

**Justifique todas as respostas.****Parte 1**

1. Num ponto observa-se às 19h, depois do por-do-sol, uma temperatura de  $12^{\circ}\text{C}$  e uma humidade relativa de 85%, com uma pressão de 1012hPa. Ao longo da noite a camada de ar perto da superfície perde calor a uma taxa constante e a pressão constante, com formação de nevoeiro às 21:30
  - a. Marque o estado inicial do ar, no diagrama de fases;
  - b. Calcule a sua tensão de vapor e razão de mistura;
  - c. Estime a temperatura do ponto de orvalho;
  - d. Calcule a taxa de arrefecimento do ar junto da superfície em  $\text{Wkg}^{-1}$ ;
  - e. Estime a que horas o ar atinge a temperatura de  $7^{\circ}\text{C}$  e calcule a razão de mistura de água líquida nesse momento.
2. Uma coluna de ar, delimitada pelas isóbaras dos 1000 hPa e dos 700 hPa, inicialmente isotérmica ( $T=10^{\circ}\text{C}$ ) e com humidade relativa constante ( $\text{RH}=85\%$ ), sofre um processo de mistura vertical. Utilizando a tabela smithsoniana e o tefigrama:
  - a. Estime a razão de mistura inicial aos 1000 e aos 700 hPa;
  - b. Estime os correspondentes valores da temperatura do ponto de orvalho;
  - c. Represente o estado inicial no tefigrama;
  - d. Estime o estado final da camada misturada, e represente-o no tefigrama;
  - e. Estime o nível de condensação e a concentração máxima de água líquida na nuvem resultante da mistura.
3. Um balão com  $600\text{ m}^3$  de ar quente transporta, aos 950 hPa, uma carga total de 125 kg, com uma temperatura exterior de  $12^{\circ}\text{C}$  e uma razão de mistura de  $5\text{ g/kg}$ .
  - a. Estime a temperatura virtual do ar exterior;
  - b. Calcule a temperatura a que o ar do balão deve ser colocada para garantir equilíbrio;
  - c. Se o balão atravessar uma zona de ar saturado, à mesma pressão e temperatura, qual será a aceleração do balão?

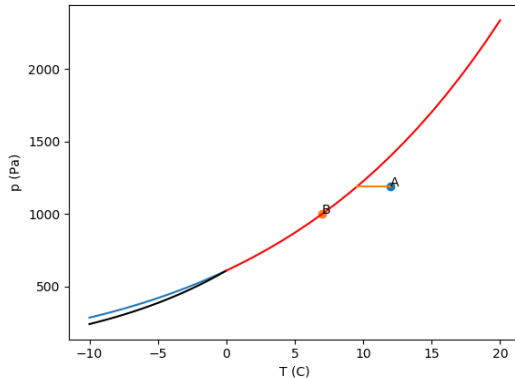
**Parte 2**

4. Na parede do olho de um furacão de categoria 4, aos 20N observa-se um vento de  $65\text{ ms}^{-1}$ , a 18 km do centro do sistema. Admitindo que se trata de uma situação estacionária e que  $\rho = 1.2\text{ kgm}^{-3}$ :
  - a. Esquematize o equilíbrio de forças que deve ser satisfeito por uma partícula de ar no ponto referido;
  - b. Calcule o gradiente de pressão nesse ponto;
  - c. Estime a vorticidade (do escoamento horizontal);
  - d. Explique a existência do olho do furacão.
5. Numa tarde de verão junto da costa oeste da Ibéria, aos 38N, observa-se um vento (geostrófico) de NE aos 700 hPa com 5 m/s, associado à circulação do anticiclone dos Açores. Na camada de ar entre os 700 hPa e os 950 hPa (500 m acima da superfície) a temperatura média cresce  $10^{\circ}\text{C}$  em 500km, na direção W-E, na zona costeira.
  - a. Estime o vento geostrófico aos 950 hPa;
  - b. O vento junto da superfície (e.g. aos 10 m) vai ser diferente do vento calculado na alínea a. Explique porquê e de que forma (variação de direção e intensidade).
6. Ao início de uma tarde de verão aos 36 N, às 12:00, numa zona costeira, observa-se vento nulo e uma diferença entre a temperatura da camada limite atmosférica sobre o continente e sobre o oceano de  $20^{\circ}\text{C}$  em 50km. Admita que essa camada é delimitada pelas isóbaras dos 1000 e 900 hPa.
  - a. Estime a taxa de variação da circulação da brisa que vai ter lugar;
  - b. Estime a velocidade que seria observada às 18:00;
  - c. Discuta as limitações do resultado anterior.

Resolução (simplificada)

1. Nevoeiro

a) Diagrama de fases: A (estado inicial); B (estado final)



b)  $e_A \approx 0.85 \times e_A^{sat} \approx 1191 \text{ Pa}; r_A \approx 7.3 \times 10^{-3}$

c)  $T_d \approx 9.5^\circ\text{C}$

d)  $\dot{Q} = \frac{c_p(T_d - T_A)}{2.5 \times 3600} \approx -0.28 \text{ W kg}^{-1}$

e)  $T_B = 7^\circ\text{C}, r_B = \frac{\epsilon e_B^{sat}}{P} \approx 6.15 \times 10^{-3}; \Delta t = \frac{c_p(T_B - T_A) + l_v(r_B - r_A)}{\dot{Q}} \approx 48460 \text{ s} \approx 7.9 \text{ h}$

Hora final: 2:54

2. Mistura vertical

a)  $e_{1000} = e_{700} = e^{sat}(10^\circ\text{C}) \times RH \approx 1042 \text{ Pa}$

$$r_{1000} = \frac{\epsilon e_{1000}}{10^5} \approx 6.5 \times 10^{-3}; r_{700} \approx 9.3 \text{ g/kg}$$

b) A temperatura do ponto de orvalho só depende da tensão de vapor (Clausius-Clapeyron), logo é igual nos dois níveis.

