

Meteorologia – Séries de exercícios

1º Semestre - 2025/26

1. Termodinâmica do ar

Exercício 1.1.

Calcule as constantes dos gases ideais para (a) o ar seco (R_d), para (b) o vapor de água (R_v) e (c) para o ar húmido com 2 % de vapor de água (em volume). Considere $R = 8.3145 [J K^{-1} mol^{-1}]$, e que o ar seco é constituído por Azoto (78.08 %), Oxigénio (20.95 %), Árgon (0.93 %) e CO_2 (0.04 %).

Massas molares: $M(N_2) = 28 [g mol^{-1}]$, $M(O_2) = 32 [g mol^{-1}]$, $M(Ar) = 40 [g mol^{-1}]$, $M(CO_2) = 44 [g mol^{-1}]$, $M(H_2O) = 18 [g mol^{-1}]$

Exercício 1.2.

O interior de um recipiente fechado encontra-se à pressão de uma atmosfera e temperatura de $15^\circ C$. Calcule a densidade, no caso desse gás ser constituído por:

- Azoto (78.08 %), Oxigénio (20.95%), Árgon (0.93%) e CO_2 (0.04%).
- Ar seco (98 %) e vapor de água (2 %).

Exercício 1.3.

A atmosfera de Neptuno é constituída por Hidrogénio (85 %), Hélio (13 %) e Metano (2 %). As massas molares são 2, 4 e $16 g mol^{-1}$, respetivamente. Determine a constante dos gases ideais (mássica) para essa atmosfera. Tendo em consideração que a massa de Neptuno vale $1.02 \times 10^{26} kg$ e que o seu raio é $24.7 \times 10^6 m$, calcule a sua velocidade de escape. É superior ou inferior à da Terra? Quais as implicações disto para a atmosfera?

Exercício 1.4.

Se à temperatura de $0^\circ C$ a densidade do ar seco for de $1.275 kg m^{-3}$ e a do vapor de água de $4.770 \times 10^{-3} kg m^{-3}$, qual a pressão exercida por uma mistura de ambos, à mesma temperatura?

Exercício 1.5.

Considere ar húmido com 1 % de vapor de água e uma temperatura real de $288 K$. Qual a correção na temperatura virtual ($\equiv T_v - T$)?

Exercício 1.6.

Partindo da equação hidrostática ($\frac{\partial p}{\partial z} = -\rho g$),

- Mostre que, para uma atmosfera isotérmica se tem $p = p_0 e^{-\frac{g(z-z_0)}{R_d T}}$.
- Mostre que para uma atmosfera com um gradiente térmico vertical de $\Gamma = -\partial T / \partial z = 6.5 K km^{-1}$, se tem $p = p_0 \frac{T_0 - \Gamma}{T_0 - \Gamma} \frac{z}{z_0} \frac{g}{R_d \Gamma}$.
- Calcule a pressão no topo do monte Everest ($8848 m$), assumindo uma pressão de $1013 hPa$ e temperatura de $15^\circ C$ ao nível do mar: (i) Usando a expressão da alínea a); ii) Usando a expressão da alínea b); (iii) Usando a expressão da alínea a), mas admitindo uma temperatura média na camada supondo que a temperatura no topo é de $-40^\circ C$. Compare os resultados.

Exercício 1.7.

Calcule a densidade do ar no topo da Serra da Estrela ($2000 m$ de altitude), considerando uma temperatura $0^\circ C$. Considere ar húmido com 2 % de vapor de água (em massa, humidade específica), e que a pressão atmosférica ao nível do mar vale $1013 hPa$.

Exercício 1.8.

Um furacão com uma pressão no centro de 940 hPa está embebido numa região com uma pressão (à superfície) de 1010 hPa . A tempestade está localizada sobre o oceano. Aos 200 hPa o furacão já não tem expressão (i.e., a superfície isobárica torna-se plana, sem cavamento). Estime a diferença de temperatura entre o centro do furacão e as zonas envolventes na camada entre a superfície e os 200 hPa . Assuma que a temperatura média na região exterior ao furacão é de $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e ignore a correção de temperatura virtual (i.e., $T_v = T$).

Exercício 1.9.

O sonho do Gervásio é viajar num balão de passageiros. Para tal, conseguiu alugar um balão com lugar para 1 passageiro, com um volume de 600 m^3 e cujo invólucro tem uma massa de 40 kg . O cesto tem 30 kg e transporta 30 kg em bilhas de gás que vão servir para aquecer o ar no interior do balão. No dia da viagem a pressão atmosférica era de 1013 hPa e a temperatura $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ à superfície. Considere que a atmosfera é isotérmica e que se despreza a resistência do ar.

a) Considerando que o Gervásio pesa 70 kg e o ar no invólucro foi aquecido até $120\text{ }^{\circ}\text{C}$, a que altitude estava o balão ao fim de 10 s ? Admita que a temperatura e a pressão do ar são constantes durante esse período.

b) Se porventura o Gervásio se encontrar a 800 hPa com uma temperatura de $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e o gás restante não permitisse aquecer o ar mais que $75\text{ }^{\circ}\text{C}$, estaria o Gervásio condenado a cair?

c) A que temperatura teria que estar o ar no invólucro caso o Gervásio quisesse manter o balão na mesma altitude? Considere as mesmas condições da alínea anterior.