



**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”**  
Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição

**LAN 2662 – OPERAÇÕES UNITÁRIAS NO PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS II**

**Secagem**

**Psicrometria**

Profa. Gabriela Feltre



## Roteiro da Aula:

- ✓ Resumo da aula passada:
  - Conceito de Potencial químico;
  - Balanço de Massa –  $U_{bu}$  e  $U_{bs}$ ;
  - Parâmetro cinético ( $k$ );
  
- ✓ Psicrometria.



# *Secagem*

# *Psicrometria*

# Redução da atividade de água

## Secagem

Conservação e segurança

Logística e conveniência

### Métodos

#### Concentração

- Evaporação
- Membranas
- Crioconcentração
- Desidratação osmótica

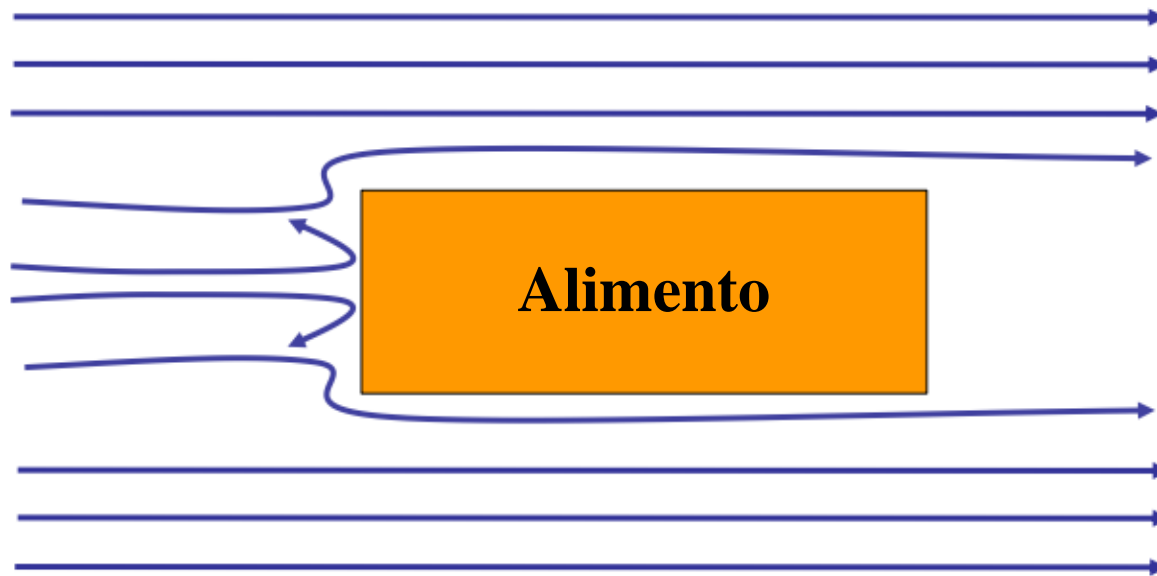
#### Adição de solutos

#### Secagem

- Ar
- Contato
- Extrusão
- Liofilização

## Olhando para o alimento

ar seco



Alimento seco

Quando para aliment

**Já visto!**  
**CINÉTICA DE**  
**SECAGEM**

**Alimento seco**



## Olhando para o ar



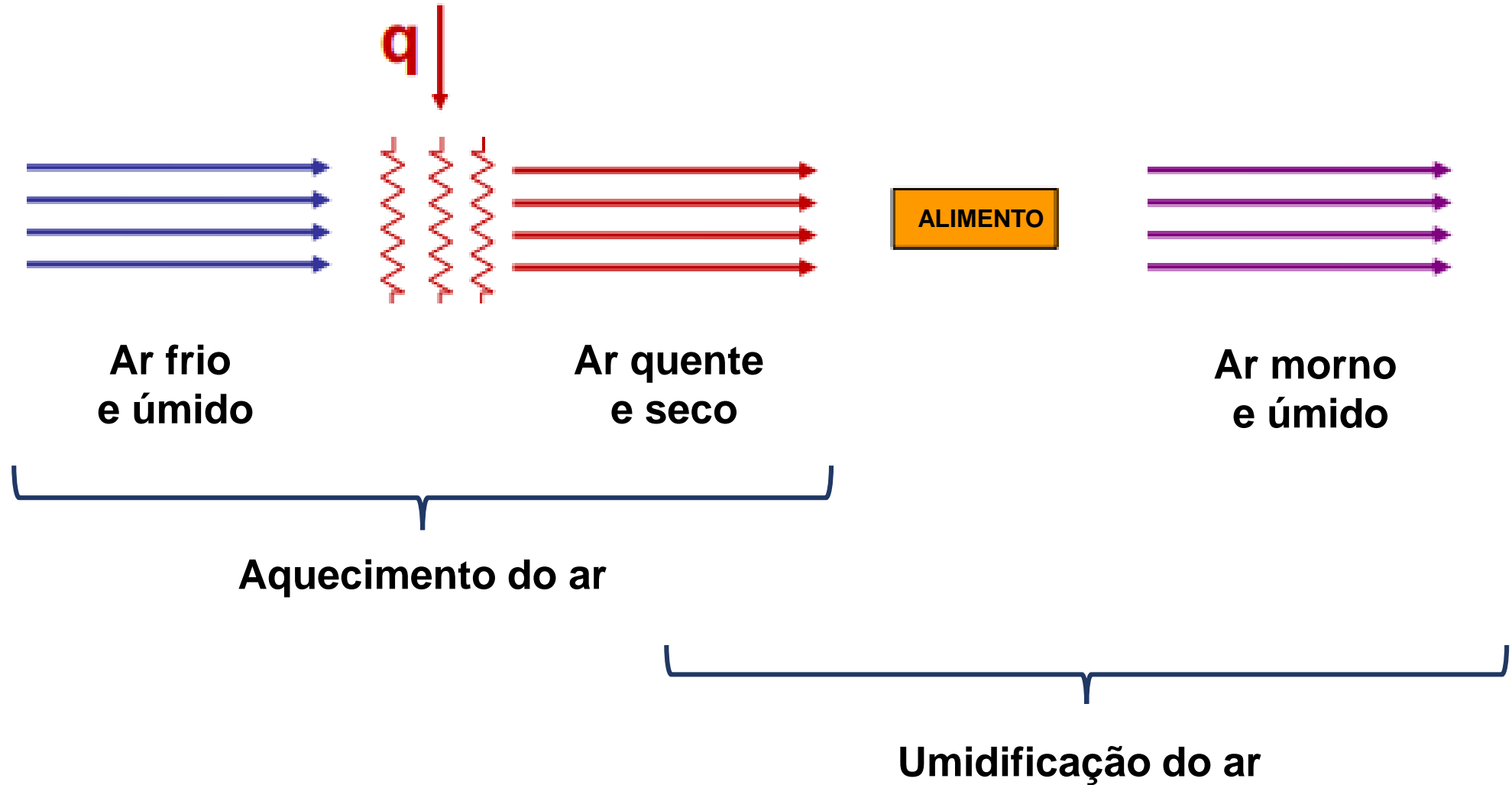
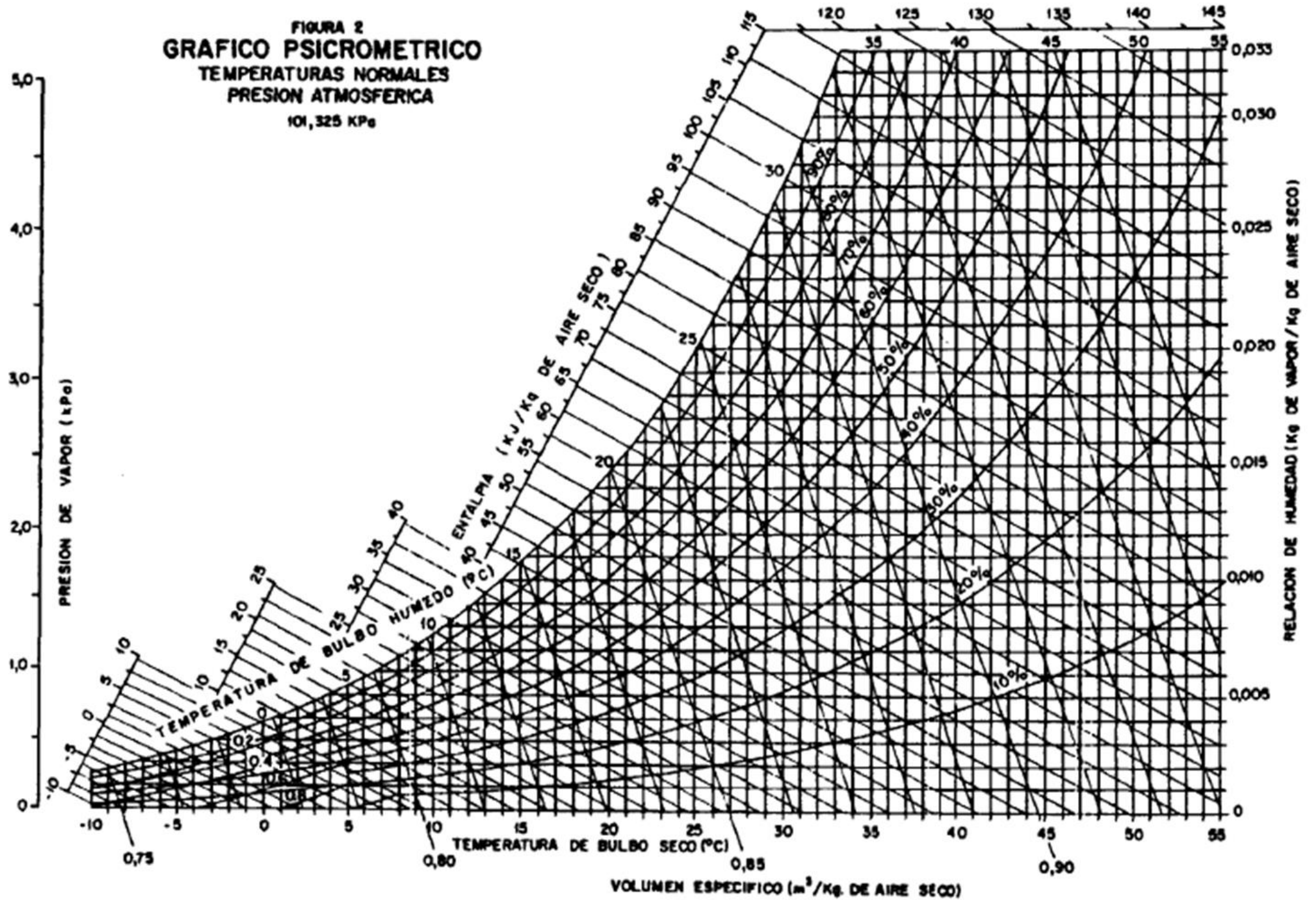
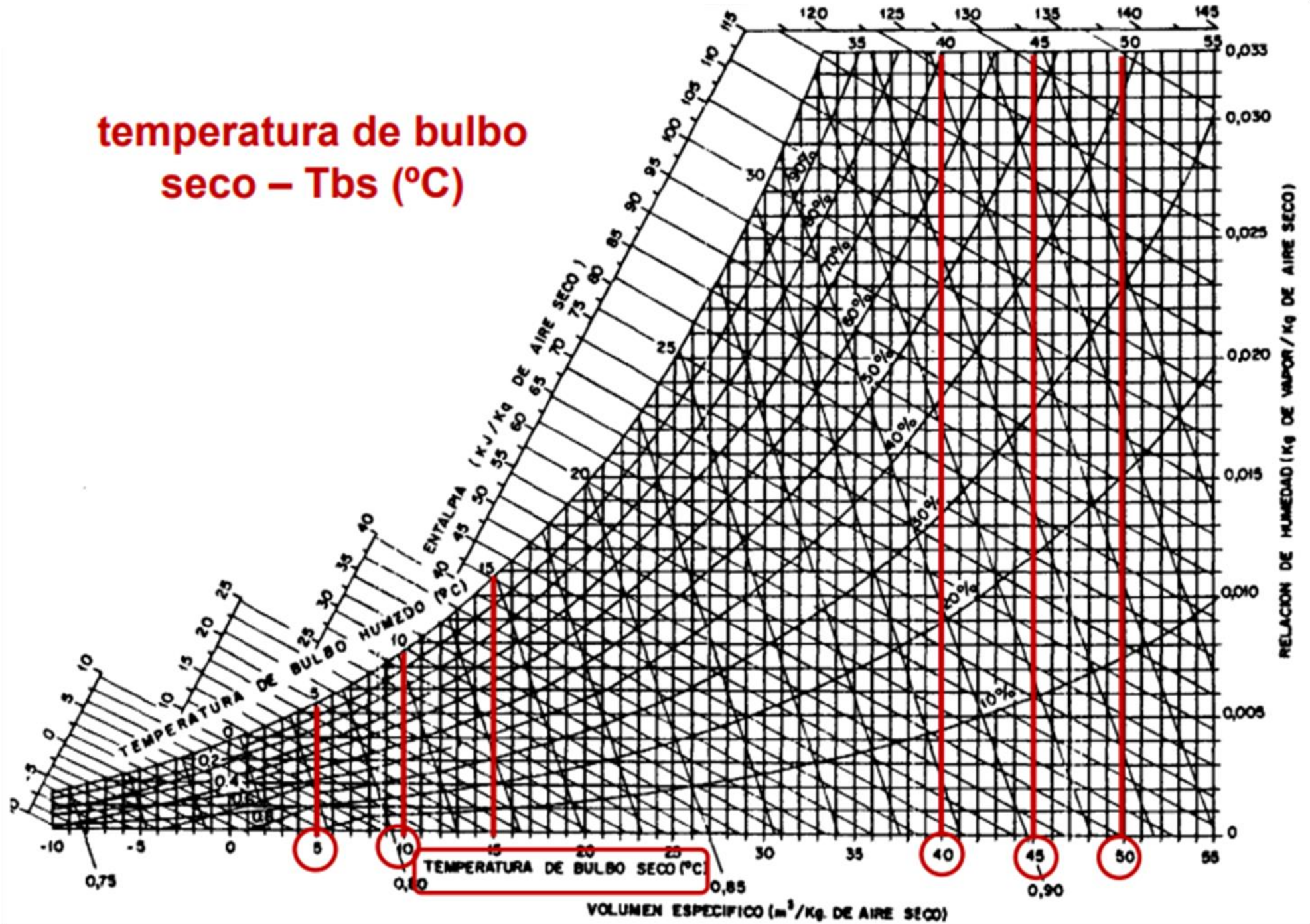




