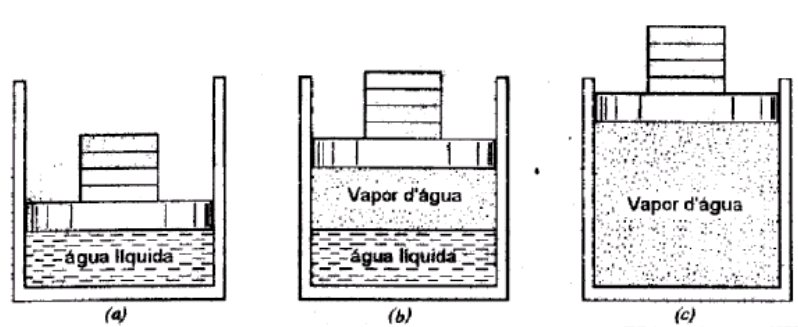
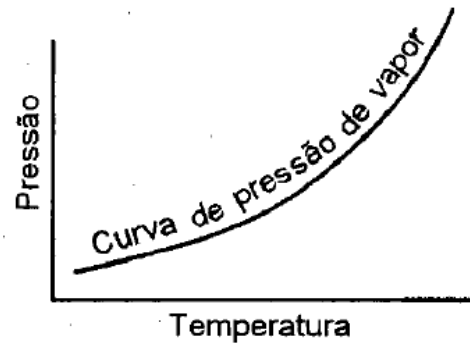


PROPRIEDADES DE UMA SUBSTÂNCIA PURA

Substância Pura: composição química invariável e homogênea



Mudança de fase líquida para vapor, à pressão constante de uma substância pura.



Curva de pressão de vapor para uma substância pura.

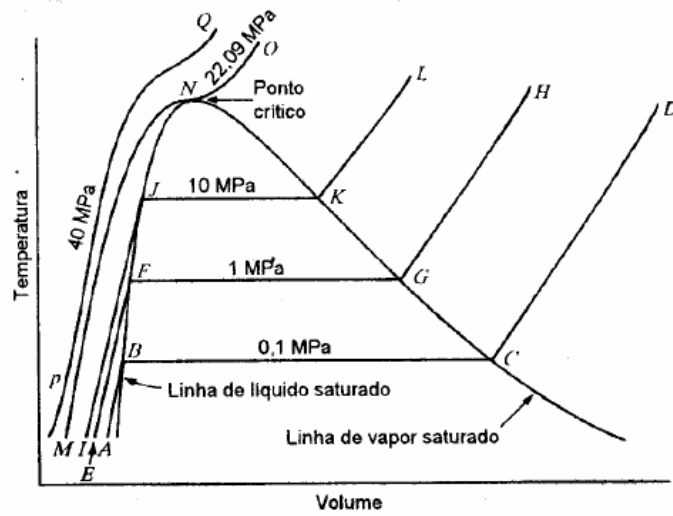


Diagrama temperatura-volume para água, mostrando as fases líquida e vapor.

Título: $x = \frac{m_v}{m_v + m_l} \quad 0 \leq x \leq 1$

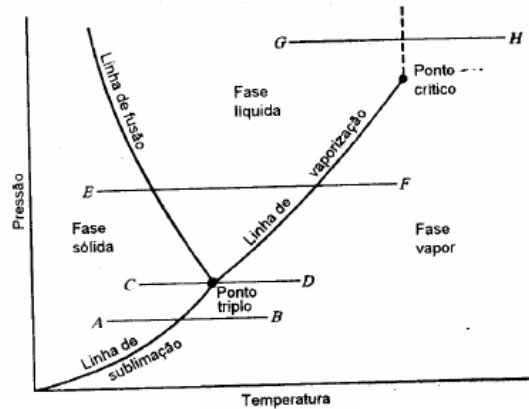
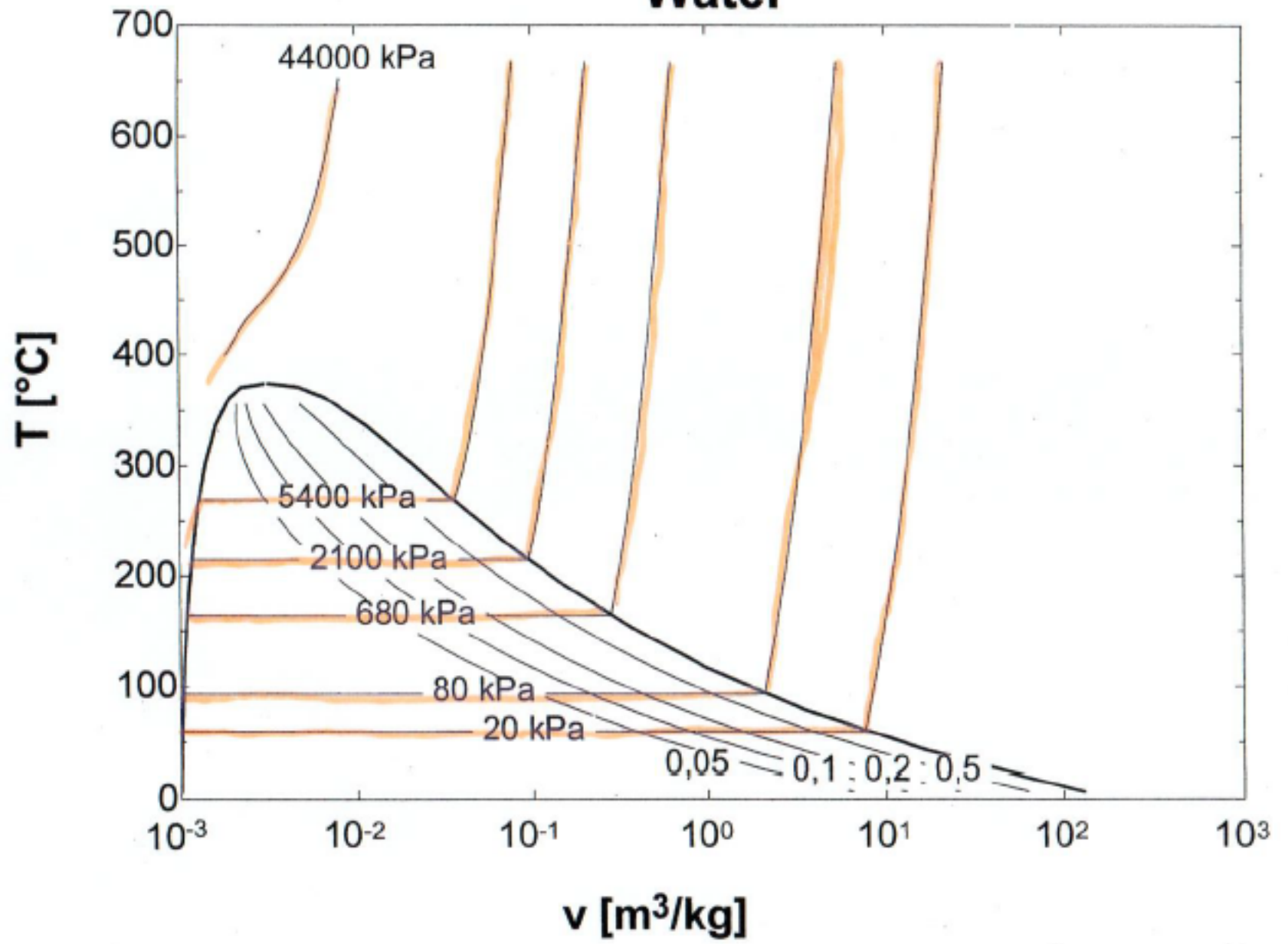
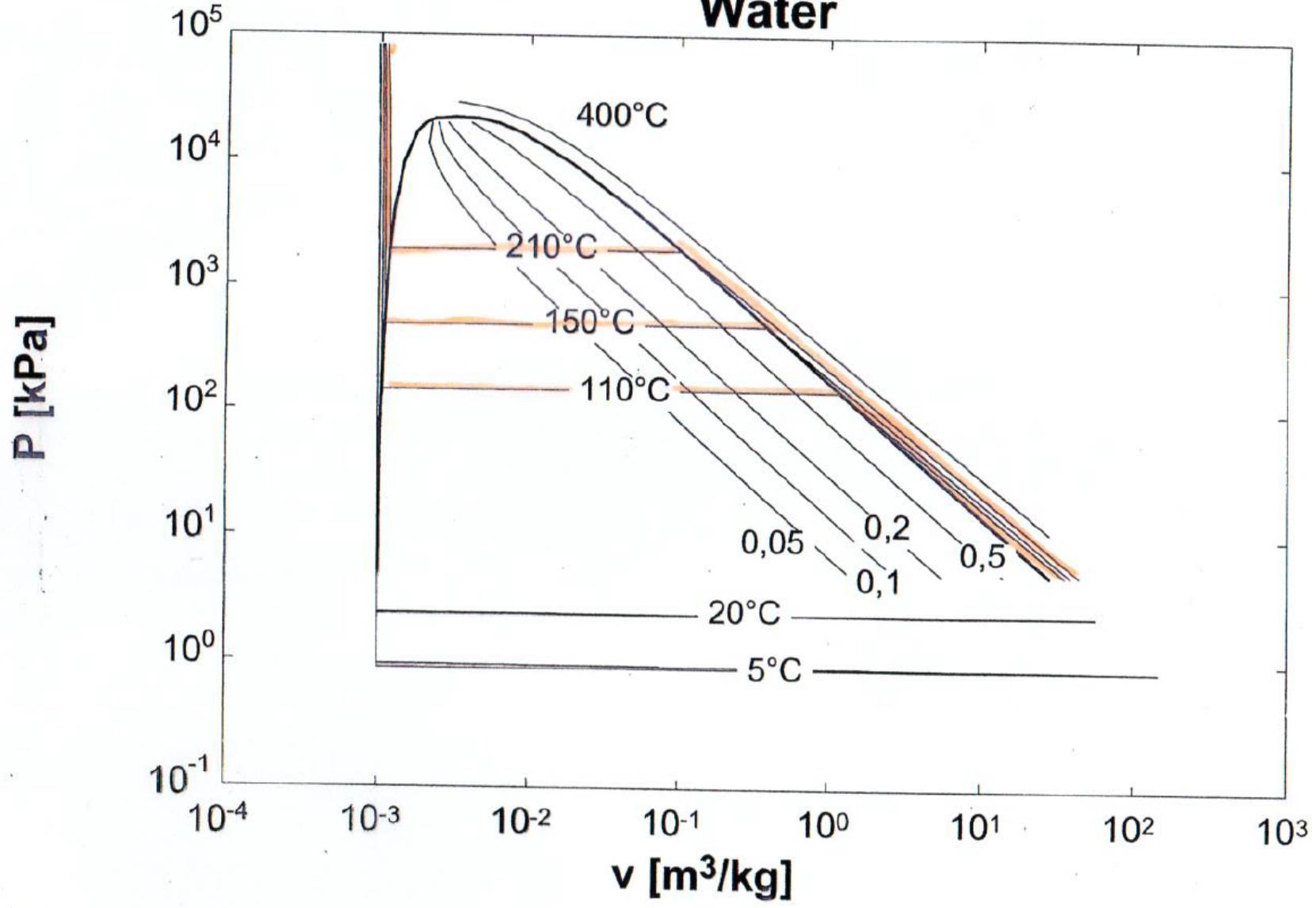


