



Termodinâmica e Estrutura da Matéria

Aula 4 – Propriedades das substâncias

Carlos A. Santos Silva

Professor Associado Convidado

Cátedra WS – Energia

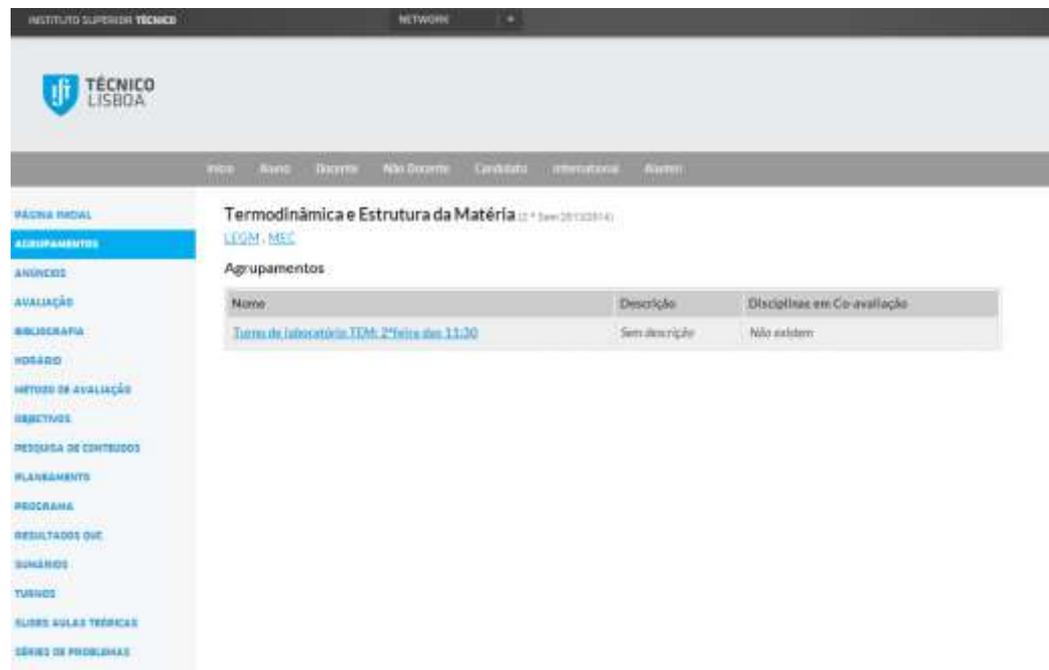
Departamento de Física

carlos.santos.silva@tecnico.ulisboa.pt



Avisos

- 1ª Teste: **15 de Abril** (ainda a confirmar pelo GOP)
- Inscrições nos laboratórios: **A partir de Segunda 10 de Março**
 - FENIX
 - Página da Cadeira (Agrupamentos)



The screenshot shows the FENIX system interface for the course 'Termodinâmica e Estrutura da Matéria'. The page includes a navigation menu on the left with options like 'PÁGINA INICIAL', 'AGRUPAMENTOS', 'ANÚNCIOS', 'AVALIAÇÃO', 'BIBLIOGRAFIA', 'HISTÓRICO', 'MÉTODOS DE AVALIAÇÃO', 'BANCINHAS', 'PESQUISA DE CONTEÚDOS', 'PLANEJAMENTO', 'PROGRAMA', 'RESULTADOS QUE', 'SOLUÇÕES', 'TÍTULOS', 'SUAS AULAS TEÓRICAS', and 'SÉRIE DE PROBLEMAS'. The main content area displays the course title 'Termodinâmica e Estrutura da Matéria' and a table of groupings (Agrupamentos).

