Meteorologia 2022

Exame 2SP **21 de fevereiro**

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

Parte 1

1. Uma massa de ar à pressão constante de 1005 hPa apresenta às 18h uma temperatura de 12°C e uma temperatura do termómetro molhado de 9°C. Ao longo da noite sofre arrefecimento devido à perda constante de $\frac{\dot{Q}}{m} = -1W\ kg^{-1}$.
   (a) Localize o estado inicial da massa de ar no diagrama de fases (T_1, e_1);
   (b) Calcule a razão de mistura e humidade relativa iniciais da massa de ar;
   (c) Estime a temperatura do ponto de orvalho;
   (d) Calcule a hora de formação de nevoeiro;
   (e) Calcule a temperatura e a hora em que a razão de mistura de água líquida do nevoeiro atinge $1\ g\ kg^{-1}$;

2. Uma sondagem forneceu as seguintes observações

$P\ (hPa)$	1000	850	700	550
T (°C)	20	9	0	-5
T_d(°C)	14	7	-10	-25

   (a) Calcule a razão de mistura da massa de ar aos 1000 hPa;
   (b) Calcule a altitude do nível de condensação por ascensão;
   (c) Localize as pressões de Convecção Livre e Flutuação Nula e calcule a CAPE e a CIN, classifique a coluna quando à instabilidade latente;
   (d) Uma partícula apresenta uma velocidade ascensional de 6 m/s aos 1000 hPa, que velocidade máxima poderá atingir e a que nível?
   (e) Calcule a frequência de Brunt-Vaisala da camada 1000-850. Que conclui sobre essa camada.

Justifique sempre as respostas e as aproximações utilizadas.

Parte 2

3. Uma depressão estacionária aos $35N$ apresenta a $500km$ do seu centro um gradiente de pressão de 2hPa/100km e um vento de 14 m/s. Considere uma densidade do ar $\rho = 1.2\ kg\ m^{-3}$.

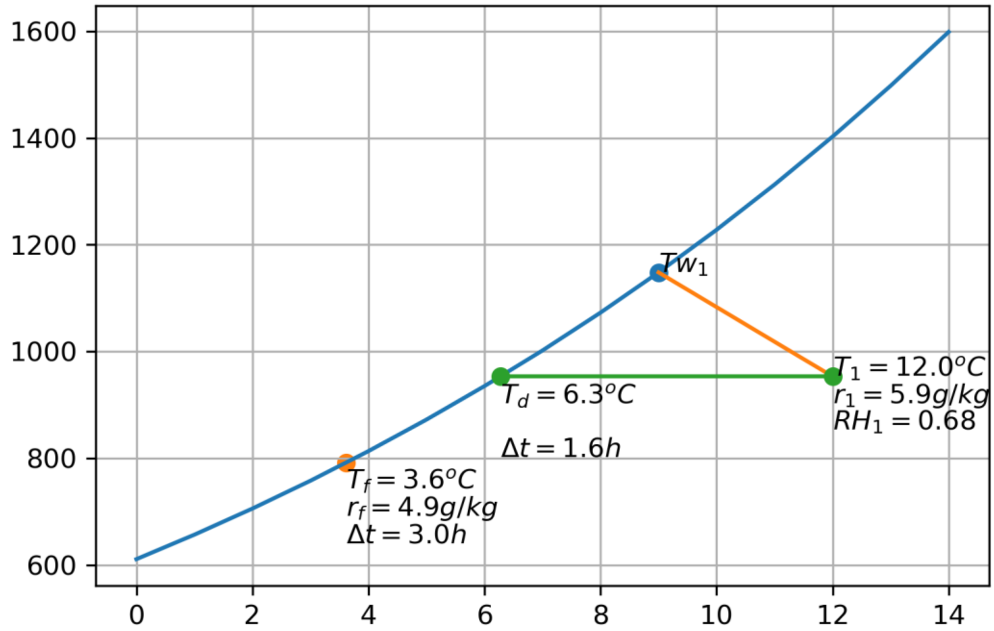
(a) Calcule o ângulo entre o vento e as isóbaras.
(b) Esquematize o equilíbrio de forças correspondente à alínea anterior.
(c) Estime o movimento vertical aos 1000 m, admitindo que as condições referidas são válidas para $z < 1000m$. Explique o fundamento.
(d) Calcule a vorticidade relativa e a divergência horizontal médias da depressão.
(e) Admita que o centro da depressão é 5°C mais quente que a sua periferia (a 500 km do centro). Admita que a pressão média à superfície na depressão vale 1000 hPa. Estime a sua vorticidade aos 850 hPa.

