Meteorologia 2012

Teste 1

Responda sucintamente, mas sempre com justificação. Utilize os diagramas convenientes em cada caso, indicando sempre o(s) diagrama(s) utilizados. Entregue os diagramas identificados.

1. Uma massa de ar apresenta junto à superfície, aos 1003 hPa, uma temperatura de $14°C$ e uma humidade relativa de 90%, às 20h. Durante a noite, a massa de ar arrefece isobaricamente até à formação de um nevoeiro com uma razão de mistura de água líquida de 1.3 g/kg às 6 h da manhã.
    a. Estime a razão de mistura inicial da massa de ar.
    b. Calcule, no diagrama de fases, o estado final da massa de ar.
    c. Calcule a taxa média de perda de calor do ar em W/kg.
    d. Admitindo que esse calor é perdido por uma coluna de ar com 100 m de espessura, por transferência para a superfície, estime o fluxo de calor na base em W/m^2.

2. Um balão de ar quente com 800 m^3 de volume encontra-se numa atmosfera aos 950 hPa, com uma temperatura de $20°C$ e uma humidade relativa de 0%. O interior do balão encontra-se em equilíbrio de pressão com o exterior, com ar seco à temperatura de $50°C$. O invólucro do balão e o cesto suspenso têm uma massa de 10 kg.
    a. Calcule a flutuação do balão.
    b. Calcule a carga máxima que pode ser transportada.
    c. O Gervásio, pesando 70 kg, viaja no balão (nas condições já referidas: pressão exterior de 950 hPa e temperatura $20°C$) e decide atravessar uma nuvem (à mesma temperatura e pressão ambiente). Será boa ideia? (Mostre o que acontece à flutuação na transição)

3. A tabela apresenta uma sondagem atmosférica.

P (hPa)	1000	850	700	500	400
T (ºC)	15	10	-5	-25	-30
T_d(ºC)	13	2	-10	-30	-40

    a. Marque-a no tefigrama.
    b. Localize o nível de convecção livre e estime sua altitude.
    c. Estime a velocidade inicial que deve ser atribuída a uma partícula na base do perfil para a levar ao nível de convecção livre.
    d. Estime a velocidade dessa partícula aos 500 mb.

Tensão de saturação do vapor de água em relação ao gelo ($\boldsymbol{e_i^{sat}}$) e em relação à água líquida ($\boldsymbol{e_l^{sat}}$). Cálculo segundo fórmula das Smithsonian Tables 1984.

$T(°C)$	$e_i^{sat}(Pa)$	$e_l^{sat}(Pa)$
-50	3	6
-49	3	7
-48	3	8
-47	4	9
-46	4	10
-45	5	11
-44	6	12
-43	6	14
-42	7	15
-41	8	17
-40	9	19
-39	11	21
-38	12	23
-37	13	26
-36	15	28
-35	17	31
-34	19	35
-33	21	38
-32	24	42
-31	27	46
-30	30	51
-29	34	56
-28	38	61
-27	42	67
-26	47	74
-25	52	81
-24	58	88
-23	65	96
-22	72	105
-21	80	115
-20	89	125
-19	99	137
-18	109	149
-17	121	162
-16	134	176
-15	148	191
-14	164	207
-13	181	225
-12	199	244
-11	220	264

$T(°C)$	$e_i^{sat}(Pa)$	$e_l^{sat}(Pa)$
-10	242	286
-9	266	309
-8	293	335
-7	322	361
-6	353	390
-5	387	421
-4	425	454
-3	466	489
-2	510	527
-1	558	567
0	610	610
1		656
2		705
3		757
4		812
5		871
6		934
7		1001
8		1071
9		1147
10		1226
11		1311
12		1401
13		1496
14		1597
15		1703
16		1816
17		1935
18		2062
19		2195
20		2336
21		2485
22		2641
23		2807
24		2981
25		3165
26		3359
27		3563
28		3777
29		4003