Nome	Descrição	Disciplinas em Co-avaliação
Turma de laboratório TIM 2 feita das 11:00	Sem descrição	Não existem

Sumário

- Substâncias puras
- Mudanças de fase de substâncias puras
- Calor latente
- Diagramas de mudança de fase
- Lei dos gases ideais
- Lei de van der Waals para gases reais

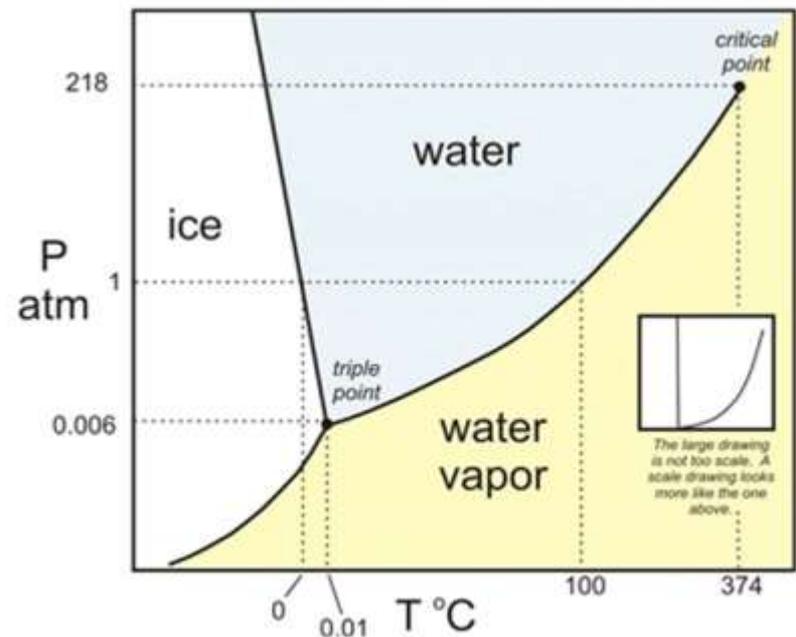
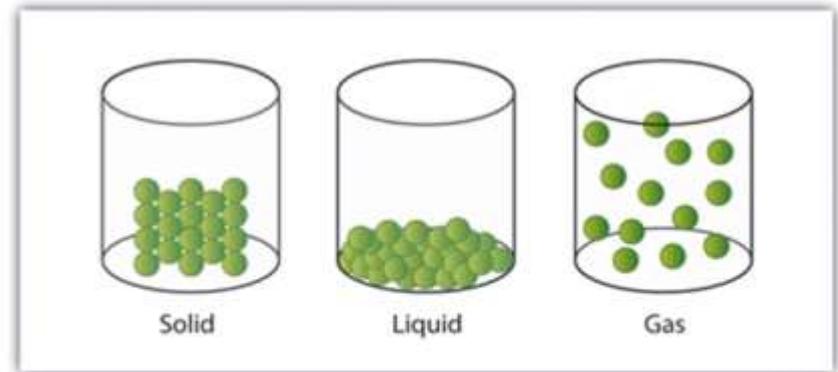
SUBSTÂNCIAS PURAS

Definição

- Uma substância pura é uma substância que têm uma composição química definida:
 - Hélio, Oxigénio, Água, Dióxido de Carbono, Ar
 - Uma substância pura pode ser uma mistura homogénea de várias substâncias → Ar
 - Uma mistura de dois estados /fases da mesma substância pura ainda é uma substância pura → Gelo e água líquida

Fases da matéria

- Fase sólida
 - Volume e forma definidos
- Fase líquida
 - Volume definido
 - Forma do recipiente
- Fase gasosa
 - Volume e forma do recipiente



MUDANÇAS DE FASE

Definição

- Transformação de uma fase da matéria para outra
 - A energia interna muda, apesar da temperatura se manter

	Sólido	Líquido	Gás	Plasma
Sólido	Transformação Sólido-Sólido	Fusão	Sublimação	N/A
Líquido	Solidificação	N/A	<i>Ebulição</i> <i>Evaporação</i>	N/A
Gás	Deposição	<i>Condensação</i>	N/A	Ionização
Plasma	N/A	N/A	Recombinação Deionização	N/A

Fase líquida

- Líquido (compressível)
 - Estado da matéria onde o fluído está longe de se evaporar
 - à $T=20^{\circ}\text{C}$ e $P=1\text{ atm}$, a água é um líquido
- Líquido saturado
 - Estado da matéria onde qualquer pequena adição de calor iniciará o processo de evaporação
 - À $T=100^{\circ}\text{C}$ e $P=1\text{ atm}$, a água é um líquido saturado

