

Determinar a altura da base das nuvens

A altura da base das nuvens é importante para decidir se vale a pena jogar para um “cross” ou melhor ficar e fazer um vôo local.

Um higrômetro mede a umidade relativa do ar. Através de um diagrama altura/umidade (figura 1) podemos obter a altura relativa do chão da base das nuvens a partir do valor da umidade relativa.

Teoría

A gente sabe que a temperatura em conjunto com a umidade relativa define a altura da base das nuvens. É possível determinar a altura da base das nuvens aplicando uma fórmula simplificada de um tal Henning:

$$\text{Altura da base de nuvem (A)} = 125 * \text{Spread}$$

Spread = diferença entre a temperatura atual e a do ponto de condensação

$$\text{Spread} = T - T_C$$

Mas o que significa esta diferença, este tal *Spread*? O *Spread* depende da umidade relativa do ar. Quando maior a umidade, menor a diferença entre a temperatura atual e a do ponto de condensação e, em consequência, a altura da base das nuvens.

diagrama altura/umidade

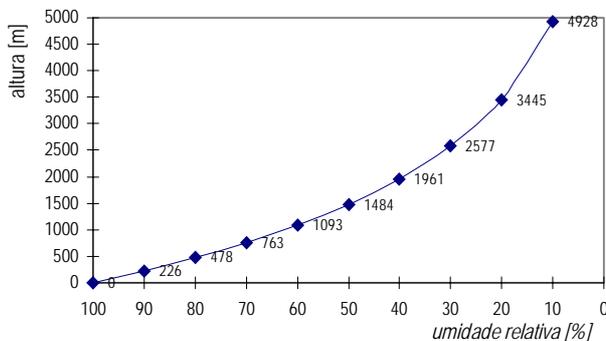


Figura 1

Vamos nos lembrar um pouco da meteorologia a respeito da umidade relativa. O ar consegue carregar umidade de forma gasosa. Quando mais quente o ar, maior a quantidade máxima absoluta de umidade em forma de vapor invisível. Para cada temperatura existe um limite desta quantidade. Não há como carregar mais umidade acima deste limite, a umidade absoluta máxima significa 100% umidade relativa (figura 2). A relação entre a umidade real atual e a umidade máxima absoluta numa temperatura qualquer chama-se umidade relativa. O *spread* depende desta umidade relativa.

Os valores da umidade relativa e as respectivas temperaturas transferidos para um diagrama mostram a seguinte fórmula matemática:

$$y = a * e^{b * T}$$

Com um cálculo de equalização definem-se os valores **a** e **b**. Este cálculo porém é matemática pura e não será discutido aqui. Importante são somente os valores **a** e **b**.

umidade relativa [%]	base da nuvem (acima do chão) [m]
10	4928
15	4061
20	3445
25	2967
30	2577
35	2247
40	1961
45	1709
50	1484
55	1280
60	1093
65	922
70	763
75	616
80	478
85	348
90	226
95	110

Tabela 1

Com eles obtém-se a fórmula matemática que define a umidade absoluta como função da temperatura:

$$u(T) = 5,214 * e^{0,0584 * T}$$

Podemos verificar na figura 2 que no caso de uma temperatura de 35°C por exemplo, um metro cúbico de ar pode conter no máximo 40 gramas de vapor.

Umidade vs. base da nuvem

O conhecimento desta fórmula leva às seguintes considerações:

A umidade relativa atual na temperatura T (seta direita na figura 2) equivale a umidade absoluta (100%) na temperatura T_C (seta esquerda).

Usando a fórmula acima podemos formar a seguinte equação:

$$u(T_C) = u(T) * \text{valor da umidade relativa atual}$$

ou seja o valor da umidade relativa atual é uma fração da umidade absoluta porém é equivalente da umidade

absoluta da temperatura do ponto de condensação T_C (veja as setas na figura 2).

