

Conceitos Sobre Sucção

Fernando A. M. Marinho
2017

Flat Air-Water Interface

Relative Humidity - 100%

Pure Water

A background image showing a dense field of small, light blue water droplets on a slightly darker blue surface, representing pure water.

Thermodynamics Concepts

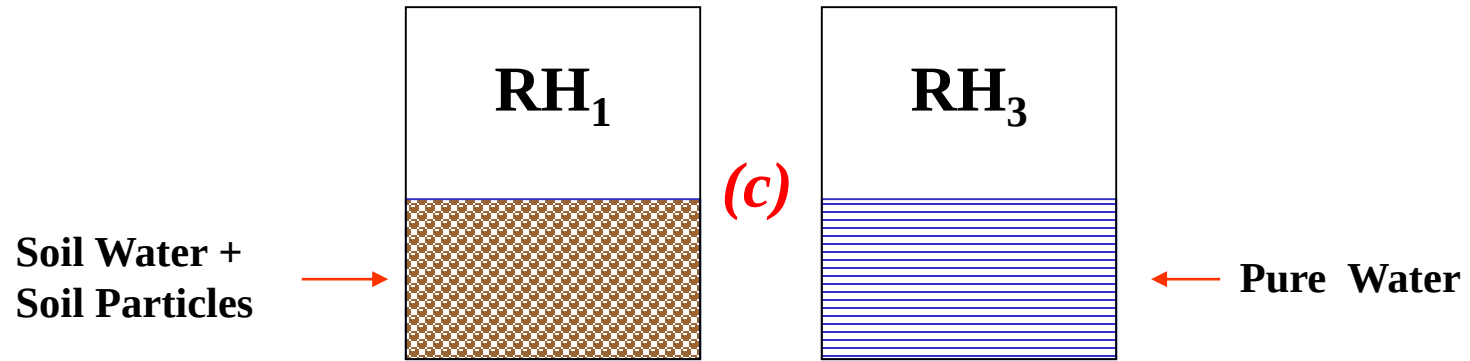
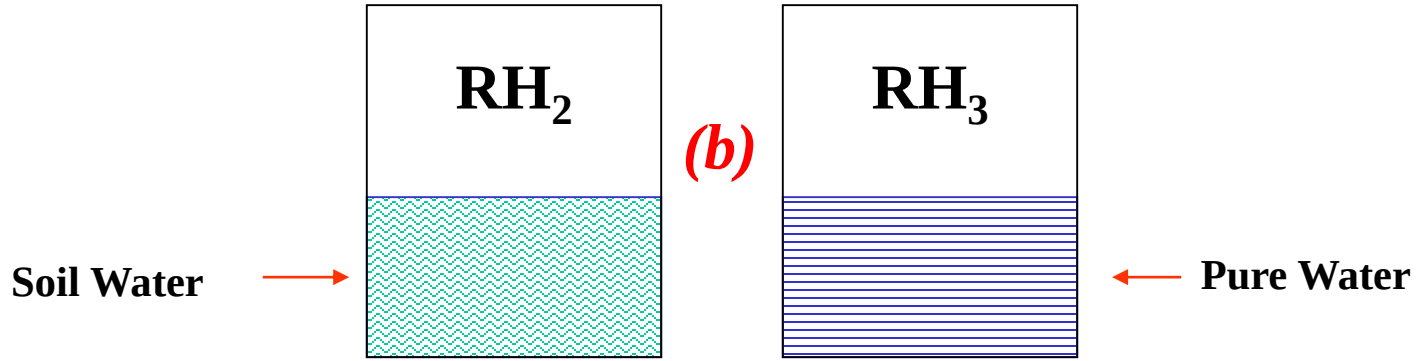
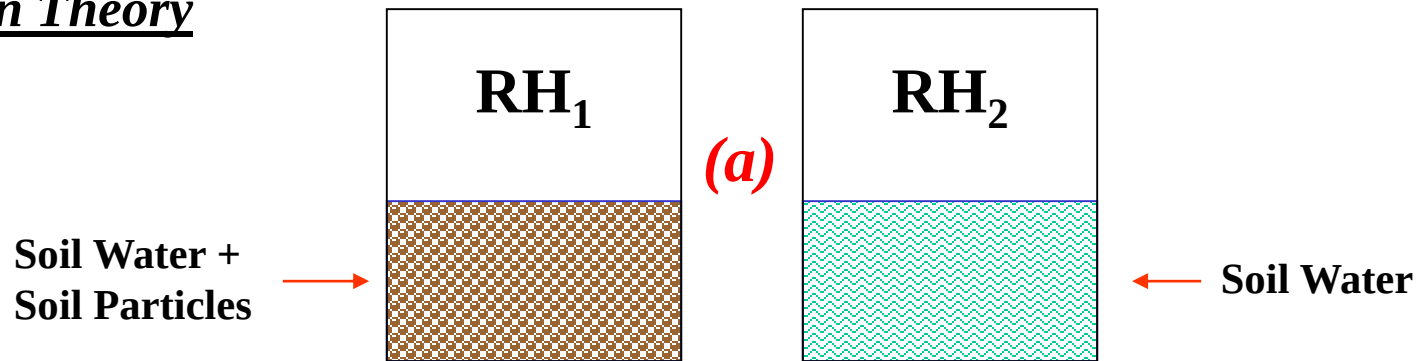
Relative humidity may be defined as the ratio of the water vapor density (mass per unit volume) to the saturation water vapor density, usually expressed in percent:

$$RH(\%) = \frac{\text{actual vapour density}}{\text{saturation vapour density}} * 100$$

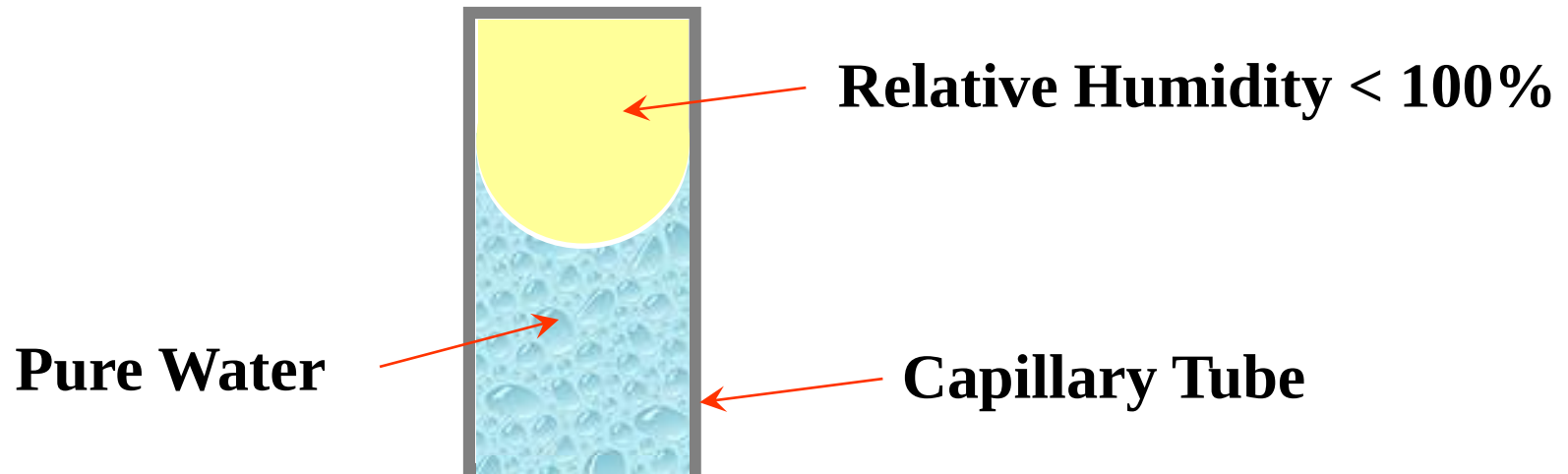
Relative humidity is also approximately the ratio of the actual to the saturation vapor pressure.

$$RH(\%) = \frac{\text{actual vapour pressure}}{\text{saturation vapour pressure}} * 100$$