Diagrama Pressão=Temperatura para substância de comportamento semelhante ao da água.

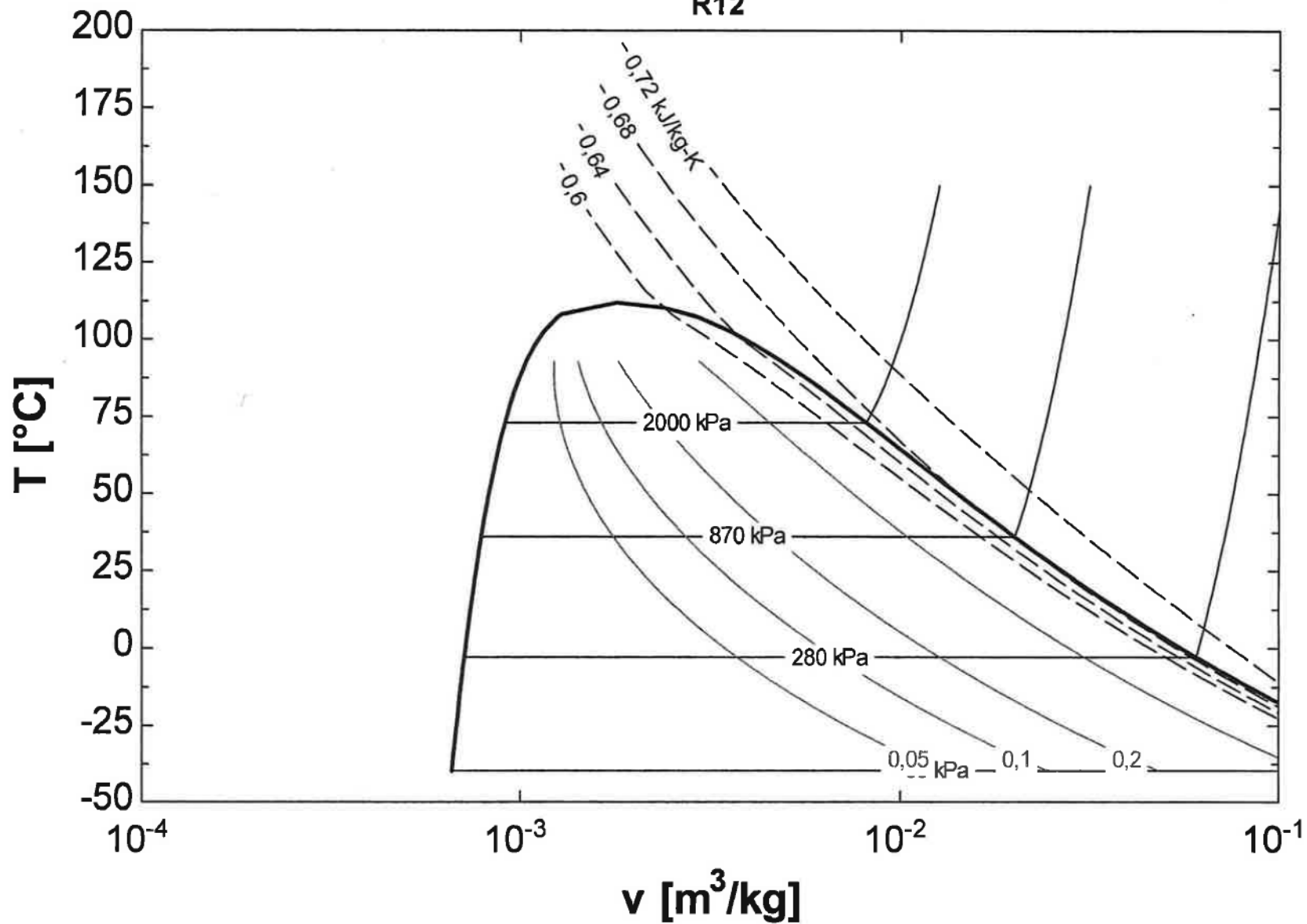
Water



Water



R12



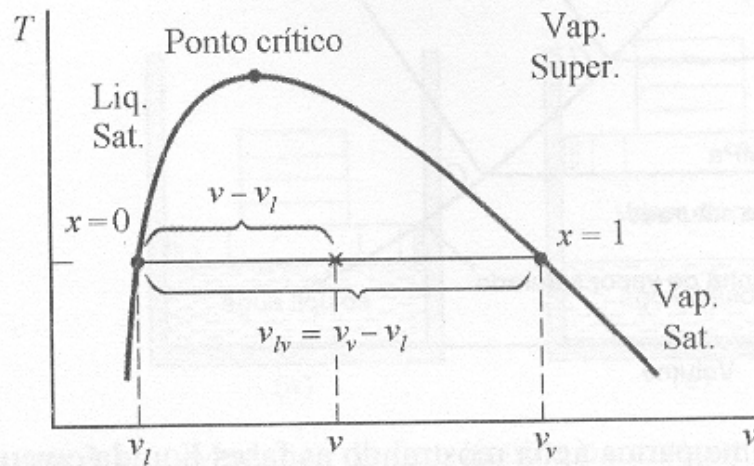


Figura 3.4 — Diagrama T - v para a região bifásica líquido - vapor.

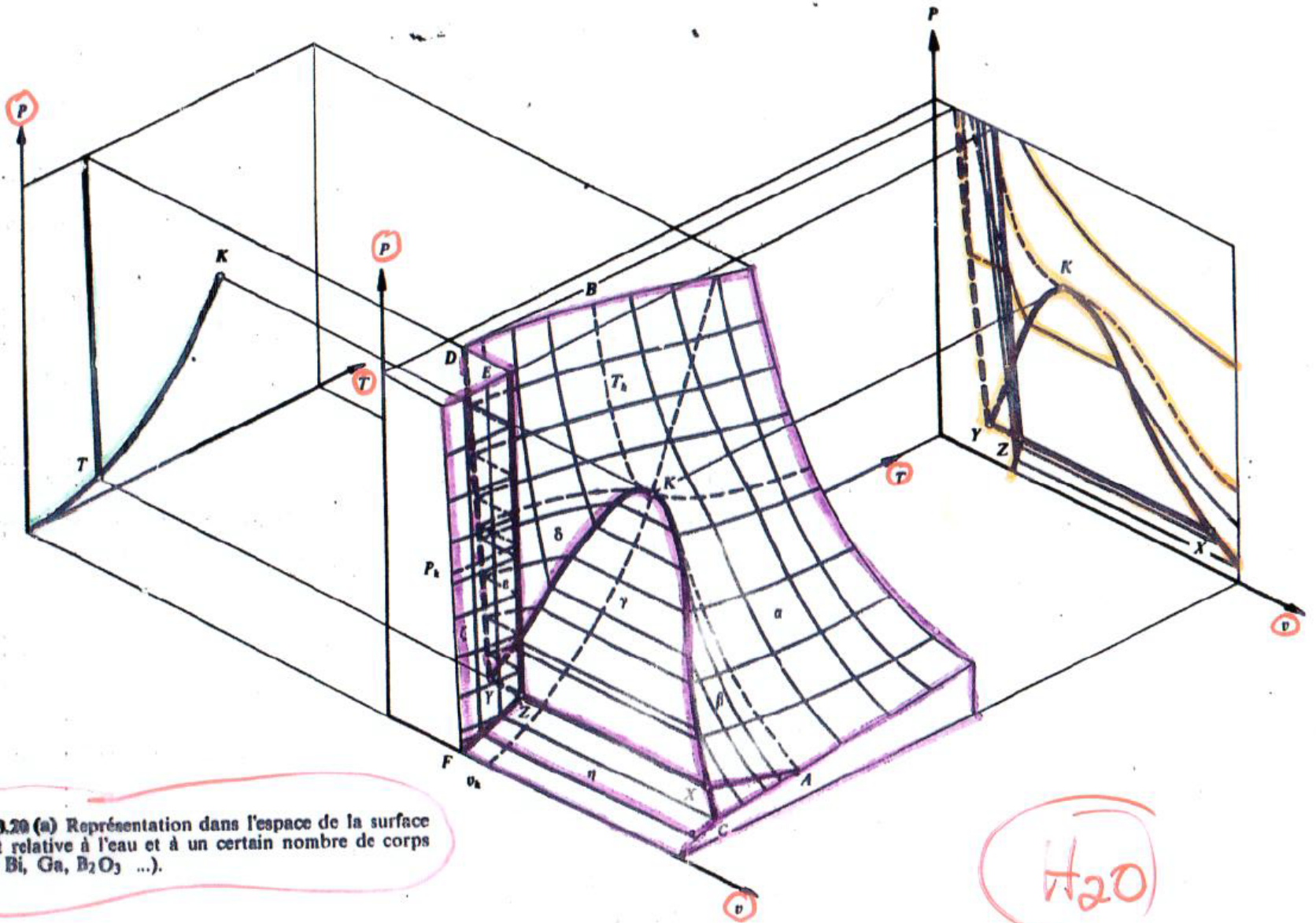


Fig. 3.20 (a) Représentation dans l'espace de la surface d'état relative à l'eau et à un certain nombre de corps (Ge, Bi, Ga, B₂O₃ ...).

