

Meteorologia Básica I - Prof. Reinaldo Haas

# A FÍSICA DA UMIDADE ATMOSFÉRICA

Do ciclo hidrológico à termodinâmica invisível do ar

# O MOTOR GLOBAL: O CICLO HIDROLÓGICO

 Ciclo Hidrológico

- **85%** da evaporação ocorre nos oceanos.
- **15%** tem origem continental (transpiração).
- Se tudo condensasse, teríamos uma lâmina de **2,5 cm** de água global.

# | A ARQUITETURA DA ÁGUA (H<sub>2</sub>O)

A molécula de água possui um dipolo elétrico e um ângulo de **105°** entre os átomos de hidrogênio.

Esta geometria única permite as transições de fase fundamentais para a vida e o clima.

 Molécula de Água

# | MUDANÇAS DE FASE

**Calor Latente:** A moeda de troca da atmosfera.

Evaporação, fusão e sublimação **consomem calor** do ambiente (resfriamento).

Condensação, congelamento e deposição **liberam calor** (aquecimento).

# O EQUILÍBRIO INVISÍVEL: SATURAÇÃO



## Evaporação

Moléculas escapando da superfície líquida.



## Condensação

Vapor retornando ao estado líquido.



## Saturação

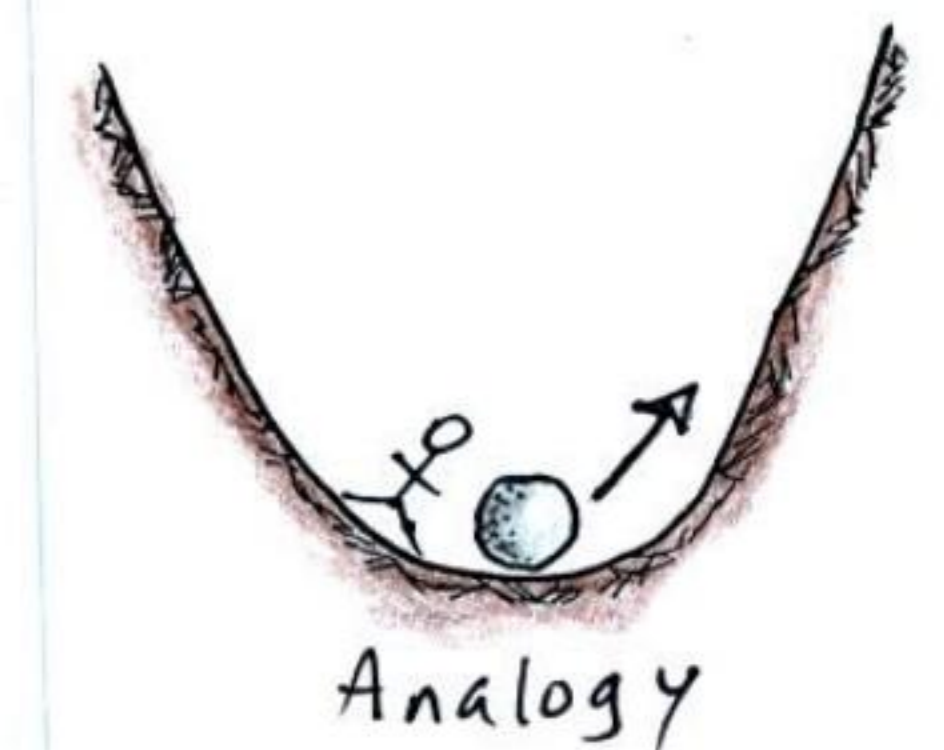
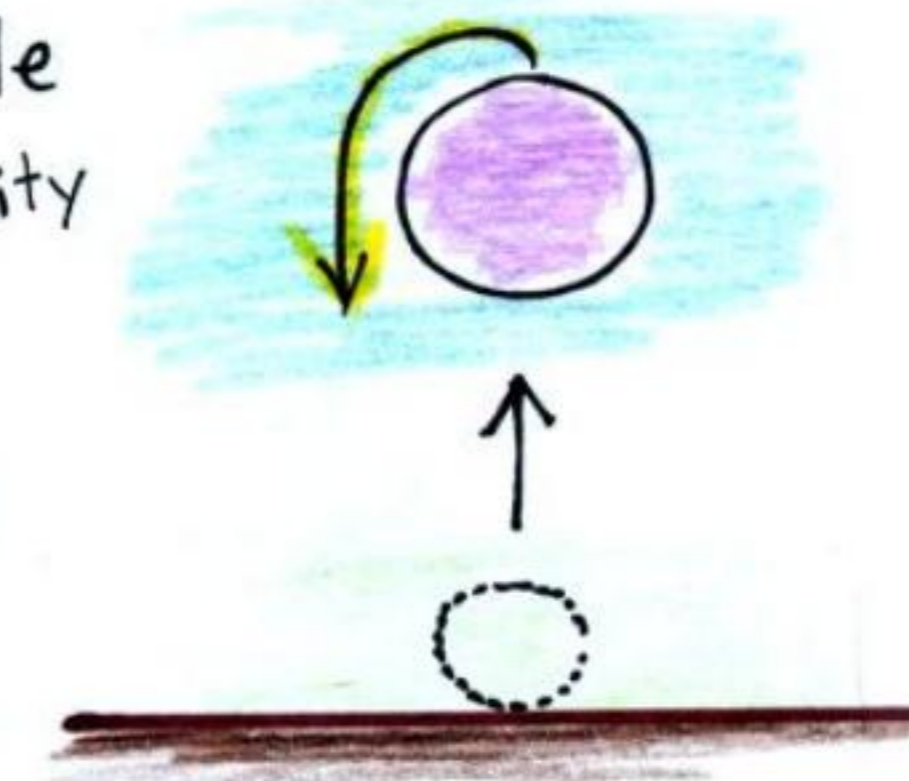
Taxas de escape e retorno em equilíbrio perfeito.

