Meteorologia **2022**

Exame 1 **18 de Janeiro**

Justifique sempre as respostas e as aproximações utilizadas. Entregue os diagramas identificados

Parte 1

1. Numa zona costeira encontram-se duas massas de ar sem água líquida, à mesma pressão de 1010 hPa, observando-se uma temperatura de $20°C$ e uma humidade relativa de 100% sobre o mar e $5°C$ e 95% sobre terra. Na interface dá-se uma mistura horizontal entre as massas de ar.
   (a) Calcule a razão de mistura em cada massa de ar;
   (b) Calcule o estado final de uma mistura em partes iguais (T, RH, r, r_l, P);
   (c) Mostre que a formação de nevoeiro provoca um aquecimento local: quantifique e explique;
   (d) Estime as proporções limite (entre ar terrestre e marítimo) que podem levar à formação de nevoeiro;
   (e) Liste 3 propriedades conservativas no processo de mistura.

2. Uma massa de ar marítima apresenta, junto da superfície aos 1000 hPa, uma temperatura de $20°C$ e uma temperatura do ponto de orvalho de $18°C$. Ao atingir uma ilha montanhosa essa massa de ar é elevada até aos 650 hPa e devolvida aos 1000 hPa depois de passar a ilha. Nesse processo observa-se condensação com precipitação de 2/3 da água condensada. Use o tefigrama e tabela smithsoniana onde necessário.

   (a) Calcule a razão de mistura inicial da massa de ar.
   (b) Calcule a temperatura e razão de mistura aos 650 hPa;
   (c) Calcule a quantidade de água precipitada por kg de ar.

   (d) Calcule o estado final da massa de ar;
   (e) Calcule as altitudes da base na nuvem na encosta a montante e a jusante.

Justifique sempre as respostas e as aproximações utilizadas.

Parte 2

3. Uma depressão estacionária aos $40N$ apresenta a $500km$ do seu centro um vento com 30 m/s fazendo um ângulo de 20° com as isóbras. Considere uma densidade do ar $\rho = 1.2\ kg\ m^{-3}$.

(a) Esquematize o equilíbrio de forças correspondente à alínea anterior.
(b) Calcule o gradiente de pressão e a aceleração devida ao atrito.
(c) Estime o movimento vertical aos 1000 m, admitindo que as condições referidas são válidas para $z < 1000m$. Explique o fundamento.
(d) Calcule a vorticidade relativa e a divergência horizontal médias da depressão.
(e) Admita que o centro da depressão é $10°\text{C}$ mais frio que a sua periferia (a 500 km do centro). Admita que a pressão média à superfície no anticiclone vale 1000 hPa. Estime a sua vorticidade aos 850 hPa.

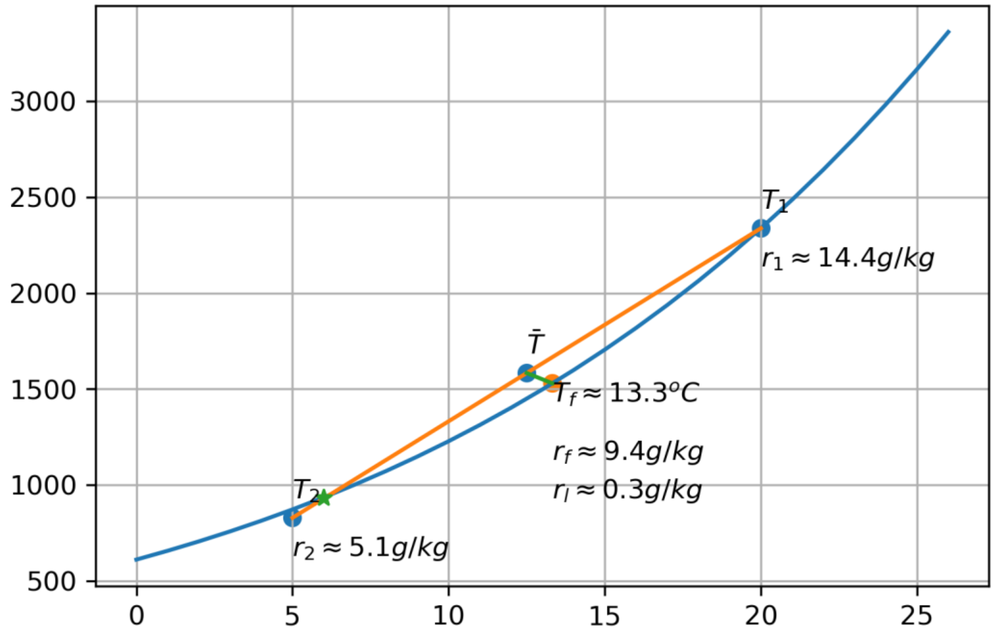
4. Uma aos 40N uma sondagem fez as seguintes observações:

Nível	Vento	rumo	Temp
1000 hPa	5 m/s	SW	$10°\text{C}$
800 hPa	15 m/s	W	$-5°\text{C}$
600 hPa	30 m/s	W	$-20°\text{C}$

(a) Calcule os ventos médios de cada camada e os correspondentes ventos térmicos.
(b) Calcule os gradientes de temperatura média em cada camada. Explique as hipóteses utilizadas.
(c) Calcule a tendência da temperatura média em cada camada, devida à advecção geostrófica.
(d) Qualifique a tendência da estabilidade na coluna 900-700. Justifique.
(e) Recalcule a tendência na camada 1000-800 admitindo uma subsidência de 1 cm/s.

Resolução simplificada

1. Diagrama de fases



(a) Na figura

(b) RH=100%, Tf,rf,rl na figura

A linha unindo $\overline{T}$ com T_f satisfaz a fórmula psicrométrica:

$$c_P\left(\overline{T} - T_f\right) = -\frac{l_v\varepsilon}{P}\left(\bar{e} - e^{sat}\left(T_f\right)\right)$$

A intersecção entre essa reta e a curva de saturação poderia ser calculada graficamente.

(c) Se não existisse condensação a temperatura final seria a média (12.5°C) logo observa-se um aquecimento de 0.6°C devido à libertação de calor latente de condensação.

(d) Se a temperatura da mistura (antes da condensação) estiver entre $T_* \approx 6$°C e T_1 existirá sobressaturação e condensação. Como

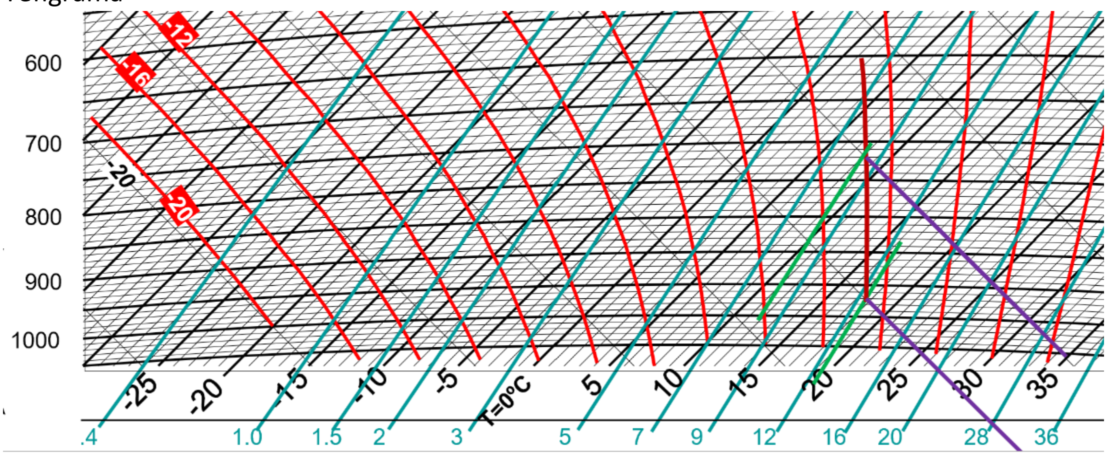
$$T_* = x\,T_1 + (1-x)T_2$$

Tem-se que a fração de ar marítimo (x) não deverá ser inferior a:

$$x_{Mar} \approx \frac{T_* - T_2}{T_1 - T_2} \approx 0.066 = 6.6\%$$

(e) Conservam-se pressão, massa (de ar e de água), entalpia.