Aspects of Suction Theory

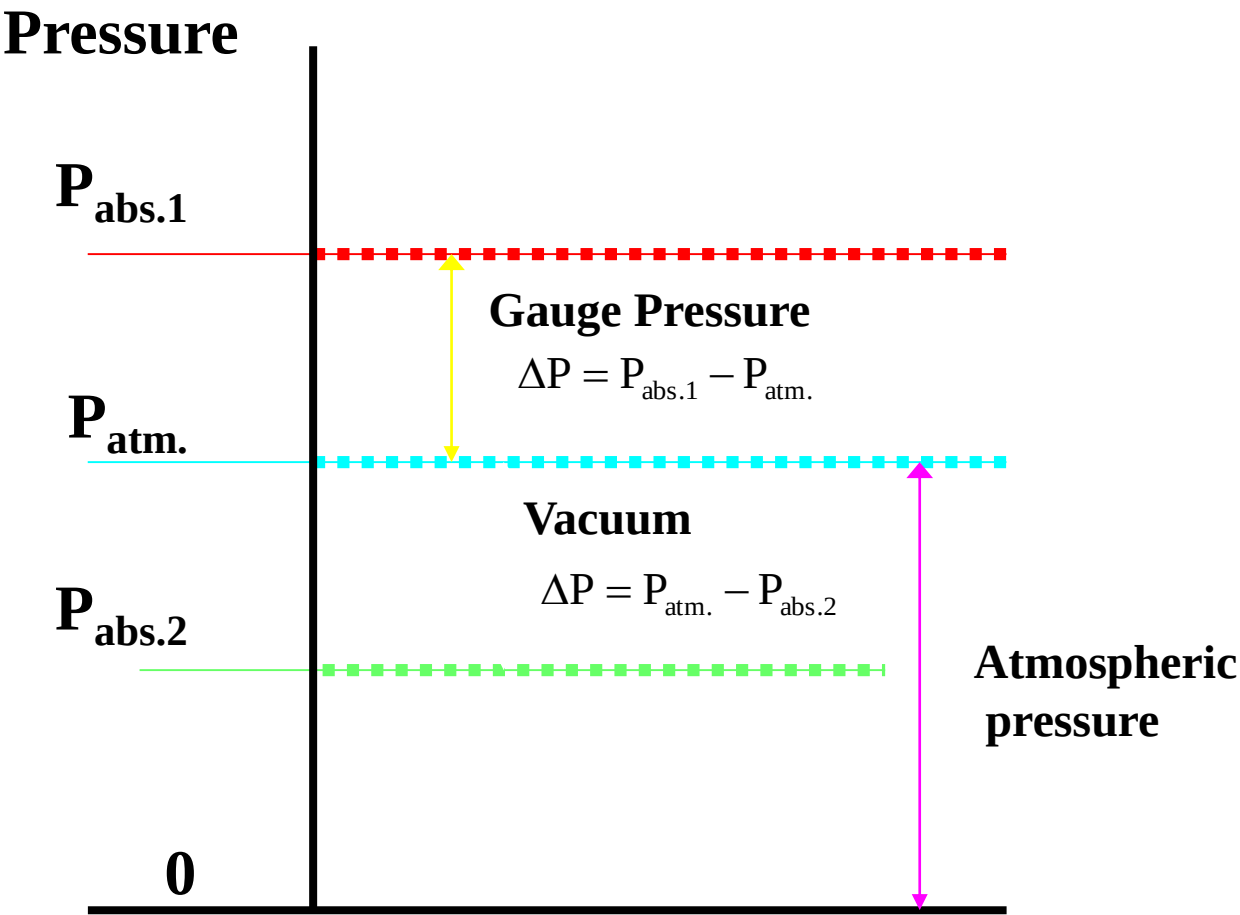


Curved Air-Water Interface

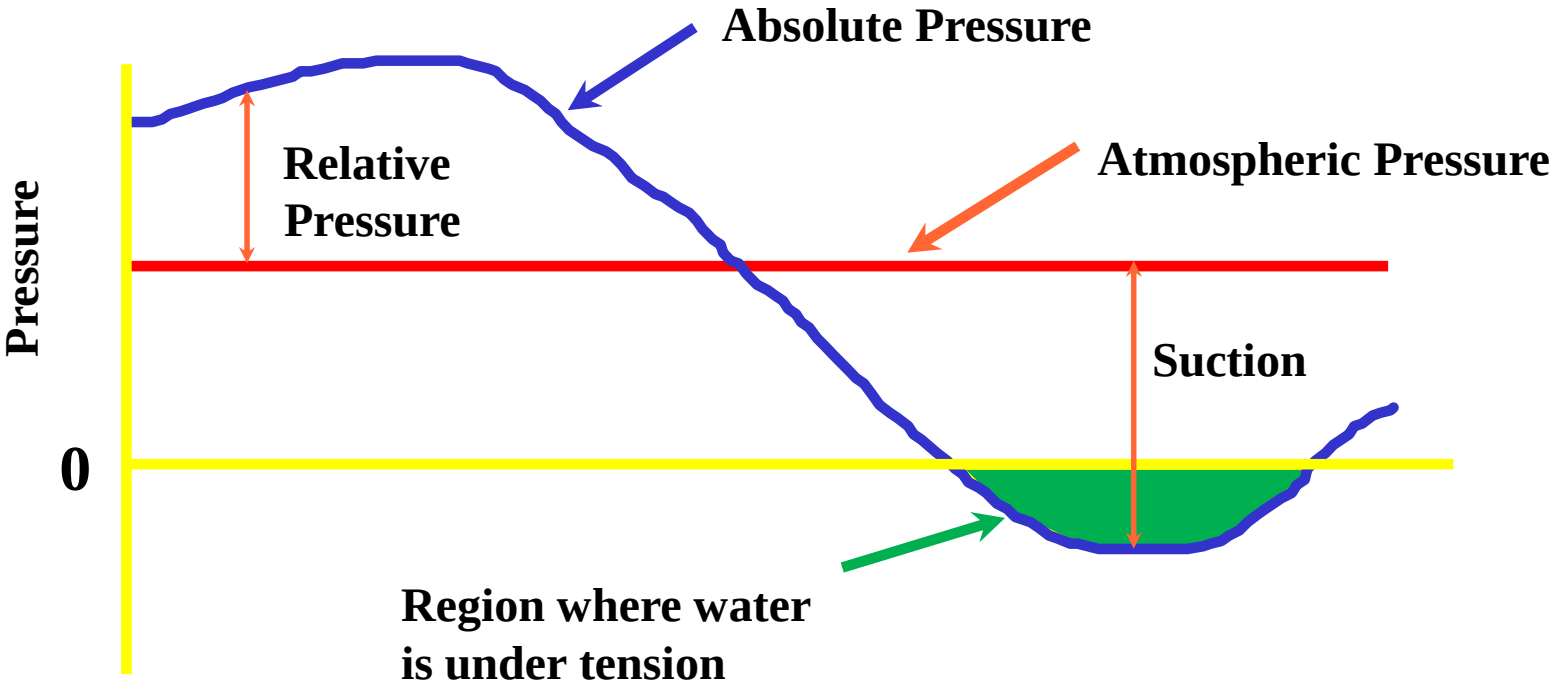


Pressão Absoluta e Relativa

Gauge and Absolute Pressure

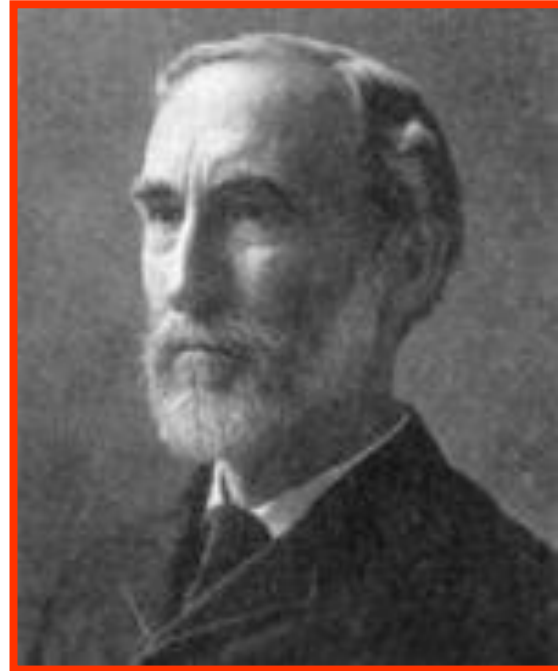
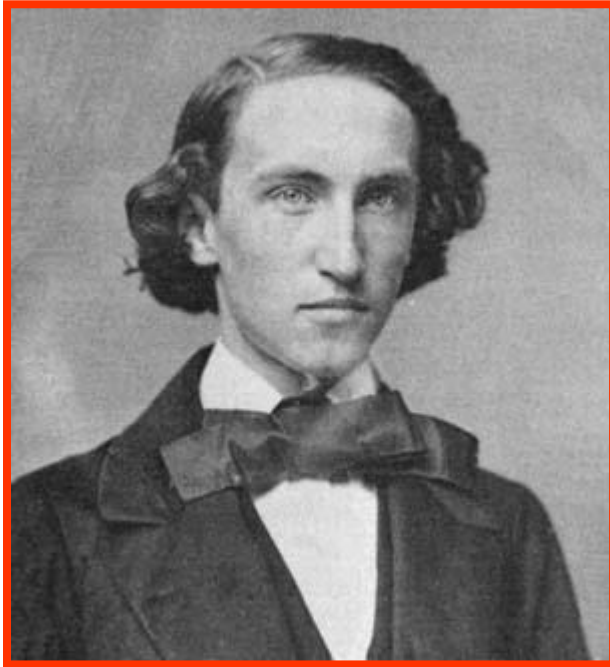


Gauge and Absolute Pressure



Conceitos de Termodinâmica

Willard Gibbs



1839 – 1903 (USA)

Energia livre de Gibbs, G dada em joules

$$G = H - TS$$

H = U+PV, que é chamada de entalpia (joules)

U é a energia cinética devida ao movimento das moléculas ou energia interna do sistema

PV é a energia mecânica do sistema →



TS é a energia térmica do sistema

T é a temperatura (kelvins)

S é a entropia (joules/kelvin)

Entalpia - H- É a energia máxima de um sistema termodinâmico (energia interna), que pode ser removida deste sob a forma de calor.

Unidade – J

Medição – Não é possível medir a entalpia e sim sua variação ou o calor da reação

Entropia - S - é uma grandeza termodinâmica associada ao grau de desordem. A entropia é uma medida da energia que não pode ser convertida em trabalho.