H₂O

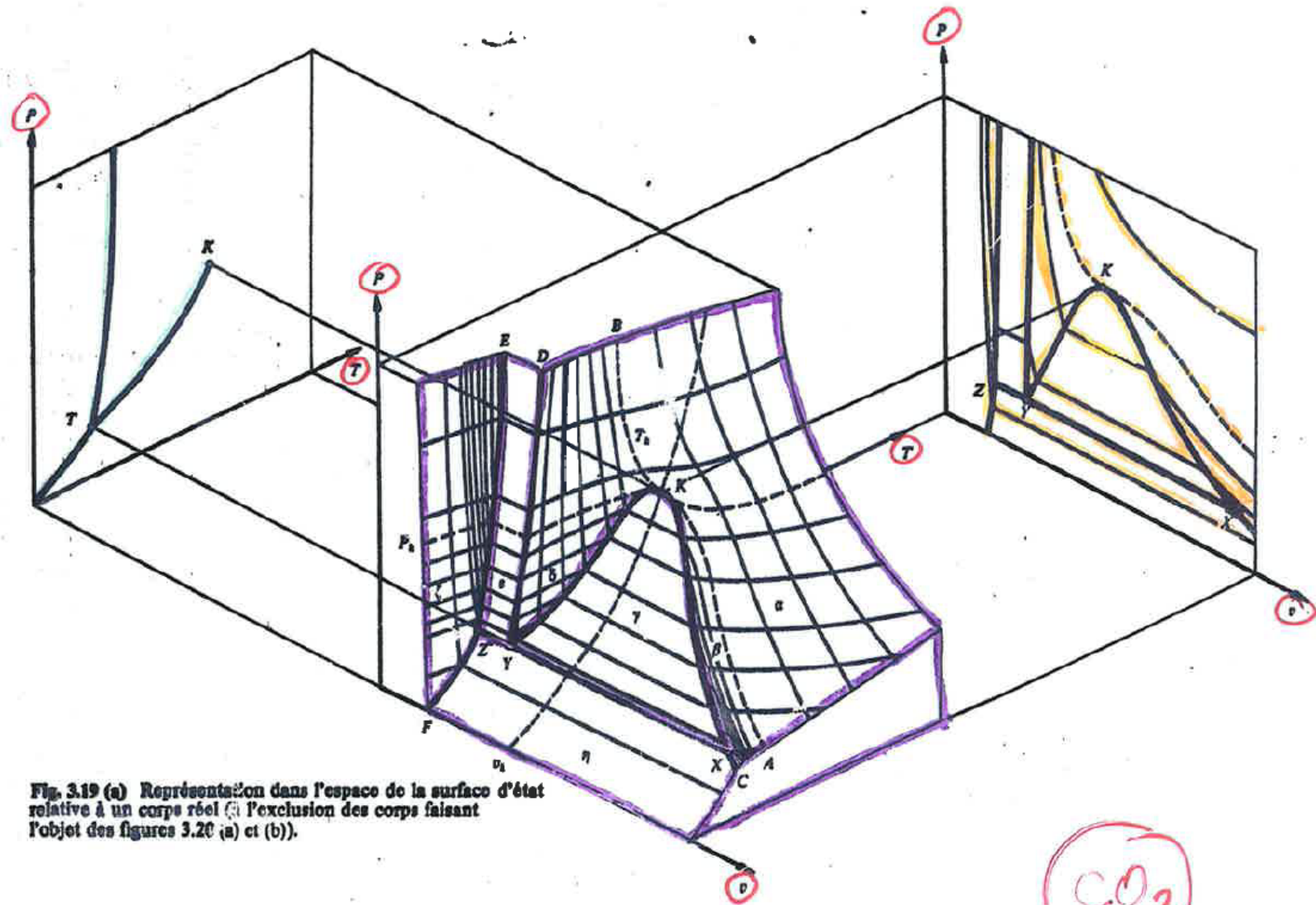
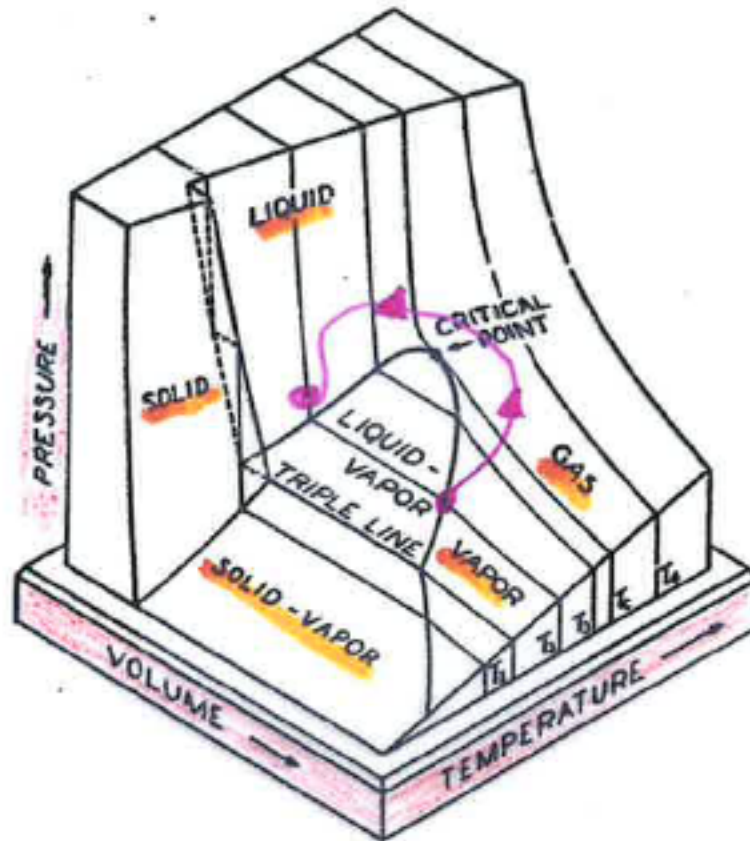
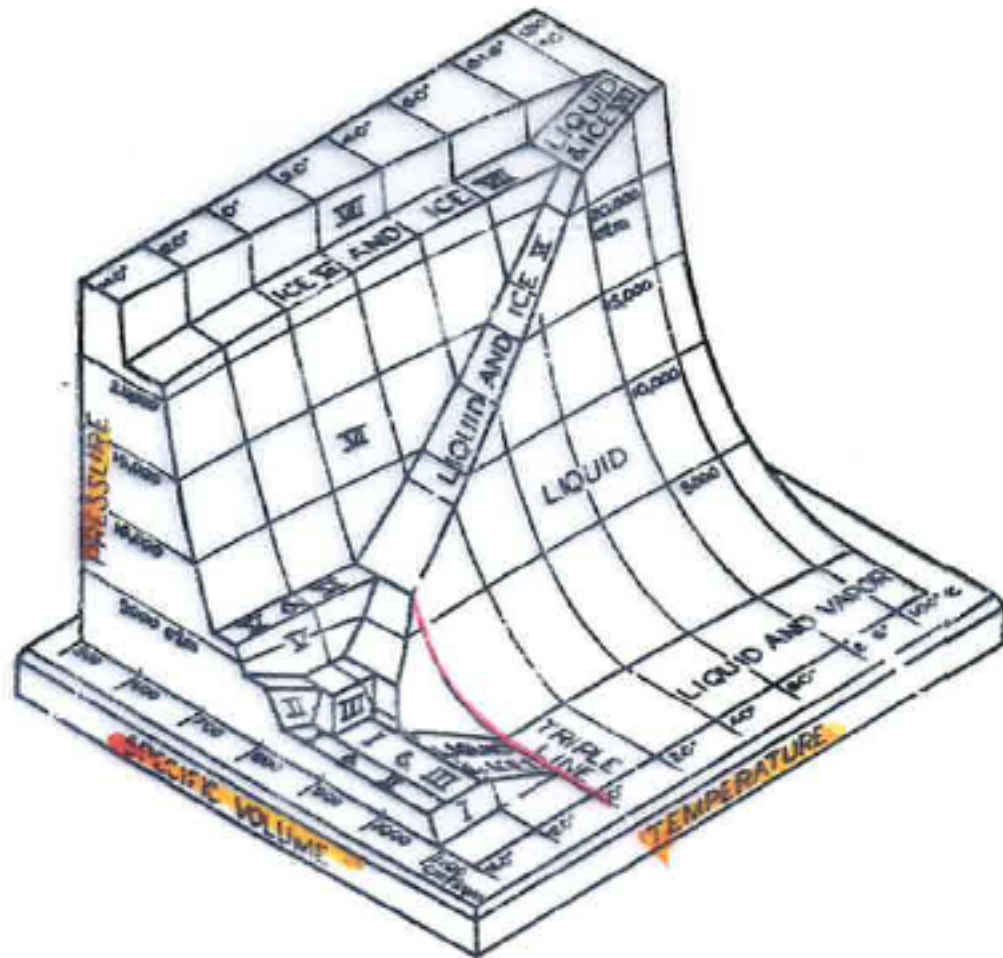


Fig. 3.19 (a) Représentation dans l'espace de la surface d'état relative à un corps réel (à l'exclusion des corps faisant l'objet des figures 3.20 (a) et (b)).

CO_2



p-v-T surface for a substance that expands on freezing.



p-v-T surface showing various forms of ice.