# O BALÃO IMAGINÁRIO: PARCELA DE AR

Uma ferramenta mental para quantificar o vapor.

Analisamos a massa de vapor e de ar seco dentro de um volume isolado que se expande ou contrai conforme sobe ou desce.

If the air inside  
is **COLDER**  
than the outside  
air  
 $\rho_{in} > \rho_{out}$  ← density  
The parcel will  
SINK.



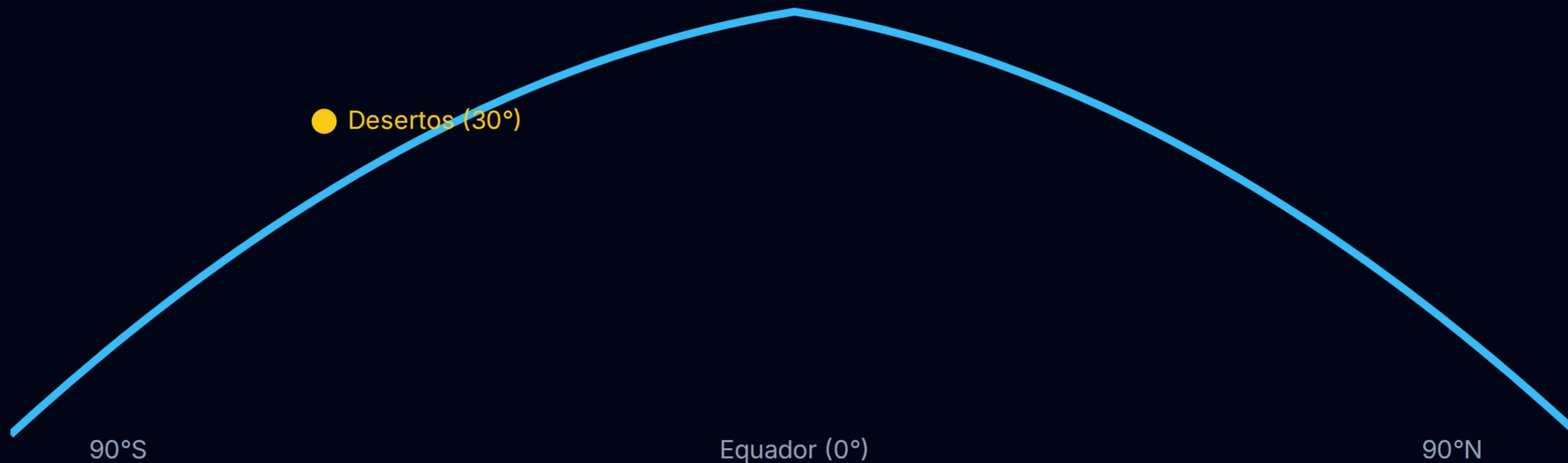
Analogy

# MATRIZ DE DIAGNÓSTICO: MÉTRICAS

Métrica	Fórmula	Unidade	Propriedade
Umidade Absoluta	$m(\text{vapor}) / \text{Volume}$	$\text{g/m}^3$	Varia com expansão
Umidade Específica	$m(\text{vapor}) / m(\text{ar total})$	$\text{g/kg}$	Conservativa
Razão de Mistura	$m(\text{vapor}) / m(\text{ar seco})$	$\text{g/kg}$	Conservativa