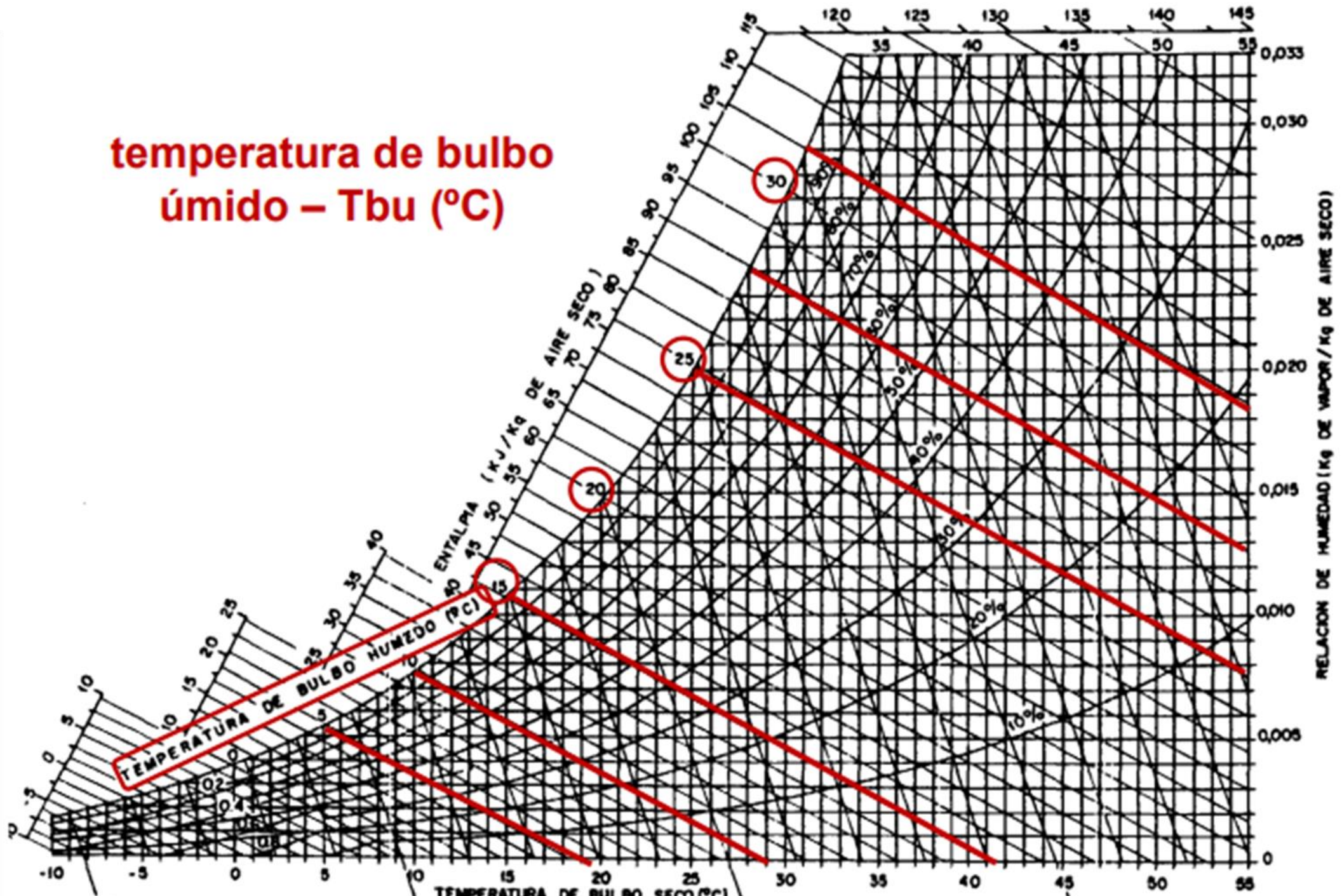
FIGURA 2  
**GRAFICO PSICROMETRICO**  
 TEMPERATURAS NORMALES  
 PRESION ATMOSFERICA  
 101,325 KPa



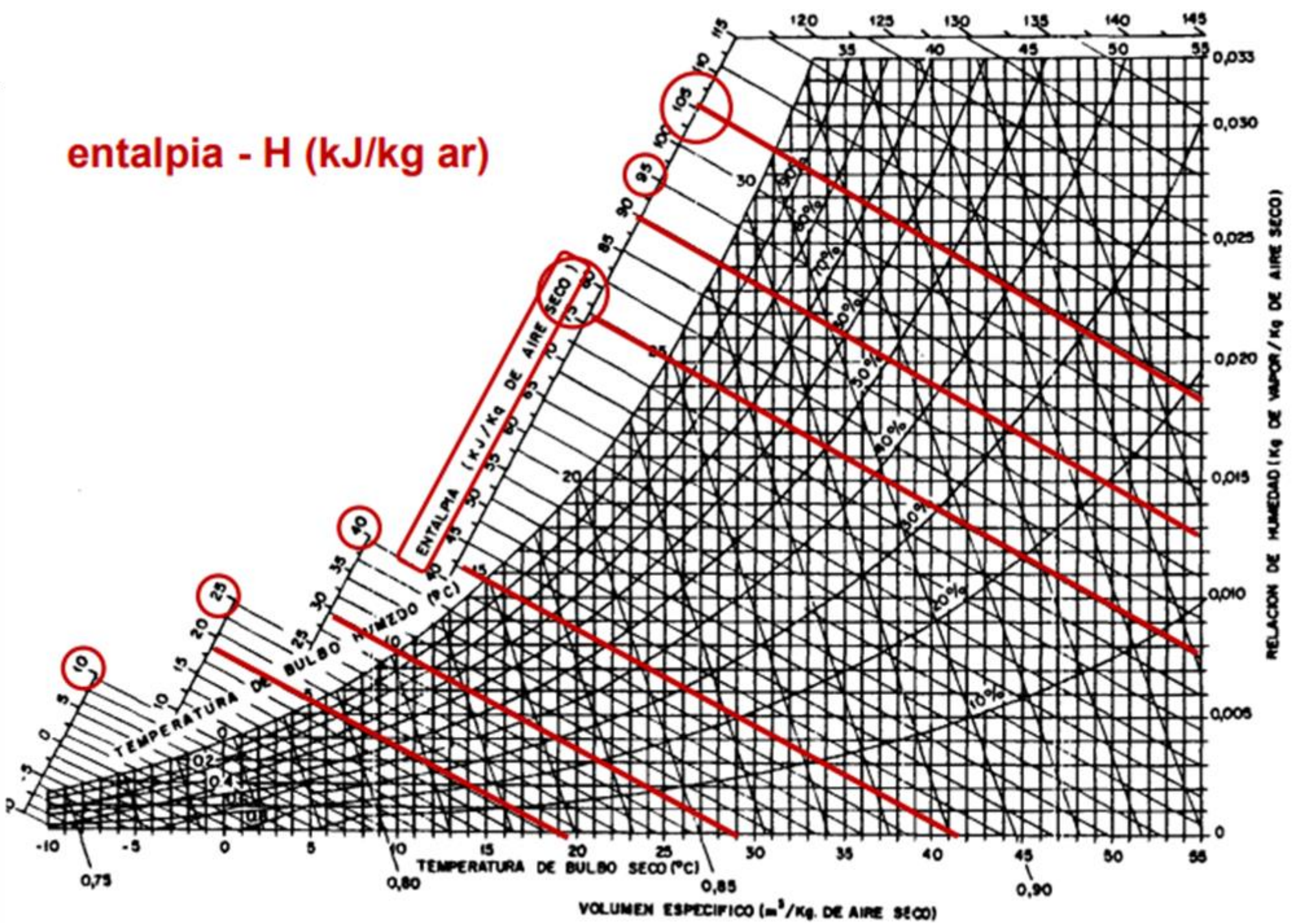
**temperatura de bulbo  
seco – Tbs (°C)**