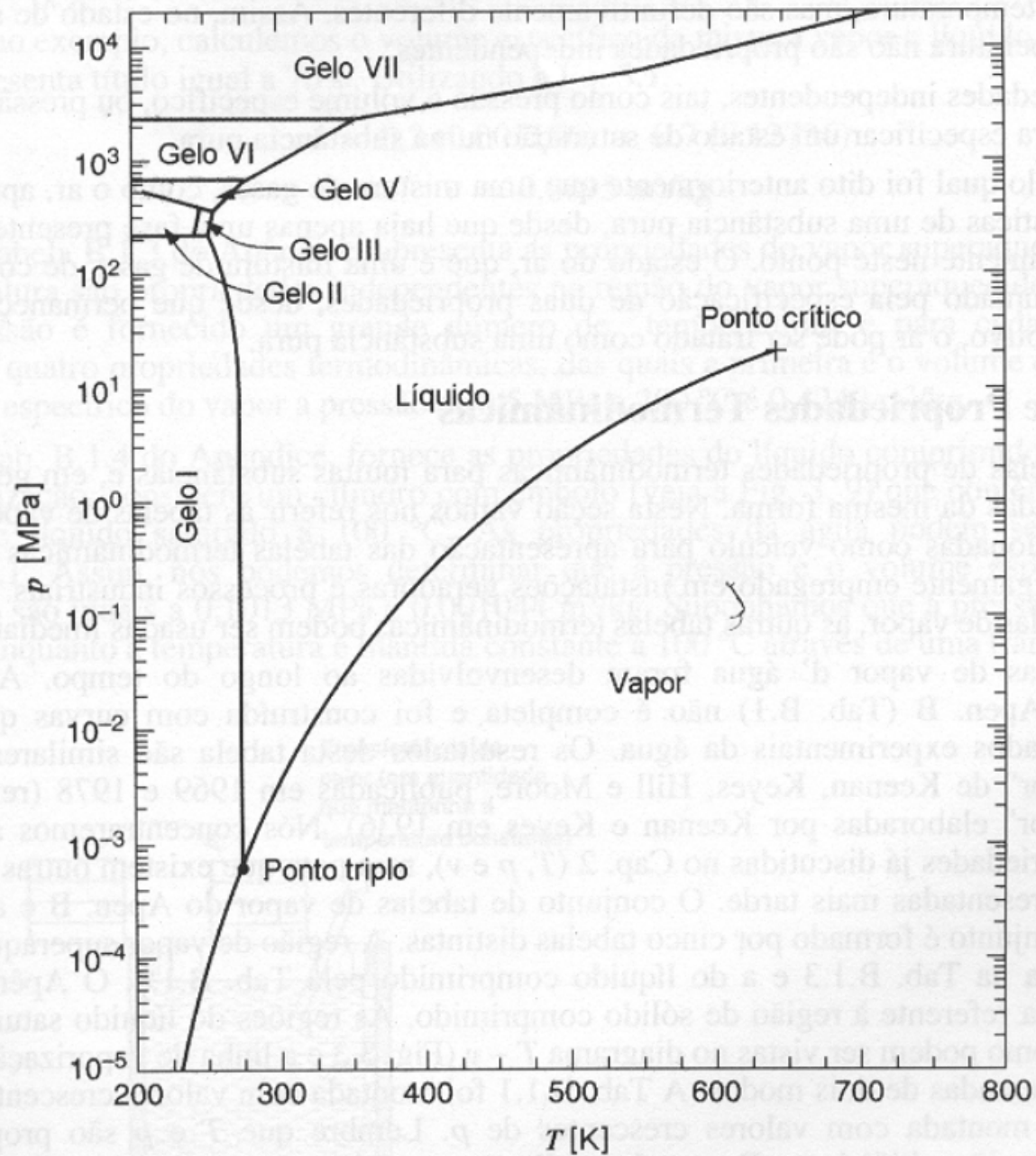
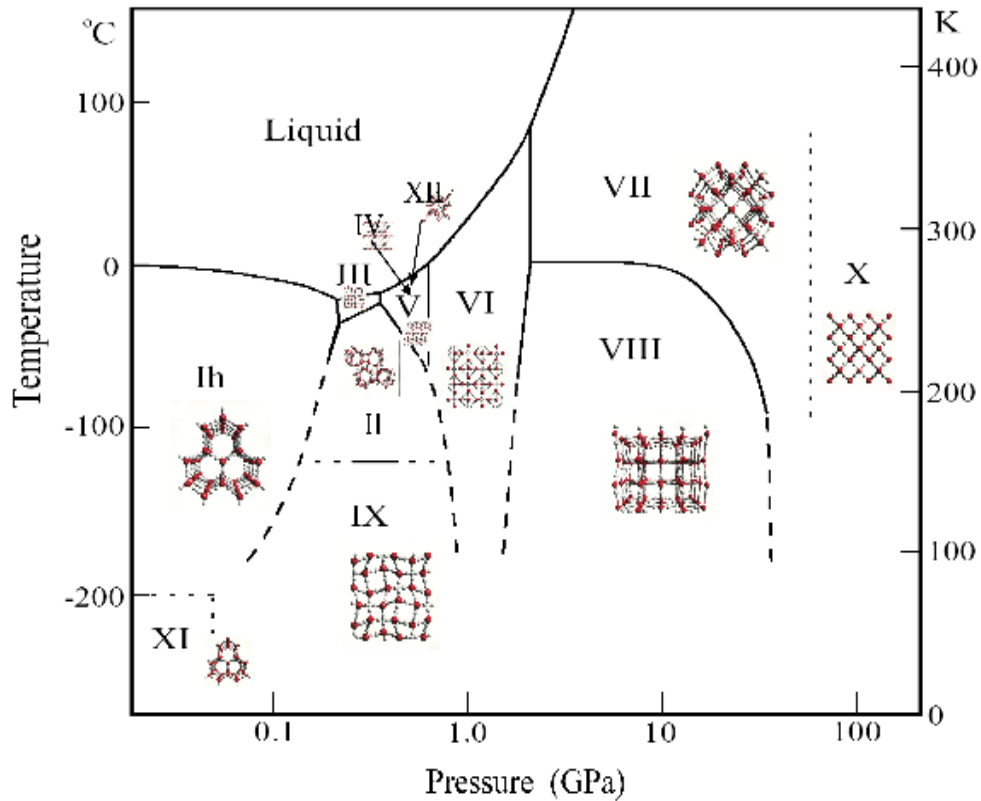
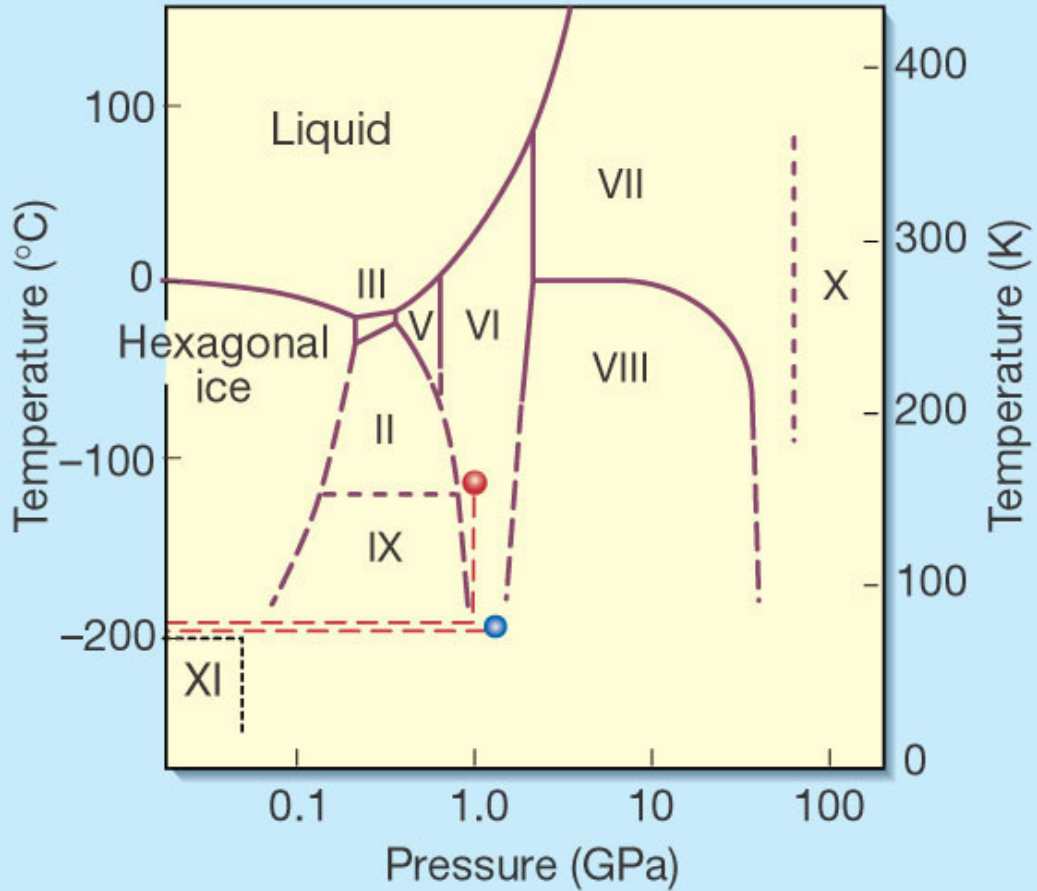


Figura 3.7 — Diagrama de fases da água.