Fase gasosa

- Vapor saturado
 - Estado da matéria onde qualquer pequena perda de calor iniciará o processo de condensação
 - à $T=100^{\circ}\text{C}$ e $P=1\text{ atm}$, o vapor de água está saturado
- Vapor sobreaquecido
 - Estado da matéria onde o vapor está longe de ser condensado
 - À $T=300^{\circ}\text{C}$ e $P=1\text{ atm}$, o vapor de água está sobreaquecido

Saturação

- **T_{sat}** : Temperatura de saturação
 - Temperatura para a qual uma substância inicia a evaporação para uma determinada pressão
- **P_{sat}** : Pressão de saturação
 - Pressão para a qual uma substância inicia a evaporação para uma determinada temperatura

Estados Particulares

- Ponto Triplo (T_p)
 - Estado (temperatura, pressão) nas quais os três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso) coexistem em equilíbrio termodinâmico
 - Água: $T=273,16\text{ K}$ ($0,01\text{ °C}$) / $P= 611,73\text{ Pa}$ (cerca de $0,006\text{ bar}$)
- Ponto crítico (P_r)
 - Estado (temperatura, pressão) acima da qual não se pode mais diferenciar as fases da matéria

Mistura líquido-vapor (vapor húmido)

- Durante a vaporização, os dois estados coexistem na substância
- A proporção entre as fases líquida e sólida é dada pelo título (*quality*) x $x = \frac{m_{vapor}}{m_{total}}$ $m_{total} = m_{líquido} + m_{vapor}$
- Para qualquer propriedade y no estado de vapor húmido, podemos assumir que em média

$$y = y_{ls} + x \times y_{vs} \begin{cases} y_{ls} & \text{líquido saturad} \\ y_{vs} & \text{vapor saturado} \end{cases}$$