Unidade – J/K

Medição - Não é possível medir a entropia e sim sua variação ou o calor da reação

A energia livre total de um sistema em equilíbrio vale:

$$G_T = G_v + G_L$$

Se o sistema está em equilíbrio a função G passa por um valor mínimo, de tal forma que:

$$dG_T = dG_v + dG_L = 0$$

$$dG_v = -dG_L$$

Esta expressão demonstra que pode-se obter a variação da energia livre na fase líquida por meio das variações na fase gasosa se ambas estiverem em equilíbrio.

A energia livre de Gibbs depende do tamanho do sistema. Para evitar esta dependência temos que transforma-la em um potencial.

Isto é feito dividindo-se G pelo número de moles do sistema.

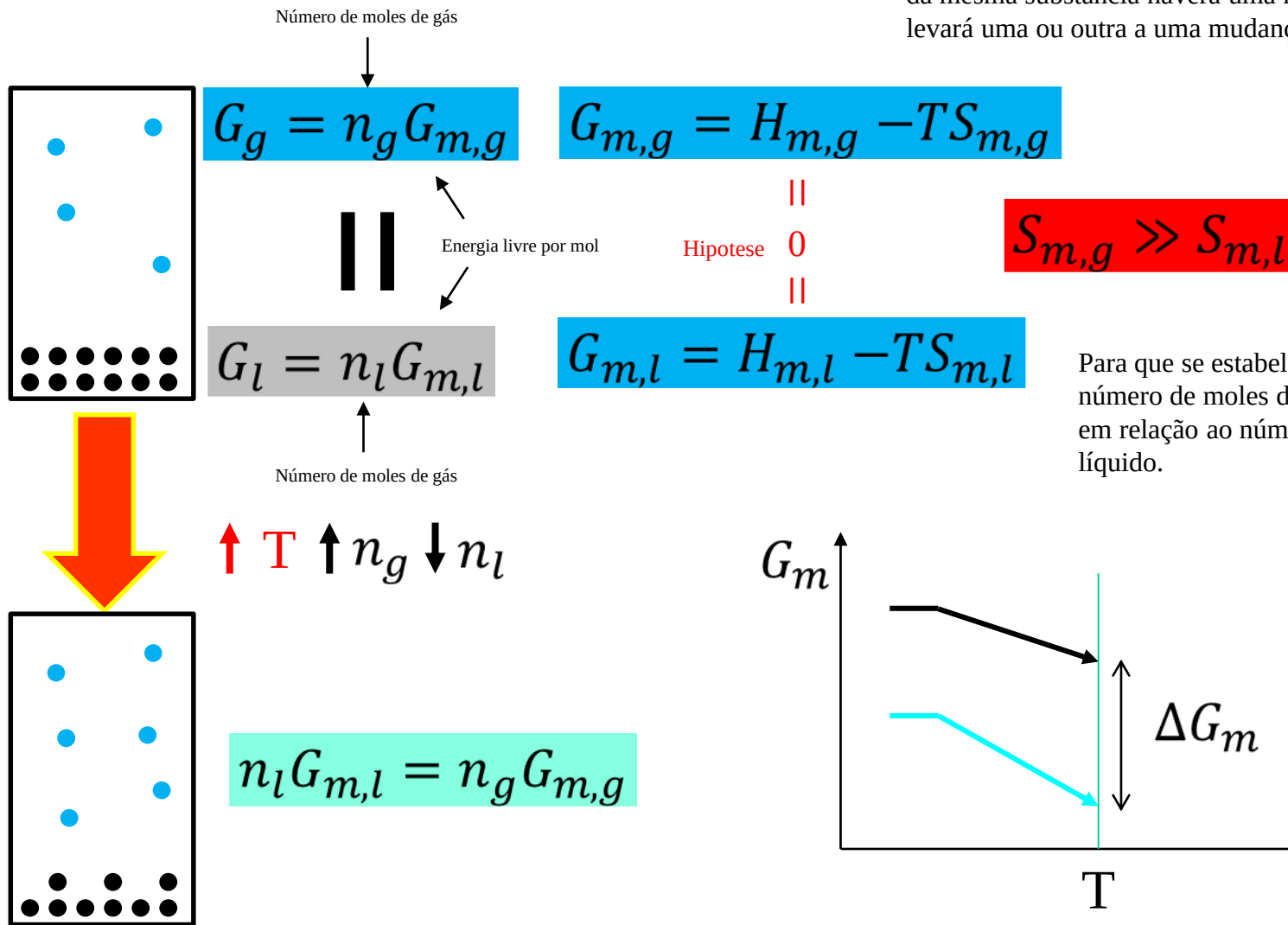
Este potencial vale:

$$d\Psi_V = -d\Psi_L$$

$$dG_V = -SdT + VdP$$

Energia Livre e Equilíbrio de Vapor e Líquido

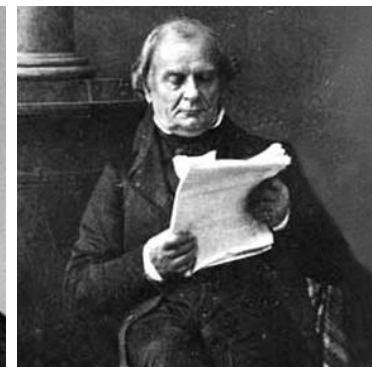
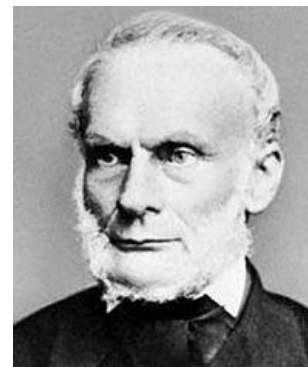
Quando não se tem um equilíbrio físico entre duas fases da mesma substância haverá uma reação espontânea que levará uma ou outra a uma mudança de estado.



H – Entalpia - as forças intermoleculares no gás será menor do que as forças intermoleculares do líquido
 S – Entropia - O gás terá uma entropia maior do que o líquido.

Equação de Clausius-Clapeyron

$$\ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = \frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

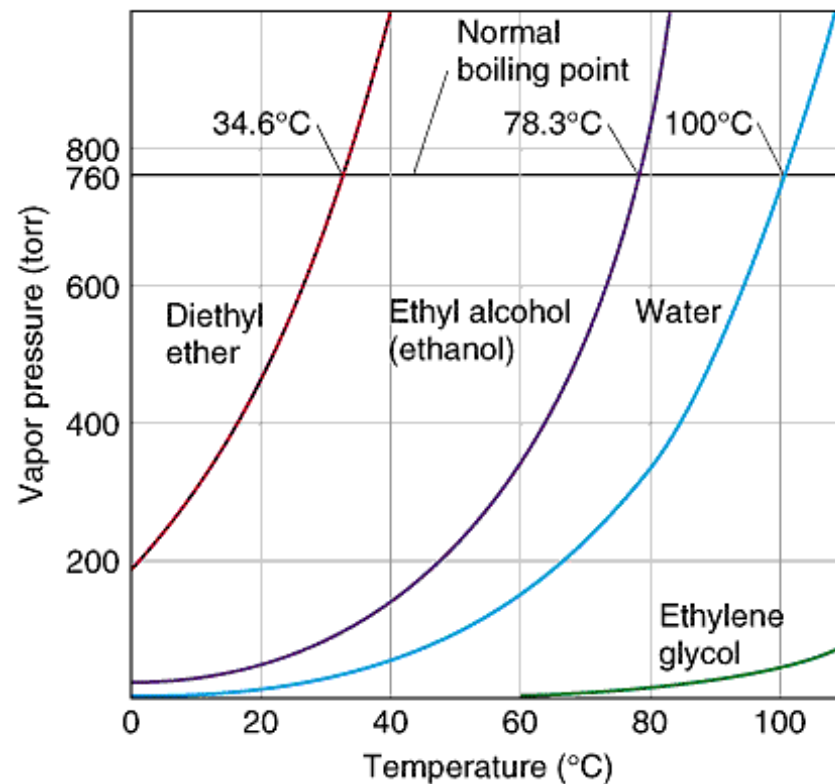


P_1 = Pressão de vapor na temperatura T_1

P_2 = Pressão de vapor na temperatura T_2

ΔH_{vap} = Entalpia de vaporização da substância

$R = 8.314 \text{ J/molK}$ (constant específica do gás)