Phase diagram of Ice



Phase diagram of Ice



Dados de alguns pontos críticos.

	Temperatura crítica °C	Pressão crítica MPa	Volume crítico m ³ /kg
Água	374,14	22,09	0,003155
Dióxido de carbono	31,05	7,39	0,002143
Oxigênio	-118,35	5,08	0,002 438
Hidrogênio	-239,85	1,30	0,032192

Dados de alguns pontos triplos (sólido-líquido-vapor)

	Temperatura, °C	Pressão kPa
Hidrogênio (normal)	-259	7,194
Oxigênio	-219	0,15
Nitrogênio	-210	12,53
Mercúrio	-39	0,000 000 13
Água	-0,01	0,611 3
Zinco	419	5,066
Prata	961	0,01
Cobre	1083	0,000 079

Pontos triplos:

- 2S + 1L
- 2S + 1V
- 3S
- 1S + 1L + 1V

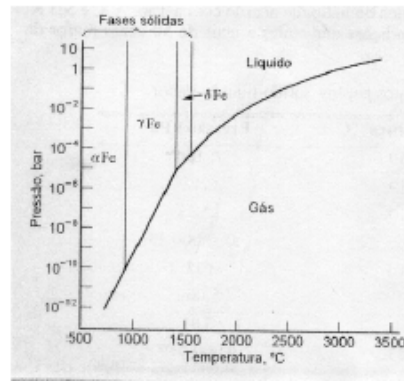


Diagrama Pressão_Temperatura estimado para o ferro.

Equação de Estado – vapor SSC

$$p\bar{v} = \bar{R}T$$

$$\bar{R} = 8,3145 \frac{\text{kN.m}}{\text{kmol.K}}$$

$$pv = RT \quad c/R = \frac{\bar{R}}{M}$$

$$f(P, v, T) = 0$$

Boyle-Mariotte (1664-1676) $pv = \text{cte}$ ($T = \text{cte.}$)

Charles-Gay Lussac (1802) $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2}$ $p = \text{cte}$

Gás Perfeito: $T \geq 2T_c$, $p < 4p_c$

Tabelas:

$$v = xv_v + (1-x)v_l$$

$$v = v_l + x(v_v - v_l)$$

EQUAÇÕES DE ESTADO

van der Waals (1873)

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT$$

$$a = \frac{27R^2T_{cr}^2}{64p_{cr}} \quad e \quad b = \frac{RT_{cr}}{8p_{cr}}$$

Beattie-Bridgeman (1928)

$$p = \frac{\bar{R}T}{\bar{v}^2} \left(1 - \frac{c}{\bar{v}T^3}\right) (\bar{v} + B) - \frac{A}{\bar{v}^2}$$

$$A = A_o \left(1 - \frac{a}{\bar{v}}\right) \quad e \quad B = B_o \left(1 - \frac{b}{\bar{v}}\right)$$

Benedict-Webb-Rubin (1940)

$$p = \frac{\bar{R}T}{\bar{v}} + \left(B_0 \bar{R}T - A_0 - \frac{C_0}{T^2} \right) \frac{1}{\bar{v}^2} +$$
$$+ \frac{b\bar{R}T - a}{\bar{v}^3} + \frac{aa}{\bar{v}^6} +$$
$$+ \frac{c}{\bar{v}^3 T^2} \left(1 + \frac{\gamma}{\bar{v}^2} \right) e^{-\gamma/\bar{v}^2}$$

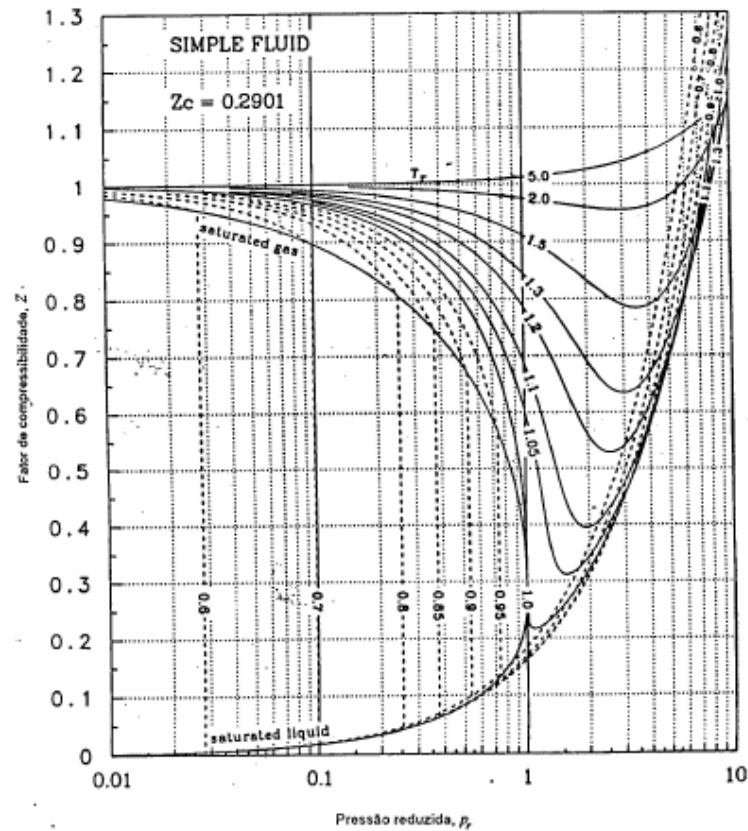
Strobridge (1962) – 16 ctes

Virial

$$p = \frac{RT}{v} + \frac{a(T)}{v^2} + \frac{b(T)}{v^3} + \frac{c(T)}{v^4} + \frac{d(T)}{v^5} + \dots$$

Coeficientes viriais

Fator de compressibilidade



$P_r \ll 1: Z \rightarrow 1$

$T_r > 2: Z \rightarrow 1$ (exceto para $P_r \gg 1$)

