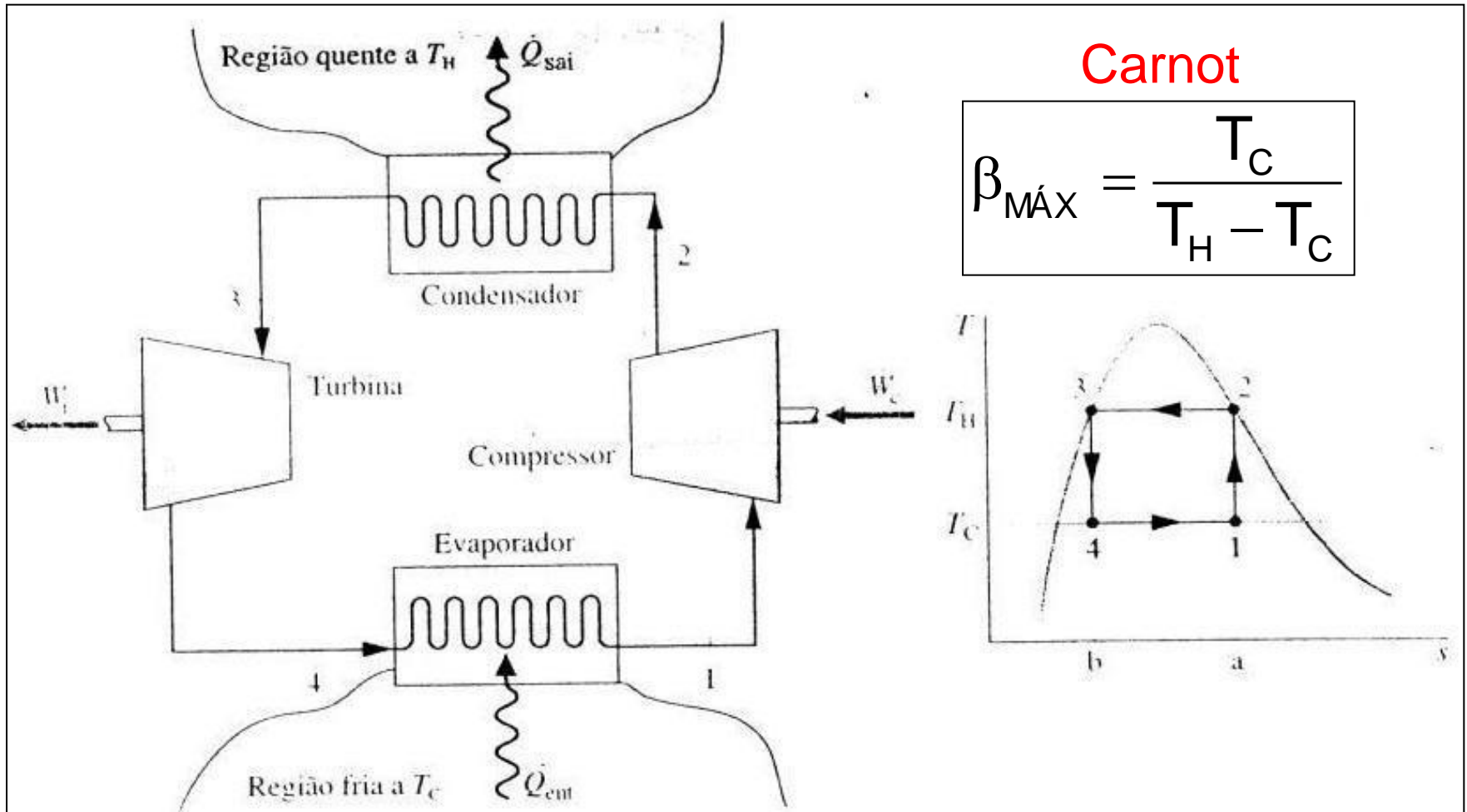
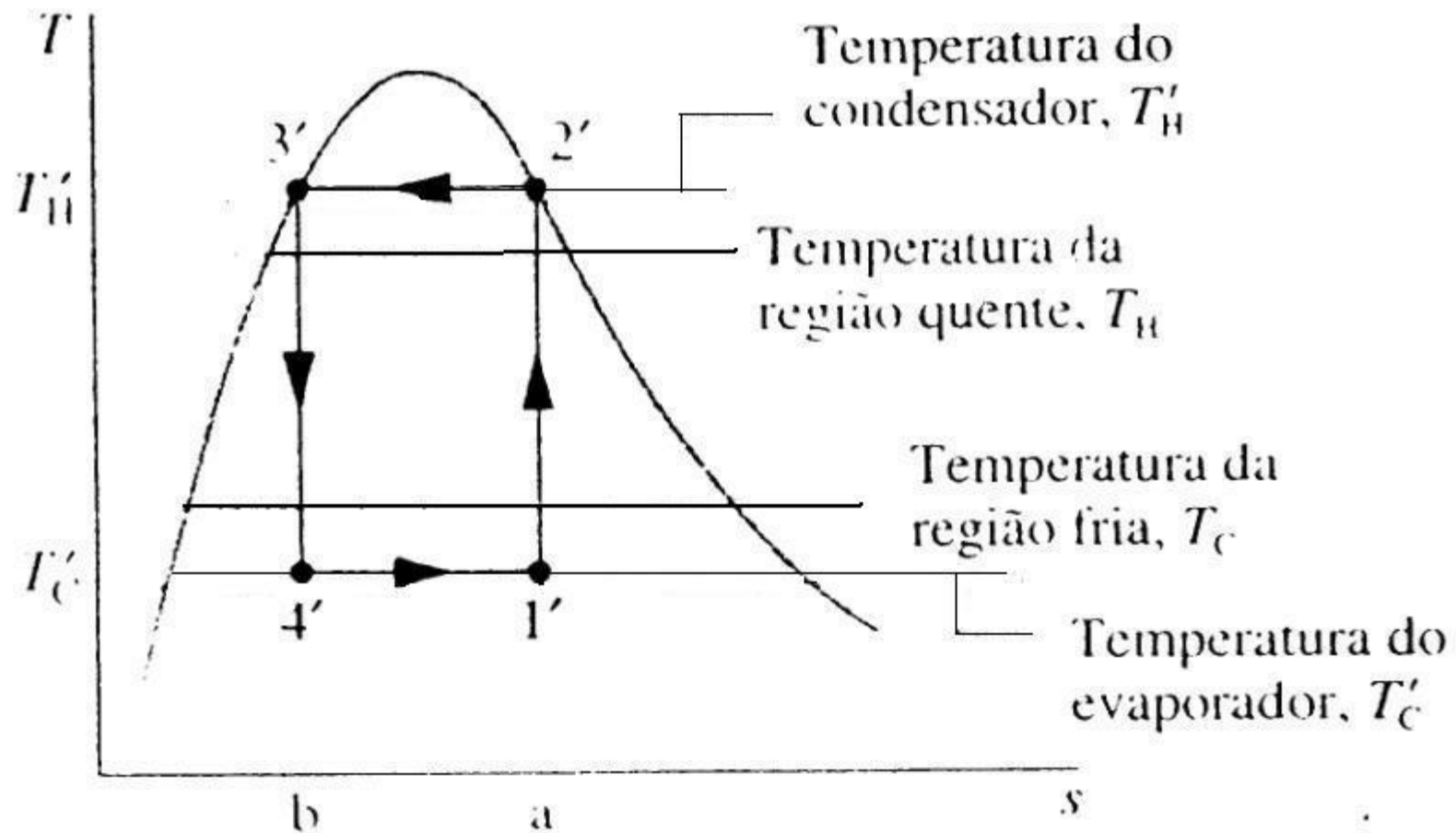