CALOR LATENTE

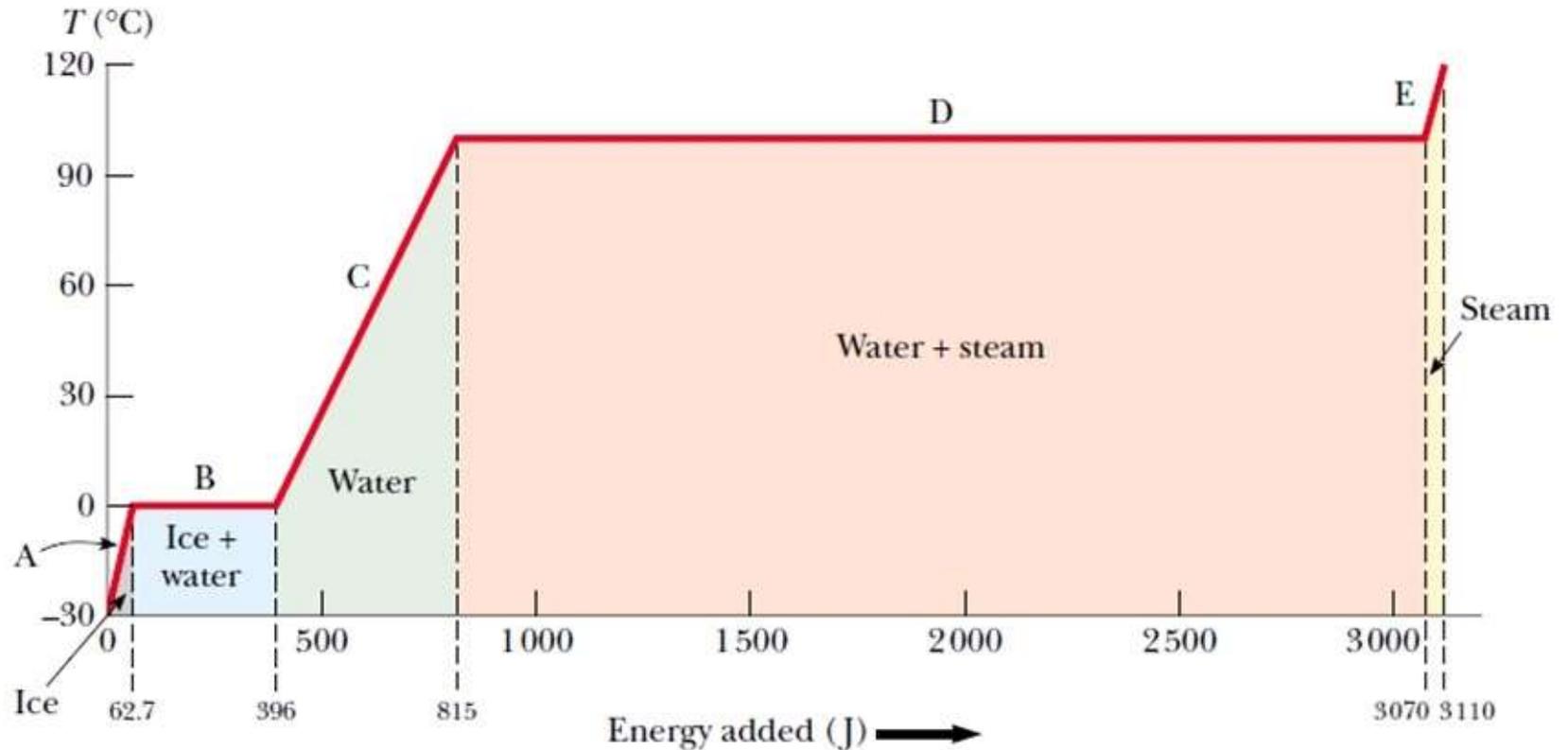
Definição

- Quantidade de energia necessária para realizar a mudança de fase de uma determinada substância

$$L = \frac{Q}{m} \left[\frac{J}{kg} \right]$$

- Calor latente de fusão (L_f)
 - Água: $L_f = 3,33 \times 10^5 \text{ J/kg}$
- Calor latente de vaporização (L_v)
 - Água: $L_v = 2.26 \times 10^6 \text{ J/kg}$

Mudança de fase na água ($P_{\text{sat}}=1\text{atm}$)