No caso do nosso exemplo a umidade atual seria aproximadamente 43% da umidade máxima possível para esta temperatura. Em outras palavras, o comprimento da seta direita é 43% do comprimento máximo (até encostar na curva). Ao substituir o **valor da umidade relativa atual** na nossa equação pelo parâmetro U_R chegamos na equação seguinte:

$$U_R[\%] * 5,214 * e^{0,0584 * T} = 100[\%] * 5,214 * e^{0,0584 * T_C}$$

A solução desta fórmula para T_C fornece uma nova fórmula, desta para a temperatura do ponto de condensação:

$$T_C = T - 17,113 * \ln(100/U_R)$$

com a temperatura atual (T) e o logaritmo natural (\ln) que deveria ser presente numa calculadora comum.

Vamos verificar a nossa fórmula num exemplo. Vamos supor que a temperatura atual fosse 30°C e a umidade relativa 43% (de acordo com o nosso higrômetro de bolso). Com estes valores a nossa equação parece assim:

$$T_C = 35 - 17,113 * \ln(100/43) = 20,557^\circ\text{C}$$

ou seja a temperatura do ponto de condensação no nosso exemplo seria mais ou menos $20,5^\circ\text{C}$. Isso pode ser verificado também na figura 2.

Já sabemos de que a diferença entre a temperatura atual e a do ponto de condensação ou seja o *Spread* é $T - T_C$.

A fórmula acima podemos escrever na seguinte maneira:

$$35 - T_C = 17,113 * \ln(100/43)$$

Neste exemplo o valor 35 marca a temperatura atual e o termo $35 - T_C$ podemos substituir pelo termo $T - T_C$.

Já sabemos que $T - T_C$ é o nosso *Spread*. Ao substituir então $35 - T_C$ por nosso *Spread* recebemos a fórmula final

$$\text{Spread} = 17,113 * \ln(100/43) = 14,5^\circ\text{C}$$

que mostra que o *Spread* é independente da temperatura atual e somente depende da umidade relativa atual.

Como foi a nossa primeira fórmula de Henning?

$$\text{Altura da base de nuvem (A)} = 125 * \text{Spread}$$

Vamos substituir agora o termo *Spread* desta fórmula pelo termo elaborado e recebemos a fórmula final:

$$A = 125 * 17,113 * \ln(100/43)$$

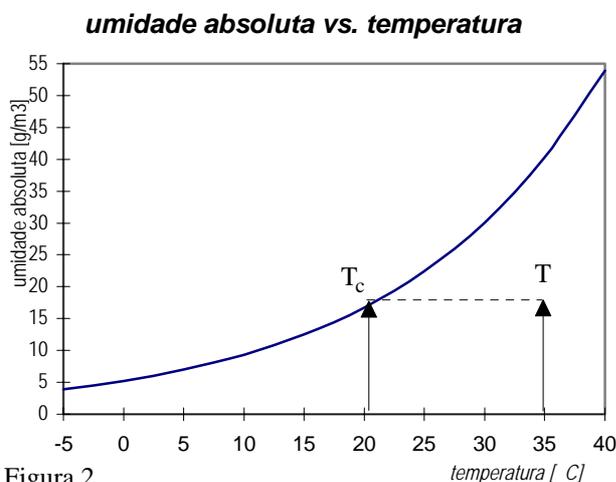
Isso para quem chega na rampa com higrômetro e calculadora avançada. Os outros somente precisam a tabella 1 e um higrômetro que é barato e pode ser ativo fixo do clube acessível na decolagem.

Ao usar finalmente os valores do nosso exemplo que deu um *Spread* de $14,5^\circ\text{C}$ somente basta multiplicar por 125 e chegamos à altura da base das nuvens:

$$A = 125 * \text{Spread} = 125 * (35 - 20,5) = 1813\text{m}$$

Isso acima do ponto de medição da umidade relativa.

No fim deveria ser considerado mais uma vez que consideramos condições ideais ou seja térmicas que sobem adiabaticamente e seco (adiabaticamente = sem troca de energia, ou seja calor, com o ar no redor enquanto subindo).



Na prática porém o valor obtido teoricamente seguindo as considerações acima muitas vezes chega bem perto ao valor real.

FRANZ BRAUN

Fonte:

Artigo "Basishöhe bestimmen", Fly and Glide 10/98