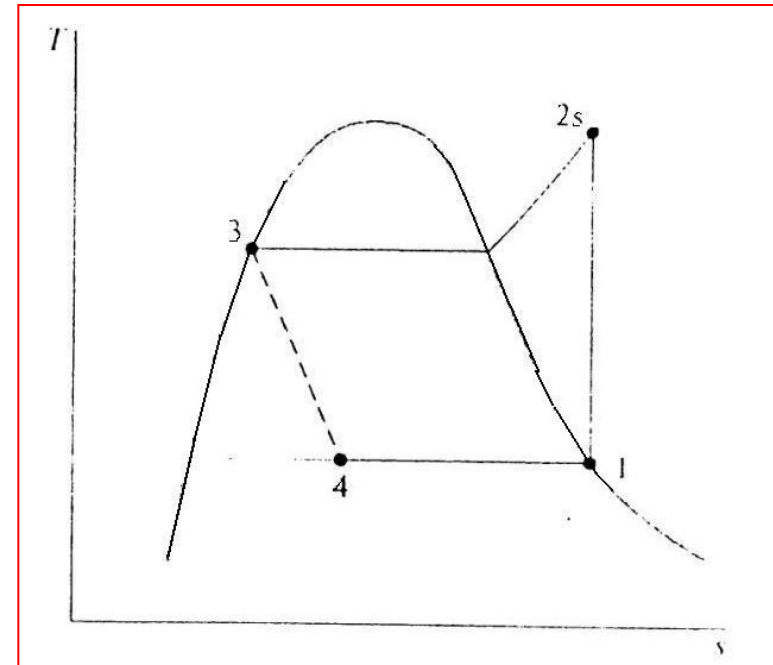
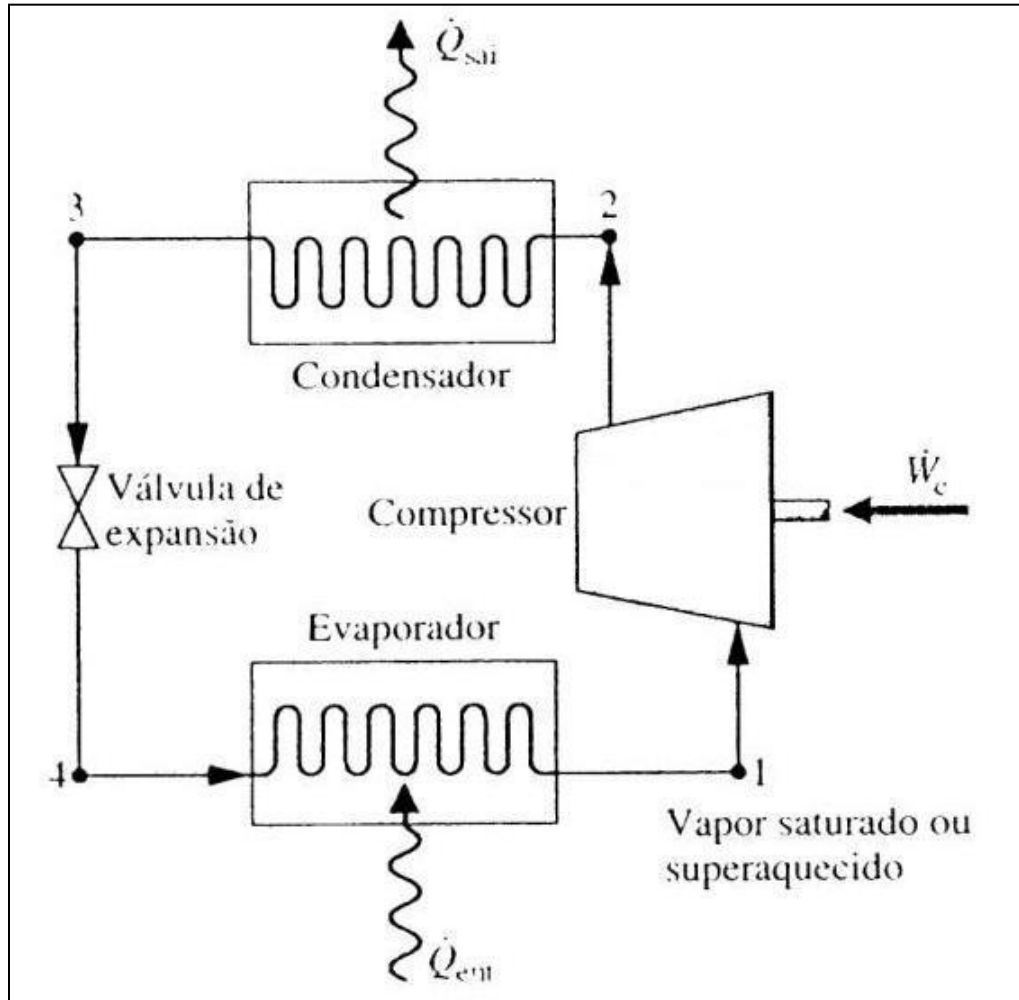
Sistemas de refrigeração e bombas de calor

10.1 – Sistemas de refrigeração a vapor

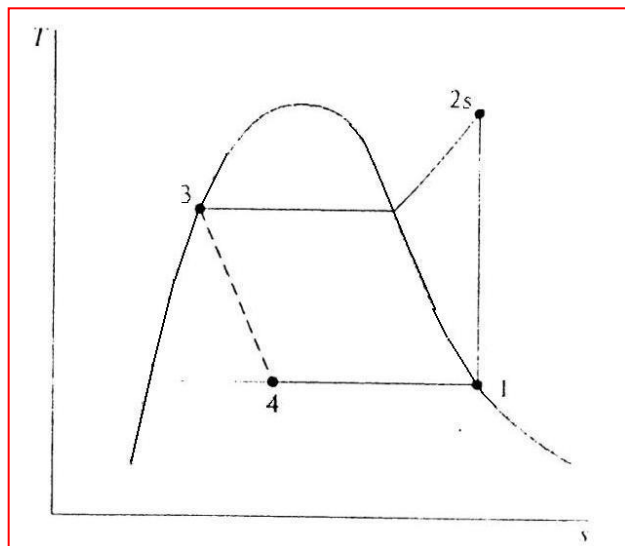
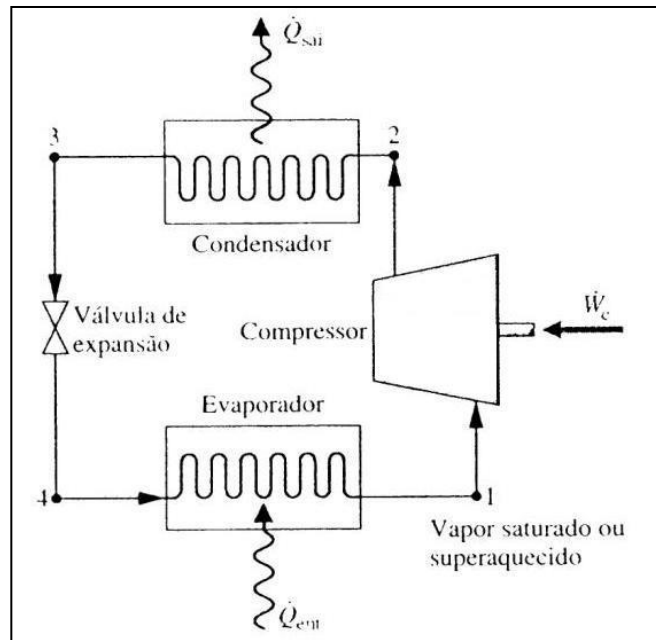




10.2 – Analisando sistemas de refrigeração por compressão de vapor



10.2.1 – Avaliando trabalho e transferência de calor



$$\frac{\dot{Q}_{\text{entra}}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$$

$$\dot{Q}_{\text{entra}} =$$

Capacidade frigorífica
[kcal/h] [kW]

$$\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = h_2 - h_1$$

$$\dot{W}_c =$$

Potência de compressão
[kW]

$$\frac{\dot{Q}_{\text{sai}}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$$

$$\dot{Q}_{\text{sai}} =$$

Calor rejeitado
[kcal/h] [kW]

$$h_3 = h_4$$

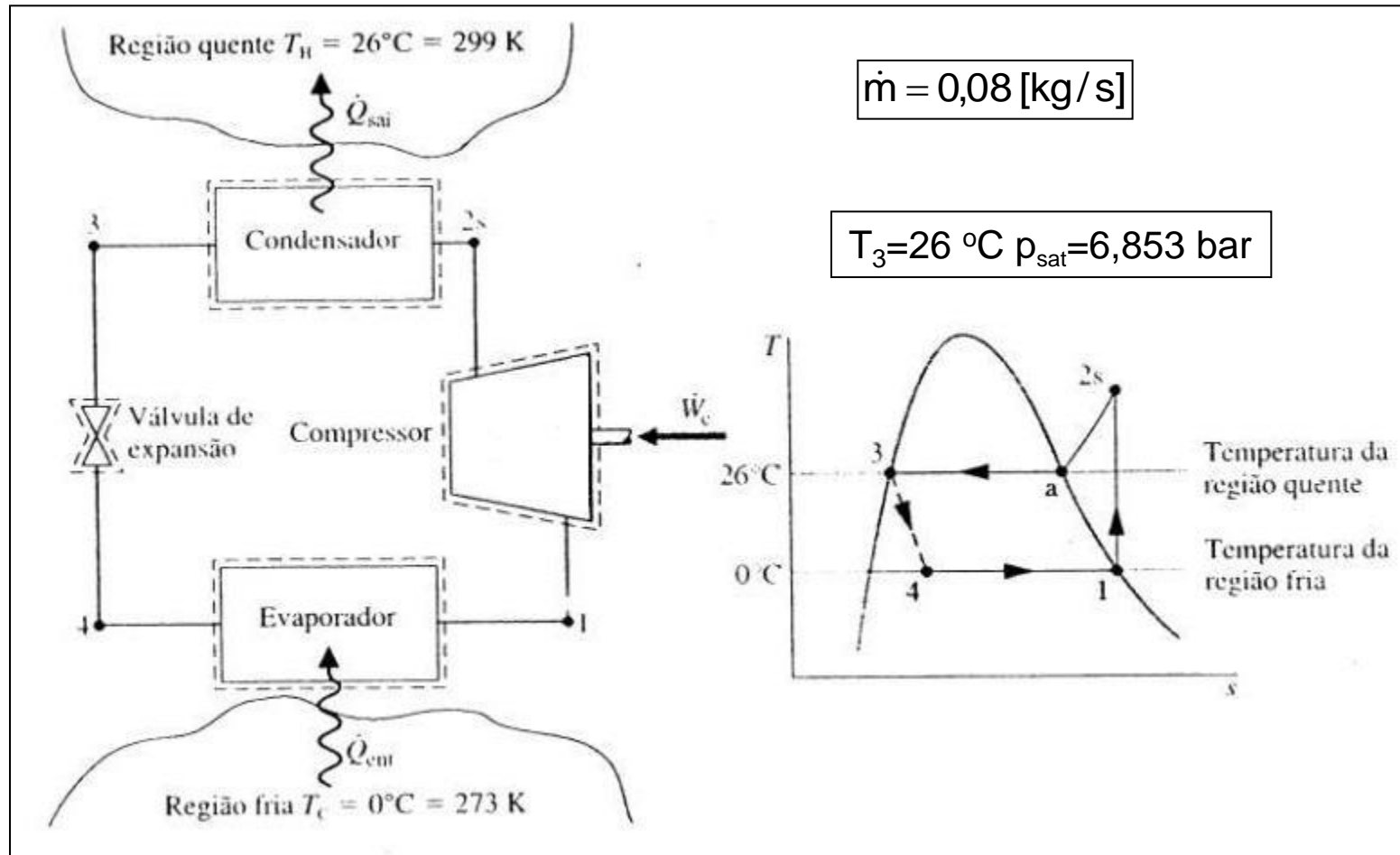
Expansão isoentálpica
(estrangulamento)