Desvio maior próximo ao ponto crítico

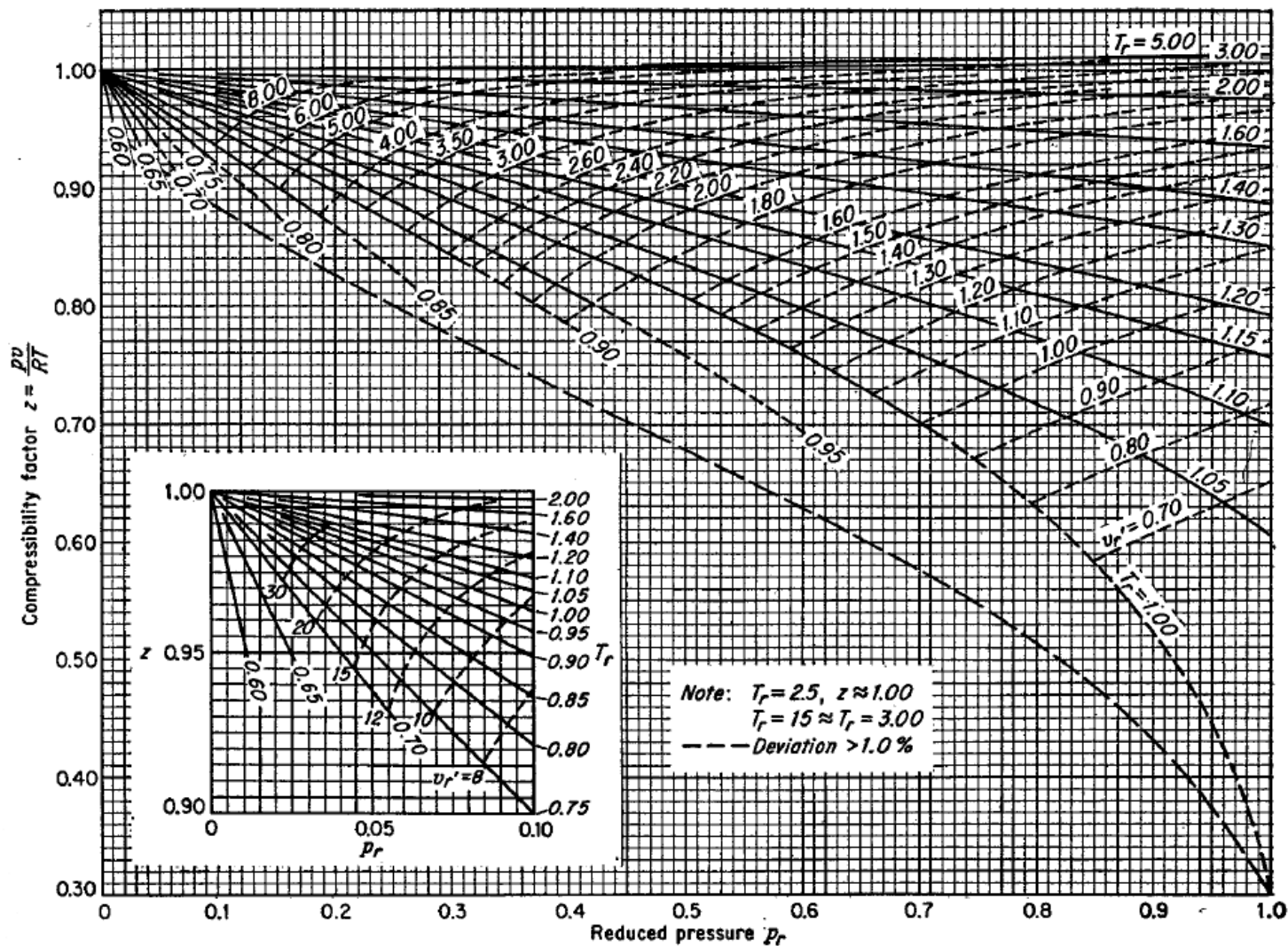


FIG. B-8. Nelson-Obert generalized