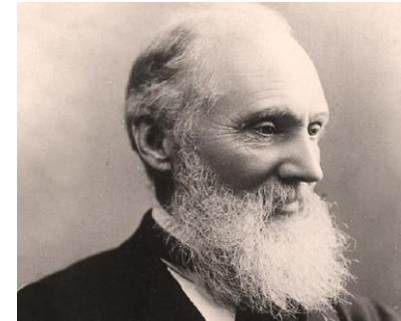
Equação Capilar

$$u_a - u_w = \frac{2T_s \cos\theta}{r}$$

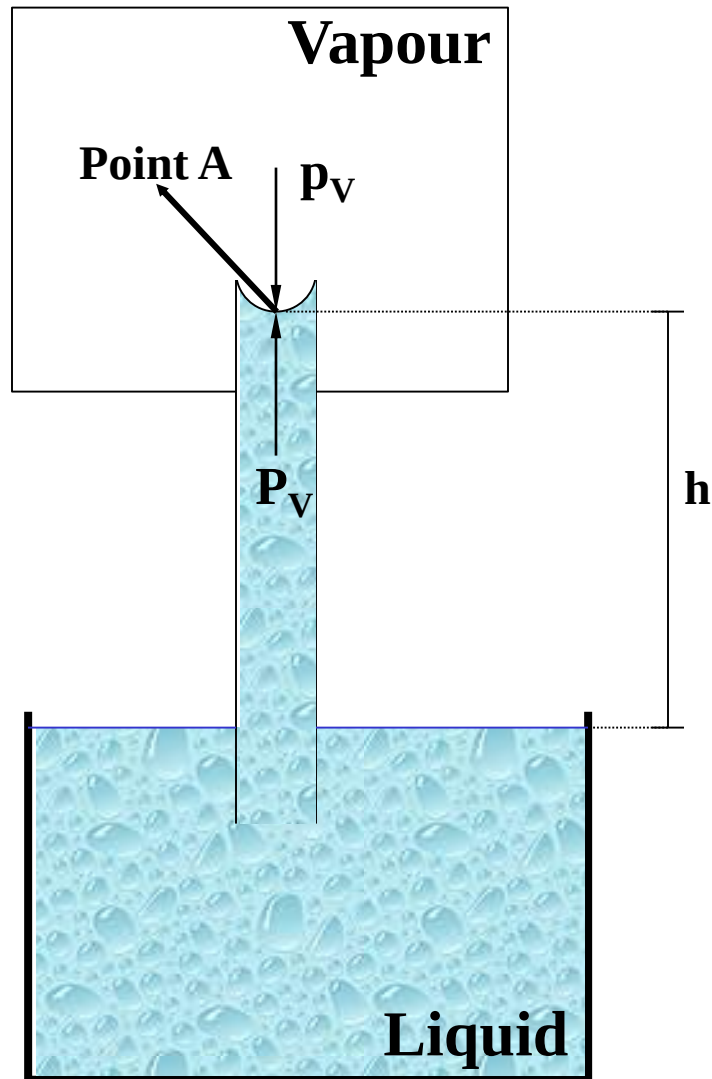
Sucção matricial

Equação de Kelvin

Relação entre a pressão diferencial entre a interface ar-água e a pressão de vapor acima da interface



$$u_a - u_w = -\frac{RT}{v_w} \ln \frac{u_{v1}}{u_{v0}} = -\frac{RT}{v_w} \ln(RH) = \frac{2T_s \cos\theta}{r}$$