$$\beta = \frac{\dot{Q}_{\text{entra}}/\dot{m}}{\dot{W}_c/\dot{m}} = \frac{h_1 - h_4}{h_{2s} - h_1}$$

Desempenho

Exemplo 10.1

Refrigerante 134a

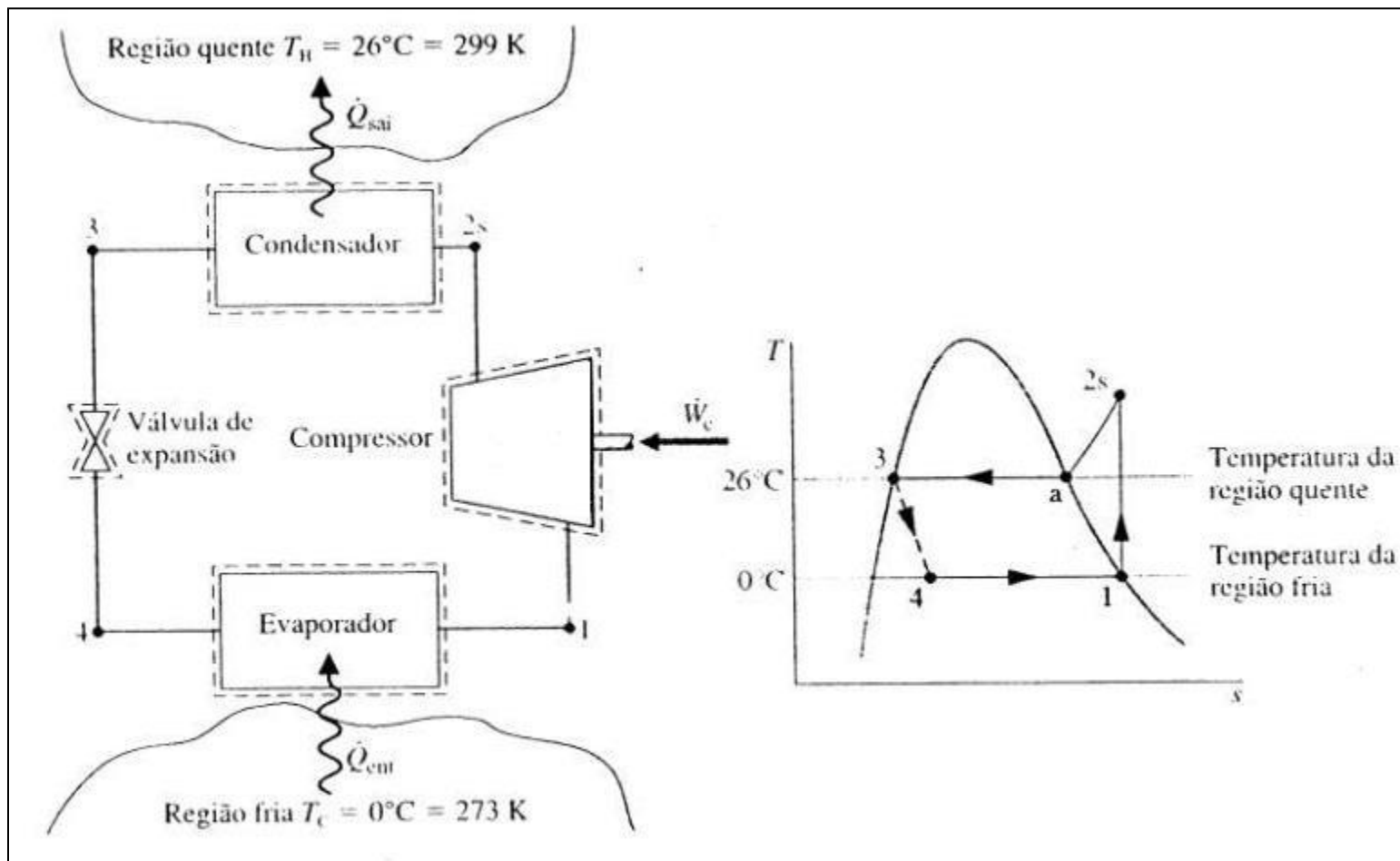


Ponto 1 => vapor saturado $T=0^\circ\text{C}$ => $h_1=247,23\text{ [kJ/kg]}$ / $s_1=0,9190\text{ [kJ/kg.K]}$

Ponto 2 => vapor super-aquecido / $s_{2s}=s_1=0,9190\text{ [kJ/kg.K]}$ => $T_{2s}\approx 30^\circ\text{C}$ => $h_{2s}=264,7\text{ [kJ/kg]}$

Ponto 3 => líquido saturado => $T_3=26^\circ\text{C}$ => $h_3=85,75\text{ [kJ/kg]}$

Ponto 4 => mistura líquido/vapor => $T_4=0^\circ\text{C}$ => $h_4=85,75\text{ [kJ/kg]}$ => $x=0,24$



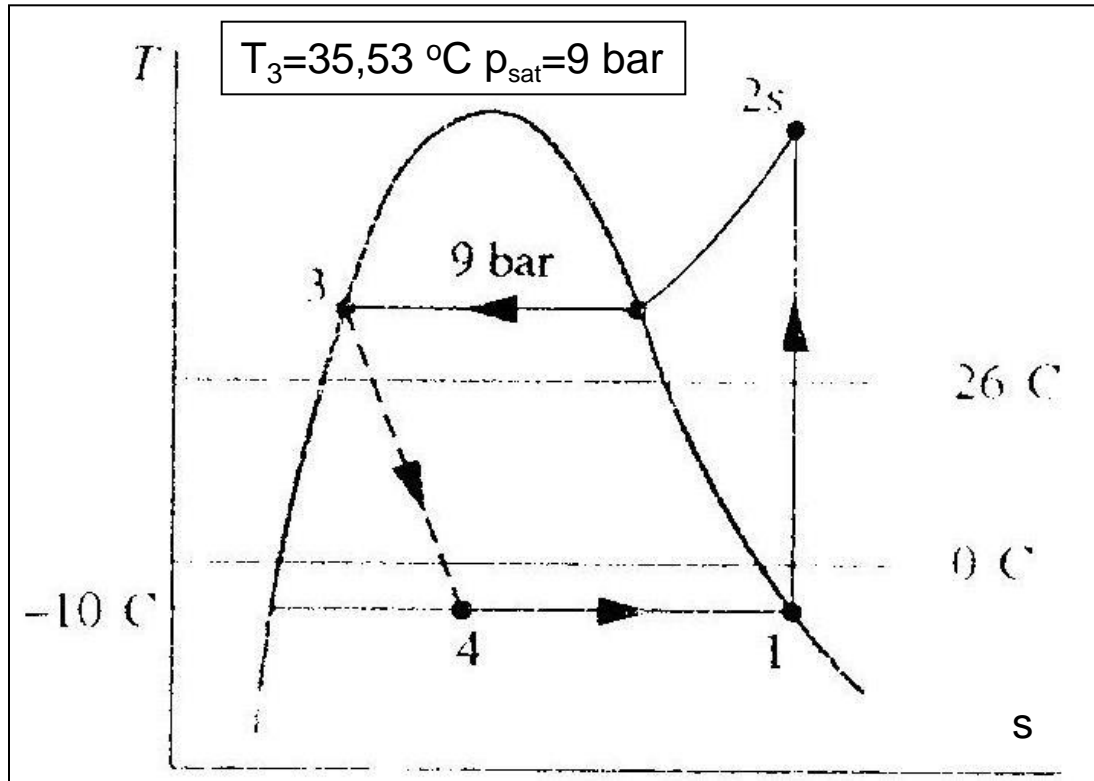
$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0,08(264,7 - 247,23) = 0,08 \times 17,47 = 1,39 \text{ [kW]} = 1,9 \text{ CV}$$

$$\dot{Q}_{\text{entra}} = \dot{m}(h_1 - h_4) = 0,08(247,23 - 85,75) = 0,08 \times 161,48 = 12,91 \text{ [kW]}$$