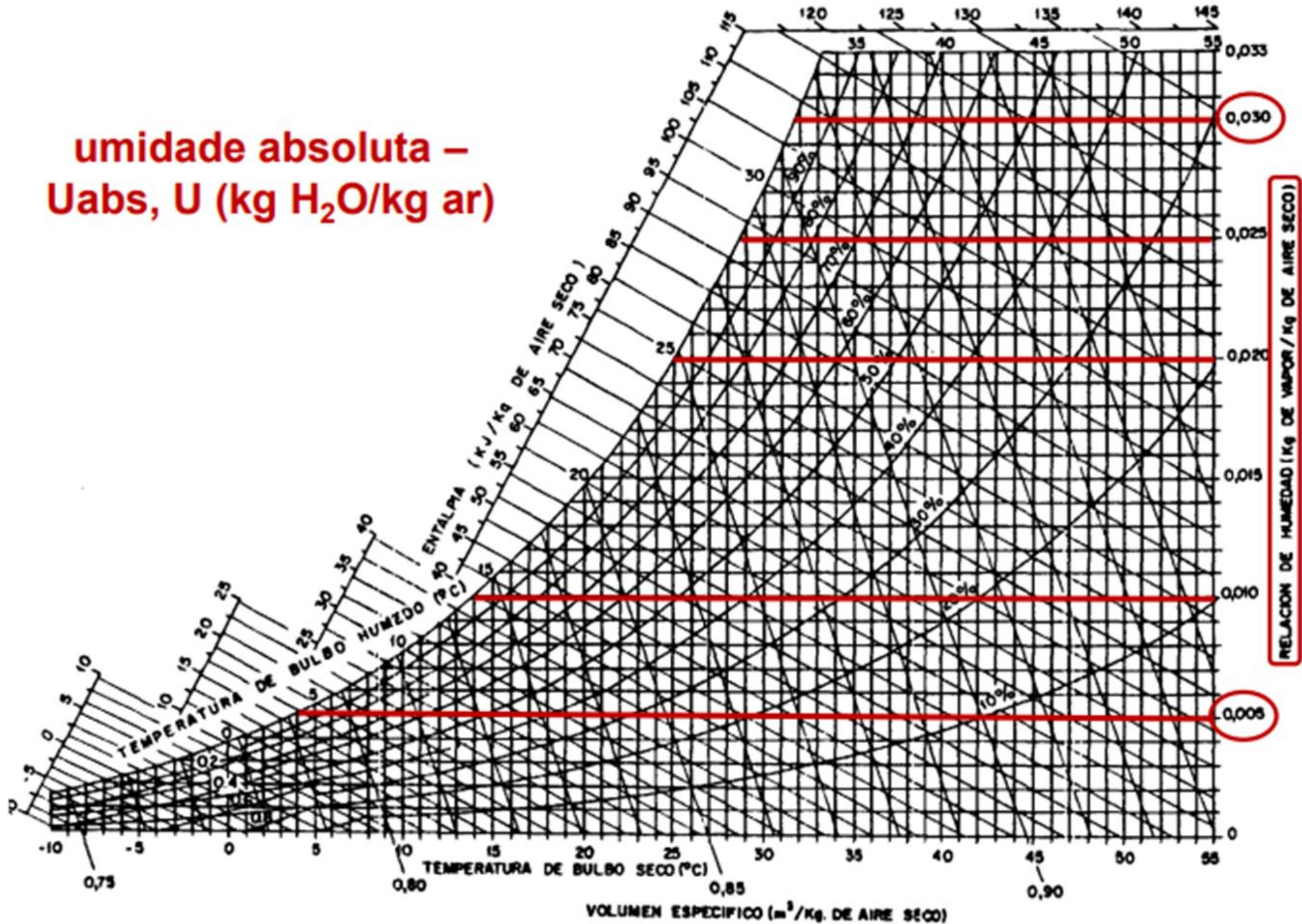
temperatura de bulbo  
úmido – Tbu (°C)



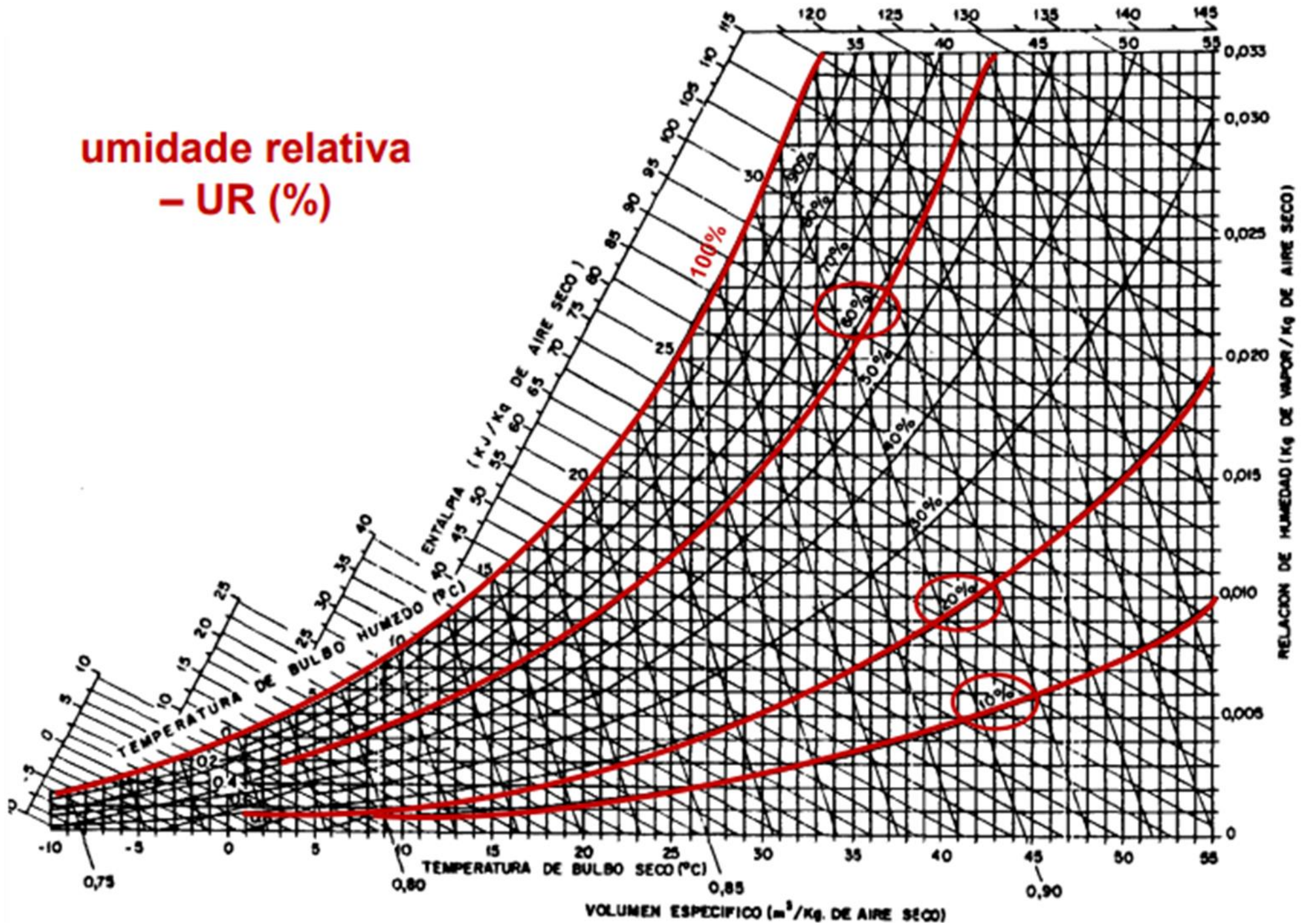
entalpia - H (kJ/kg ar)



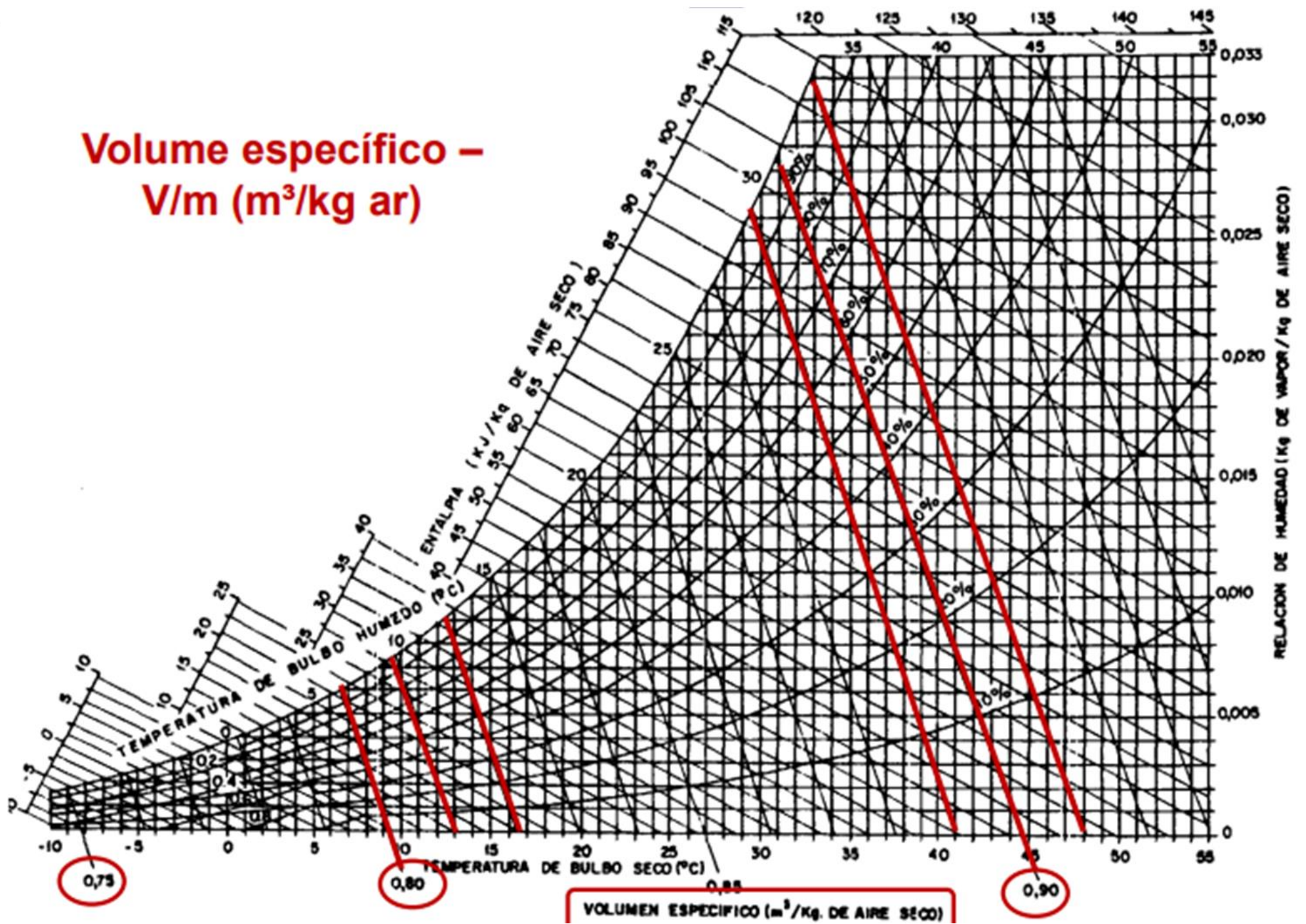
**umidade absoluta –  
Uabs, U (kg H<sub>2</sub>O/kg ar)**



