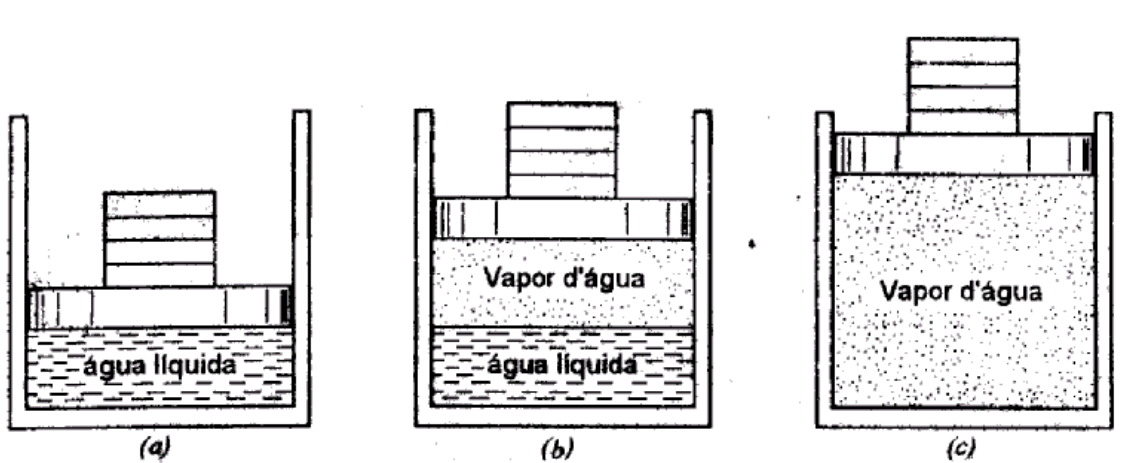
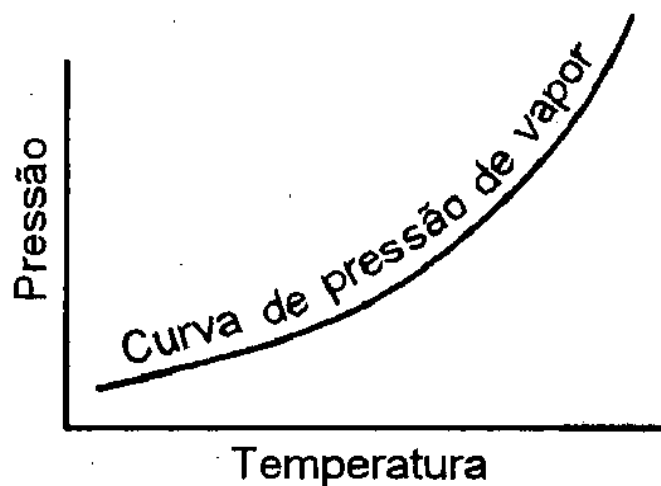


# PROPRIEDADES DE UMA SUBSTÂNCIA PURA

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.

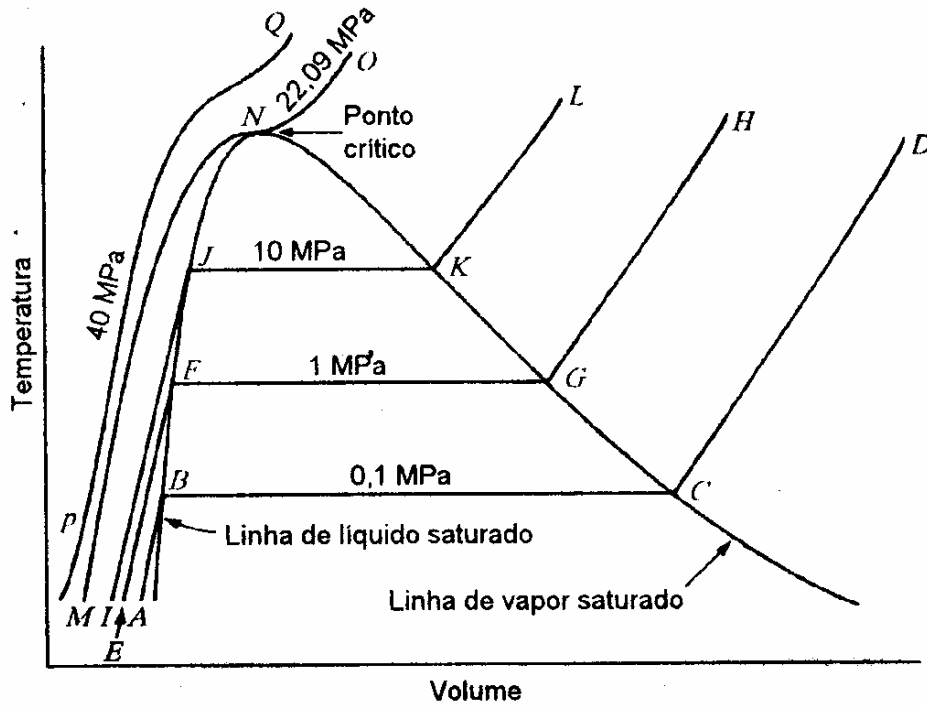


Diagrama temperatura-volume para água, mostrando as fases líquida e vapor.