$$\beta = 12,91 / 1,39 = 9,24$$

$$\beta_{\text{MÁX}} = 273 / (299 - 273) = 10,5$$

Exemplo 10.2



$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_{2s} - h_1)$$

$$= 0,08 (272,39 - 241,53)$$

$$= 0,08 \times 30,86 = 2,48 \text{ [kW]} = 3,37 \text{ CV}$$

$$\dot{Q}_{\text{entra}} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$= 0,08 (241,35 - 99,56)$$

$$= 0,08 \times 141,79 = 11,34 \text{ [kW]}$$

$$\beta = 11,34 / 2,48 = 4,57$$

$$\beta_{\text{MÁX}} = 10,5$$

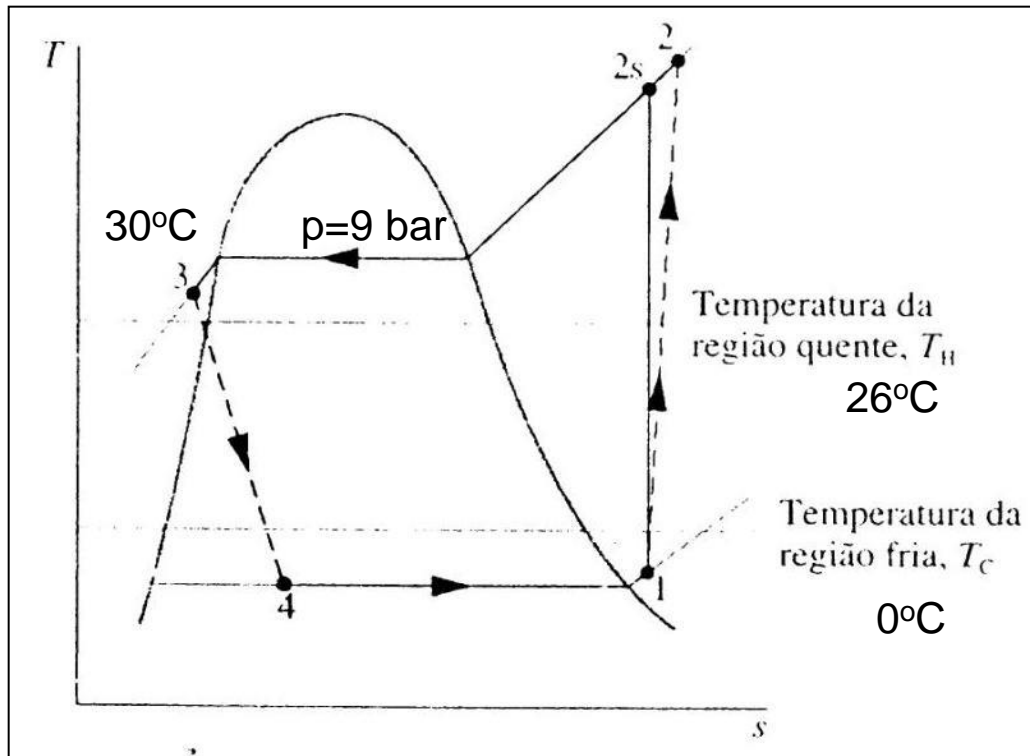
Ponto 1 => vapor saturado $T = -10 \text{ °C}$ => $h_1 = 241,35 \text{ [kJ/kg]}$ / $s_1 = 0,9253 \text{ [kJ/kg.K]}$

Ponto 2 => vapor super-aquecido / $s_{2s} = s_1 = 0,9253 \text{ [kJ/kg.K]}$ => $T_{2s} \cong 42 \text{ °C}$ => $h_{2s} = 272,39 \text{ [kJ/kg]}$

Ponto 3 => líquido saturado => $T_3 = 35,53 \text{ °C}$ => $h_3 = 99,56 \text{ [kJ/kg]}$

Ponto 4 => mistura líquido/vapor => $T_4 = -10 \text{ °C}$ => $h_4 = 99,56 \text{ [kJ/kg]}$

Exemplo 10.3



$$\dot{W}_c = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$= 0,08 (280,15 - 241,53)$$

$$= 0,08 \times 38,62 = 3,09 \text{ [kW]} = 4,2 \text{ CV}$$

$$\dot{Q}_{\text{entra}} = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$= 0,08 (241,35 - 91,49)$$

$$= 0,08 \times 149,86 = 11,99 \text{ [kW]}$$

$$\beta = 11,99 / 3,09 = 3,87$$

$$\beta_{\text{MÁX}} = 10,5$$

Ponto 1 => vapor saturado $T = -10^\circ\text{C}$ => $h_1 = 241,35 \text{ [kJ/kg]}$ / $s_1 = 0,9253 \text{ [kJ/kg.K]}$

Ponto 2s => vapor super-aquecido / $s_{2s} = s_1 = 0,9253 \text{ [kJ/kg.K]}$ => $T_{2s} \cong 42^\circ\text{C}$ => $h_{2s} = 272,39 \text{ [kJ/kg]}$

$$\eta_c = \frac{(\dot{W}_c / \dot{m})_s}{\dot{W}_c / \dot{m}} = \frac{(h_{2s} - h_1)}{(h_2 - h_1)} \quad 0,8 = \frac{272,39 - 241,35}{h_2 - 241,35} \Rightarrow h_2 = 280,15 \text{ [kJ/kg]}$$

Ponto 3 => líquido comprimido => $T_3 = 30^\circ\text{C}$ => $h_3 = 91,49 \text{ [kJ/kg]}$

Ponto 4 => mistura líquido/vapor => $T_4 = -10^\circ\text{C}$ => $h_4 = 91,49 \text{ [kJ/kg]}$

10.3 – Propriedade dos fluidos refrigerantes

1940 a 1990 - Fluidos refrigerantes --- CFCs => Afetam a camada de ozônio

Refrigerante 12 – CCl_2F_2 é um exemplo

Atualmente - Fluidos refrigerantes --- HFCs e **HCFcs**
=> Afetam menos a camada de ozônio

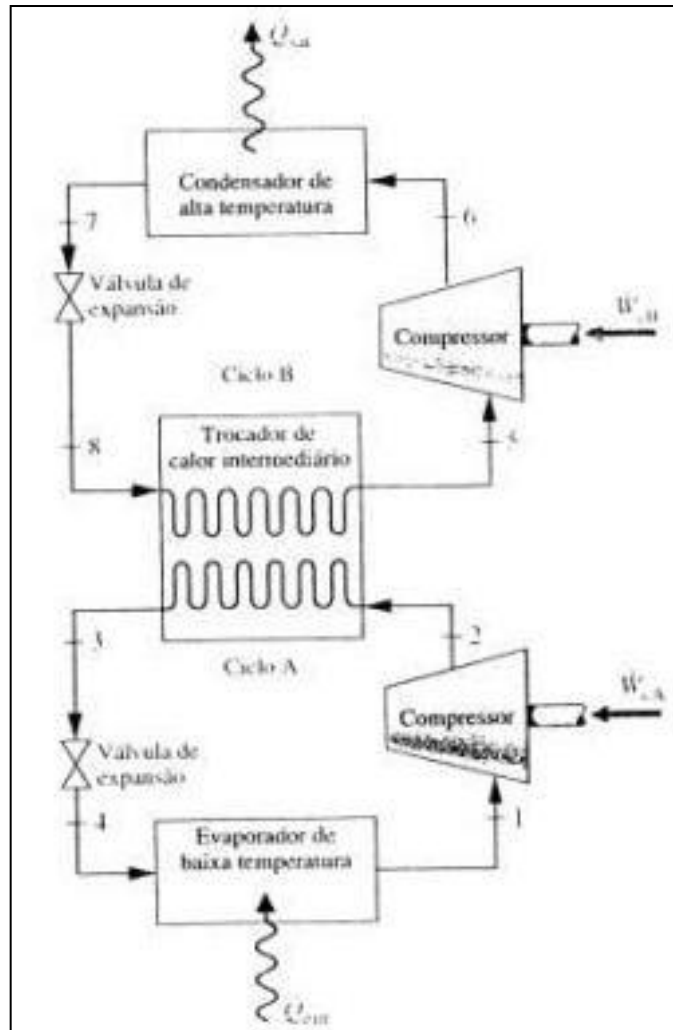
Refrigerante 134a – $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ é um exemplo de HFCs