DIAGRAMAS DE FASE

Diagrama de fase PT

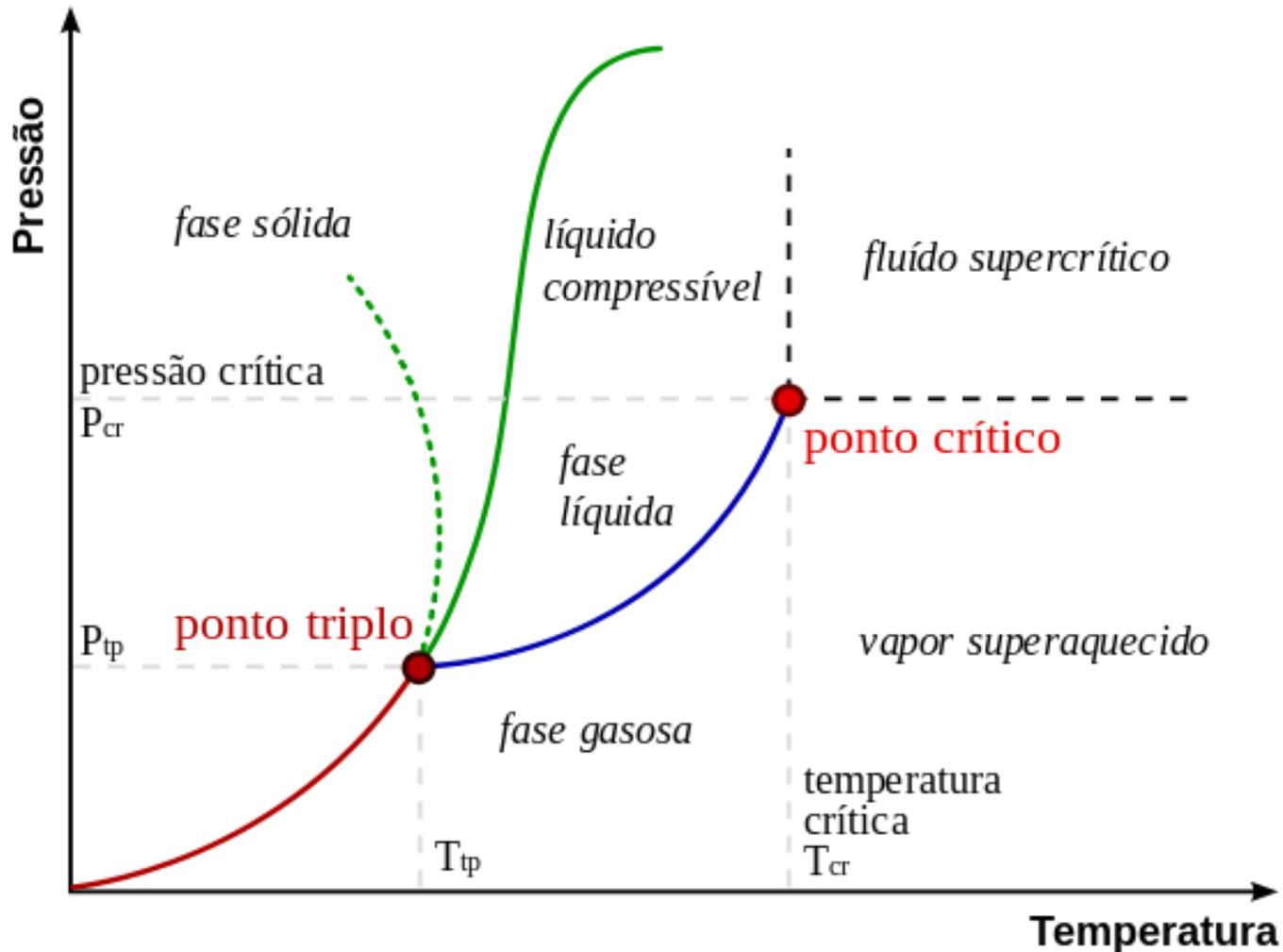


Diagrama de fase Tv