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

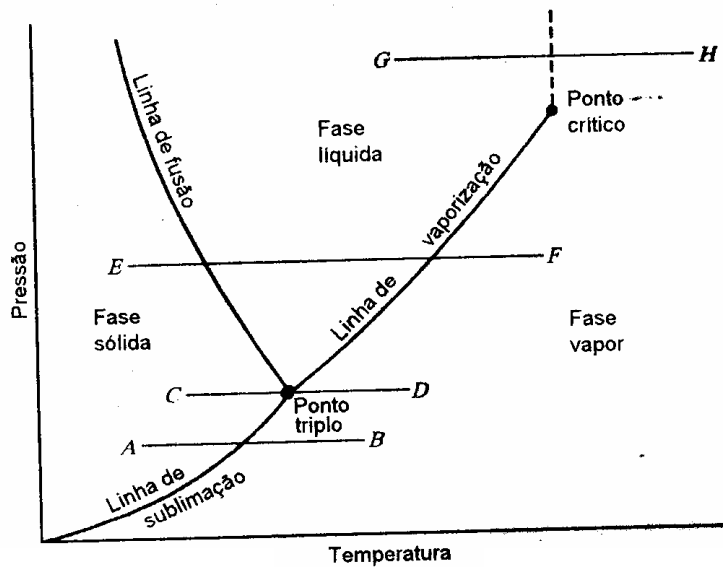


Diagrama Pressão=Temperatura para substância de comportamento semelhante ao da água.

## Dados de alguns pontos críticos.

	Temperatura crítica °C	Pressão crítica MPa	Volume crítico m <sup>3</sup> /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
Mercurio	-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

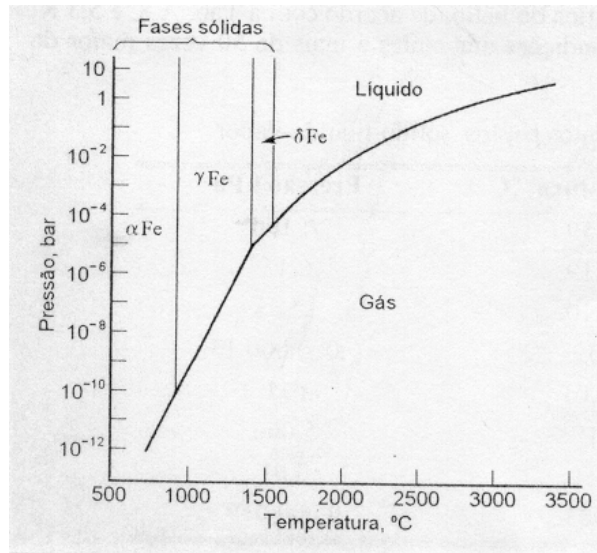


Diagrama Pressão\_Temperatura estimado para o ferro.

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:  $T^3 \geq 2T_c$ ,  $p < 4p_c$

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)