**umidade relativa  
- UR (%)**



**Volume específico –  
V/m (m<sup>3</sup>/kg ar)**

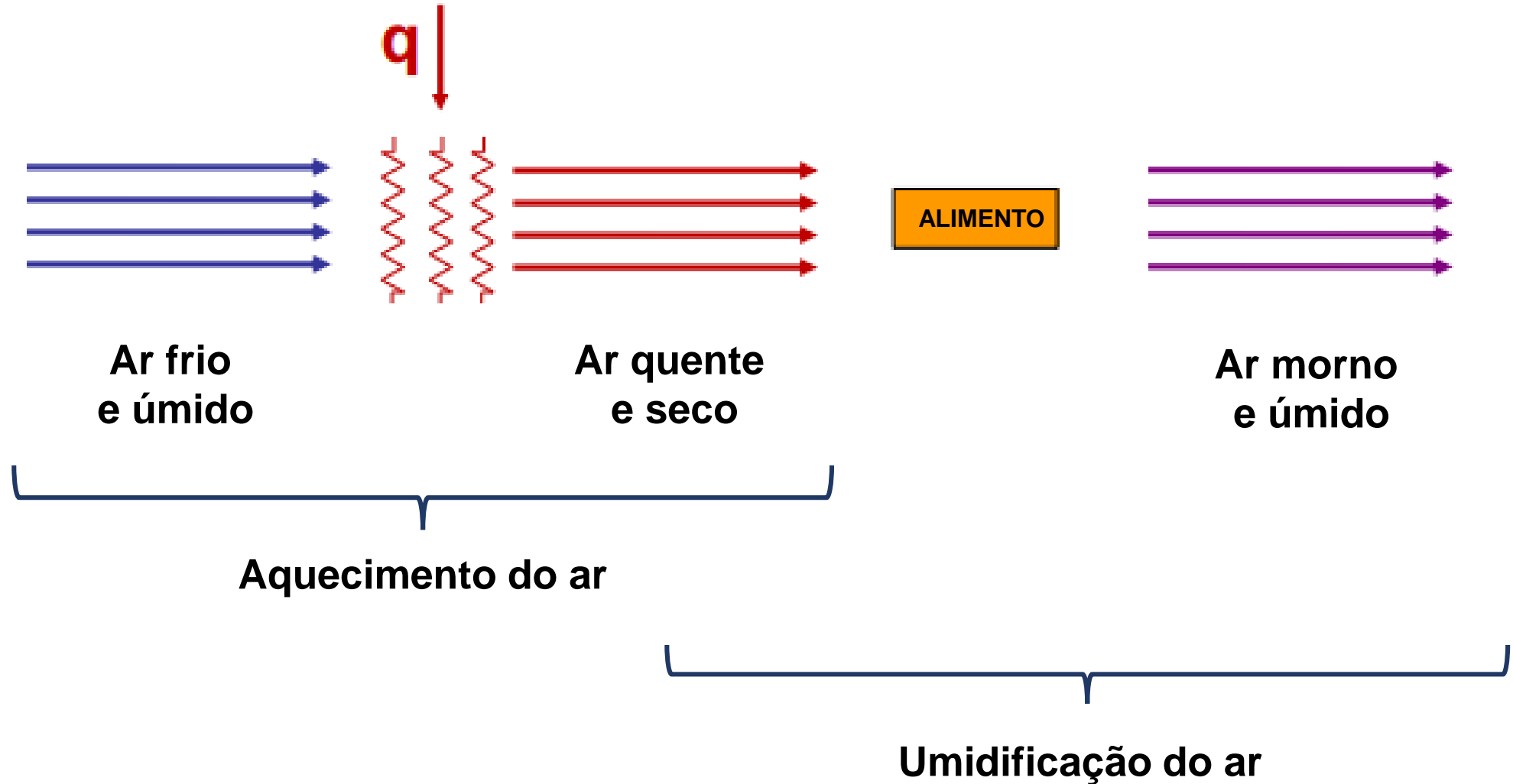




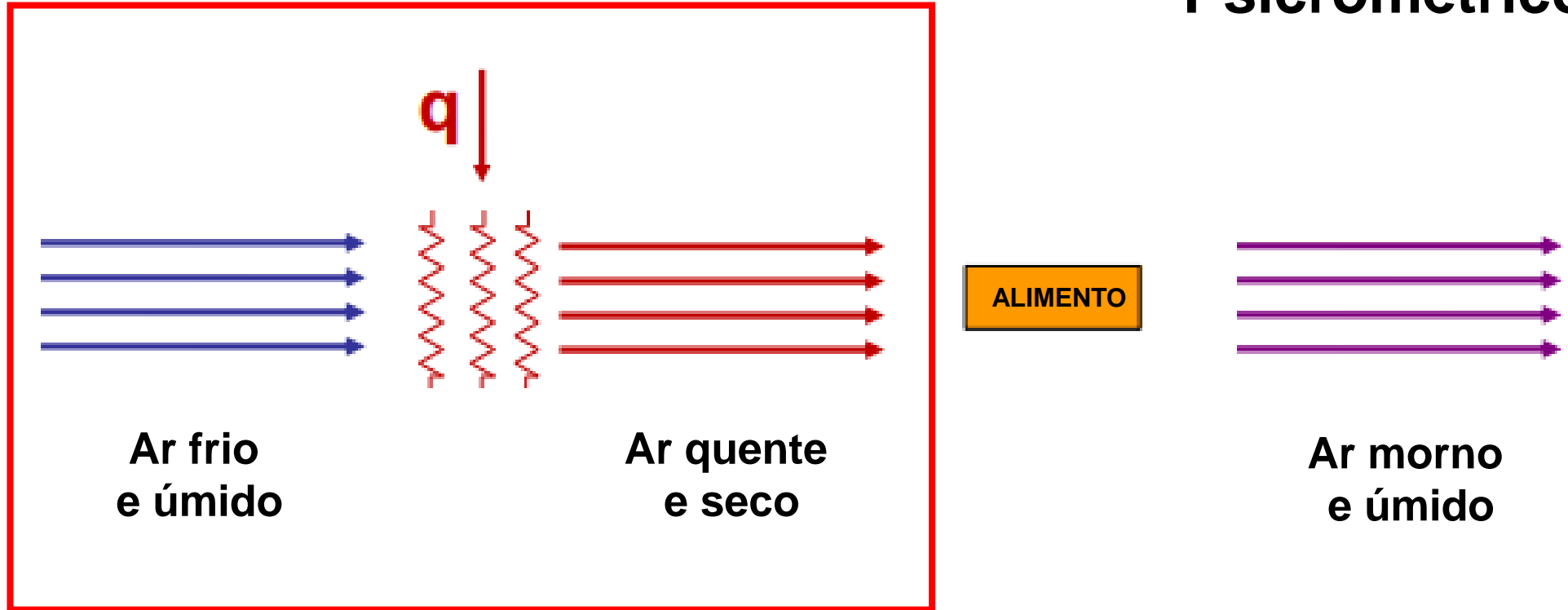
# *Processos Psicrométricos*



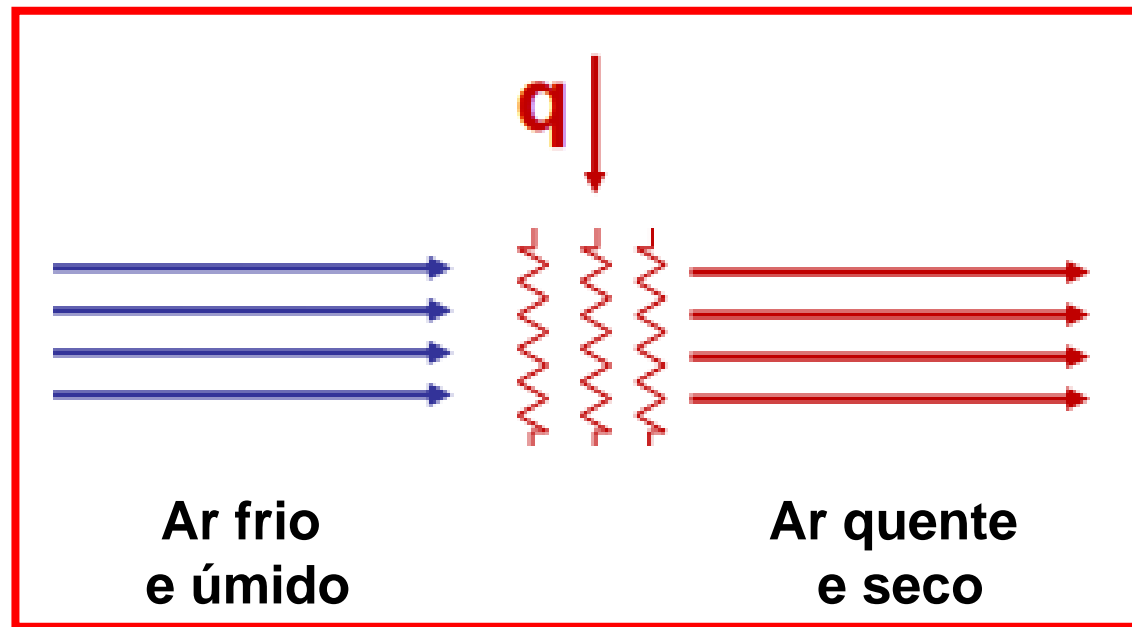
# Processos Psicrométricos



# Processos Psicrométricos



Aquecimento do ar



## Aquecimento do ar:

- ✓ Temperatura do ar aumenta;
- ✓ A umidade (quantidade de água) do ar não varia;
- ✓ UR diminui.