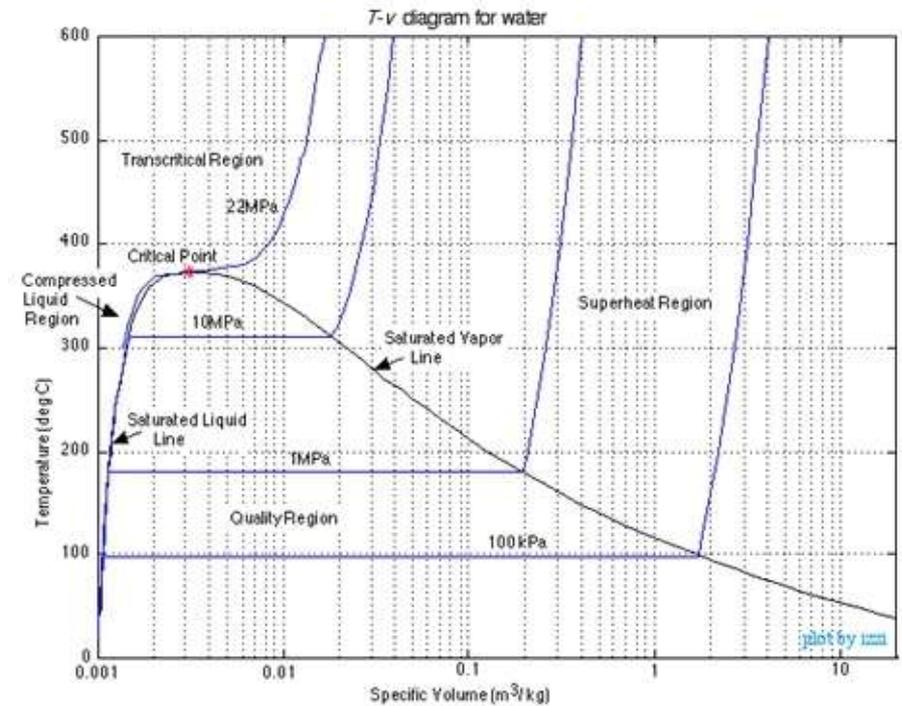
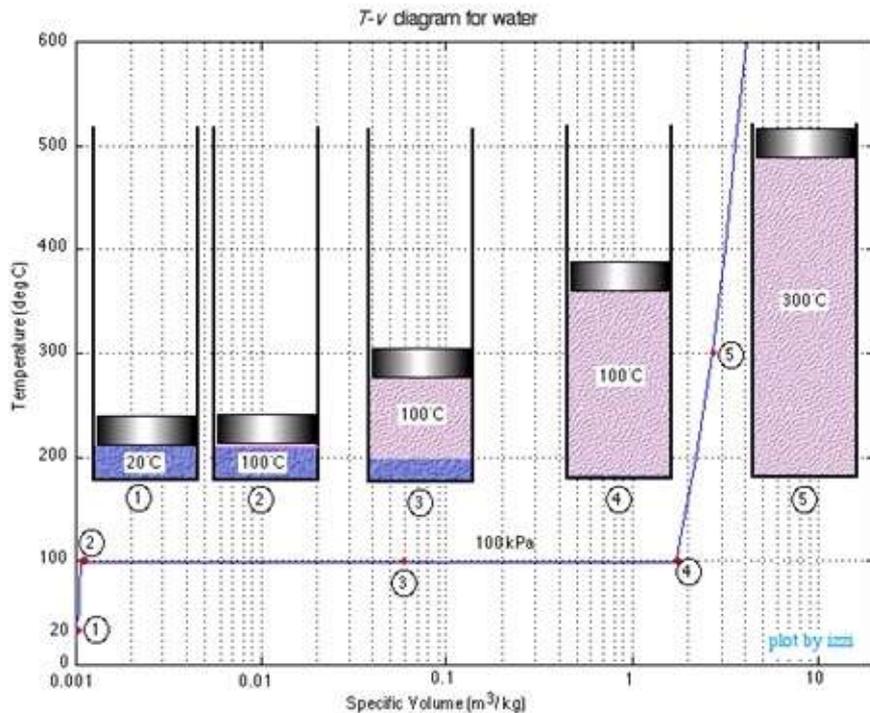
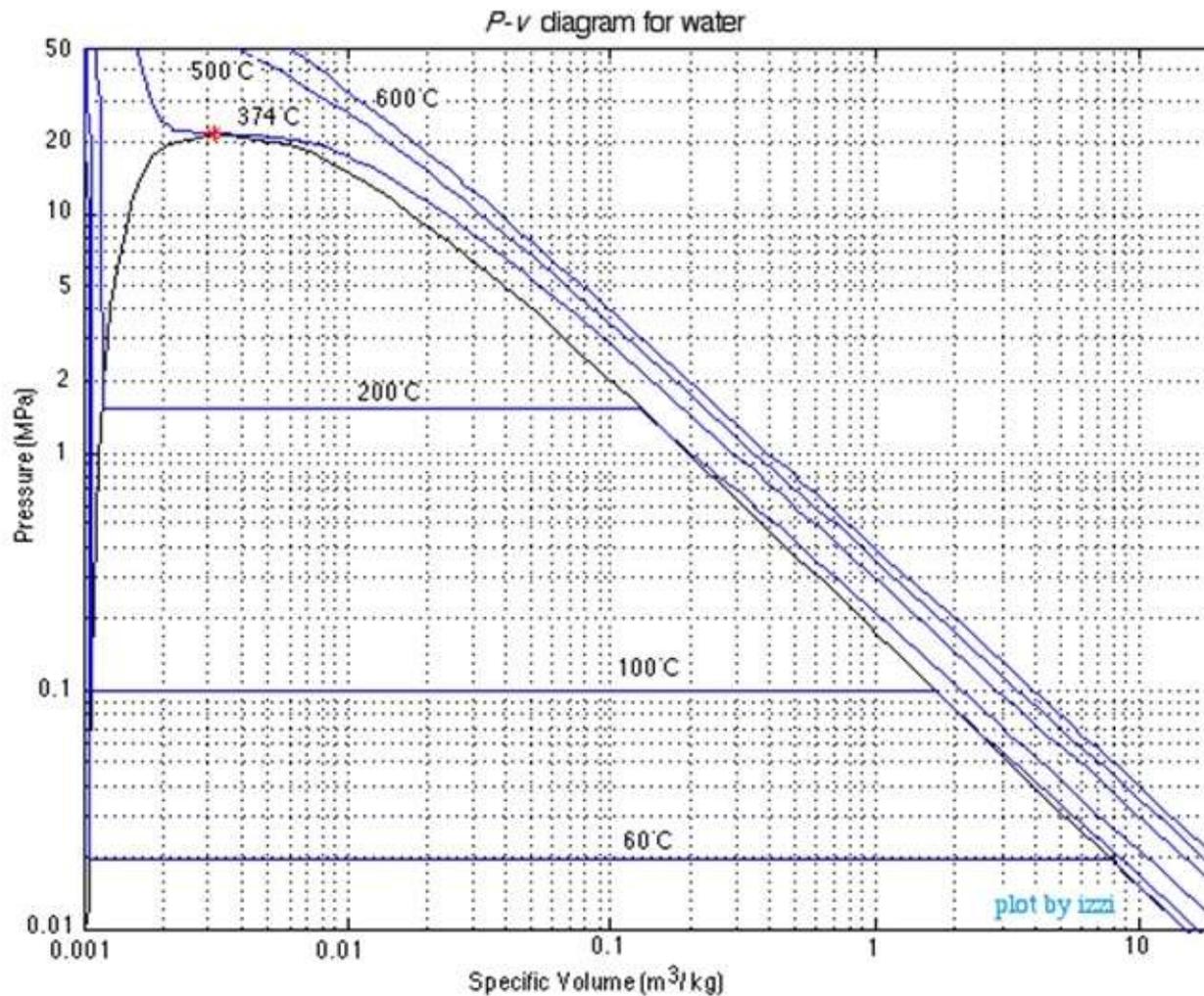