Por interpolação na tabela  $T_{d1000} = T_{d700} \approx 7.6^\circ\text{C}$

c) Tefigrama

d) No estado final, antes da condensação:

$$r = \bar{r} \approx 7.9 \times 10^{-3}$$

$$\theta = \bar{\theta} \approx \frac{283.15 + 313.15}{2} \approx 298.3 \text{ K} \approx 25.2^\circ\text{C}$$

e) Nível de condensação por mistura  $\approx 810 \text{ hPa}$ ; No topo da nuvem a atmosfera segue a adiabática saturada, a razão de mistura de vapor vale  $\approx 6 \text{ g/kg}$ , logo existe  $\approx 1.9 \text{ g/kg}$  de água líquida ( $\bar{r} - r_{topo}$ ).

3. Balão

a)  $T_{v_{ext}} \approx T_{ext}(1 + 0.61r_{ext}) \approx 286.02 \text{ K}$

b) Condição de equilíbrio (flutuação nula):

$$mg + \rho_{int}Vg = \rho_{ext}Vg$$

$$\text{Onde } \rho_{ext} = \frac{P}{R_d T_{v_{ext}}} \approx 1.157 \text{ kg m}^{-3}$$

$$\text{Logo: } \rho_{int} \approx 0.949 \text{ kg m}^{-3} \Rightarrow T_{int} \approx 348.8 \text{ K} \approx 75.7^\circ\text{C}$$

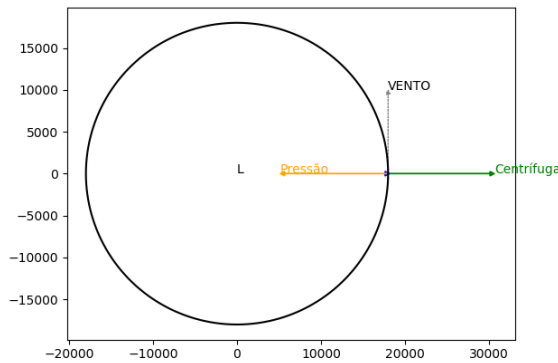
c) Se a atmosfera exterior saturar, será  $r = r^{sat}(12^\circ\text{C}, 950 \text{ hPa}) \approx 9.2 \text{ g/kg}$

$$b = \frac{dw}{dt} = \rho_{ext} V g - \rho_{int} V g - m g \approx -0.0248 \text{ ms}^{-1}$$

i.e. o balão entra em perda de altitude (acelera para baixo)

#### 4. Furacão

a) Esquema. Nota: a força de Coriolis é desprezável.



$$b) -\frac{v^2}{R} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial n} - f v = 0 \Rightarrow |\nabla P| \approx 0.286 \text{ Pa m}^{-1}$$

$$c) \zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \approx \frac{2|\vec{v}|}{R} \approx 72.2 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$$

d) O olho resulta da inexistência de convergência para a zona mais interior do sistema, em consequência da dominância da aceleração centrífuga que cresce com  $\frac{1}{R}$ .

#### 5. Vento térmico

$$a) v_{700} - v_{950} = \frac{R_d}{f} \frac{\partial T}{\partial x} \ln\left(\frac{950}{700}\right) \approx -23 \text{ ms}^{-1}; u_{950} = u_{700}$$

b) Na camada limite (i.e. entre a superfície e os 950hPa) o vento vai ser afetado pelo atrito, soprando junto da superfície na direção das baixas pressões e com menor intensidade que aos 950 hPa. Na camada sup-950 o vento roda no sentido horário.

#### 6. Teorema de Kelvin da circulação

$$a) \frac{dC}{dt} = -\oint \frac{dP}{\rho} = -\int_{P=1000}^{P=900} R_d T_{terra} \frac{dP}{P} - \int_{P=900}^{P=1000} R_d T_{mar} \frac{dP}{P} = R_d (T_{terra} - T_{mar}) \ln\left(\frac{1000}{900}\right) \approx 605 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-2}$$

b) Partindo de uma circulação nula, teríamos 6 horas depois:

$$C_{18h} = 605 \times 6 \times 3600 \approx 13 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

A velocidade relaciona-se com a circulação:

$$C = \oint \vec{v} \cdot d\vec{l} = v_{1000} L + w_{terra} H + v_{900} L + w_{mar} H$$

Admitindo que  $H \ll L$  e que a circulação superficial é comparável com a circulação de retorno (aos 900) tem-se:

$$v_{1000_{18h}} \approx \frac{C_{18h}}{2L} \approx 130 \text{ ms}^{-1}$$

- c) Trata-se de um valor muito exagerado, em resultado de se ter desprezado o atrito. Também se desprezou o efeito de Coriolis.