# O PARADOXO DOS DESERTOS

Distribuição Global da Umidade Específica (q)



*O ar quente dos desertos retém mais vapor que as florestas frias.*

# A LEI DE DALTON E A PRESSÃO DE VAPOR

Pressão Total (P) =  $\Sigma$  Pressões Parciais

- N<sub>2</sub> (78%)  $\approx$  780 hPa
- O<sub>2</sub> (21%)  $\approx$  210 hPa
- H<sub>2</sub>O (~1%)  $\approx$  **Pressão de Vapor (e)**

**Pressão de Vapor (e)**

A força elástica individual das moléculas de água no ar.

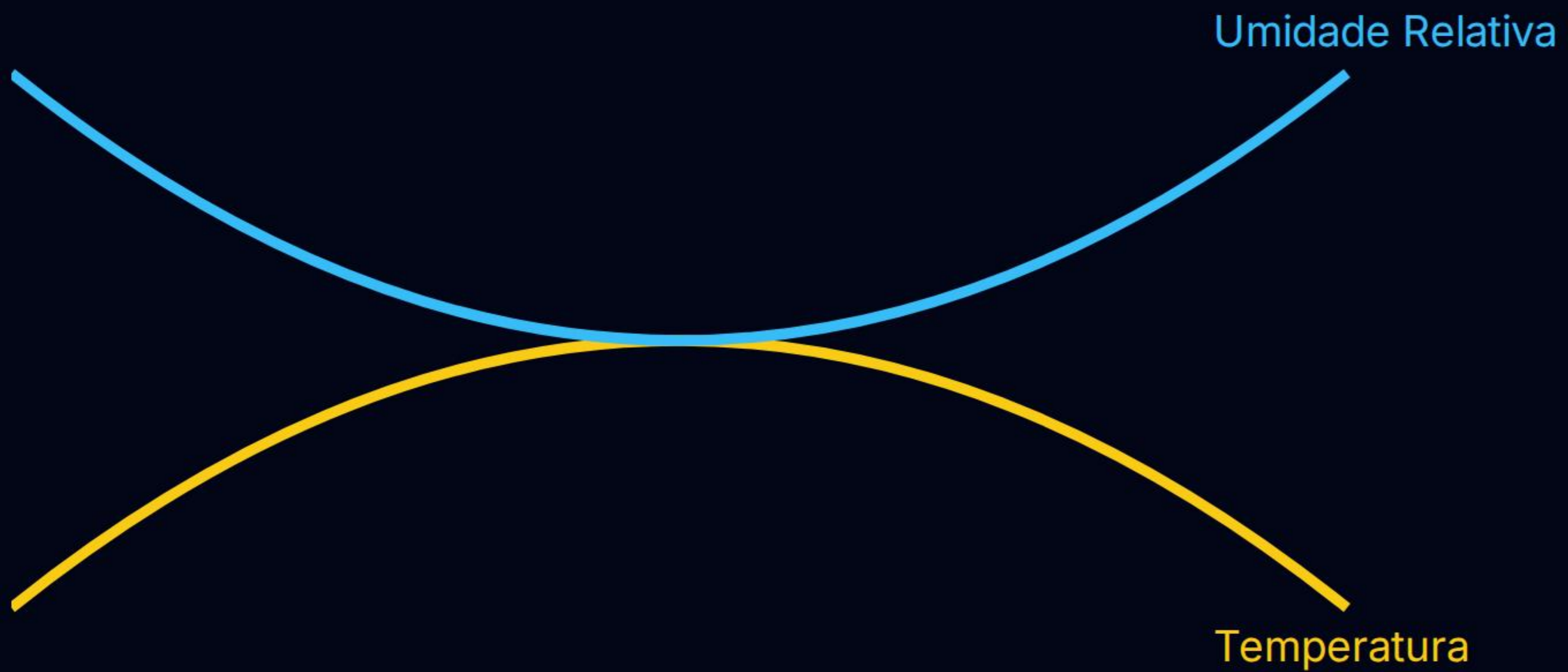
# UMIDADE RELATIVA (UR%): A CAPACIDADE

$$UR = \frac{e}{e_s} \times 100$$

Se a Temperatura **SOBE**, a capacidade ( $e_s$ )  
aumenta e a **UR CAI**.