Refrigerante 22 – CHClF_2 é um exemplo de HCFCs

Amônia – NH_3

10.4 – Sistema de compressão em cascata e multiestágios

10.4.1 – Sistema de compressão em cascata



Circuito de refrigeração simples

Temperatura ambiente a 25 °C

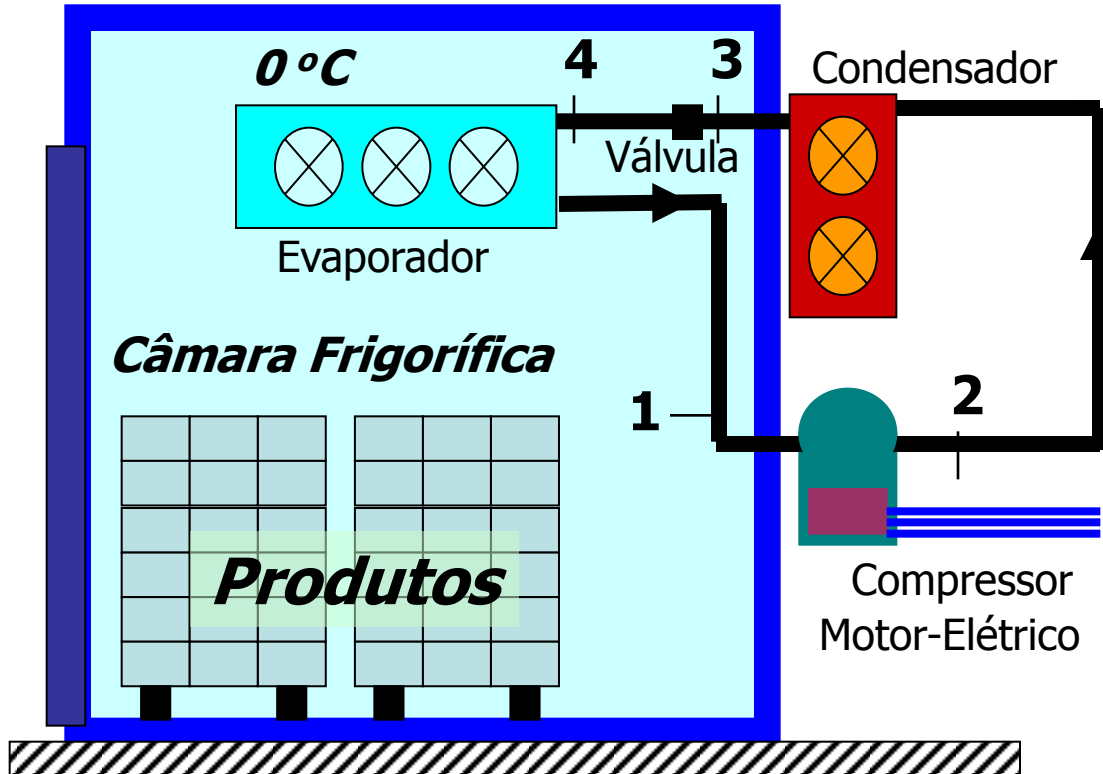
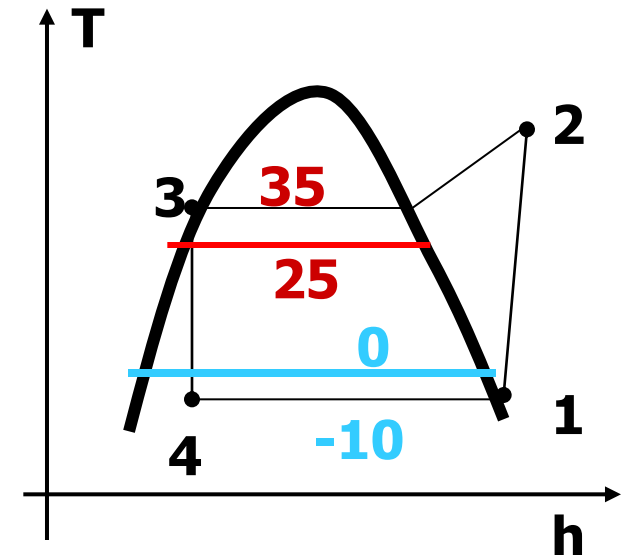


Diagrama T-h



Circuito de refrigeração de um estágio

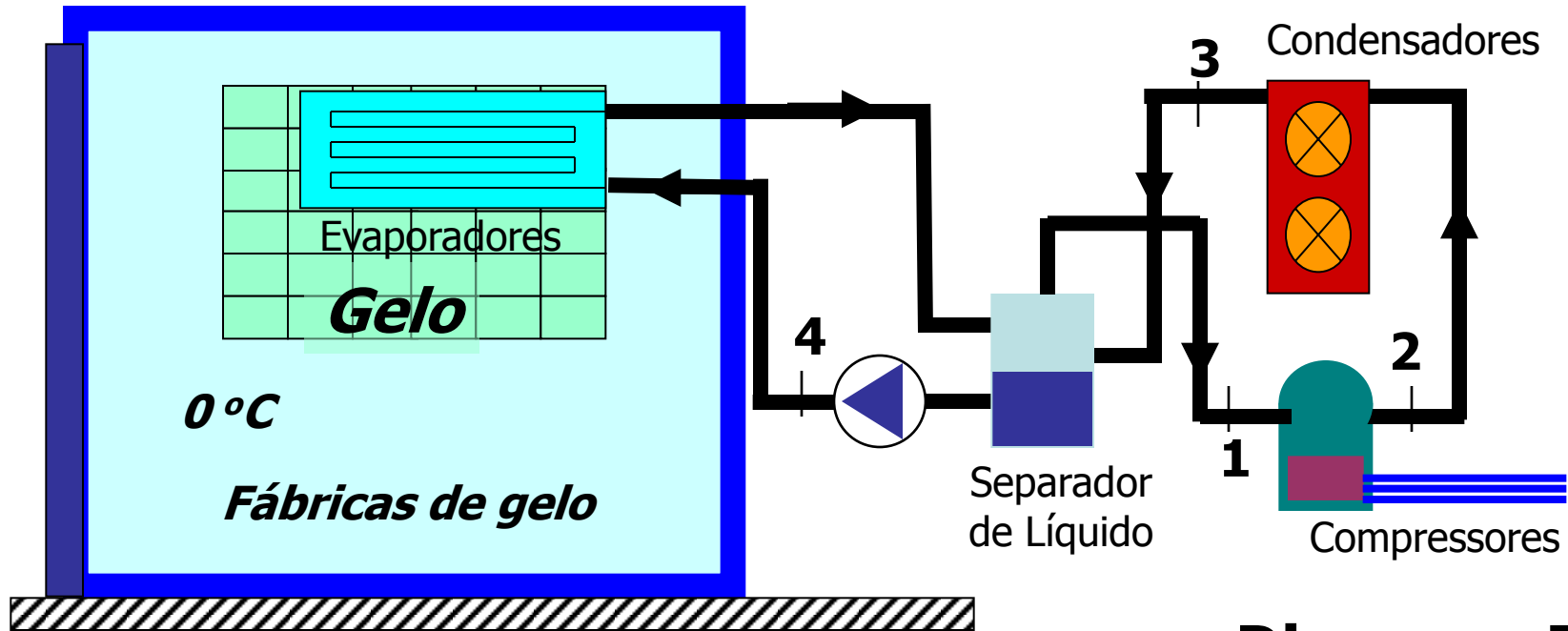
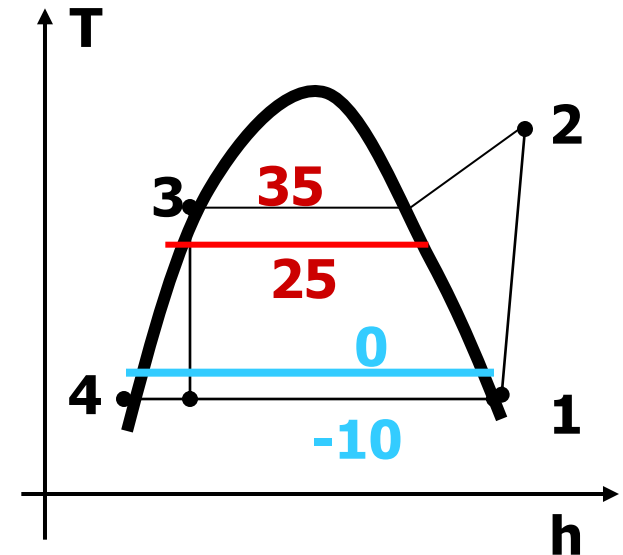