4. Numa zona costeira, às $12h$, observa-se um gradiente horizontal de temperatura com 18°C no ar junto ao oceano e 40°C sobre terra a 50 km de distância. Admitindo que o esse gradiente se faz sentir em toda a camada limite entre as isóbaras 1000 e 900 hPa. Admitia que a essa hora a atmosfera está em repouso

(a) Mostre como o gradiente horizontal de temperatura implica a geração de circulação;
(b) Estime a tendência da circulação;
(c) Utilize o valor anterior para estimar o vento junto da superfície ao fim de 4 h, admitindo que o gradiente de temperatura se mantém constante.
(d) Indique duas aproximações utilizadas no cálculo anterior e discuta as suas consequências;
(e) Admitindo que a temperatura sobre o oceano se mantém durante a noite, discuta as condições necessárias para inverter a brisa.

Resolução simplificada

1. Diagrama de fases



(a) Na figura. A linha unindo T_{w_1} com T_1 é a fórmula psicrométrica:

$$c_P(T_w - T) = -\frac{l_v\varepsilon}{P}(e_w - e) \Longrightarrow e = e_w + \frac{Pc_p}{l_v\varepsilon}(T_w - T) \approx 953\ Pa$$

(b) $RH_1 = 68\%, r_1 = 5.9\ g/kg$

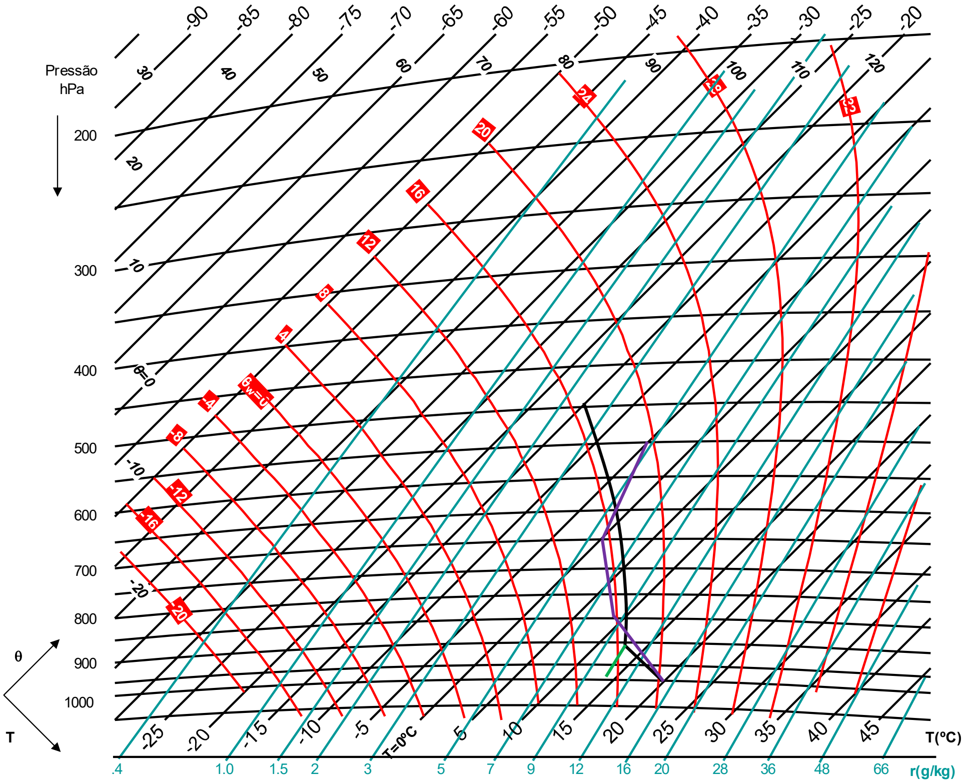
(c) Figura, $e_1 = e^{sat}(T_d) \Longrightarrow T_d \approx 6.3$°C.