Exemplo:

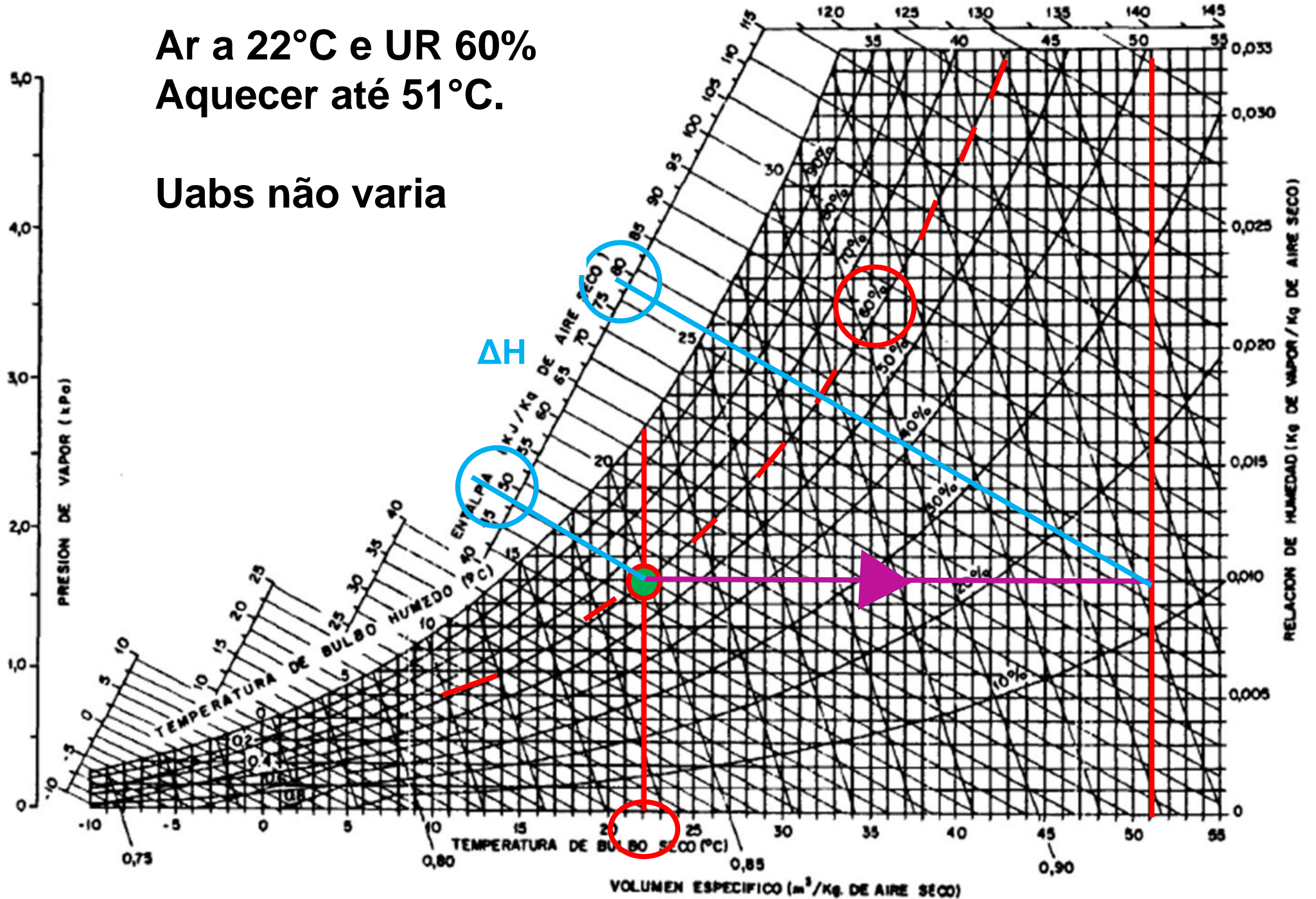
Ar a 22°C com 60% de UR.  
Quero aquecer até 51°C.

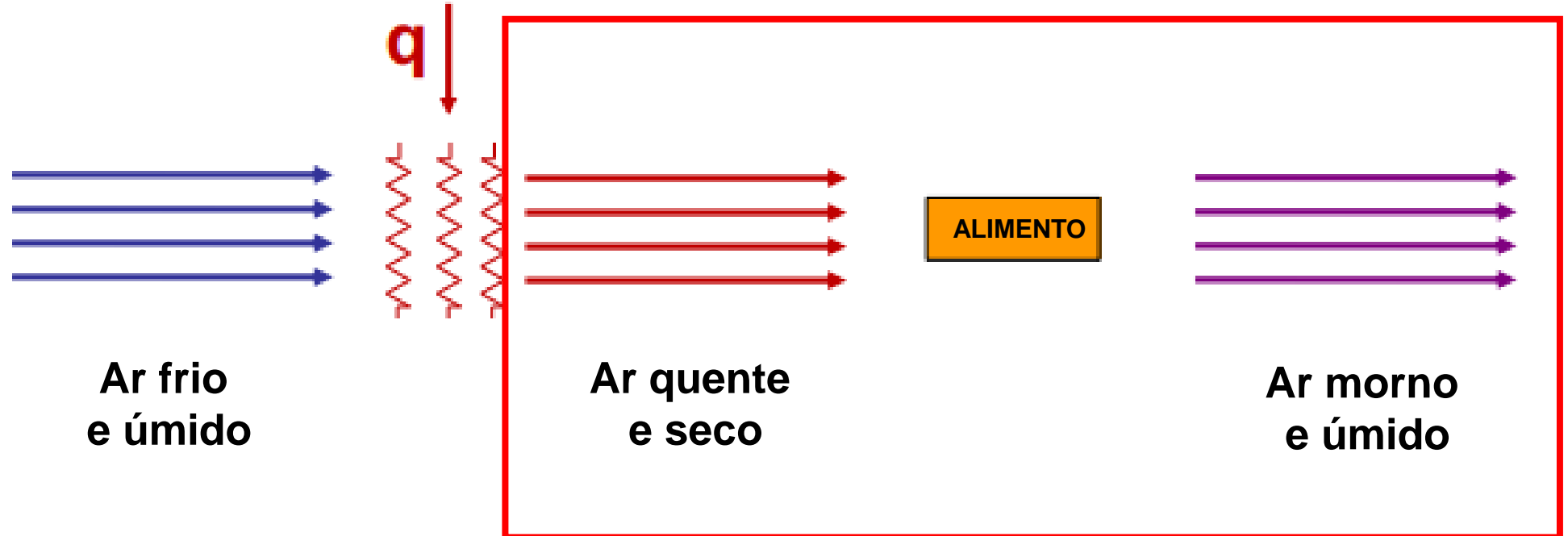
O que sei:

- ✓ Temperatura aumenta;
- ✓ Uabs não muda;
- ✓ UR diminui.

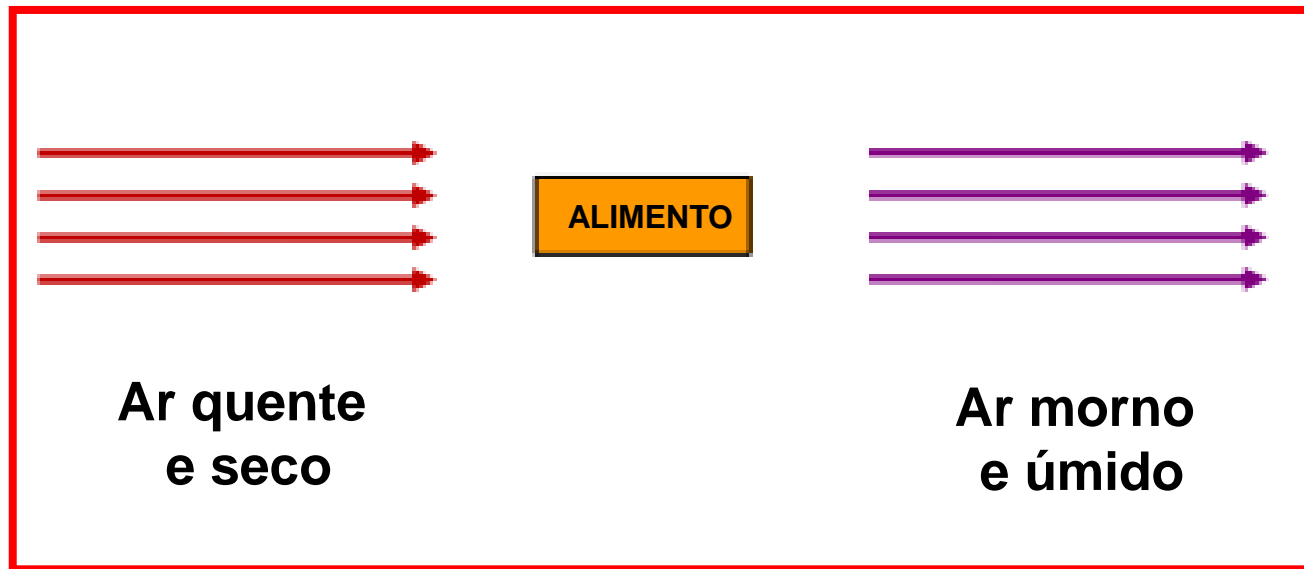
Ar a 22°C e UR 60%  
Aquecer até 51°C.

Uabs não varia





Umidificação do ar



## Processos Psicrométricos

### Umidificação do ar:

- ✓ Umidade do ar aumenta (ar ganha água);
- ✓ Ar se resfria;
- ✓ UR aumenta;
- ✓ **PROCESSO ADIABÁTICO** – sem variação de calor.

Exemplo:

Ar com 51°C e 12,5% de UR é deixado em contato com alimento ( $a_w=0,8$ ) até equilíbrio.

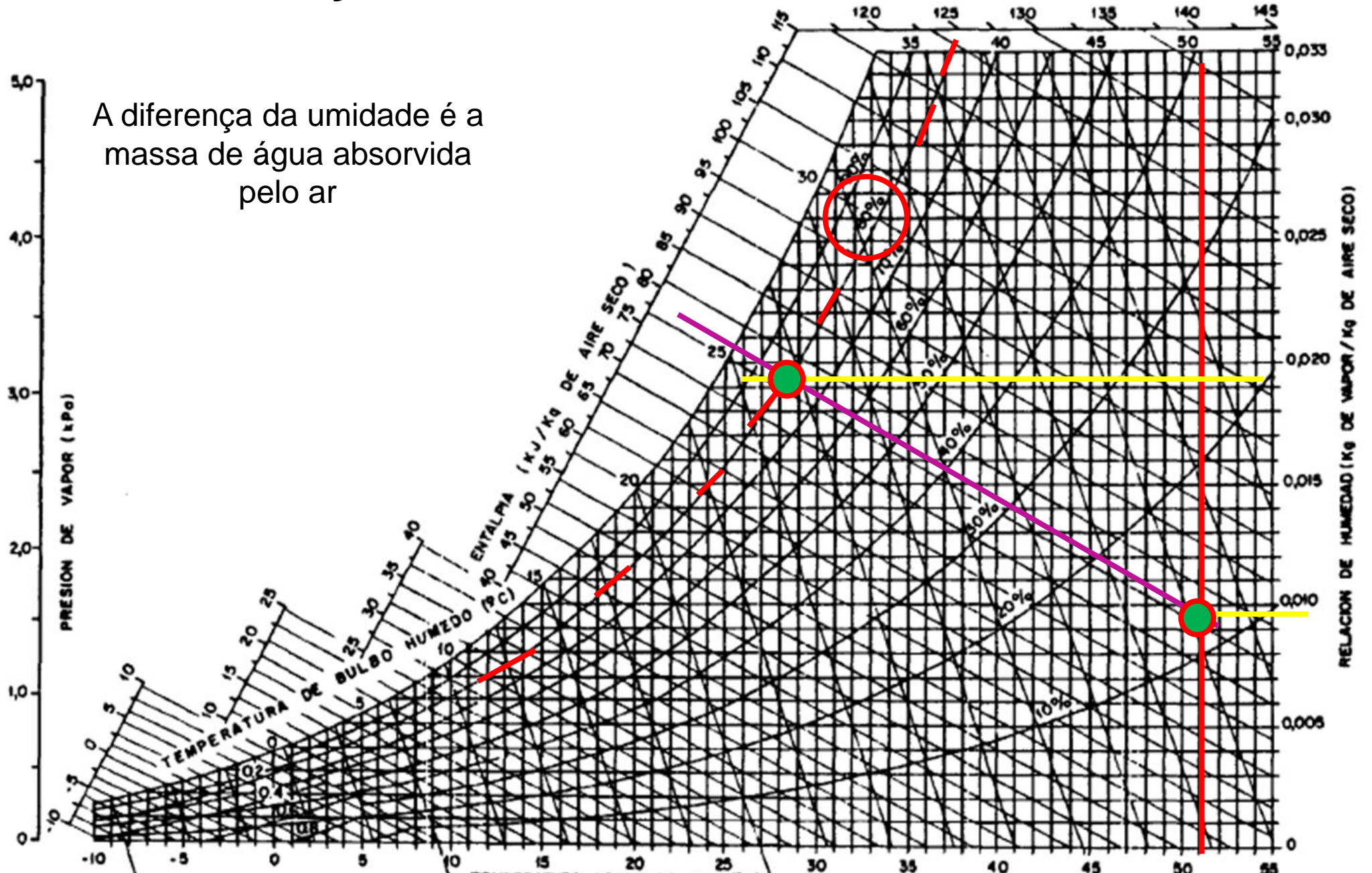
O que sei:

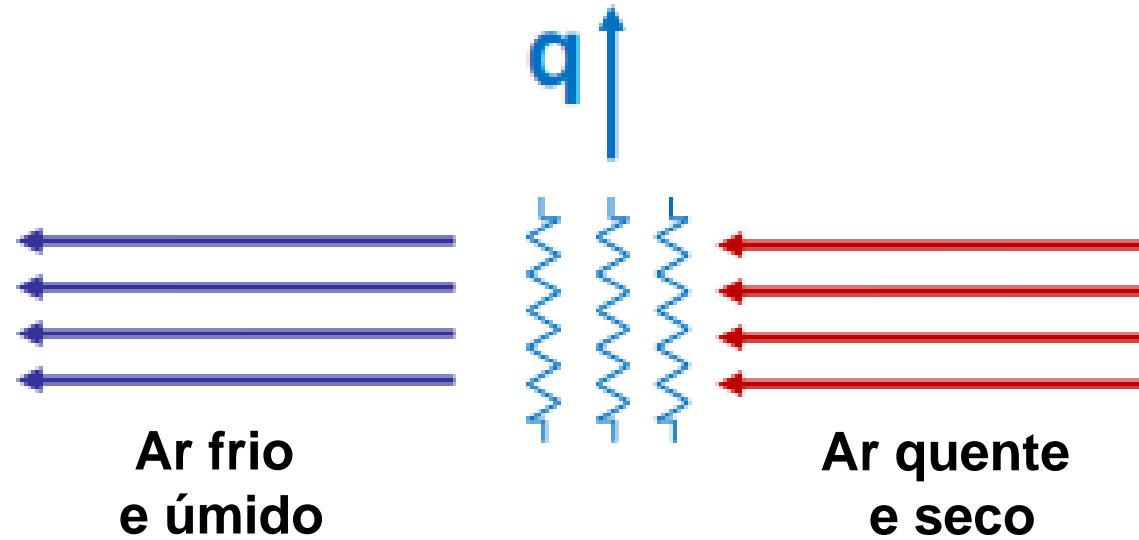
- ✓ Temperatura diminui;
- ✓  $U_{abs}$  aumenta;
- ✓ UR aumenta;
- ✓  $\Delta H = 0$



# Umidificação do ar

A diferença da umidade é a massa de água absorvida pelo ar





## Resfriamento do ar:

- ✓ Temperatura do ar diminui;
- ✓ A umidade (quantidade de água) do ar não varia;
- ✓ UR aumenta;
- ✓ Temperatura de orvalho (Torv).

Exemplo:

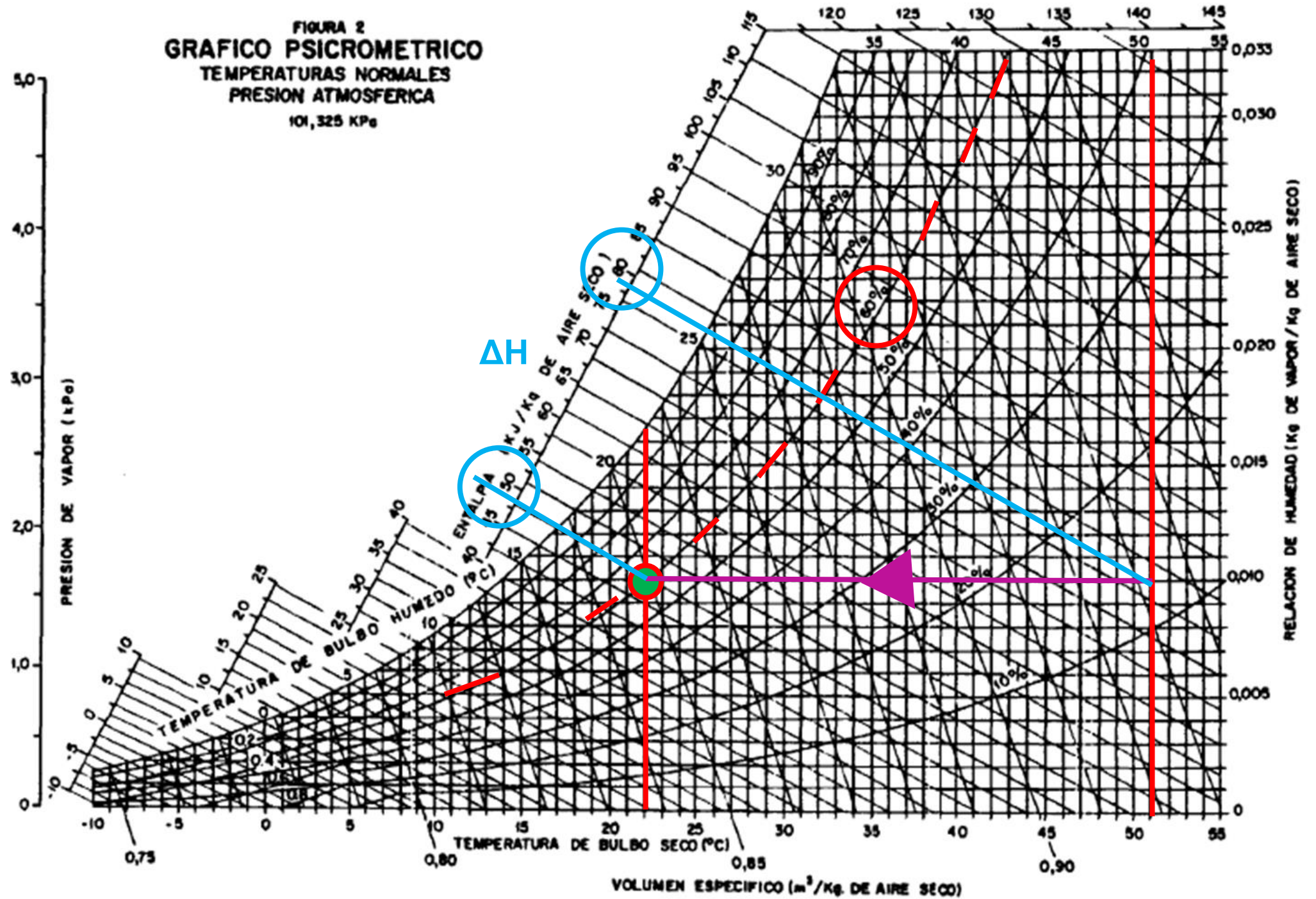
Ar a 51°C.

Quero resfriar até 22°C (UR = 60%).

O que sei:

- ✓ Temperatura diminui;
- ✓ Uabs não muda;
- ✓ UR aumenta;

FIGURA 2  
**GRAFICO PSICROMETRICO**  
 TEMPERATURAS NORMALES  
 PRESION ATMOSFERICA  
 101,325 KPa



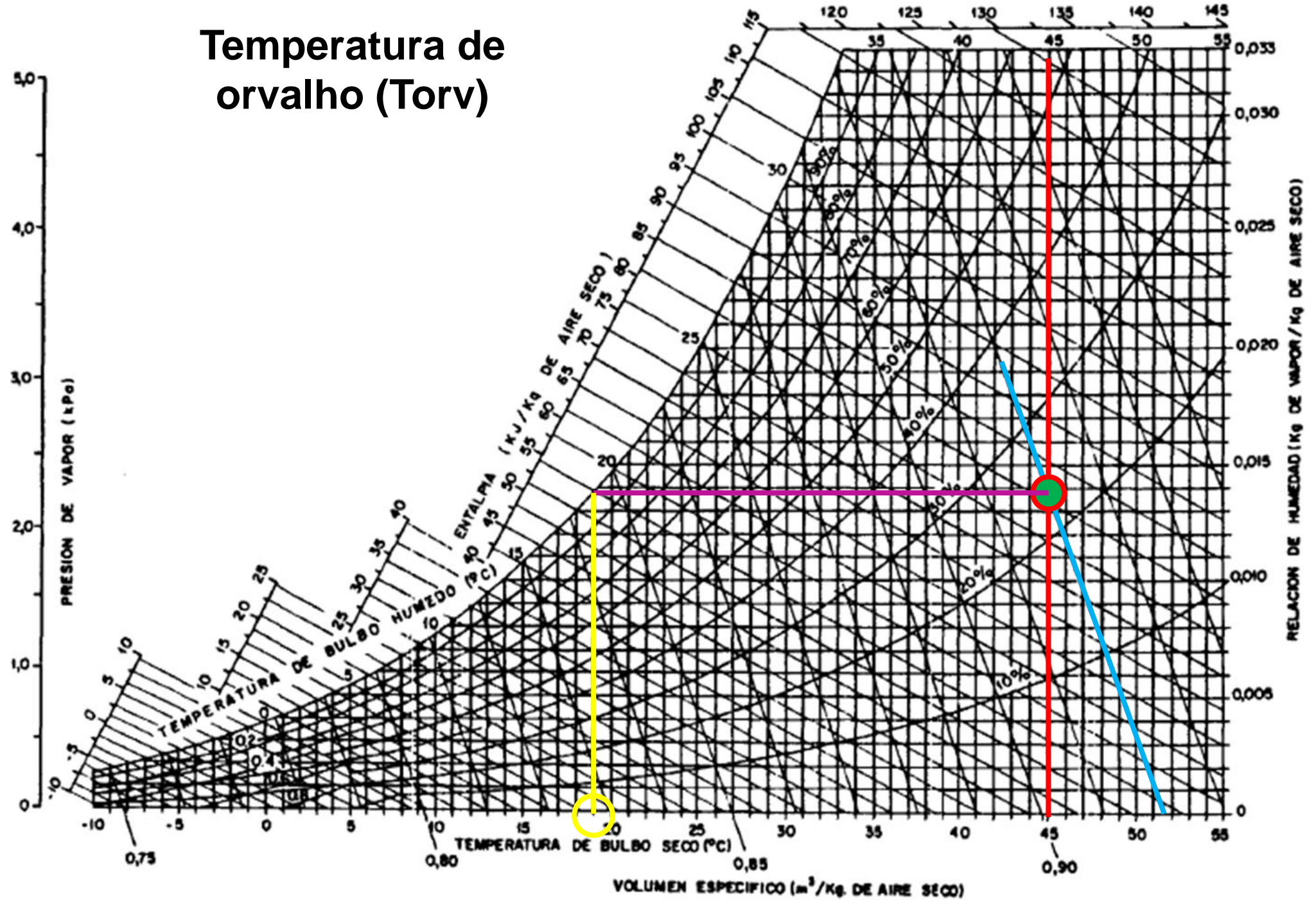
Exemplo:

Tenho um ar com 45°C e volume específico de 0,92 m<sup>3</sup>/Kg.  
Quero saber a Temperatura de orvalho.