$$\Delta G_V = \Delta G_L$$

$$\Delta G_V = v_V \Delta p_V \text{ and } \Delta G_L = v_L \Delta p_L$$

$$v_V dp_V = v_L dp_L$$

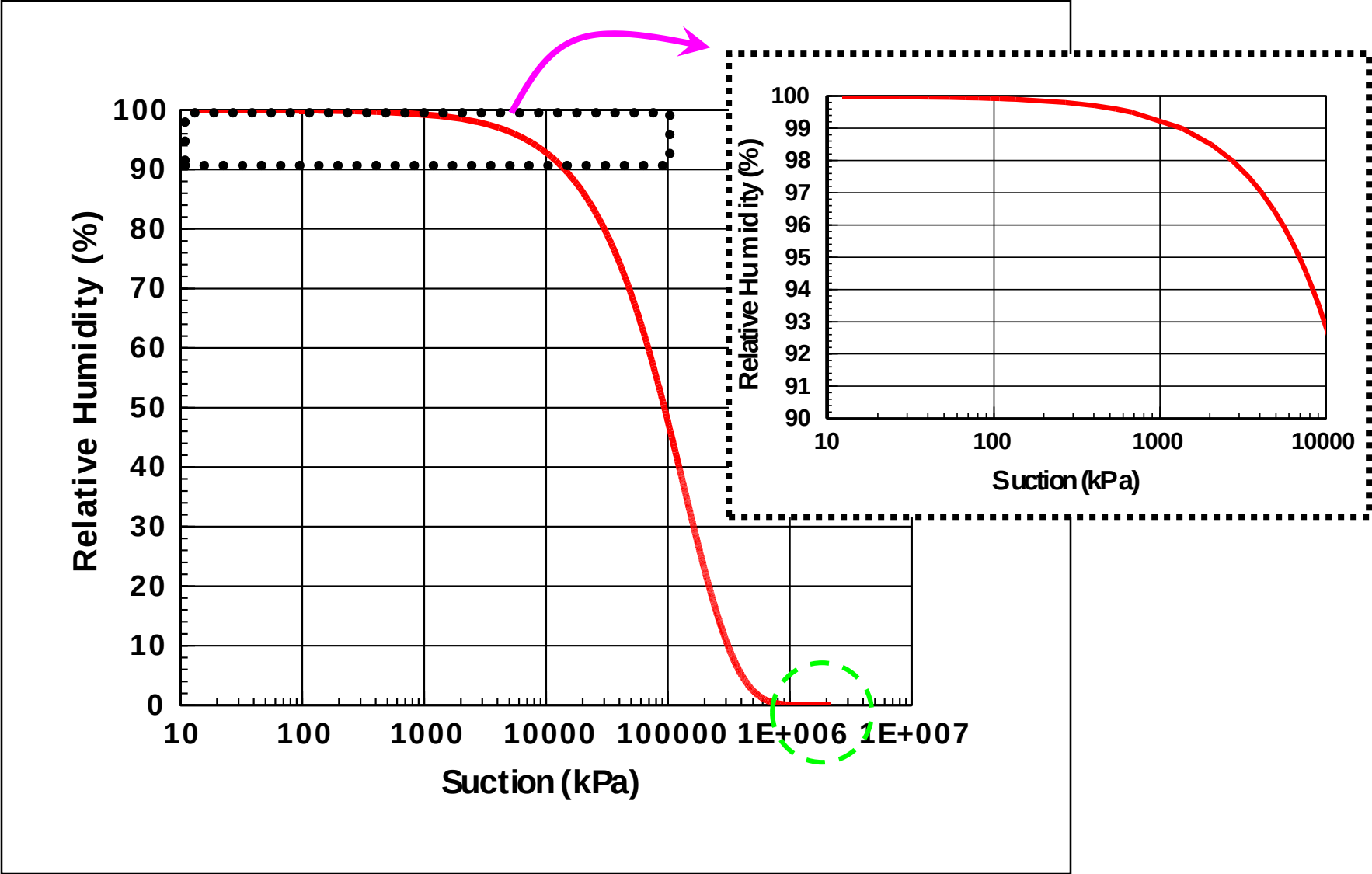
$\Rightarrow$ Ideal gas law

$$\text{Suction} = \frac{\bar{R} T}{v_L M} \ln \frac{p_B}{p_A}$$

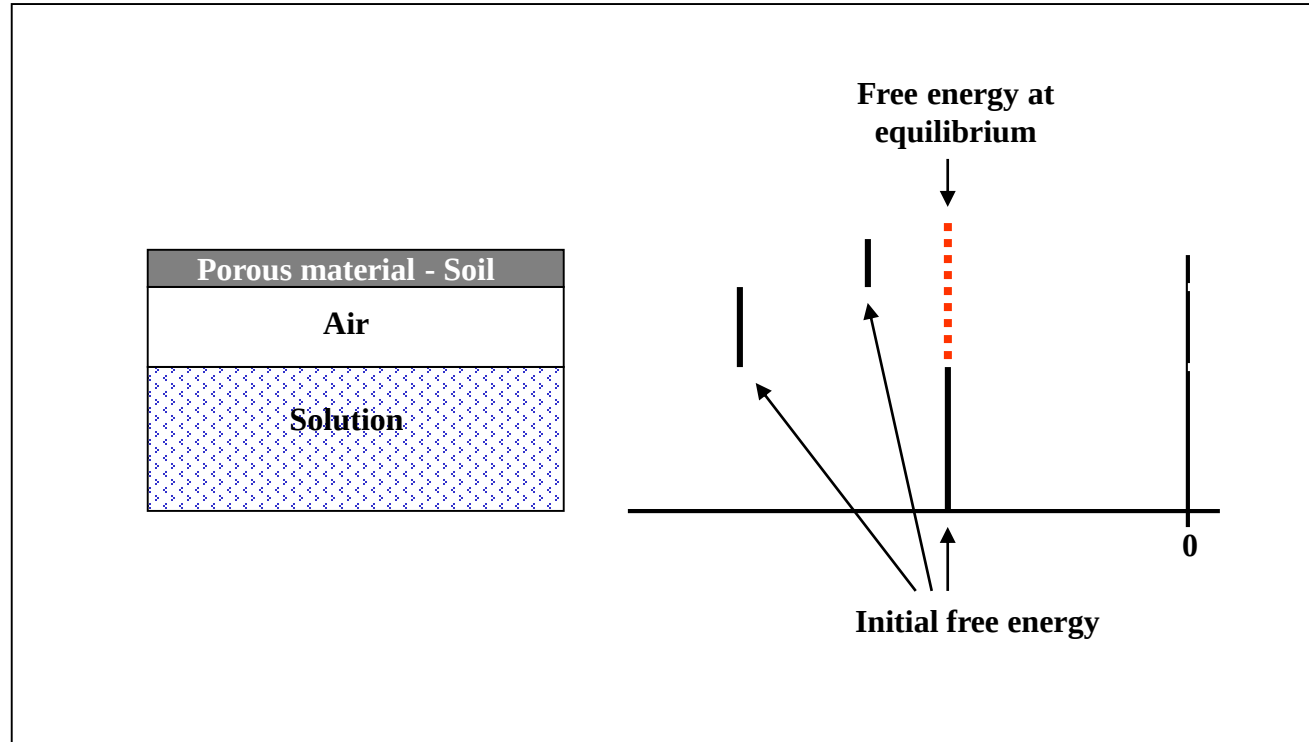
$$\text{RH} = \frac{p_B}{p_A}$$

$$\text{Suction} = -135055 \ln(\text{RH})$$

Thermodynamic Concepts



Equilíbrio dentro de um sistema



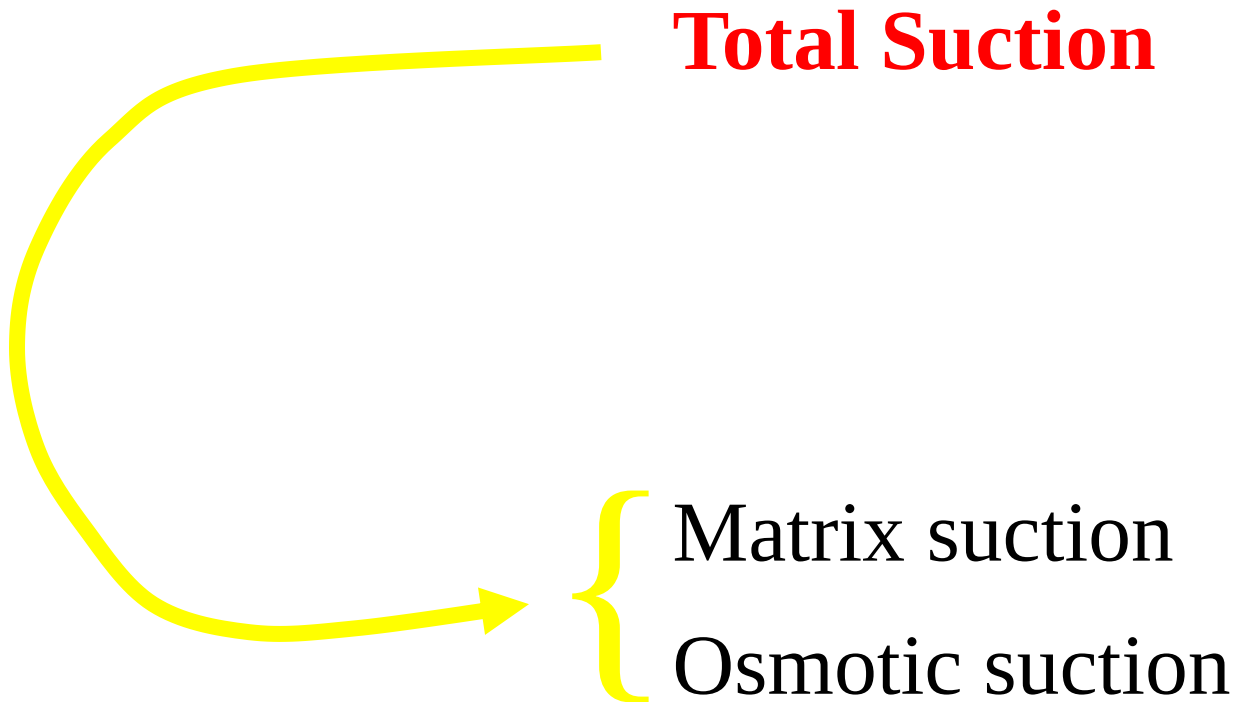
$$M_x = \frac{\text{moles } x}{\text{liters solution}}$$

