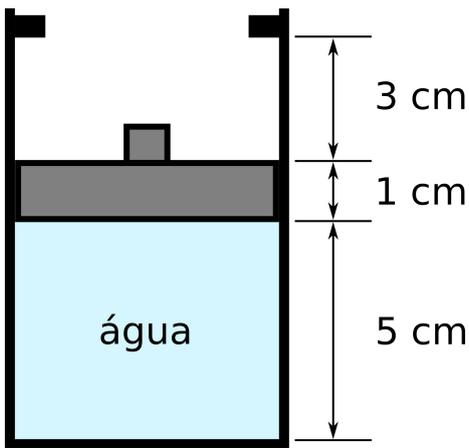


Assinatura: \_\_\_\_\_

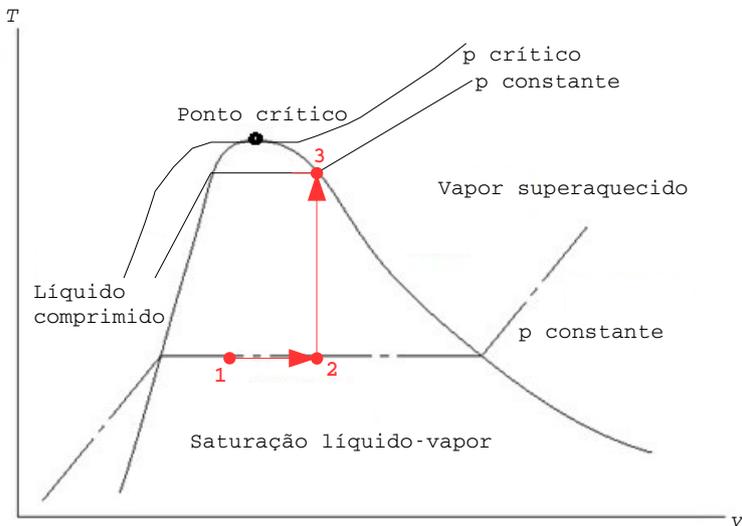
1 [45] Água contida em um conjunto cilindro-pistão, inicialmente a 1.5 bar e  $x = 0.2$  de título, é aquecida até que o pistão atinge os esbarros. A transferência de calor continua até que a água atinja o estado de vapor saturado.

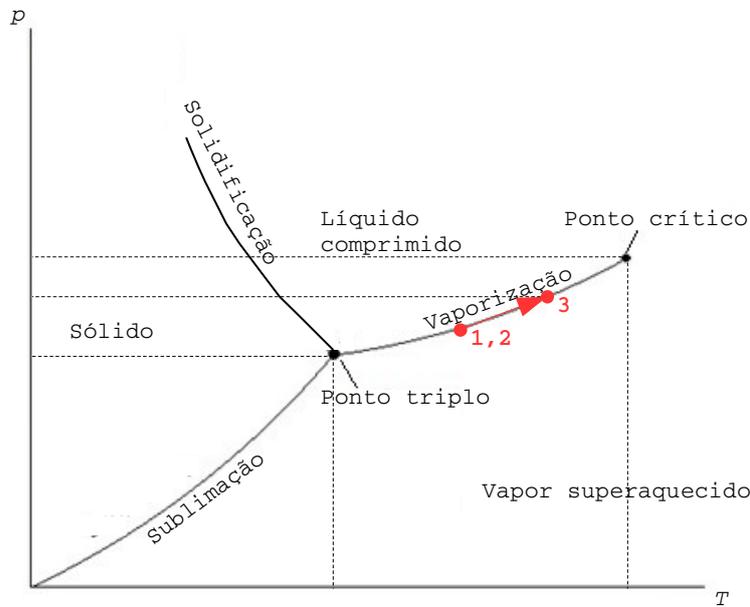
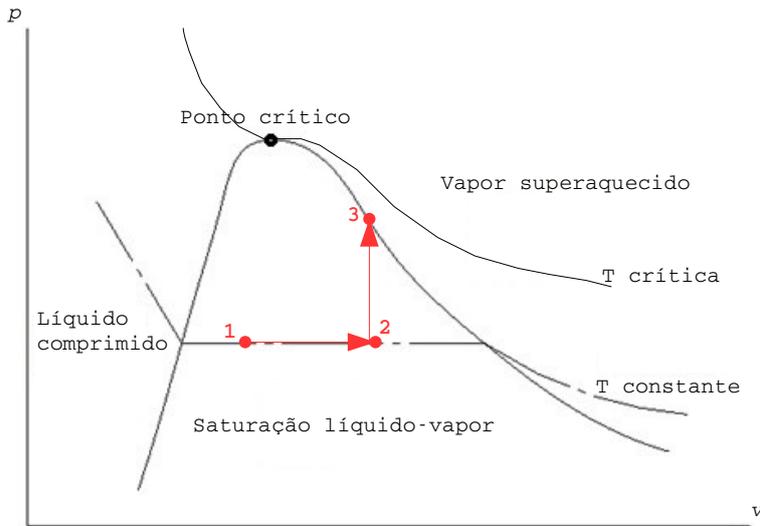
- a) [15] Apresente os processos em série em esboços dos diagramas T-v, P-v e P-T.
- b) [30] Determine o trabalho e calor transferidos durante o processo juntamente com as hipóteses simplificadoras.



SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

a)





b) O trabalho entre os estados 2 e 3 é nulo, pois não há variação de volume neste processo. O processo 1-2 ocorre a pressão constante. Considerando que este processo é quase-estático,

$$W = W_{12} = \int_1^2 p \, dV = p_1(V_2 - V_1) = p_1 m(v_2 - v_1) \Rightarrow w = p_1(v_2 - v_1).$$

Da tabela B.1.2,

$$v_1 = v_l + x_1(v_v - v_l) = 0.001053 \, \text{m}^3 \, \text{kg}^{-1} + 0.2 \times (1.15933 \, \text{m}^3 \, \text{kg}^{-1} - 0.001053 \, \text{m}^3 \, \text{kg}^{-1}) = 0.23271 \, \text{m}^3 \, \text{kg}^{-1}.$$

Da figura,

$$v_2 = \frac{8}{5}v_1 = 0.37233 \, \text{m}^3 \, \text{kg}^{-1}.$$

Com  $p_1 = 150 \, \text{kPa}$ , calcula-se o trabalho por unidade de massa

$$w = 20.94 \, \text{kJ} \, \text{kg}^{-1}.$$

Desprezando variações de energia cinética e potencial, a primeira lei fica

$$m(u_3 - u_1) = Q - W \Rightarrow q = w + u_3 - u_1.$$

Continue a solução no verso  $\Rightarrow$

Da tabela B.1.2,

$$u_1 = u_l + x_1 u_{lv} = 466.92 \text{ kJ kg}^{-1} + 0.2 \times 2052.72 \text{ kJ kg}^{-1} = 877.464 \text{ kJ kg}^{-1}.$$

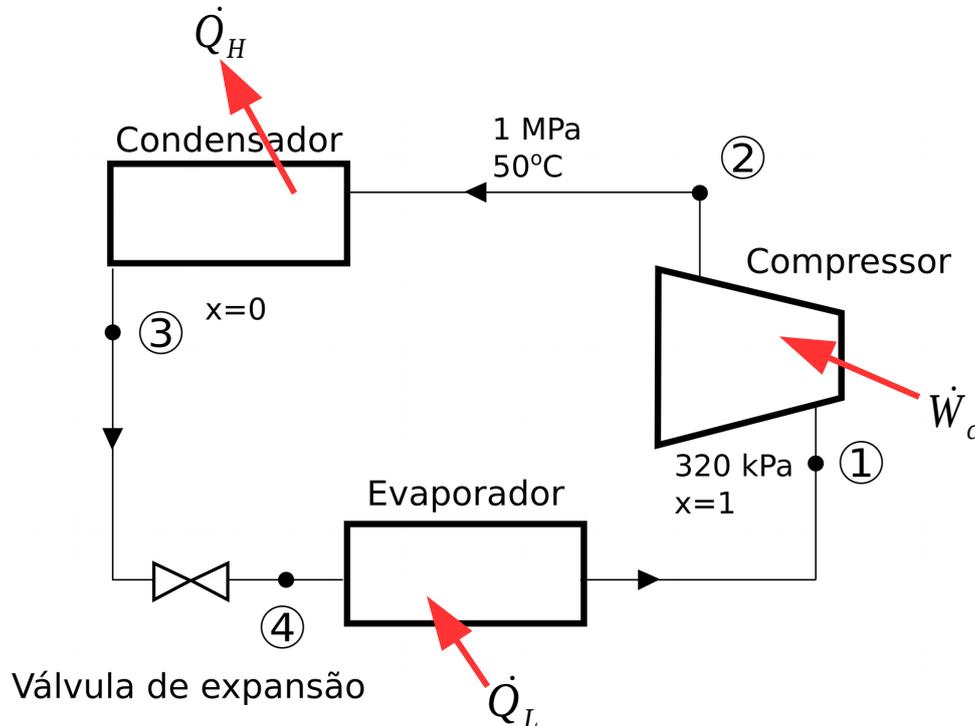
Interpolando valores de  $u_v$  na tabela B.1.2 para encontrar a energia interna correspondente a  $v_v = v_3 = v_2$ ,

$$u_3 = 2561.23 \text{ kJ kg}^{-1} + \frac{(2564.47 - 2561.23) \text{ kJ kg}^{-1}}{(0.34268 - 0.37489) \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}} \times (0.37233 - 0.37489) \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} = 2561.49 \text{ kJ kg}^{-1}.$$

Assim,  $q = 1704.96 \text{ kJ kg}^{-1}$ .