compressibility chart (low-pressure region).

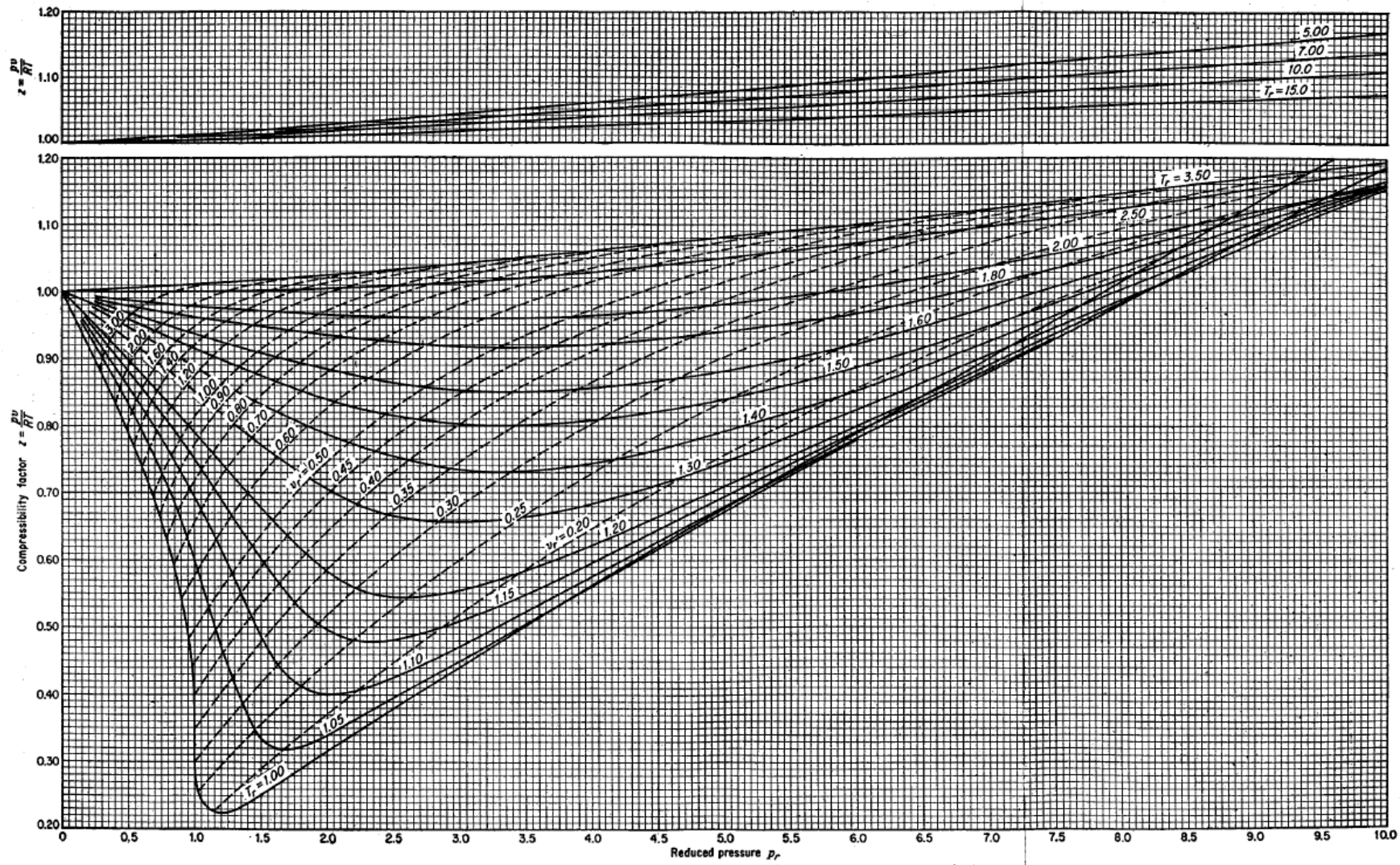
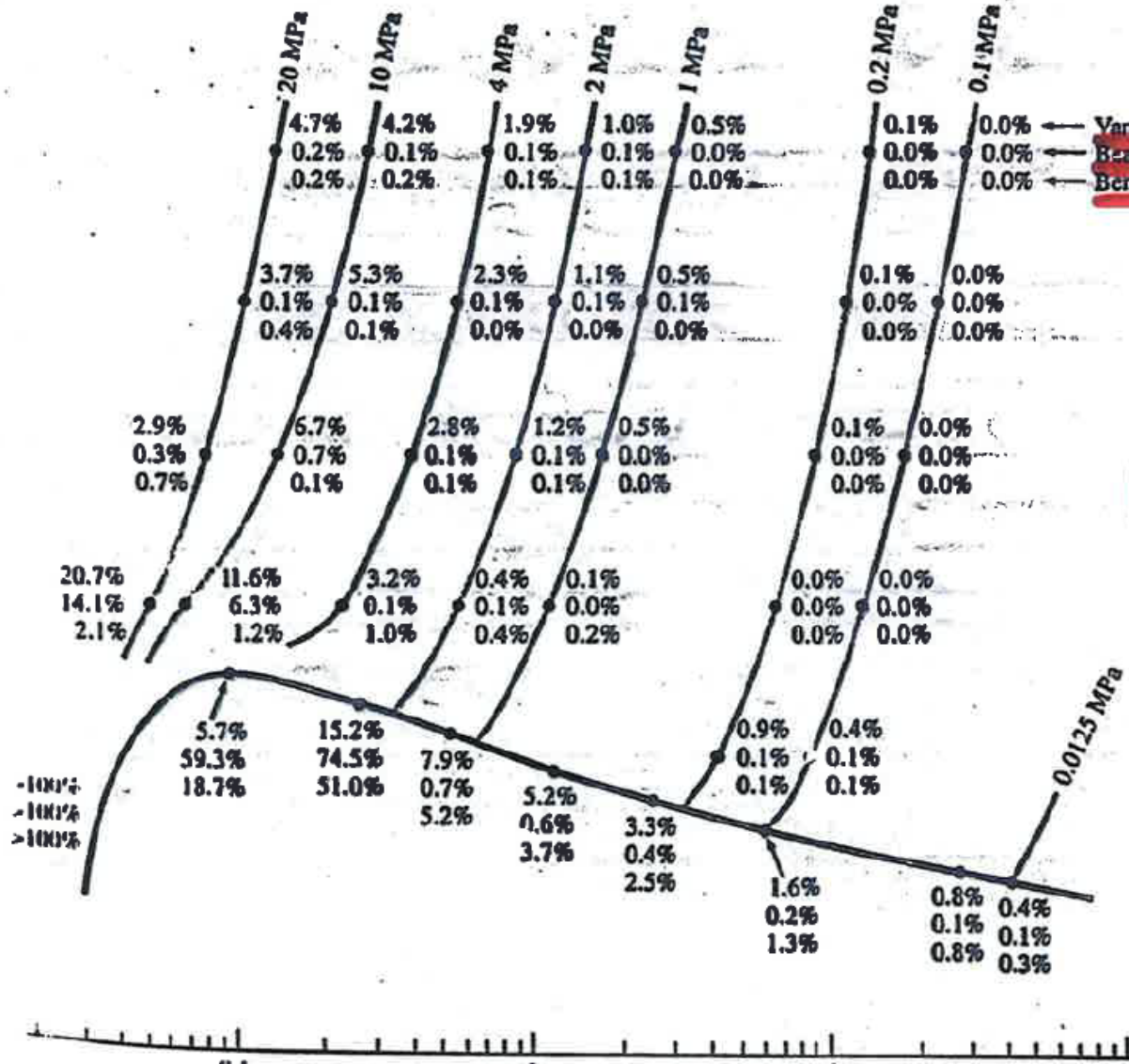