Diagrama T-h



Circuito de refrigeração de dupla expansão

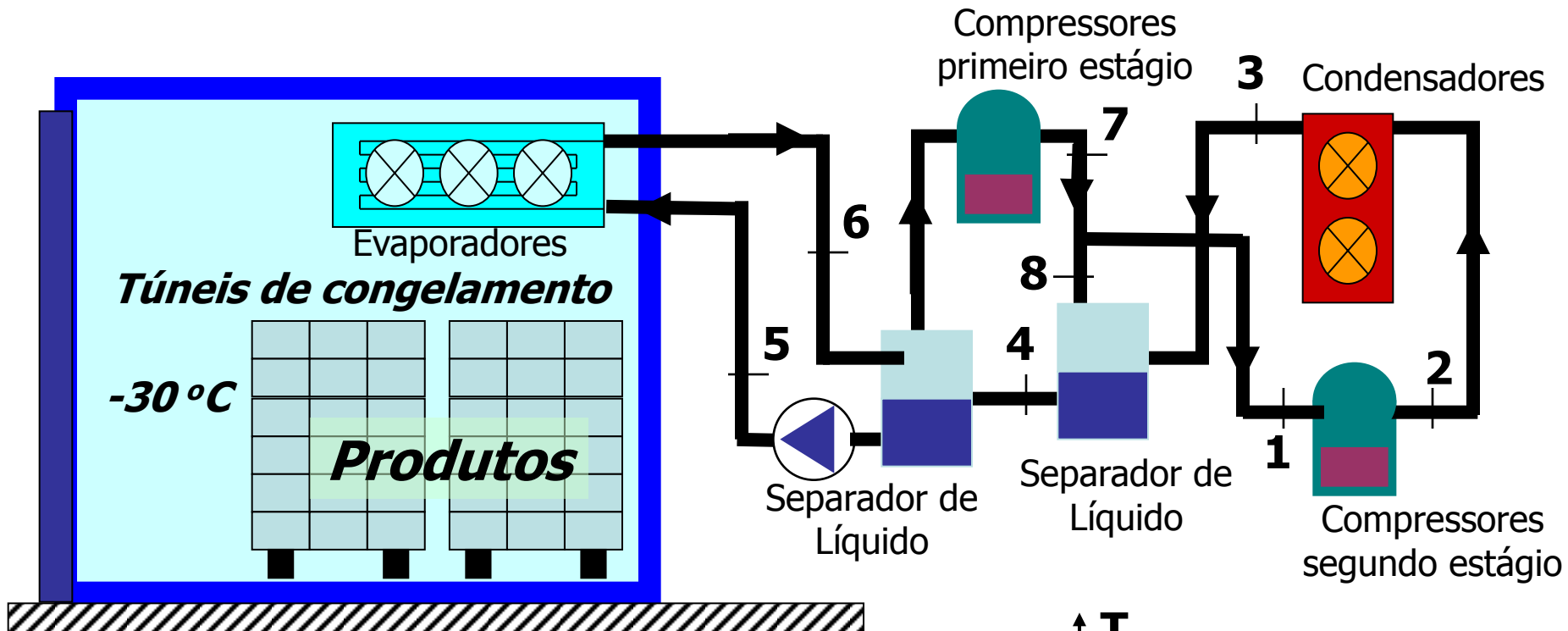
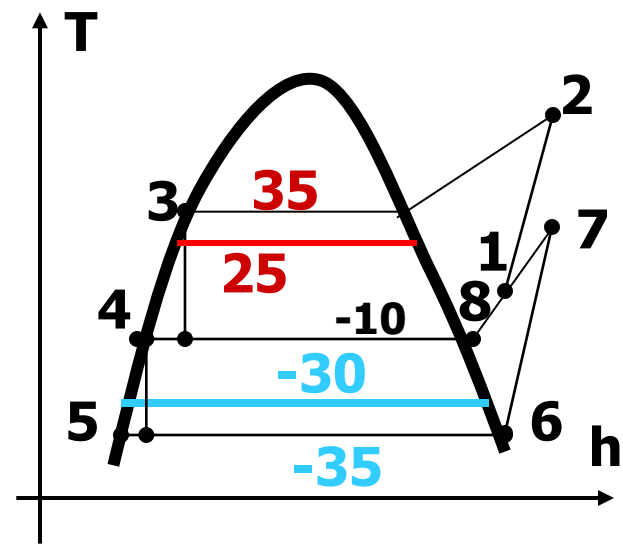


Diagrama T-h



Circuito de refrigeração de dupla expansão com resfriador intermediário

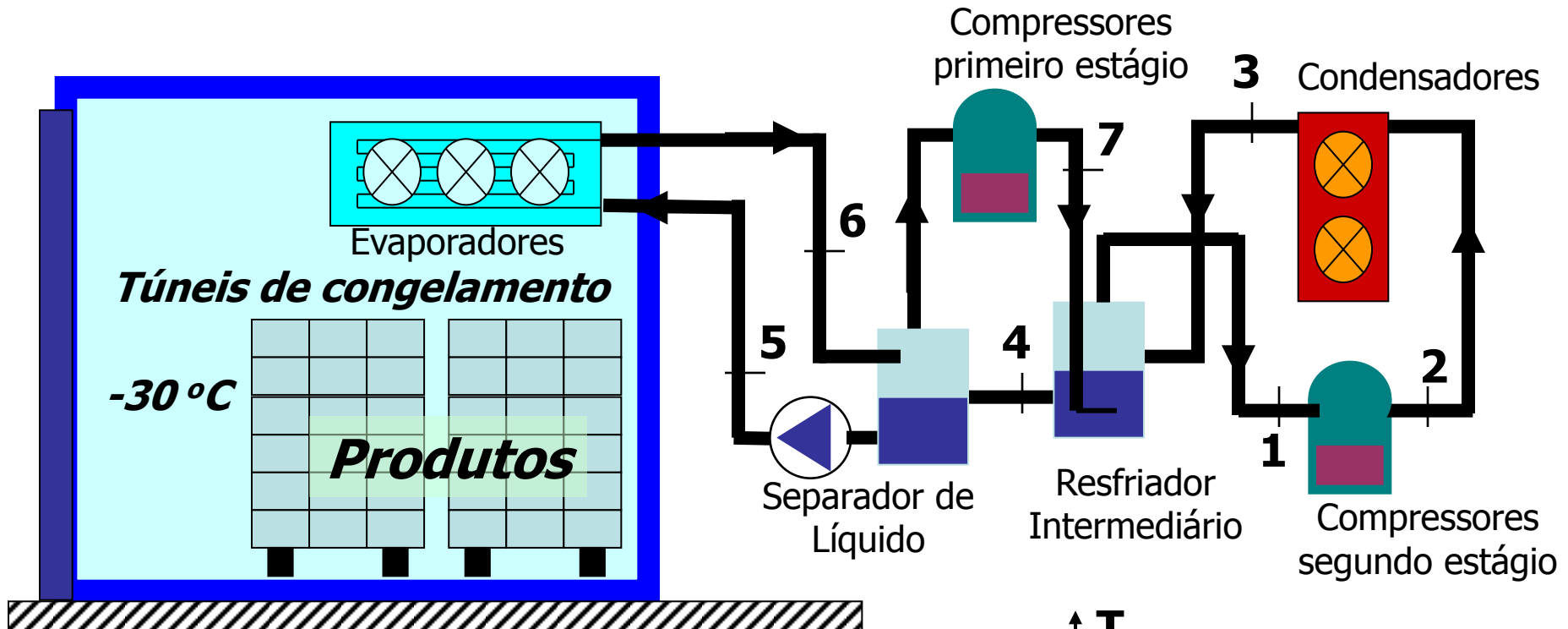
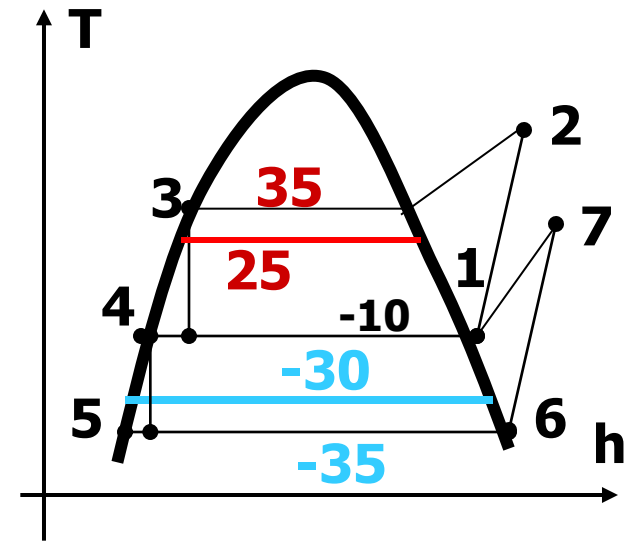
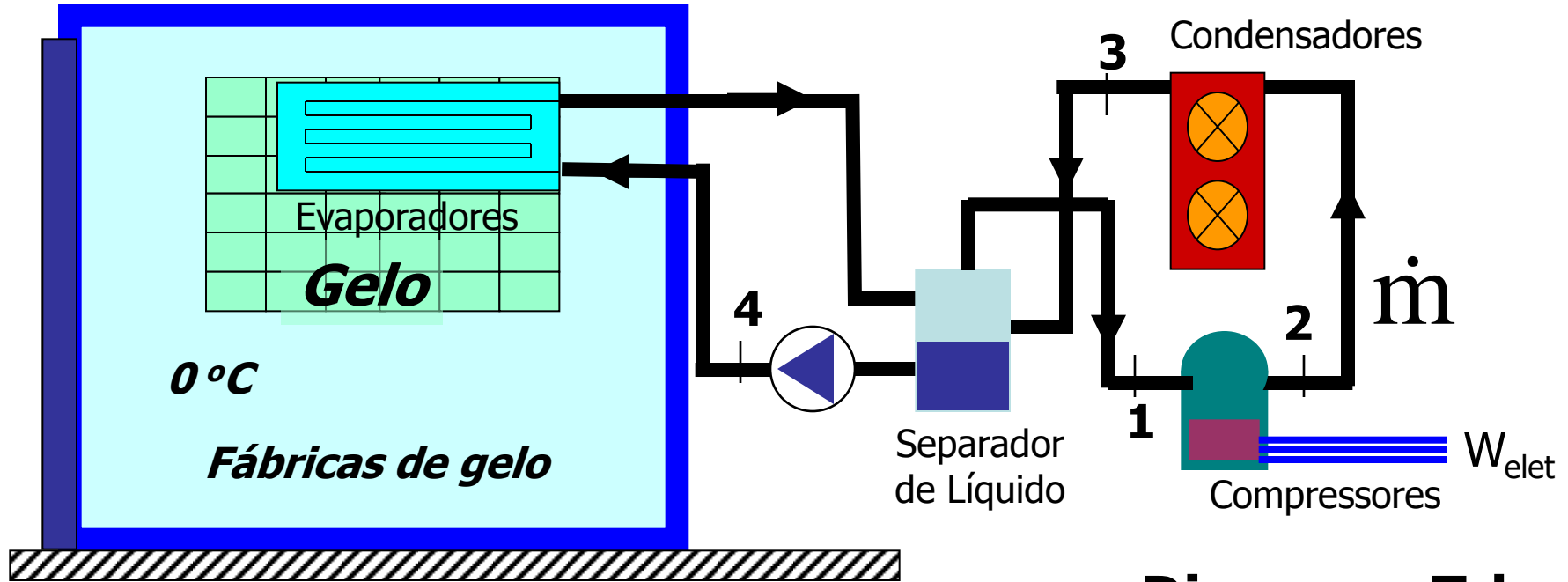