(d) $\Delta t = \frac{c_p(T_d - T_1)}{\dot{Q}} \approx 1.6h$

(e) $\Delta t = \frac{c_p(T_f - T_1) + l_v(r_f - r_1)}{\dot{Q}} \approx 3h$

$r_f = r_1 - 10^{-3} \approx 4.9 \times 10^{-3}, e_f = P\frac{r_f}{\varepsilon} \approx 792Pa, T_f \approx 3.6$°C

2. Tefigrama



(a) $r_{1000} \approx \frac{\varepsilon e_{1000}}{10^5} \approx \frac{\varepsilon e^{sat}(14°\text{C})}{10^5} \approx 10 \times 10^{-3}$

(b) Tefigrama $P_{cond} \approx 910\ hPa$, $z_{cond} \approx \frac{T_{cond}-T_{1000}}{-\frac{g}{c_p}} \approx 717m$

(c) $CIN = \int_{base}^{CL} g\frac{\Delta T}{T}dz = \int_{base}^{CL} R_d \Delta T \frac{dP}{P} \implies CIN = -Rd\left(0.5\ln\left(\frac{1000}{910}\right) + 0.5\ln\left(\frac{910}{890}\right)\right) \approx -17\ J\ kg^{-1}$

$$CAPE = \int_{base}^{CL} g\frac{\Delta T}{T}dz = \int_{CL}^{FN} R_d \Delta T \frac{dP}{P} \implies CAPE$$

$$= Rd(0.75\ln\left(\frac{890}{700}\right) + 1.75\ln\left(\frac{700}{650}\right) \approx 129\ J\ kg^{-1}$$

(d) $w_{FN} = \sqrt{w_{base}^2 + 2\ CIN + 2\ CAPE} \approx 16\ ms^{-1}$

(e) $N^2 = \frac{g}{\theta}\frac{\partial\theta}{\partial z} \approx \frac{g}{\overline{\theta}}\frac{\theta_{850}-\theta_{1000}}{\Delta z} \approx 5.9 \times 10^{-5}s^{-2} \implies N \approx 0.76 \times 10^{-2}s^{-1}$

$\Delta z \approx \frac{R_d}{g}\overline{T}\ln\left(\frac{1000}{850}\right) \approx 1368\ m$

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) $\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{\rho\left(\frac{v^2}{R}+fv\right)}{|\nabla P|}\right) \approx 20°$

(b) NA

(c) $v\sin(\alpha)\,2\pi RH = w\pi R^2 \Rightarrow w = \frac{2v\sin(\alpha)H}{R} \approx +1.9\ cm\ s^{-1}$

(d) $\zeta = \frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y} = 2\frac{2v\cos(\alpha)}{2R} = \frac{2v\cos(\alpha)}{R} \approx 0.53 \times 10^{-4}s^{-1}$

$$\delta = \frac{\partial u_x}{\partial x} - \frac{\partial u_y}{\partial y} = -\frac{2v\sin(\alpha)}{R} \approx -1.9 \times 10^{-5}s^{-1}$$

(e) $\frac{\partial \zeta_g}{\partial P} = -\frac{R_d}{fP}\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) \approx -\frac{R_d}{fP}\frac{(4T_{500}-4T_0)}{R^2} \approx -\frac{R_d}{fP}\frac{-20}{R^2} \Rightarrow \frac{\partial \zeta_g}{\partial \ln P} = \frac{R_d}{f}\frac{20}{R^2} \Rightarrow \zeta_{850} = \zeta_{1000} - \frac{R_d}{f}\frac{20}{R^2}\ln\left(\frac{1000}{850}\right) \approx 0.8 \times 10^{-6}s^{-1}$

4. Teorema da circulação de Kelvin

(a) $\frac{dC}{dt} = -\oint \frac{dp}{\rho} = R_d(T_{terra} - T_{mar})\ln\left(\frac{1000}{900}\right)$

$$T_{terra} > T_{mar} \Rightarrow \frac{dC}{dt} > 0$$

(b) $\frac{dC}{dt} = 665\ m^2s^{-2}$

(c) $C_{4h} = 665 \times 4 \times 3600 \approx 9.6 \times 10^6 m^2s^{-1} \Rightarrow v_{4h} \approx \frac{C_{4h}}{10^5} \approx 96\ ms^{-1}$

(d) Desprezou-se o atrito e o efeito de Coriolis

(e) A temperatura em terra teria de descer abaixo da temperatura sobre o oceano durante tempo suficiente e com intensidade suficiente para primeiro cancelar a circulação existente no fim do dia e depois forçar uma circulação invertida.