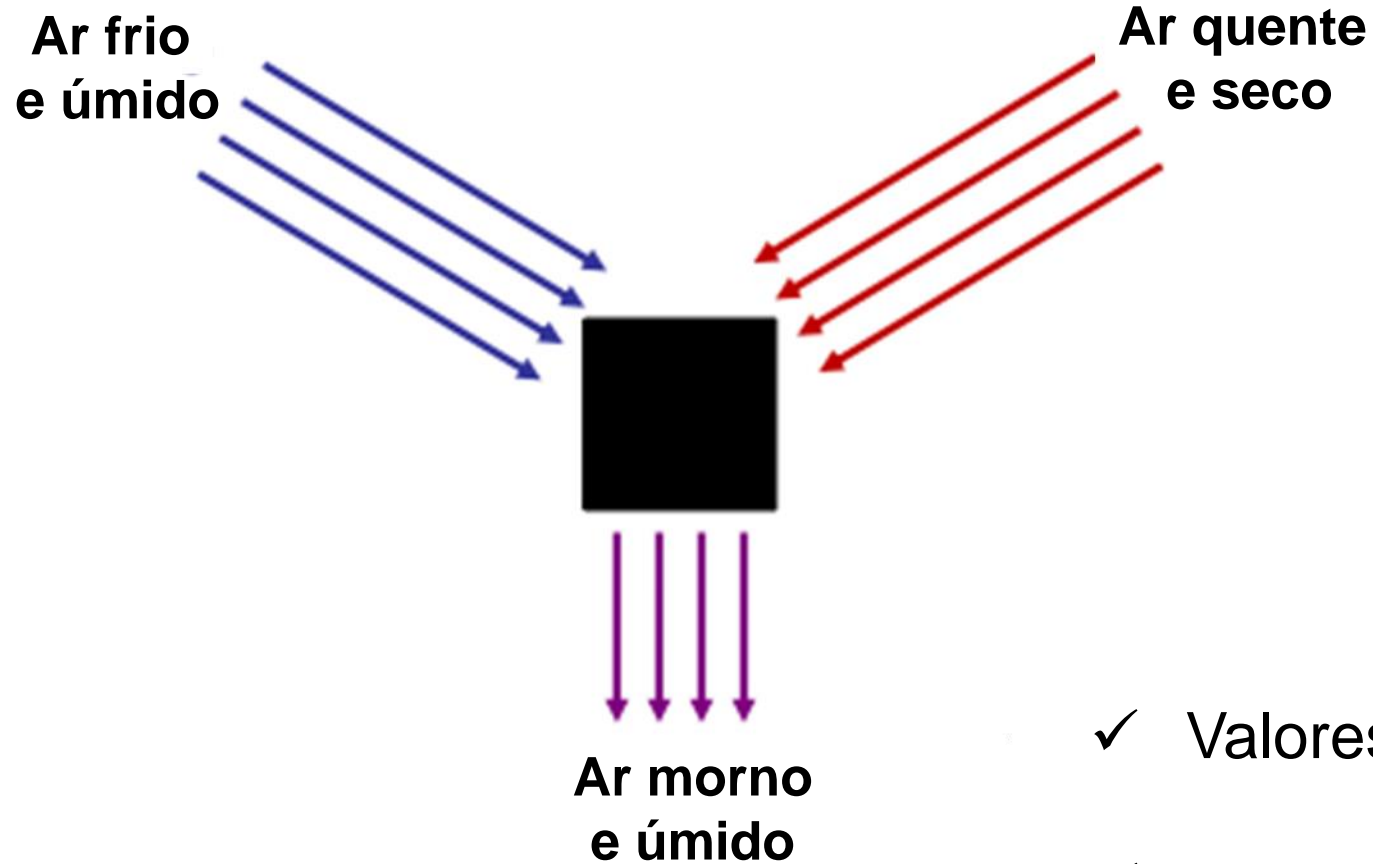
O que sei:

- ✓ Para achar  $T_{orv}$ , preciso ter UR = 100%;
- ✓ Temperatura diminui;
- ✓  $U_{abs}$  não muda.

# Temperatura de orvalho (Torv)



# Processos Psicrométricos



- ✓ Valores intermediários;
- ✓ Balanços de massa e energia;
- ✓ Regra da alavanca invertida.

Mistura do ar:  
 $m_1$  – ar quente  
 $m_2$  – ar frio

Nesse caso, tenho mais ar frio que ar quente

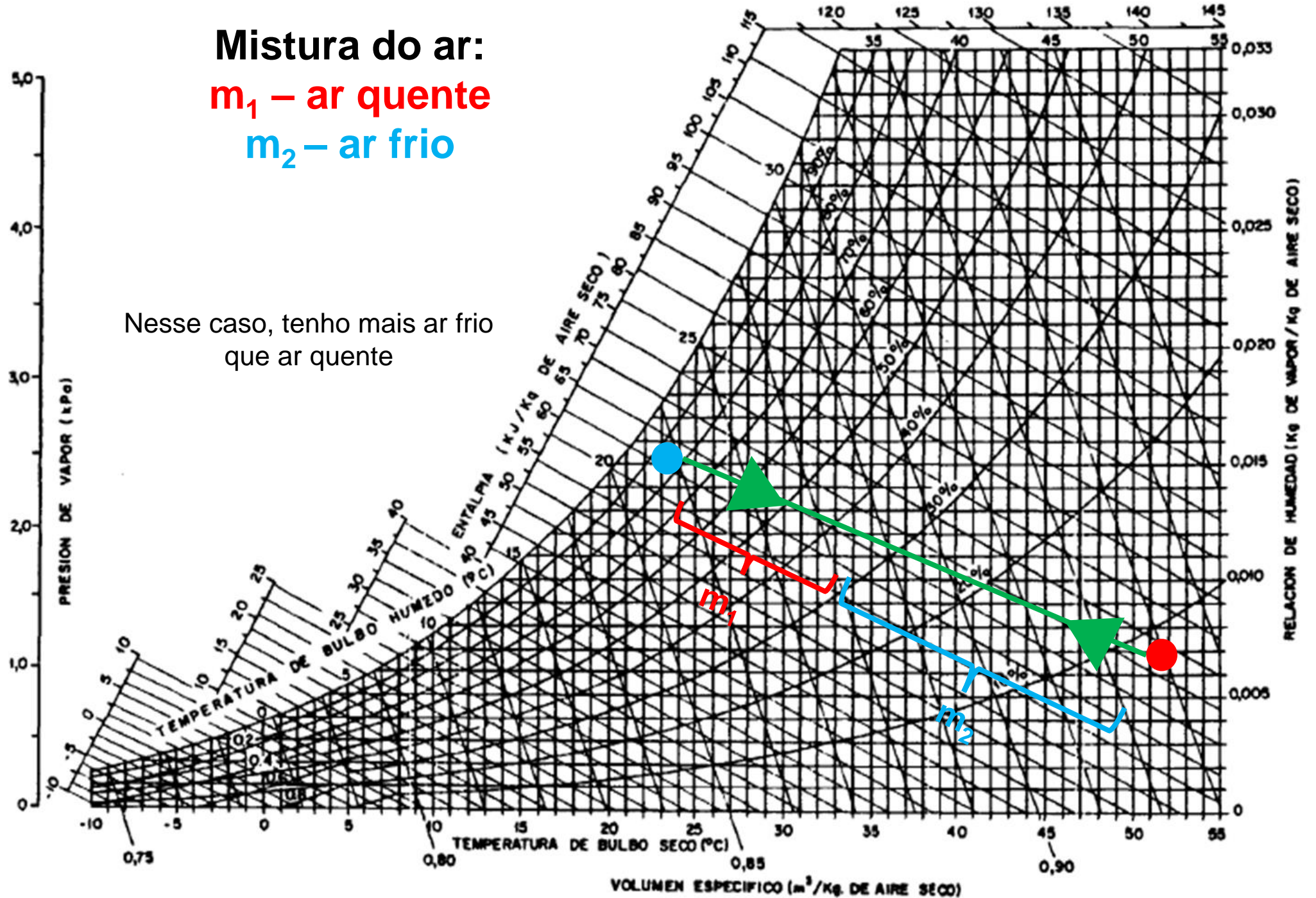
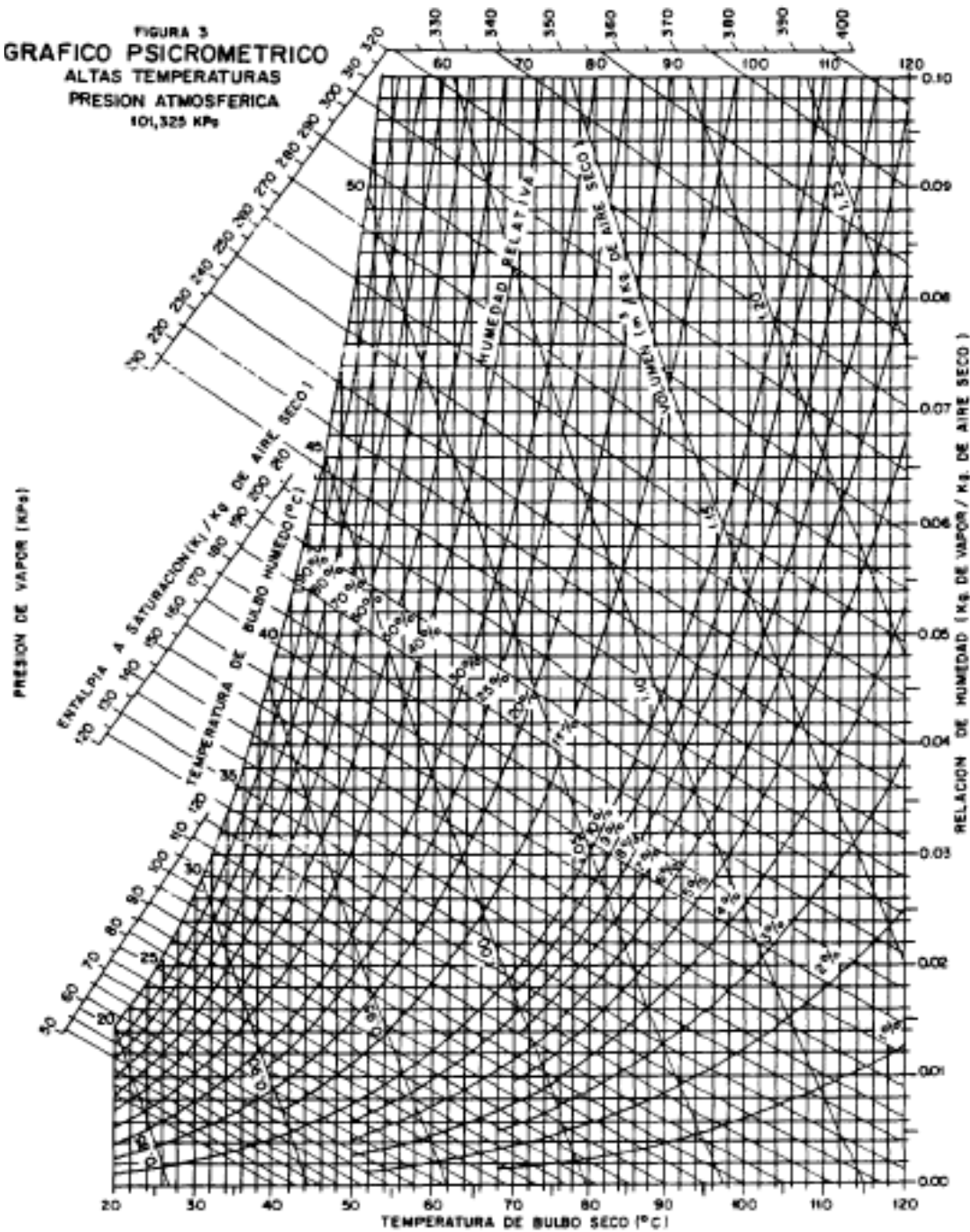