one mole of sodium chloride (58.4425 g NaCl),

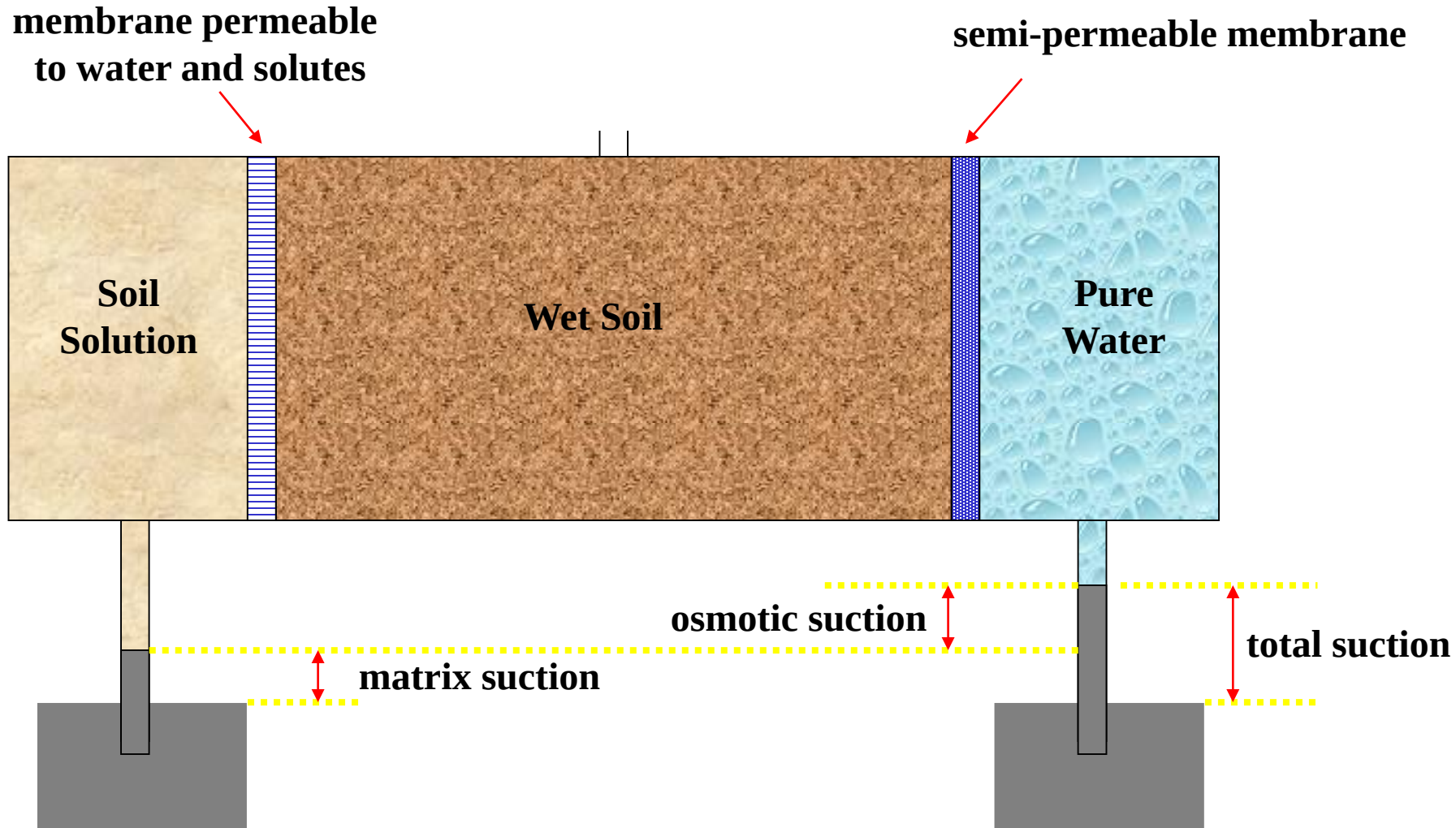
Capillary – Retention - Strenght



Soil Suction Components



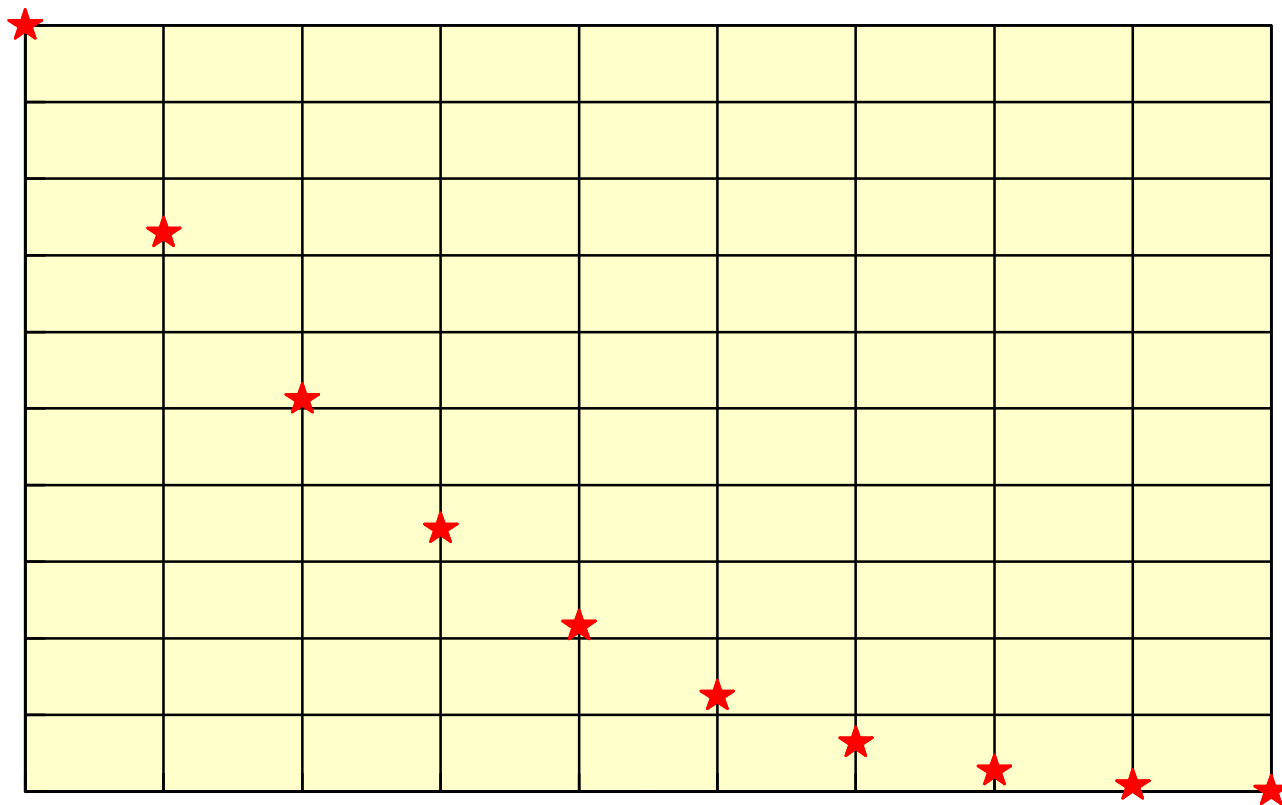
Suction Concepts



Medição da Sucção e Umidade

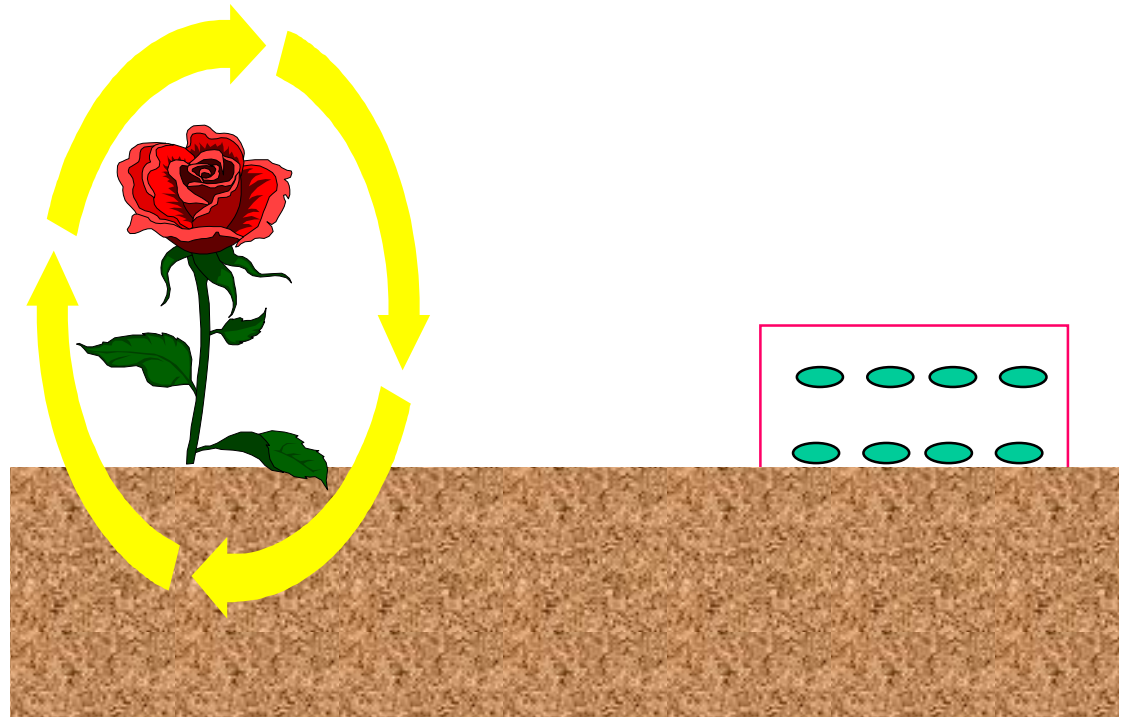
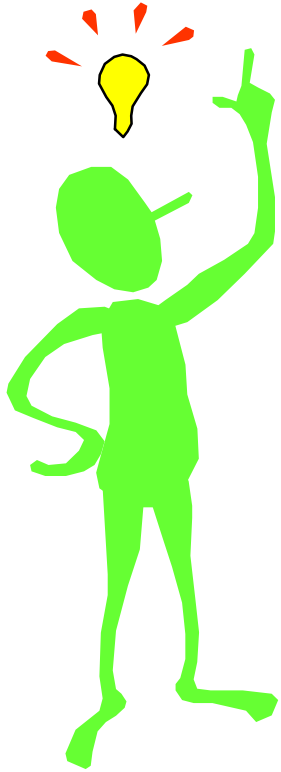
- **O que é um sensor?**
- **Métodos “diretos”**
 - **Tensiômetros** (Analogia por continuidade hidráulica)
- **Métodos “indiretos”**
 - **Métodos de absorção de vapor**
 - **Métodos de absorção capilar**
 - **Eletro-resistividade**

Water content
Resistivity
Wave velocity
etc....