Se a Temperatura **DESCE**, a capacidade diminui  
e a **UR SOBE**.

# | A GANGORRA TÉRMICA (CICLO DIÁRIO)



Aplicação: A irrigação é mais eficiente de madrugada, quando a UR é máxima.

# | O PONTO DE ORVALHO ( $T_D$ )

# $T_d$

A temperatura de saturação.

É a medida mais robusta do conteúdo **real** de água.

- $T_d$  alto = Ar muito úmido
- $T_d$  baixo = Ar muito seco
- Quando  $T = T_d$ , a UR é 100%

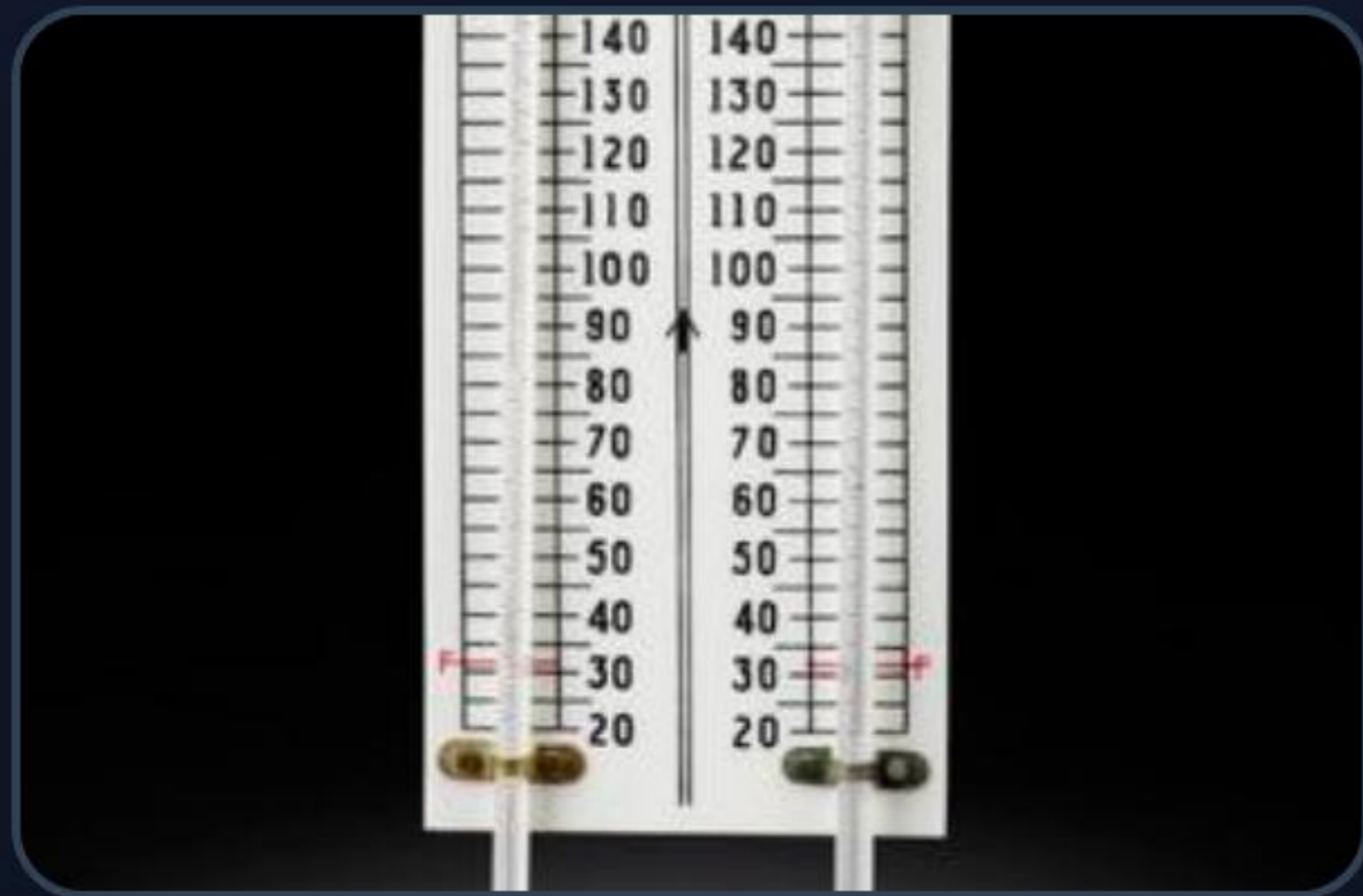
# CONFORTO TÉRMICO E BULBO ÚMIDO

Evaporação na pele

**Termorregulação:** O suor rouba calor do corpo para evaporar.

Em UR alta, a atmosfera recusa o vapor, impedindo o resfriamento. Isso eleva a temperatura interna do corpo.

# A ENGENHARIA DA OBSERVAÇÃO



**Psicrômetro**

Bulbo seco vs Bulbo úmido.

 Higrômetro

**Higrômetro**

Fibras de cabelo orgânico.



**Sensoriamento**

Sondas e satélites  
infravermelhos.

# A MÁQUINA TERMODINÂMICA

Dúvidas? Reinaldo Haas | UFSC

[reinaldo.haas@ufsc.br](mailto:reinaldo.haas@ufsc.br)

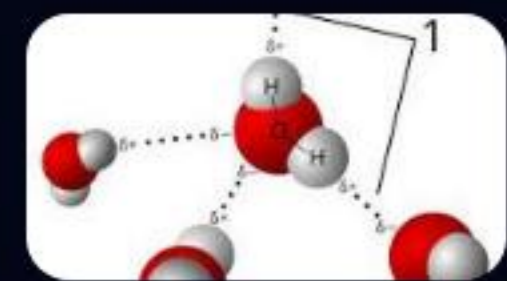
# IMAGE SOURCES



Thumbnail for [https://cdn.prod.website-files.com/634031d1710d7217d79975d6/64ba6aed7582765aec587dcc\\_MobileImage-0-min.jpg](https://cdn.prod.website-files.com/634031d1710d7217d79975d6/64ba6aed7582765aec587dcc_MobileImage-0-min.jpg)

Source: [shapedbywater.11thhourracing.org](https://shapedbywater.11thhourracing.org)  
[shapedbywater.11thhourracing.org](https://shapedbywater.11thhourracing.org)

---