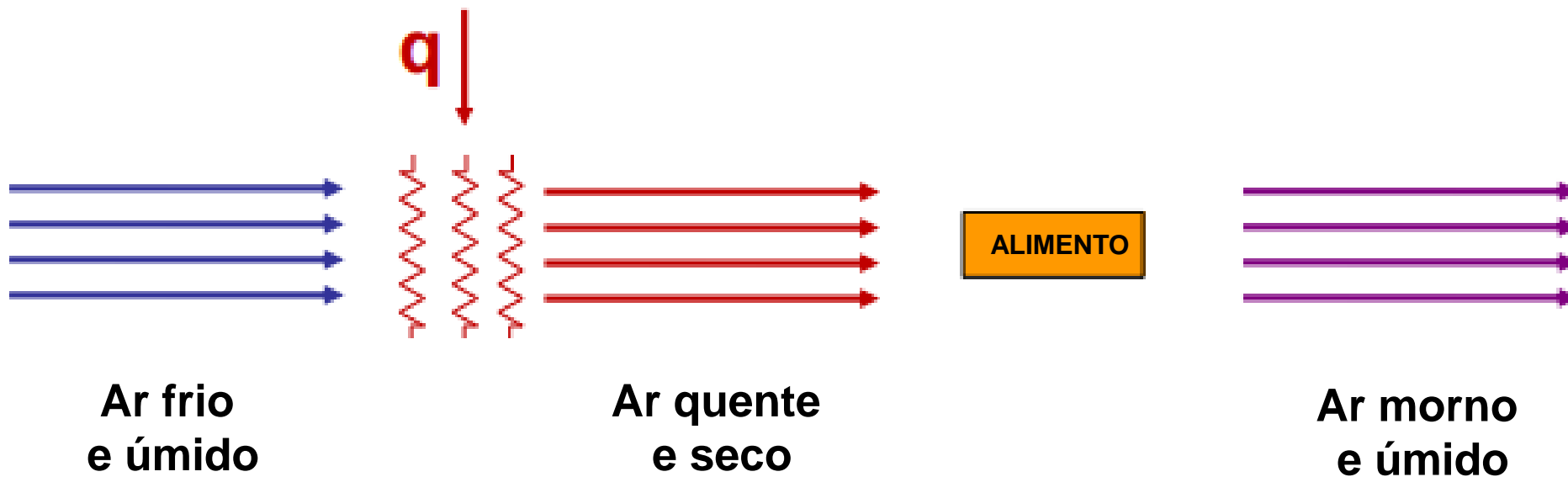
FIGURA 3  
**GRAFICO PSICROMETRICO**  
 ALTAS TEMPERATURAS  
 PRESION ATMOSFERICA  
 101,325 kPa



# Psicrometria

## Diagrama Psicrométrico - Altas temperaturas

# Dimensionamento de processo



Alimento:

- ✓ Umidade diminui e temperatura aumenta
- ✓ **CINÉTICA DE SECAGEM**

Ar:

- ✓ Umidade aumenta e temperatura diminui
- ✓ **PSICROMETRIA**



# *Exercício*

# *Psicrometria*

Suponha um produto elaborado a partir da mistura de quatro matérias primas (A, B, C, D) e posterior secagem convectiva com ar à  $55^{\circ}\text{C}$  e  $1,2\text{ m/s}$  até  $a_w = 0,60$ . O ar ambiente está à  $30^{\circ}\text{C}$  e  $70\%$  de umidade relativa, saindo da câmara de secagem com  $40\%$  de umidade relativa. Calcule a energia necessária para o aquecimento do ar.

Dados: Cada batelada processa  $100\text{ kg}$  de mistura; considere a formulação descrita na tabela.

Matéria prima	Proporção na mistura (%)	Umidade (%)
A	30	70
B	10	65
C	15	90
D	45	80

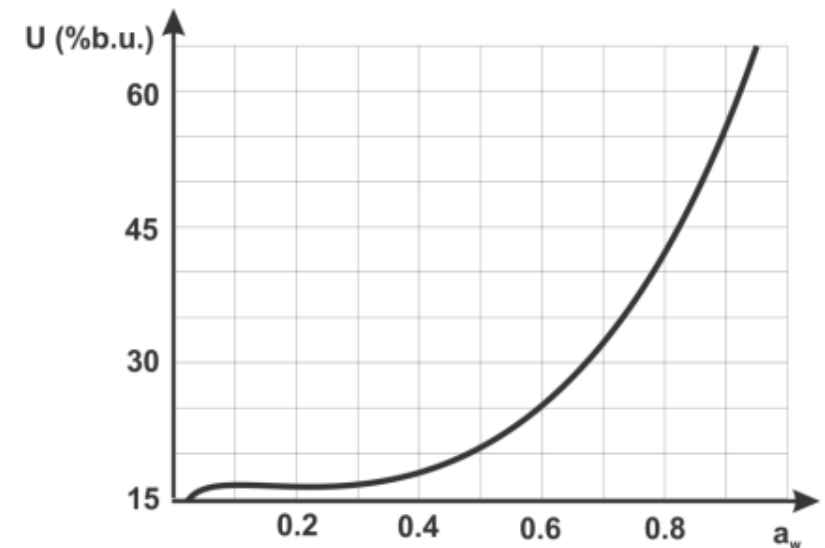


FIGURA 2  
**GRAFICO PSICROMETRICO**  
 TEMPERATURAS NORMALES  
 PRESION ATMOSFERICA  
 101,325 KPa

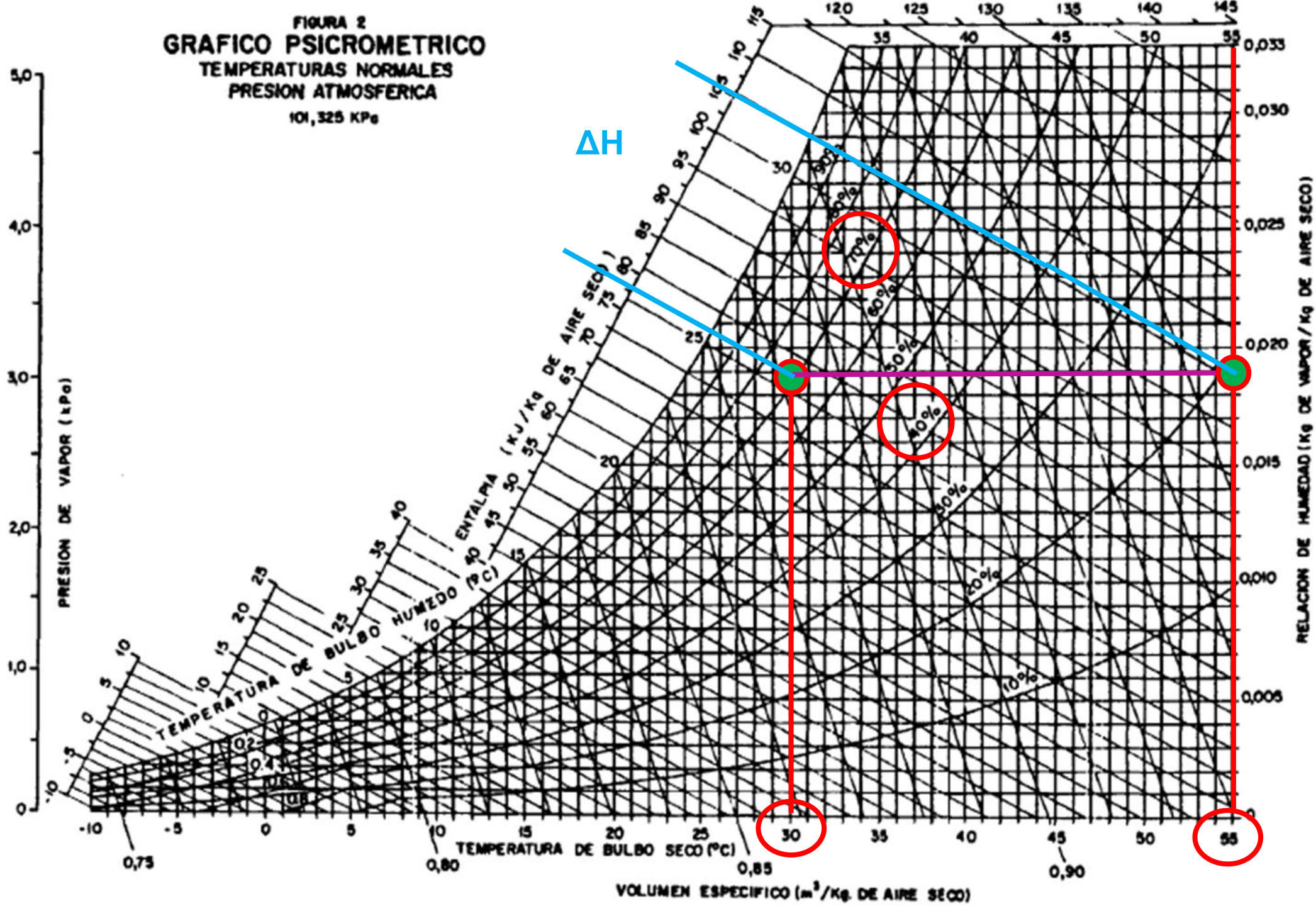


FIGURA 2  
**GRAFICO PSICROMETRICO**  
 TEMPERATURAS NORMALES  
 PRESION ATMOSFERICA  
 101,325 KPa

A diferença da umidade é a  
 massa de água absorvida  
 pelo ar