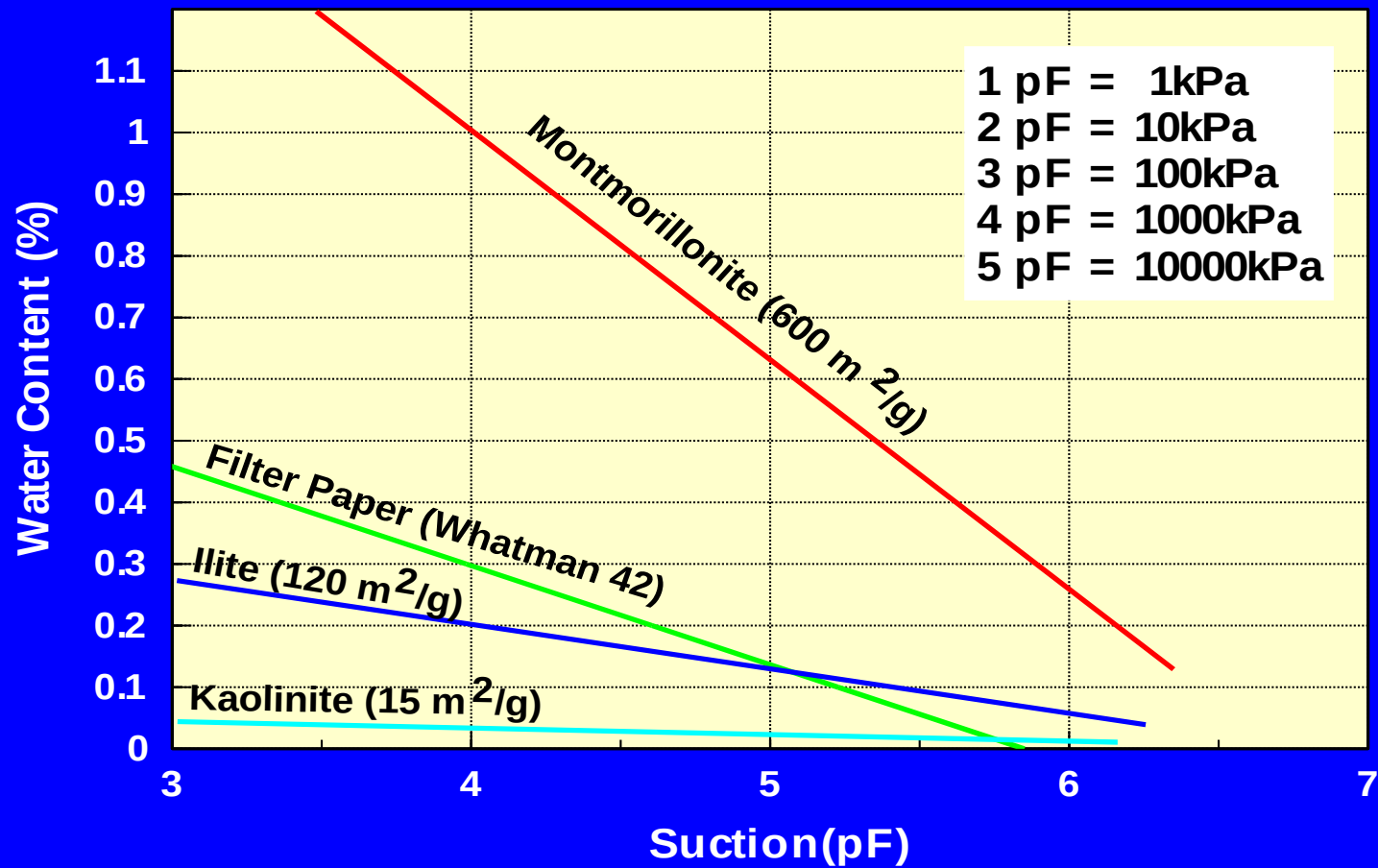


Suction

Absorption

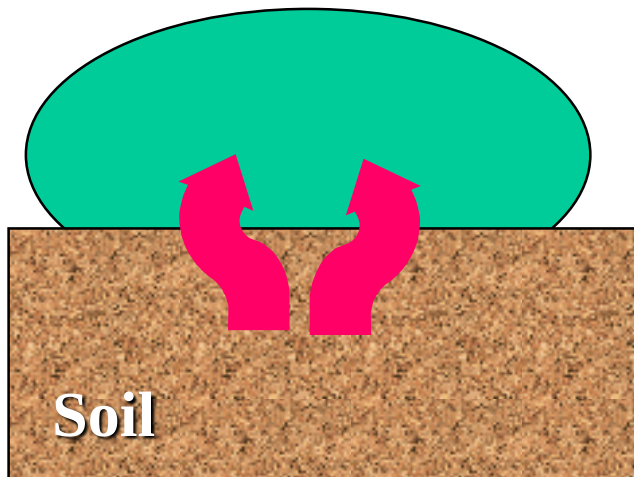


Curva de Retenção de água

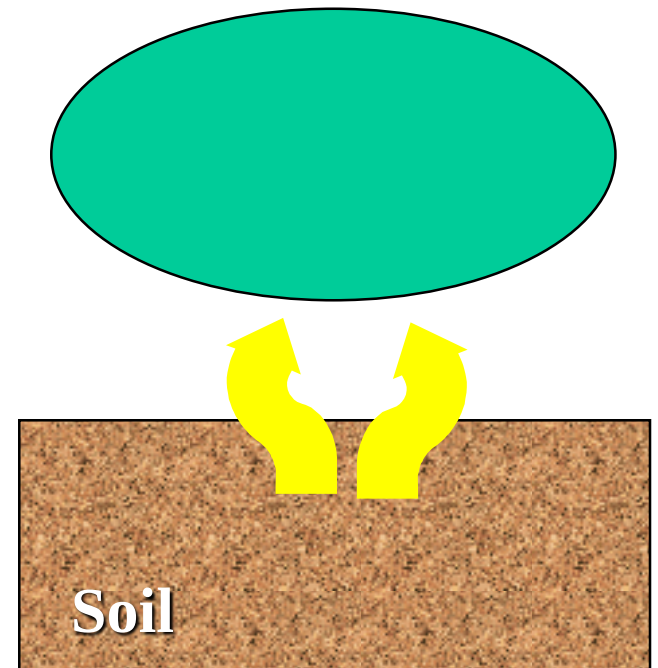


Modified from McKen (1981)

Capillary Flow



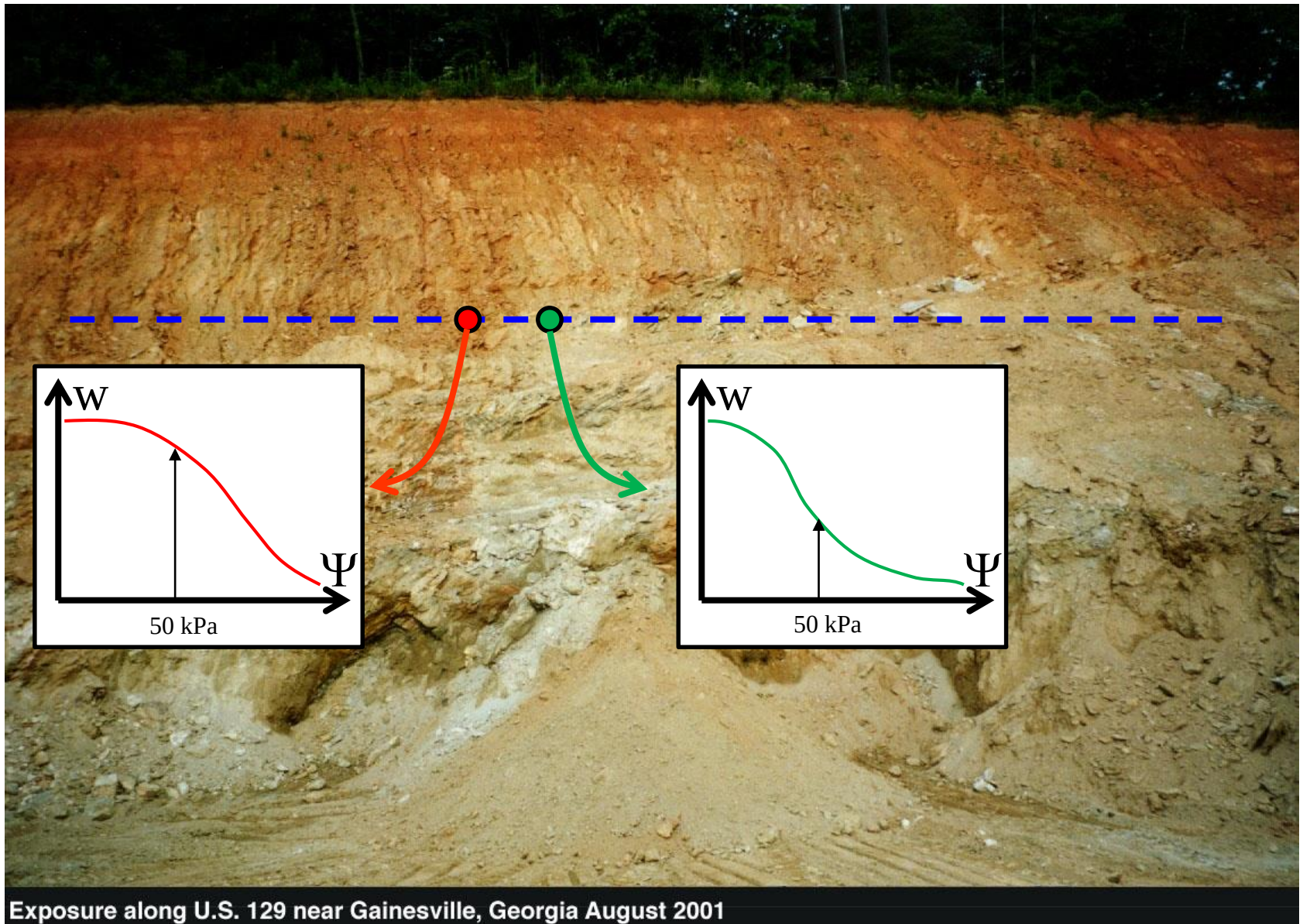
Vapour Flow



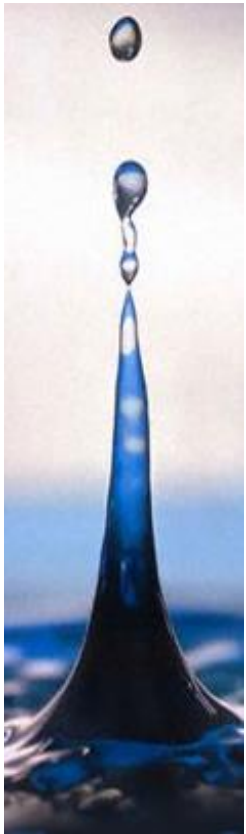
“When one starts already with a
complicated, expensive apparatus,
HE IS SLAVE OF HIS INSTRUMENT”

Terzaghi

O que é mais difícil de se medir? Sucção ou Teor de umidade?



Medição do Teor de Umidade



Bulletin 343, Department of Agricultural and Biological Engineering,
Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural
Sciences, University of Florida.2004

Sonda de Neutrons



Princípio de funcionamento

- Neutros com alta velocidade dão emitidos a partir de uma fonte radioativa ($^{241}\text{Am}/^9\text{Be}$).
- Quando eles colidem com uma partícula com a mesma massa de um neutro (e.i. $\text{proton}, \text{H}^+$) eles reduzem dramaticamente a velocidade.
- Isto forma um grupo de neutros com velocidade reduzida.
- Como a água é a principal fonte de hidrogênio na maioria dos solos a a densidade dos neutros que reduzem a velocidade em volta da sonda é proporcional ao volume de água presente.

Sonda de Neutrons

Vantagens

- Robusto e boa acurácia ($\pm 0.005 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$)
- Um grande número de medidas podem ser feitas com o mesmo instrumento
- Medidas podem ser feitas em diferentes profundidades com um único sensor
- O volume de solo envolvido é grande (Uma esfera de 10 a 40cm de raio, dependendo do teor de umidade) - Vantagem??
- Não é afetado pela salinidade

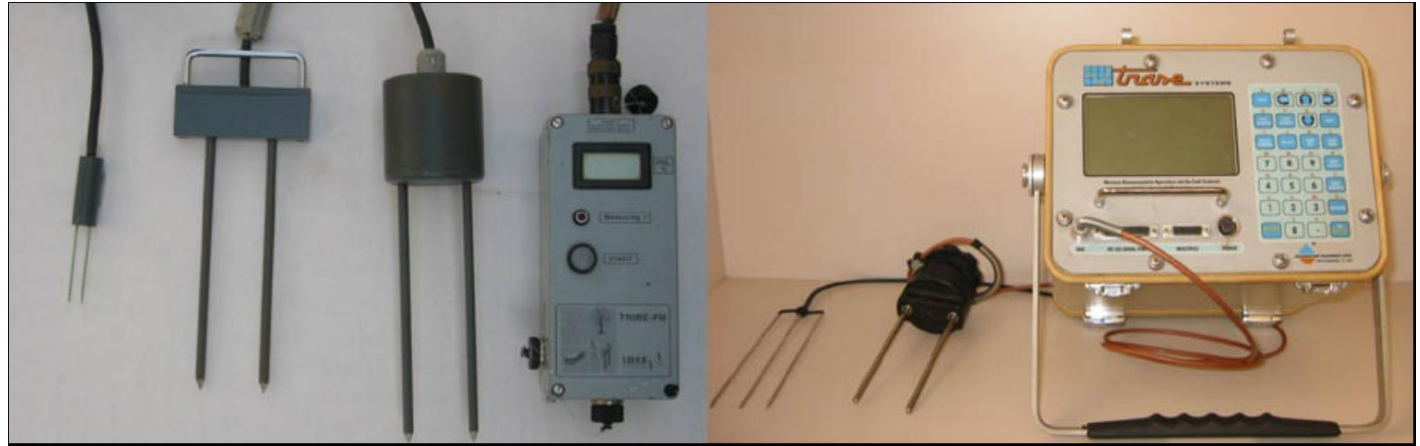


Desvantagens

- Trabalha com radiação
- Necessita treinamento rigoroso devido aos riscos
- Necessita de uma calibração específica para cada solo (problemas com solo expansivo)
- O equipamento é pesado
- Leituras próximas a superfície são difíceis e pouco acuradas
- As leituras são manuais e não podem ser automatizadas devido aos riscos
- Custo elevado