[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c6/3D\\_model\\_hydrogen\\_bonds\\_in\\_water.svg/500px-3D\\_model\\_hydrogen\\_bonds\\_in\\_water.svg.png?\\_=20170817031350](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/c6/3D_model_hydrogen_bonds_in_water.svg/500px-3D_model_hydrogen_bonds_in_water.svg.png?_=20170817031350)

Source: [commons.wikimedia.org](https://commons.wikimedia.org)

---



Thumbnail for <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/imgheat/pha1.png>

Source: [hyperphysics.phy-](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)  
[hyperphysics.phy-](http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu)

---



[www.atmo.arizona.edu](http://www.atmo.arizona.edu) Thumbnail for [http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall16/atmo170a1s3/1S1P\\_stuff/stability/interpret\\_test\\_01.jpg](http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/fall16/atmo170a1s3/1S1P_stuff/stability/interpret_test_01.jpg)

Source: [www.atmo.arizona.edu](http://www.atmo.arizona.edu)  
[www.atmo.arizona.edu](http://www.atmo.arizona.edu)

---



Thumbnail for [https://coimages.sciencemuseumgroup.org.uk/703/132/large\\_thumbnail\\_2003\\_0040\\_0001\\_.jpg](https://coimages.sciencemuseumgroup.org.uk/703/132/large_thumbnail_2003_0040_0001_.jpg)

Source: [collection.sciencemuseumgroup.org.uk](https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk)  
[collection.sciencemuseumgroup.org.uk](https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk)

---



Thumbnail for <https://esd.copernicus.org/articles/14/861/2023/esd-14-861-2023-avatar-web.png>

Source: [esd.copernicus.org](https://esd.copernicus.org)  
[esd.copernicus.org](https://esd.copernicus.org)