FIG. B-9. Nelson-Obert generalized compressibility chart (medium-pressure region).

T. K



← Van der Waals (top)
 ← Beattie-Bridgeman (middle)
 ← Benedict-Webb-Rubin (bottom)

N₂

$$\% \text{ error} = \left(\frac{V_{\text{tabelen}} - V_{\text{equation}}}{V_{\text{tabelen}}} \right) \cdot 100$$

$\bar{v}, \text{ m}^3/\text{kmol}$

EXERCÍCIOS

1ª Lista de Exercícios

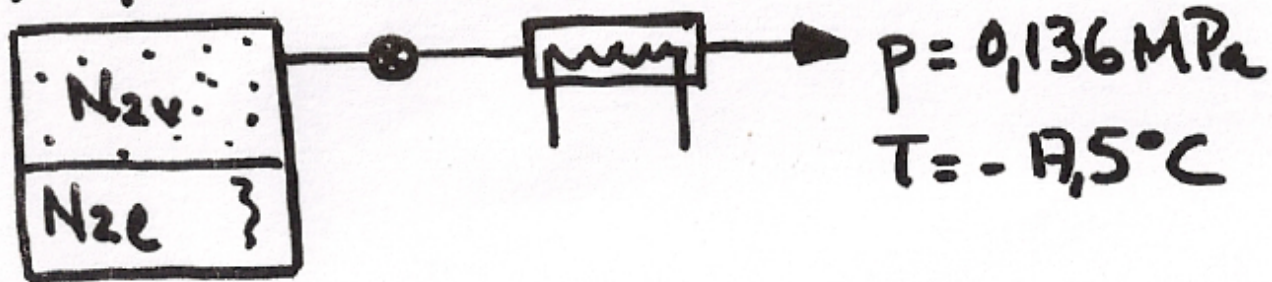
- 1) Vapor de água a 3 MPa e 300°C encontra-se em um cilindro que é resfriado a volume constante até 200°C, sendo então comprimido isotermicamente até 3 MPa. Pede-se:
a) represente os três estados em diagramas p-v e T-v; b) calcule v_1, v_2, v_3 e x_2 .
- 2) Um kg de ar percorre um ciclo termodinâmico composto por três processos:
 - 1 → 2: $v = \text{cte}$ ($T_1 = 300 \text{ K}$ e $p_1 = 1 \text{ atm}$);
 - 2 → 3: expansão isotérmica ($p_2 = 2 \text{ atm}$);
 - 3 → 1: compressão isobárica.

Pede-se: a) represente o ciclo em um diagrama p-v; b) determine T_2 ; c) determine v_3 .

- 3) Considere 1kg de água no ponto triplo. O volume da fase líquida é igual ao volume da fase sólida e o volume da fase vapor é igual a 10^4 vezes o da fase líquida. Determine a massa de água em cada fase.
- 4) Considere dois tanques, A e B, ligados por uma tubulação e válvula. O tanque A tem um volume de $2,7 \text{ dm}^3$ e contém R-12 a 27°C, sendo 10% em volume na fase líquida e 90% na fase vapor. O tanque B está vazio. A válvula é aberta e, após um certo intervalo de tempo, os tanques ficam à mesma pressão, de 0,2 MPa. Durante esse processo há transferência de calor para manter a temperatura do R-12 a 27°C. Determine o volume do tanque B.
- 5) Considere uma montagem composta por um tanque com volume de $0,4 \text{ m}^3$ conectado através de uma tubulação com válvula a um cilindro com um pistão que pode se deslocar sem atrito e que requer uma pressão de 150 kPa para ser deslocado.

EXERCÍCIOS

- ① Um recipiente com área seccional de 260 cm^2 contém N_2 líquido à pressão de $0,190 \text{ MPa}$. Como resultado de uma transferência de calor para o nitrogênio líquido, parte deste se evapora e, em uma hora, o nível desce $2,5 \text{ cm}$. O vapor que deixa o recipiente passa através de um aquecedor, saindo a $0,136 \text{ MPa}$ e $-17,5^\circ\text{C}$. Calcule a descarga, em m^3/h e comparando os resultados obtidos usando as tabelas para N_2 e quando se usa a hipótese de gás perfeito.



② Um cilindro equipado com um êmbolo sem atrito contém água. A massa de água é $0,5 \text{ kg}$ e a área do êmbolo é $0,2 \text{ m}^2$. No estado inicial a água está a 110°C , $x = 0,9$ e a mola apenas toca no êmbolo, sem exercer força sobre o mesmo. Transfere-se calor para a água e o êmbolo começa a subir. Durante este processo a força da mola é proporcional à distância percorrida, sendo de 9800 N/m . Calcule a pressão no cilindro quando $T = 160^\circ\text{C}$.

