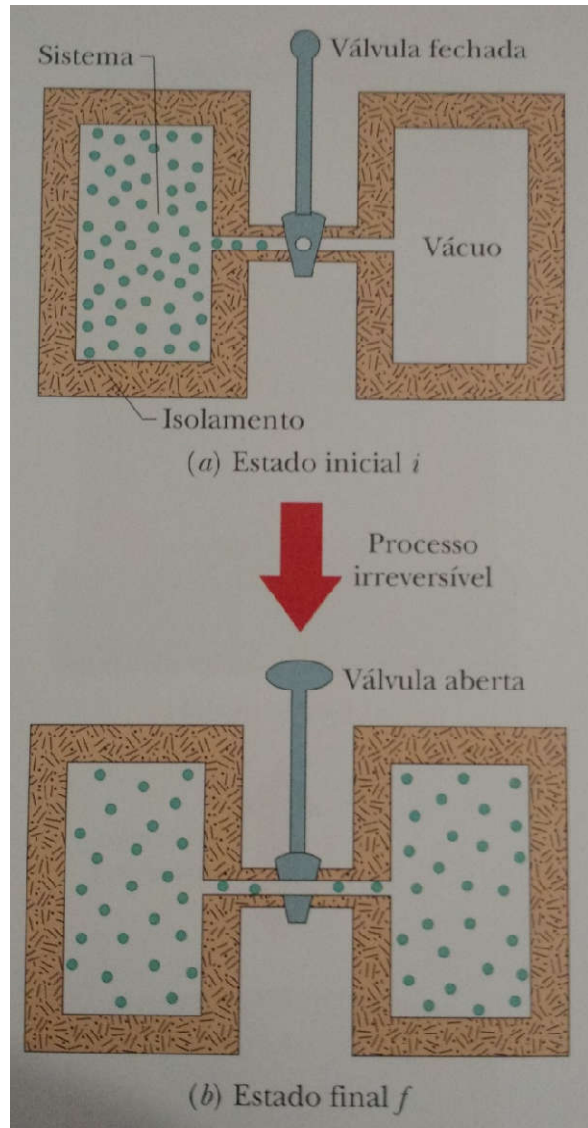
Processos irreversíveis e entropia

Se um processo irreversível ocorre em um sistema *fechado* a entropia S do sistema sempre aumenta

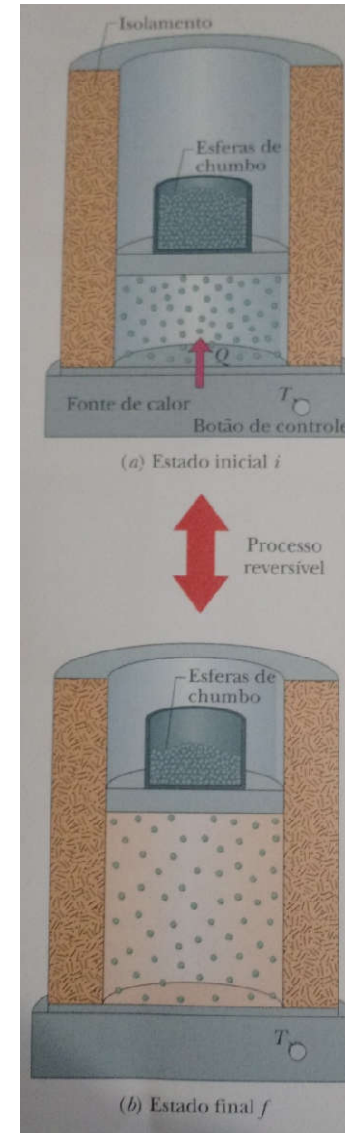
Variação da entropia

$$\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T}$$

Expansão livre irreversível



Expansão isotérmica reversível



Variação da entropia no processo isotérmico:

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{1}{T} \int_i^f dQ$$

$$\int_i^f dQ = Q$$

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{Q}{T}$$

Variação da entropia no processo irreversível num sistema *fechado*

$$\Delta S = S_f - S_i = \frac{Q}{T_{\text{médio}}}$$

Entropia como função de estado

Caso do gás ideal passando por processo reversível

$$dE_{int} = dQ - dW$$

$$dE_{int} = nC_V dT$$

$$dW = p dV$$

$$dQ = p dV + nC_V dT$$

$$pV = nRT$$

$$\frac{dQ}{T} = nR \frac{dV}{V} + nC_V \frac{dT}{T}$$

$$\int_i^f \frac{dQ}{T} = \int_i^f nR \frac{dV}{V} + \int_i^f nC_V \frac{dT}{T}$$

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T}$$

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_f}{V_i} + nC_V \ln \frac{T_f}{T_i}$$

Segunda Lei da termodinâmica

Se um processo ocorre num sistema *fechado*, a entropia S do sistema aumenta para processos irreversíveis e permanece constante para processos reversíveis.