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

## Strobridge (1962) – 16 ctes

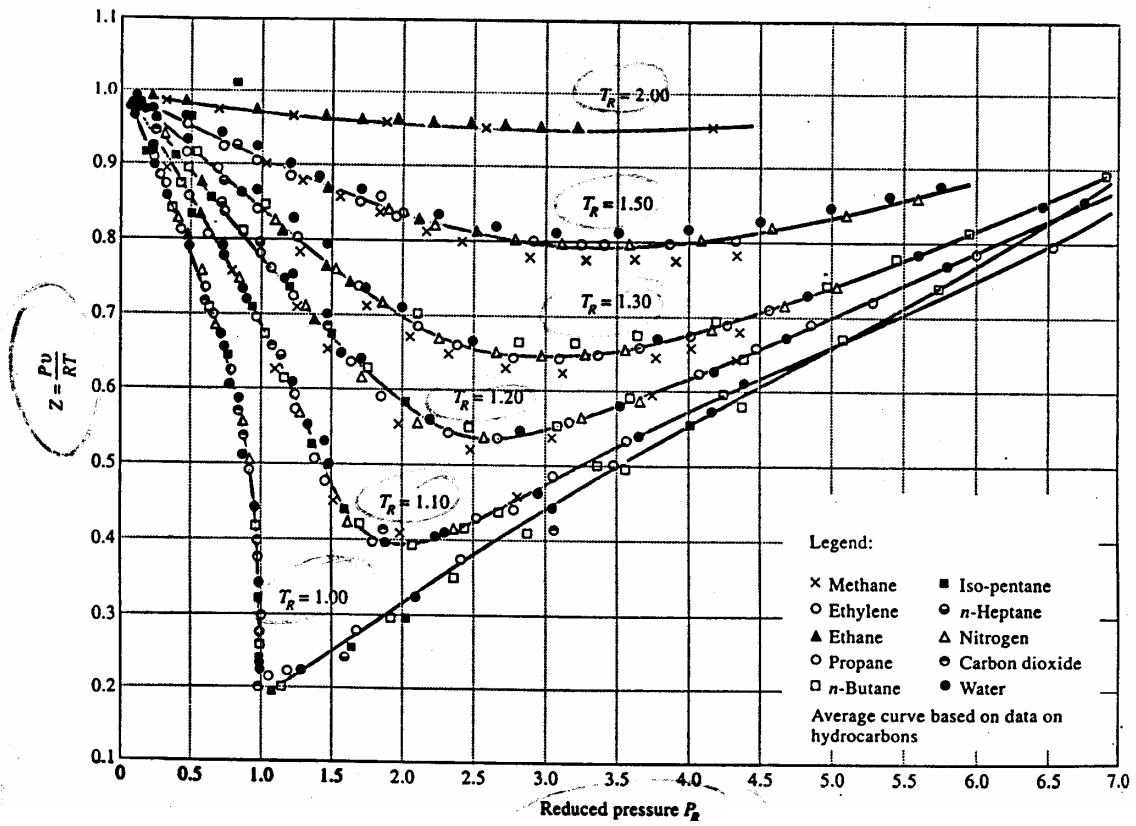
### Virial

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

Coeficientes viriais



# Diagrama de compressibilidade

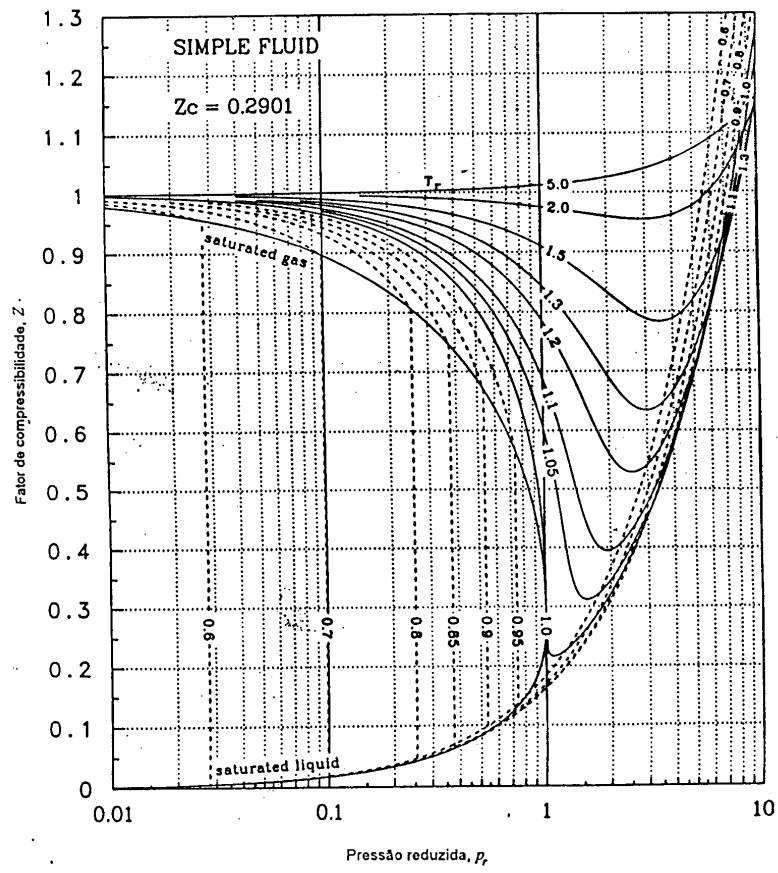


$Z \rightarrow 1$  quando  $p \rightarrow 0$

$Z < 1$ :  $T \searrow$   
 Força intermolecular  $\nearrow$   
 $\rho_r > \rho_i$

$Z > 1$ :  $p \nearrow$   
 Força intermolecular  $\nearrow$  repulsão  
 $\rho_r < \rho_i$

# 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