

Meteorologia – PL2

1º Semestre - 2025/26

Processos isobáricos do ar húmido

Apesar da sua concentração mássica raramente ultrapassar 2%, a água tem um papel essencial na física e na química da atmosfera. De facto, enquanto os impactos diretos do vapor na densidade do ar e nos calores específicos são modestos, ainda que pontualmente relevantes, os impactos resultantes dos processos de transição de fase e os que estão associados à interação com a radiação visível e infravermelha tornam a água o composto mais importante para a compreensão da Meteorologia.

Os materiais condensados podem existir transitoriamente na atmosfera, nomeadamente sob a forma de nuvens, mas eventualmente precipitam retornando à superfície, pelo que a sua contribuição para a massa total da atmosfera é sempre diminuta. A quantidade máxima de vapor que pode existir no ar a uma dada temperatura é dada pelo diagrama de fases (ver figura abaixo), definindo para cada valor da temperatura uma tensão de saturação e^{sat} . Quer isto dizer que se a tensão de vapor atingir a saturação se dá o início de um processo de transição de fase, formando-se água líquida ou, se a temperatura for inferior a $0^{\circ}C$, gelo.

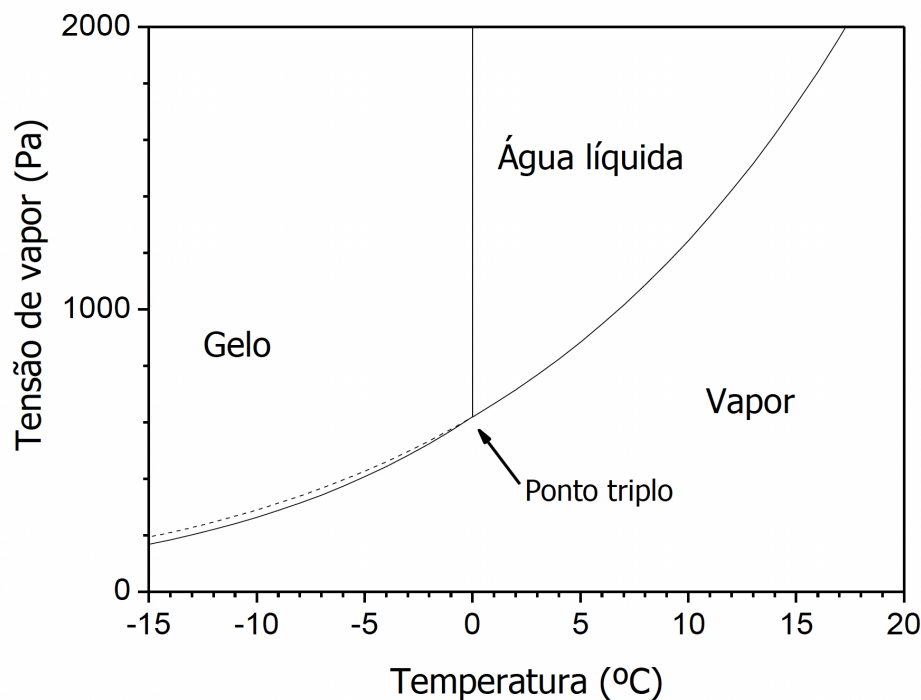


Figure 1: Diagrama de fases da água. A linha tracejada corresponde à saturação em relação à água líquida de vapor sobressaturado em relação ao gelo: se se formar água líquida nessas condições, ela estará sobre-arrefecida (temperatura inferior a $0^{\circ}C$). O ponto triplo ($0.01^{\circ}C$) é o único ponto de equilíbrio entre as 3 fases.

Este diagrama pode ser obtido através das tabelas Smithsonianas (ver livro ref. da cadeira) ou dado aproximadamente pela expressão (mais correto quanto mais próximo dos $0^{\circ}C$):

$$e^{sat} = e_0^{sat} \cdot e^{\left(\frac{L_v}{R_v} \cdot \left[\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right]\right)}$$

Sendo então válida aos $T_0 = 0^{\circ}C = 273.15 [K]$, com $e_0^{sat} = 610 [Pa]$, $L_v = 2.5 \times 10^6 [J kg^{-1}]$ e $R_v = 461 [J kg^{-1}K^{-1}]$.

Exercícios

1. A partir da expressão acima, desenhe um diagrama de fases igual ao da figura acima:
 - Comece por colocar os dados necessários fornecidos acima;
 - Crie um *array* para a temperatura no intervalo que desejar com um espaçamento adequado;
 - Crie uma função ou *array* em que aplica a expressão acima com o *array* de temperatura já criado;
 - Desenhe a função, para obter a curva de saturação do diagrama;
 - Adicione a linha vertical de passagem de fase líquida para sólida (dica: $T_0 = 0^{\circ}C = 273.15 [K]$ e $e_0^{sat} = 610 [Pa]$).
 - Finalmente, nomeie as fases no gráfico.
2. No diagrama já feito no exercício 1, responda às seguintes questões:
 - O Gervásio ajudou na montagem da recepção ao caloiro, estava um agradável dia de setembro com $25^{\circ}C$ e alguma humidade relativa (63 %) que ele mediu com o seu termo-higrómetro de bolso. As previsões do IPMA para a madrugada dão uma temperatura mínima de $15^{\circ}C$ sem que hajam mudanças na pressão atmosférica. Convém que o Gervásio arrume todo o equipamento eletrónico antes que a temperatura se aproxime da mínima ou não há riscos?
 - Já em dezembro, o Gervásio tem uma frequência de meteorologia bem cedo na manhã seguinte. Com o seu fiável termo-higrómetro de bolso verificou que ao final da tarde estavam $10^{\circ}C$ e humidade relativa a rondar os 40%. As previsões para a madrugada apontam temperaturas que chegam aos $-2^{\circ}C$ sem mudanças na pressão. Deverá o Gervásio acordar mais cedo para tirar a geada do seu carro?