A entropia nunca diminui

$$\Delta S \geq 0$$

Para um sistema fechado

$$\Delta S_{\text{gás}} = -\frac{|Q|}{T}$$

$$\Delta S_{\text{gás}} = +\frac{|Q|}{T}$$

$$\Delta S = 0$$

Força associada à entropia

$$dE = dQ - dW$$

$$W = -Fdx$$

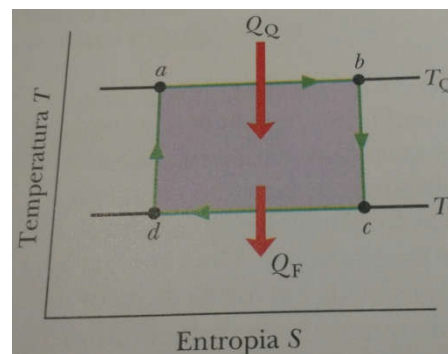
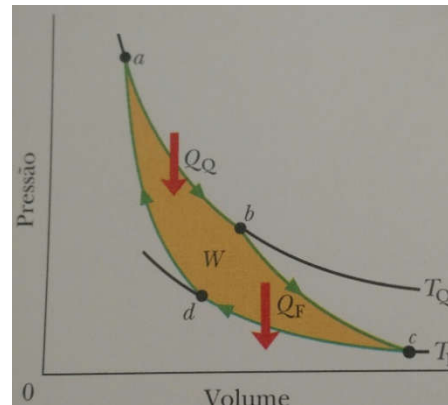
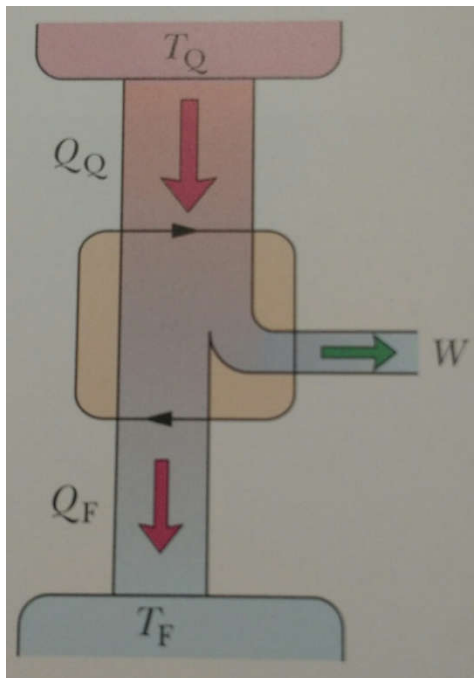
$$dE = TdS + Fdx$$

$$F = -T \frac{dS}{dx}$$

Máquinas térmicas

- Máquina de Carnot

Máquina térmica ideal: todos os **processos são reversíveis** e as **transferências de energia** são realizadas **sem as perdas** causadas por efeitos como atrito ou turbulência



$$\Delta E_{int} = Q - W$$

Ciclo completo

$$\Delta E_{int} = 0$$

$$W = |Q_Q| - |Q_F|$$

$$\Delta S = \Delta S_Q + \Delta S_F = \frac{|Q_Q|}{T_Q} - \frac{|Q_F|}{T_F}$$

$$\frac{|Q_Q|}{T_Q} - \frac{|Q_F|}{T_F}$$

Eficiência da Máquina de Carnot

$$\varepsilon = \frac{\text{energia utilizada}}{\text{energia adquirida}} = \frac{|W|}{|Q_Q|}$$

$$\varepsilon_C = \frac{|Q_Q| - |Q_F|}{Q_Q} = 1 - \frac{|Q_F|}{|Q_Q|}$$

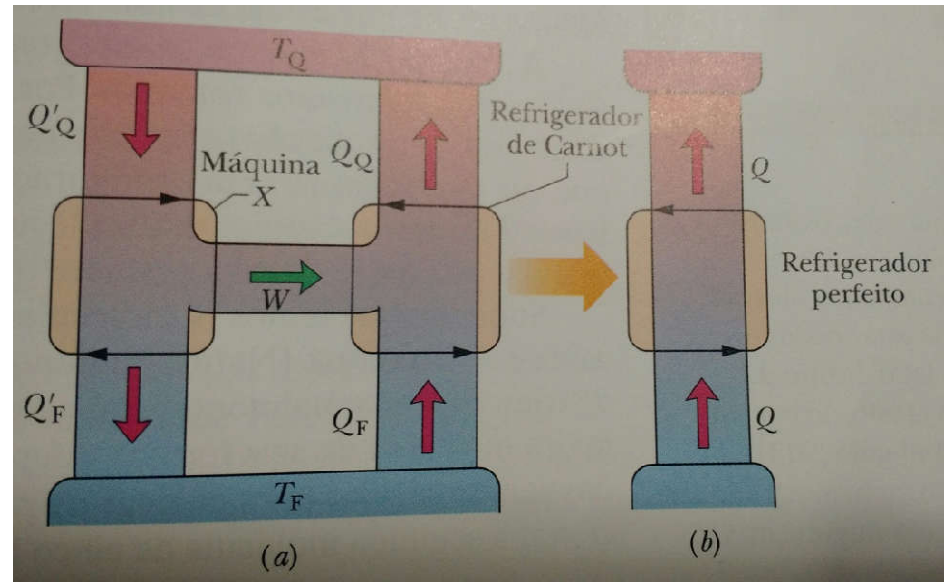
$$\varepsilon_C = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$$

Eficiência de máquinas térmicas reais

Supondo que fosse possível: $\varepsilon_X > \varepsilon_C$

$$\frac{|W|}{|Q'_q|} > \frac{|W|}{|Q_q|}$$

$$|Q_q| > |Q'_q|$$



$$|Q_q| - |Q_F| = |Q'_q| - |Q'_F|$$

$$|Q_q| - |Q'_q| = |Q_F| - |Q'_F| = Q$$