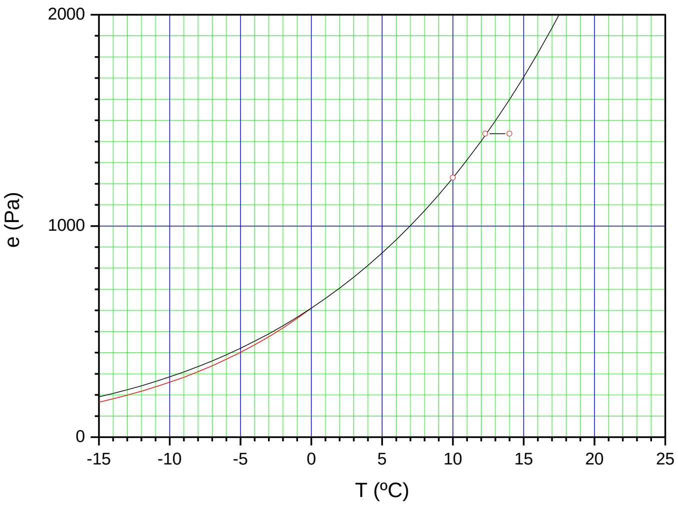
$T(°C)$	$e_i^{sat}(Pa)$	$e_l^{sat}(Pa)$
30		4241
31		4490
32		4752
33		5028
34		5317
35		5621
36		5939
37		6273
38		6623
39		6990
40		7374
41		7776
42		8197
43		8638
44		9099
45		9581
46		10084
47		10611
48		11160
49		11734
50		12333

Resolução

1.

   a. $e^{sat}(14°\text{C}) = 1597, e_i = 1437\ Pa, r_i \approx 8.9\ g\ kg^{-1}$

   b. $r_f = r_i - 1.3\ g\ kg^{-1} \approx 7.6\ g\ kg^{-1}, e_f \approx 1228\ Pa, T_f \approx 10°\text{C}$



   c. $\frac{Q}{m} = c_p(T_f - T_i) + l_v(r_f - r_i) \approx -7.27 \times 10^3 J\ kg^{-1}, \frac{\dot{Q}}{m} \approx \frac{7270}{10 \times 3600} \approx -0.2\ W\ kg^{-1}$

   d. $Fluxo = \frac{\dot{Q}}{m} \times \frac{massa\ coluna}{área} = \frac{\dot{Q}}{m} \times \rho\Delta z \approx -0.2 \times 1.2 \times 100 \approx -24\ Wm^{-2}$

2.

   a. $b = \frac{I-P}{m} = \frac{\left(\frac{PV}{R_d T_{amb}} - \frac{PV}{R_d T_{ar,balão}} - m_{cesto+inv}\right)g}{\frac{PV}{R_d T_{ar,balão}} + m_{cesto+inv}} \approx \frac{724N}{829\ kg} \approx 0.87ms^{-2}$

   b. A carga máxima corresponde a flutuação nula:

$$\frac{\left(\frac{PV}{R_d T_{amb}} - \frac{PV}{R_d T_{ar,balão}} - m_{cesto+inv} - m_{transp}\right)g}{\frac{PV}{R_d T_{ar,balão}} + m_{cesto+inv} + m_{transp}} = 0 \Longrightarrow m_{transp}$$
$$= \frac{PV}{R_d T_{amb}} - \frac{PV}{R_d T_{ar,balão}} - m_{cesto+inv} \approx 73.84\ kg$$