Diagrama de fase Pv



LEI DOS GASES PERFEITOS

Relação entre P, V e T

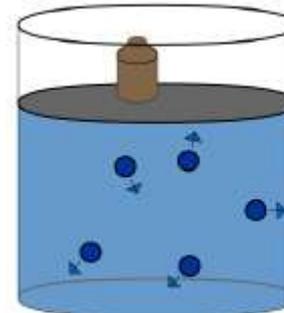
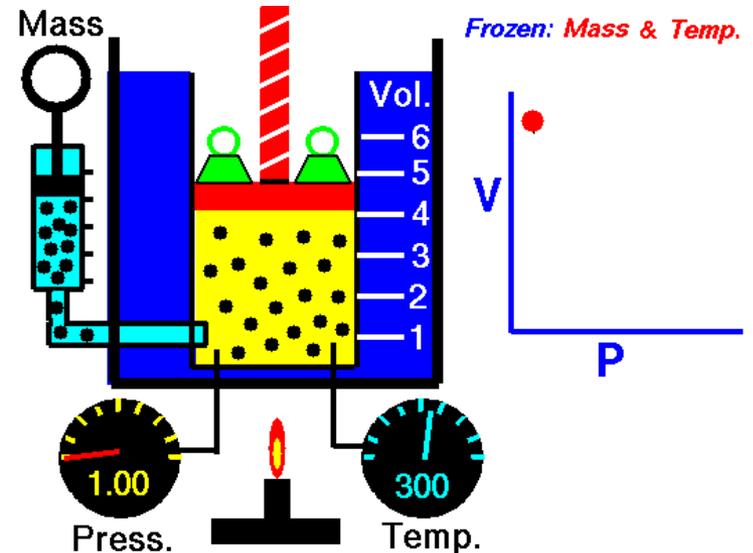
- Foi observado que para alguns gases pouco densos e a baixas pressões (da ordem de grandeza da pressão atmosférica) que:
 - A pressão, o volume e a temperatura não eram variáveis independentes

- Lei de Boyle e Mariotte (1662)

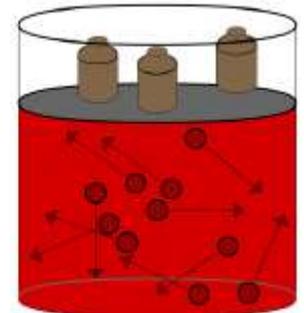
$$V=f(T)/P$$

- Lei de Charles e Gay-Lussac (1780)

$$V=g(P)\times T$$



Temperature T



Temperature 3T

Definição

- O “Gás Perfeito” é uma substância imaginária que obedece à seguinte equação de estado:

$$Pv = R_{gas}T \quad R_{gas}: \text{constante do gás}$$

- Neste tipo de gases, a energia interna depende apenas da temperatura

Outras formulações

- $PV = NRT$

- **N**: número de moles

Número Avogadro: $N_A = 6.022 \times 10^{23}$

- **R**: constante de gás universal

$$R = 8,3145 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \times \text{K}} \right] = \left[\frac{\text{kPa} \times \text{m}^3}{\text{kg} \times \text{K}} \right]$$

- $PV = mR_{gas}T$

- **m**: massa do sistema

$$m = NM_{gas}$$

- **M**: massa molar gás

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Gás Perfeito

- Exemplos de gases que podem ser considerados perfeitos (dentro de certas condições):
 - Ar, nitrogénio, oxigénio, hidrogénio, hélio, dióxido de carbono...
- Exemplos de gases que não devem ser considerados perfeitos:
 - Vapor de água

Exemplo 1

- Qual a massa de ar no anfiteatro?