2. Tefigrama



(a) $r_{1000} \approx \frac{\varepsilon e_{1000}}{10^5} \approx \frac{\varepsilon e^{sat}(18°\text{C})}{10^5} \approx 12.8 \times 10^{-3}$

(b) Tefigrama $T_{650} = T_{d_{650}} \approx 1°\text{C}; r_{650} \approx 6.3 \times 10^{-3}$

(c) $r_l \approx \frac{2}{3}(r_{1000} - r_{650}) \approx 4.1 \times 10^{-3}$

(d) $P_f = 1000\ hPa, r_f = r_{1000} - \frac{2}{3}\ r_l \approx 8.5 \times 10^{-3}, e_f \approx \frac{P\, r_f}{\varepsilon} \approx 1361\ Pa, T_{d_f} \approx 11.6°\text{C}, T_f \approx 30°\text{C (Tefigrama)}$

(e) Na encosta a montante (subida) $p_{cond} \approx 955\ hPa$, na encosta a jusante $p_{cond} \approx 770\ hPa$. Logo

$$z_{base_{mont}} \approx \frac{R_d \bar{T}}{g} \ln\left(\frac{1000}{955}\right) \approx 394\ m$$

$$z_{base_{mont}} \approx \frac{R_d \bar{T}}{g} \ln\left(\frac{1000}{770}\right) \approx 2235\ m$$

Com $\bar{T} \approx 19°\text{C} \approx 292.15$ em ambos os casos (cf Tefigrama).

3. Vento estacionário num plano

$$-\frac{v^2}{R} - fv + \frac{1}{\rho}|\nabla P|\cos(alpha) = 0$$

$$-a + \frac{1}{\rho}|\nabla P|\sin(alpha) = 0$$

(a) NA

(b) $|\nabla P| = \rho\frac{\frac{v^2}{R}+fv}{\cos(\alpha)} \approx 5.9 \times 10^{-3} Pa\, m^{-1} = 5.9\, hPa/100km$

$$a = \frac{1}{\rho}|\nabla P|\sin(alpha) \approx 1.7\, mm\, s^{-2}$$

(c) Por conservação da massa o influxo horizontal tem que ser compensado por movimento ascendente aos 1000 m:

$$v\sin(\alpha)\, 2\pi RH = w\pi R^2 \Longrightarrow w = \frac{2v\sin(\alpha)\, H}{R} \approx 4.1\, cm\, s^{-1}$$

(d) $\zeta = \frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} = 2\frac{2v\cos(\alpha)}{2R} = \frac{2v\cos(\alpha)}{R} \approx 1.1 \times 10^{-4} s^{-1}$

$$\delta = \frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{\partial u_y}{\partial y} = -\frac{2v\sin(\alpha)}{R} \approx 4.1 \times 10^{-5} s^{-1}$$

(e) $\frac{\partial \zeta_g}{\partial P} = -\frac{R_d}{fP}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \approx -\frac{R_d}{fP}\frac{(4T_{500} - 4T_0)}{R^2} \approx -\frac{R_d}{fP}\frac{40}{R^2} \Longrightarrow \frac{\partial \zeta_g}{\partial \ln P} = -\frac{R_d}{f}\frac{40}{R^2} \Longrightarrow \zeta_{850} = \zeta_{1000} + \frac{R_d}{f}\frac{40}{R^2}\ln\left(\frac{1000}{850}\right) \approx 1.9 \times 10^{-4} s^{-1}$

4. Vento térmico

(a) $\vec{v}_{T\,1000-800} \approx [11.5, -3.5]; \vec{v}_{T\,800-600} \approx [15{,}0]\ (m\, s^{-1})$

$$\bar{\vec{v}}_{1000-800} = [9.3{,}1.8], \bar{\vec{v}}_{800-600} = [22.5{,}0]$$

(b) $\nabla T_{1000-800} = [5.17 \times 10^{-6}, -1.68 \times 10^{-5}] K\, m^{-1}$

$$\nabla T_{800-600} = [0, -1.7 \times 10^{-5}] K\, m^{-1}$$

(c) $\frac{\partial \bar{T}_{1000-800}}{\partial t} = -\bar{\vec{v}}.\nabla\bar{T} \approx 7.76 \times 10^{-5} Ks^{-1} \approx 0.28\, K\, h^{-1}$

$$\frac{\partial \bar{T}_{800-600}}{\partial t} = -\bar{\vec{v}}.\nabla\bar{T} = 0$$

(d) A estabilidade vai diminuir devido ao aquecimento progressivo da camada inferior, mantendo-se a temperatura da camada superior.

(e) $\frac{\partial \bar{T}_{1000-800}}{\partial t} = -\bar{\vec{v}}.\nabla\bar{T} - w\frac{\partial \theta}{\partial z} = 7.76 \times 10^{-5} Ks^{-1} - (-0.01) \times \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \frac{g}{c_p}\right) \approx 9.2 \times 10^{-5} s^{-1} \approx 0.33\, Kh^{-1}$

Com $\frac{\partial T}{\partial z} \approx -\frac{15}{1800} Km^{-1}$