Diagrama T-h



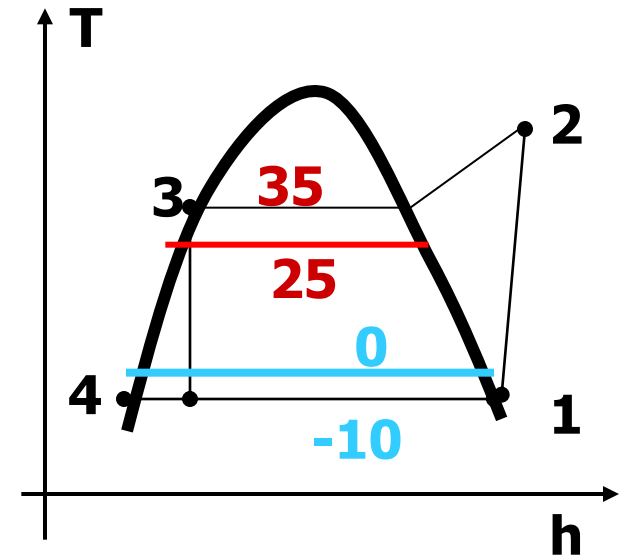
Coeficiente de performance:



Coeficiente de performance é a relação entre o efeito frigorífico e a potência elétrica fornecida aos compressores em regime de temperatura específico:

$$\text{COP} = Q_{\text{evap}} / W_{\text{elet}}$$

Diagrama T-h



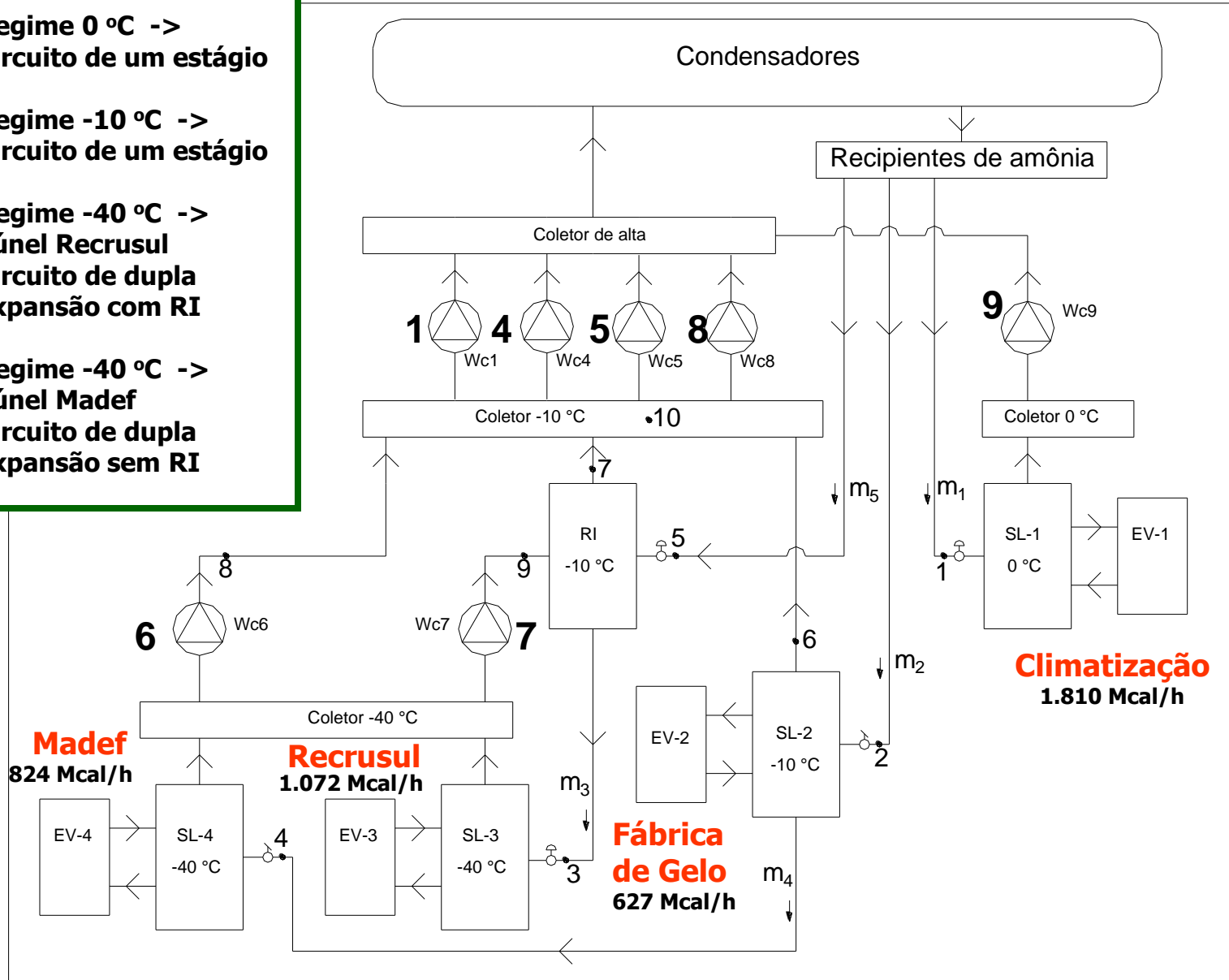
Circuito de Refrigeração

**Regime 0 °C ->
Circuito de um estágio**

**Regime -10 °C ->
Circuito de um estágio**

**Regime -40 °C ->
Túnel Recrusul
Circuito de dupla
expansão com RI**

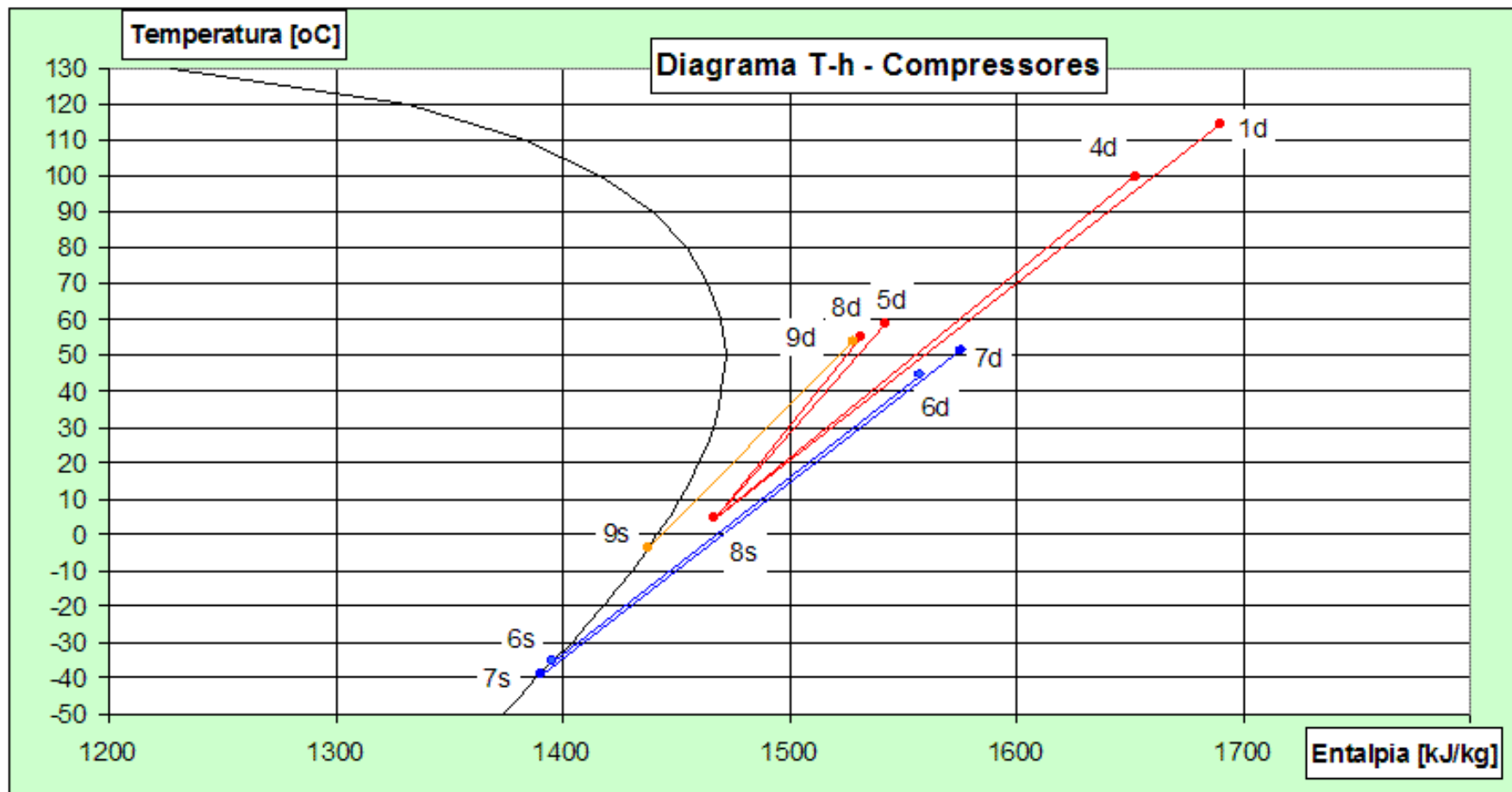
**Regime -40 °C ->
Túnel Madef
Circuito de dupla
expansão sem RI**