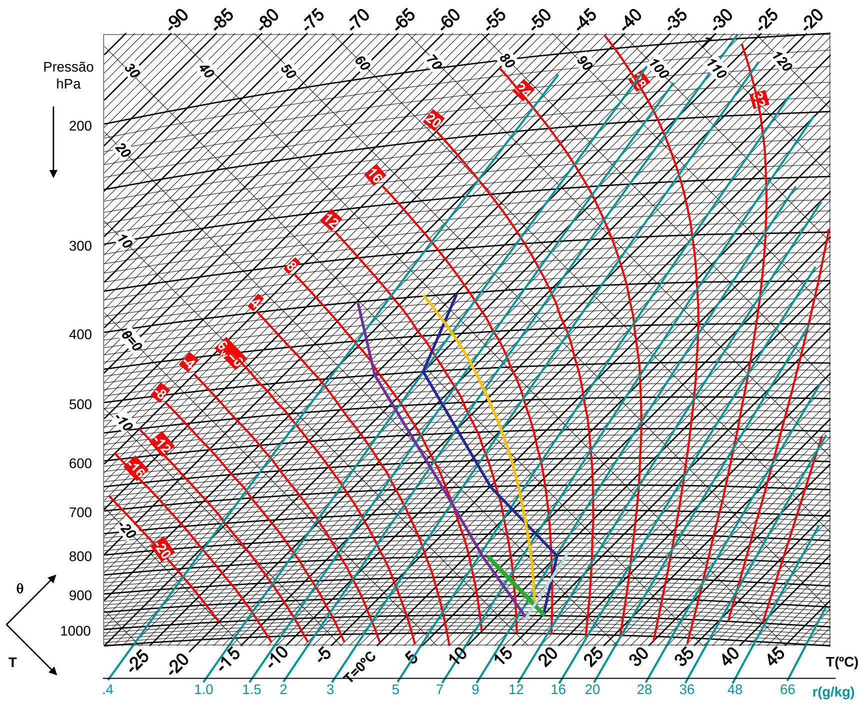
   c. Dado que o Gervásio pesa menos de 73.84 kg o sistema tem flutuação positiva antes de entrar na nuvem. No entanto, quando entra na nuvem a densidade do ar ambiente é mais baixa devido à humidade e tem-se (substitui-se $T_{amb} = 293.15\ K$ por $T_{v,amb} \approx 295.9\ K$):

$$b = \frac{I-P}{m} = \frac{\left(\frac{PV}{R_d T_{v,amb}} - \frac{PV}{R_d T_{ar,balão}} - m_{cesto+inv} - m_{transp}\right)g}{\frac{PV}{R_d T_{ar,balão}} + m_{cesto+inv} + m_{transp}}$$
$$\approx -0.049\ ms^{-2}$$

   Logo: é má ideia entrar na nuvem. O balão entra em queda.

3.

a.



b. Nível de convecção livre 780 hPa

$$z_{NCL} \approx \frac{R_d \bar{T}}{g} \ln\left(\frac{1000}{780}\right) \approx 2081\ m$$

Com $\bar{T} \approx 12.82°\text{C} \approx 286K$

c. Calcula-se CIN:

$$CIN = \int_0^{z_{NCL}} \frac{\Delta T}{T} g\ dz \approx \overline{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)} g z_{NCL} \approx -117\ J\ kg^{-1}$$

Com $\overline{\Delta T} \approx -1.6\ K$.

Nota: fez-se uma média pesada por camadas

$$\overline{\Delta T} \approx \frac{\frac{\Delta T_{1000} + \Delta T_{920}}{2}(10000 - 920) + \frac{\Delta T_{920} + \Delta T_{850}}{2}(920 - 850)\frac{\Delta T_{850} + \Delta T_{780}}{2}(850 - 780)}{1000 - 780}$$

Pelo teorema da energia cinética:

$$w_{NCL}^2 = w_0^2 - 2\ |CIN|$$

A velocidade mínima w_0 será a correspondente ao caso limita $w_{NCL} = 0$, i.e. a partícula consegue chegar à convecção livre mas chega lá gastando toda a energia cinética inicial. Assim:

$$w_{0,MIN} = \sqrt{2 \times CIN} \approx 15\ ms^{-1}$$

d. O raciocínio é idêntico. Neste caso, a velocidade no nível de convecção livre é nula e:

$$w_{500} = \sqrt{2 \times CAPE_{780-500}} \approx 29\ ms^{-1}$$

$$CAPE_{780-500} = \int_{z_{NCL}}^{z_{500}} \frac{\Delta T}{T} g\ dz$$

$$\approx \overline{\left(\frac{\Delta T}{T}\right)} g \frac{R_d}{g} \bar{T} \ln\left(\frac{780}{500}\right) \approx \overline{\Delta T} R_d \ln\left(\frac{780}{500}\right) \approx 419\ Jkg^{-1}$$

Com $\overline{\Delta T} \approx +3.3\ K$.