- **Volume:** $V = 10 \times 10 \times \frac{5}{2} [\text{m}^3]$
- **Temperatura:** $T = 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$
- **Pressão:** $P = 100 \text{ kPa}$
- R_{ar} $R_{\text{ar}} = 0,287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3 / (\text{kg} \cdot \text{K})$

$$m = \frac{PV}{RT} = \frac{100 \times 250}{0,287 \times 293,15} = 297,14 \text{ kg}$$

Exemplo 2

- Quantas moles de ar tem o anfiteatro?

– Confirme o valor de massa

– **Volume:**

$$V = 10 \times 10 \times \frac{5}{2} [\text{m}^3] = 250 \text{ m}^3$$

– **Temperatura:**

$$T = 20^\circ\text{C} = 293,15 \text{ K}$$

– **Pressão:**

$$P = 100 \text{ kPa}$$

– **R**

$$R = 8,3145 \text{ kJ}/(\text{kmole} \cdot \text{K})$$

– **Massa molar do ar**

$$M_{ar} = 28,97 \text{ kg}/\text{kmole}$$

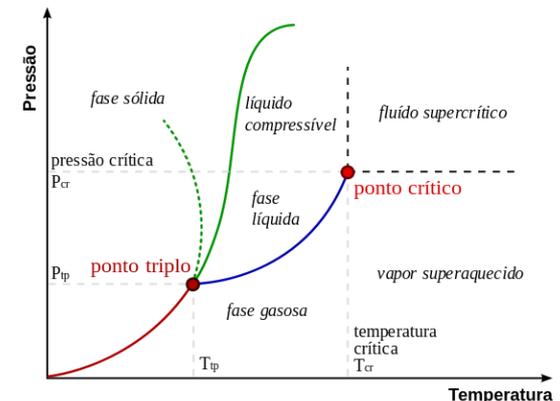
$$N = \frac{PV}{RT} \Leftrightarrow N = \frac{PV}{RT} = 10,25 \text{ kmoles}$$

$$m = NM = 28,97 \times 10,25 = 296,9 \text{ kg}$$

Factor de compressibilidade

- O fator de compressibilidade é uma medida do desvio de um gás em relação ao modelo do gás perfeito
 - Este desvio depende da temperatura e da pressão
 - Este desvio é maior perto do ponto crítico

$$Z = \frac{PV}{R_{gas}T} \quad Z = \frac{v_{real}}{v_{ideal}}$$



Exemplo 3

- Sabendo que o volume específico do vapor de água a uma temperatura de 300°C e uma pressão de 1MPa é de 0,2579 m³/kg, qual é o erro de considerar o modelo de gás perfeito?
 - A constante de gás do vapor de água é 0,4615 kJ/(kgK)

$$Pv = R_{\text{agua}}T \Leftrightarrow v = \frac{R_{\text{agua}}T}{P} = \frac{0,4615 \times 573,15}{1000} = 0,2645 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$Z = \frac{v_{\text{real}}}{v_{\text{ideal}}} = \frac{0,2579}{0,2645} = 0,975$$

Resposta: O erro é de 2,5%!

Lei de van der Waals

GASES REAIS

Equação de estado de van der Waals

- Em 1873, van der Waals propôs uma equação de estado, com duas constantes derivadas das propriedades da substância na ponto crítico

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right) \cdot (v - b) = R_{gas}T$$
$$\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_{T=T_{cr}} = 0$$
$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial^2 v}\right)_{T=T_{cr}} = 0$$

$$a = \frac{27R_{gas}^2 T_{cr}^2}{64P_{cr}}$$
$$b = \frac{R_{gas}T_{cr}}{8P_{cr}}$$

Ainda assim, esta equação de estado não é muito exata!
Existem outros modelos com mais constantes!