Medições:

Características termodinâmicas do Circuito

Compressores



Medições realizadas: Pontos de medição de vazão

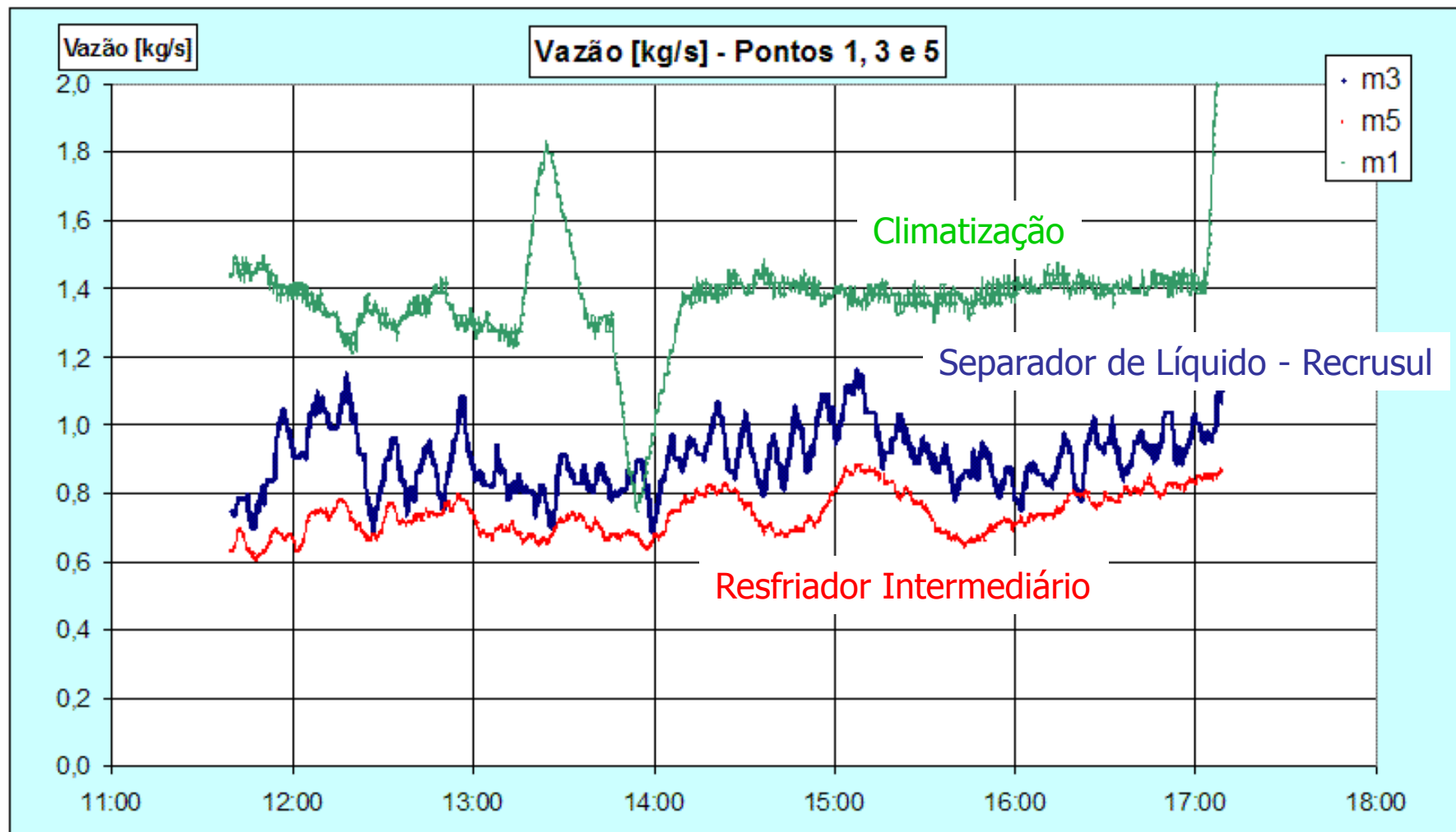
Ponto	(pol.)	Tipo de controle	Localização
1	3"	Válvula solenóide	Separador de líquido S1
2	3"	Bóia mecânica	Separador de líquido S2
3	3"	Válvula solenóide	Separador de líquido S3
5	3"	Válvula solenóide	Resfriador intermediário



Medições realizadas:

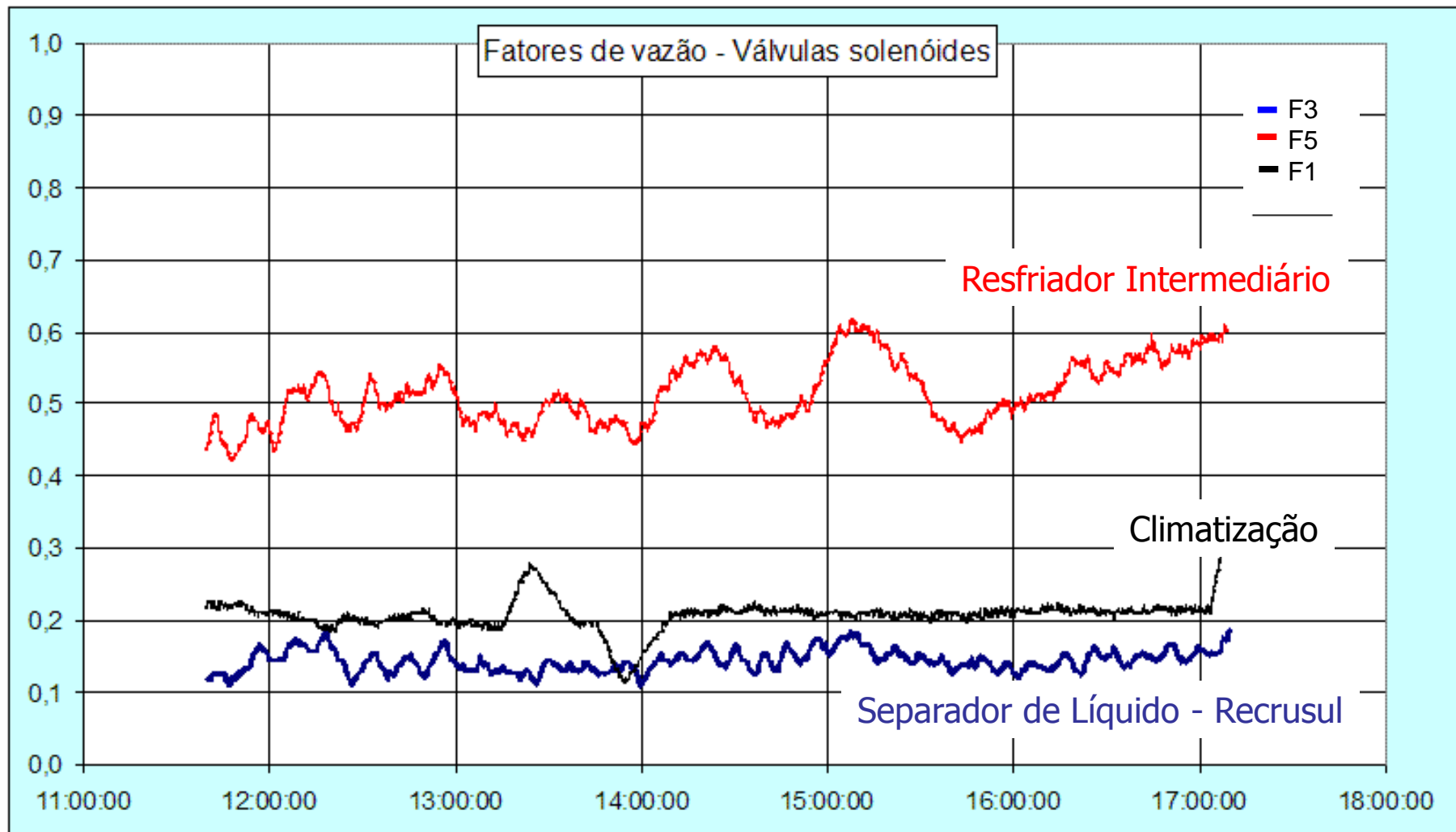
Vazão

$$m = F \cdot \rho \cdot V \cdot A$$



Medições realizadas:

Fator de vazão das válvulas



10.5 – Sistema de refrigeração por absorção