2 [30] O ciclo de refrigeração esfria um espaço por meio da compressão de R134a de 320 kPa para 1000 kPa. O fluxo de massa de R134a por meio do ciclo é de  $0.2 \text{ kg s}^{-1}$ . Demais informações do ciclo são apresentadas na figura.

- [5] Apresente na figura uma seta indicando as transferências de energia em cada dispositivo e a simbologia adequada.
- [10] Determine a potência requerida no compressor. Apresente as hipóteses simplificadoras.
- [10] Determine a capacidade de refrigeração.
- [5] Determine o coeficiente de desempenho do refrigerador.



SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

- Considerando que o compressor opera em regime permanente, que o mesmo é adiabático e que as variações de energia cinética e potencial são desprezíveis, a primeira lei torna-se

$$h_1 = h_2 + w \quad \Rightarrow \quad \dot{W} = \dot{m}(h_1 - h_2).$$

Interpolando valores de entalpia de vapor saturado a diferentes pressões na tabela B.5.1, encontra-se

$$h_1 = 398.36 \text{ kJ kg}^{-1} + \frac{(401.32 - 398.36) \text{ kJ kg}^{-1}}{(350.9 - 294.0) \text{ kPa}} \times (320.0 - 294.0) \text{ kPa} = 399.71 \text{ kJ kg}^{-1}.$$

Da tabela B.5.2, tem-se que  $h_2 = 431.24 \text{ kJ kg}^{-1}$ . Assim,

$$\dot{W} = -\dot{W}_c = -6.3 \text{ kW}.$$

- Supondo que  $P_3 = P_2 = 1 \text{ MPa}$ , interpola-se valores de entalpia de líquido saturado a diferentes pressões na tabela B.5.1 para encontrar-se

$$h_3 = 249.10 \text{ kJ kg}^{-1} + \frac{(256.54 - 249.10) \text{ kJ kg}^{-1}}{(1017.0 - 887.6) \text{ kPa}} \times (1000.0 - 887.6) \text{ kPa} = 255.56 \text{ kJ kg}^{-1}.$$

Considerando que o condensador opera em regime permanente e que as variações de energia cinética e potencial são desprezíveis, da primeira lei tem-se que

$$q + h_2 = h_3 \quad \Rightarrow \quad \dot{Q} = -\dot{Q}_H = \dot{m}(h_3 - h_2) = -35.1 \text{ kW}.$$

Aplicando-se a primeira lei para o ciclo como um todo,

$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}_c = 28.8 \text{ kW}.$$

- 

$$\beta = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_c} = 4.57.$$

Continue a solução no verso  $\Rightarrow$

**3** [25] Refrigerante R134a é comprimido adiabaticamente em um conjunto cilindro-pistão a partir do estado de vapor saturado a  $-12.5^\circ\text{C}$  até uma pressão final de 800 kPa.

- a) [10] Discuta (preferencialmente também mostre matematicamente) o que pode ocorrer com a variação da entropia neste sistema.
- b) [15] Determine o trabalho mínimo necessário por unidade de massa que deve ser fornecido ao sistema.

---

SOLUÇÃO DA QUESTÃO:

a)

$$\Delta S_{12} = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \sigma_{12} \geq 0 \quad \text{0 (adiabático)}$$

A entropia pode permanecer a mesma (processo reversível) ou aumentar (processo real).

- b) O trabalho é mínimo quando o processo é reversível, caso em que  $s_2 = s_1$ . A primeira lei para um processo adiabático fornece (por unidade de massa)

$$w_{12} = u_1 - u_2.$$

Para calcular-se  $u_1$ , toma-se a média entre os valores de energia interna do vapor saturado a  $-10^\circ\text{C}$  e  $-15^\circ\text{C}$  obtidos na tabela B.5.1:

$$u_1 = \frac{(372.27 + 369.39) \text{ kJ kg}^{-1}}{2} = 370.83 \text{ kJ kg}^{-1}.$$

Para calcular-se  $s_2 = s_1$ , toma-se a média entre os valores de entropia do vapor saturado a  $-10^\circ\text{C}$  e  $-15^\circ\text{C}$  obtidos na tabela B.5.1:

$$s_2 = \frac{(1.7319 + 1.7354) \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}}{2} = 1.73365 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}.$$

O valor de  $u_2$  pode ser obtido interpolando-se valores de energia interna de vapor superaquecido a 800 kPa na tabela B.5.2:

$$u_2 = 395.15 \text{ kJ kg}^{-1} + \frac{(403.17 - 395.15) \text{ kJ kg}^{-1}}{(1.7446 - 1.7150) \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}} \times (1.73365 - 1.7150) \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1} = 400.20 \text{ kJ kg}^{-1}.$$

O trabalho é  $w_{12} = -29.37 \text{ kJ kg}^{-1}$ .