Time Domain Reflectometry (TDR)

[Método dielétrico]



Princípio de funcionamento

- A constante dielétrica do solo (K_a) é determinada pela medição do tempo que leva um pulso de onda eletromagnética para se propagar ao longo da linha de transmissão (sonda) que está envolvida pelo solo.
- A velocidade de propagação (v) é função de K_a
- K_a é proporcional ao quadrado do tempo de propagação (t) ao longo da sonda, logo:

$$K_a = \left(\frac{c}{v} \right)^2 = \left(\frac{ct}{2L} \right)^2$$

- c é a velocidade da onda eletromagnética no vácuo (3108 m/s)
- L é o comprimento da sonda

Time Domain Reflectometry (TDR)

Vantagens

Acurácia de $\pm 0.01 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$)

Existe uma calibração que é usada como única (Cuidado!!!!)

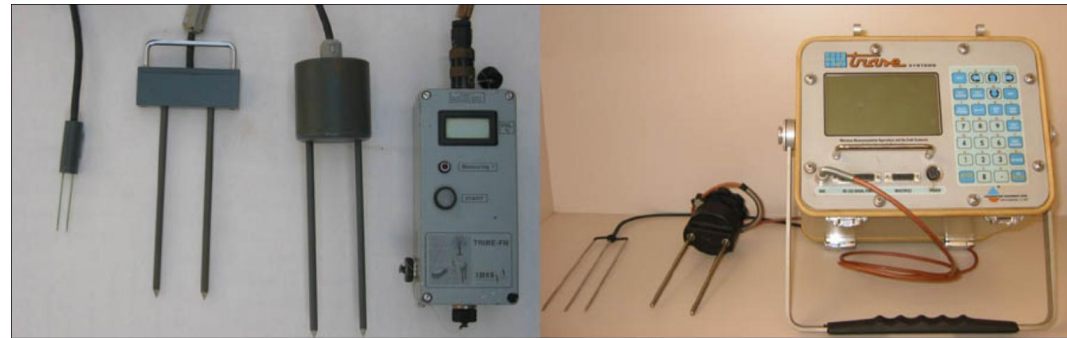
Permite expansão do sistema para várias sondas

Possui varias configurações de sondas

Induz pequena perturbação no solo

Pouco sensível a salinidade de baixo nível

Permite automação de vários sensores



Desvantagens

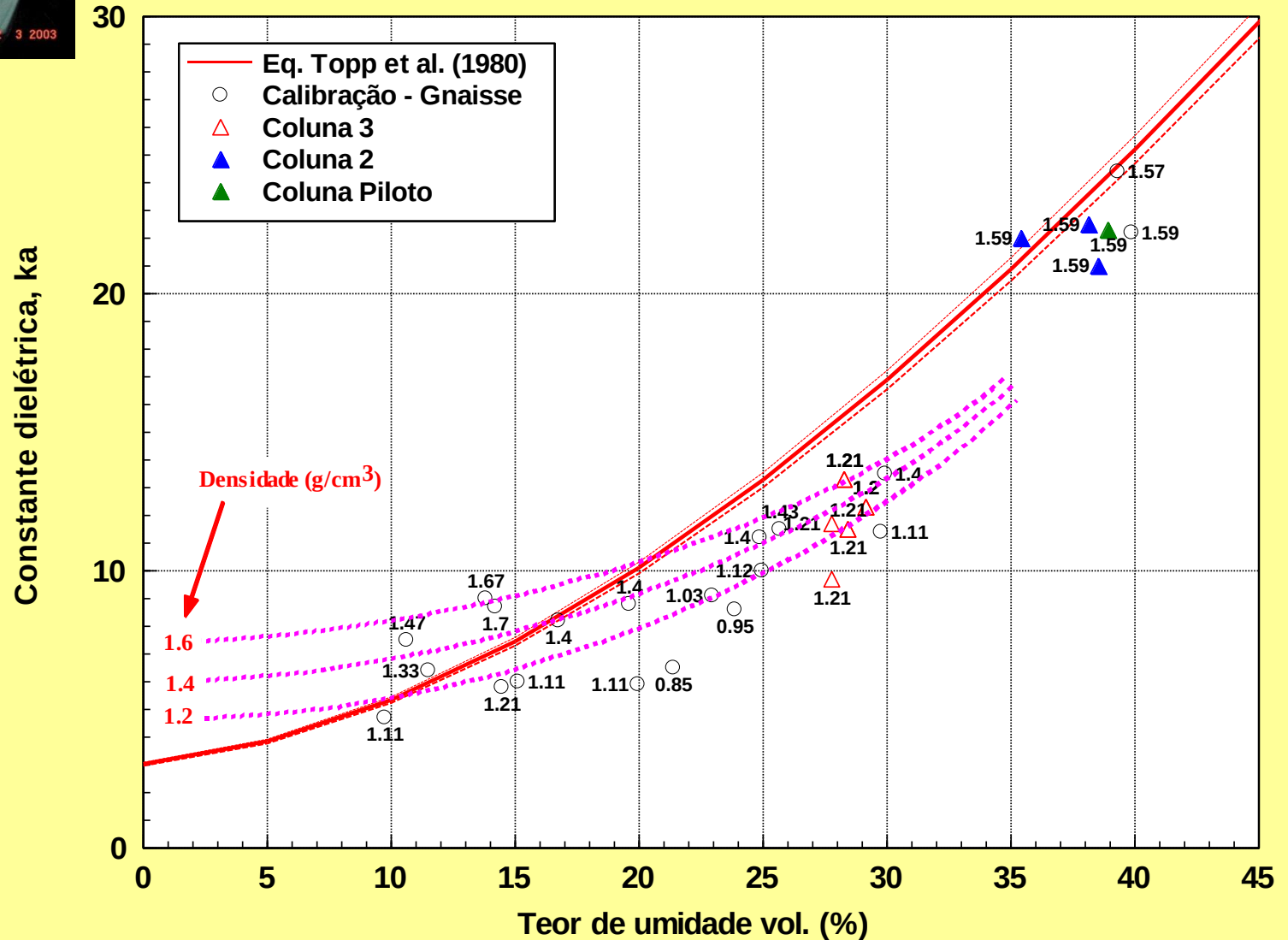
O equipamento é caro

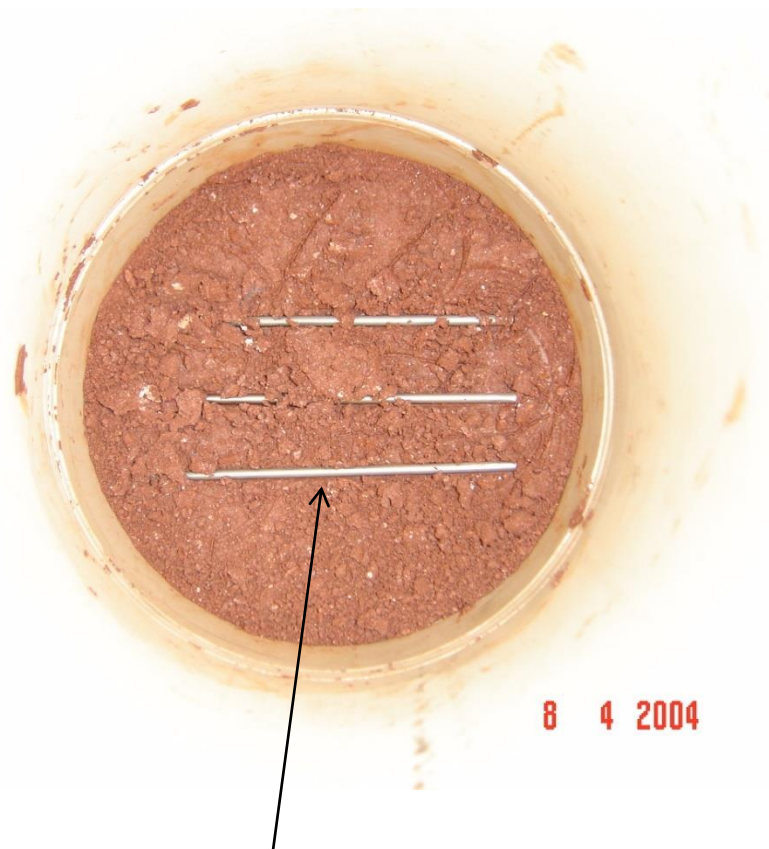
A eletrônica envolvida é complicada

Uso limitado em solos excessivamente salinos

Uso limitado em solos muito argilosos (expansivos)

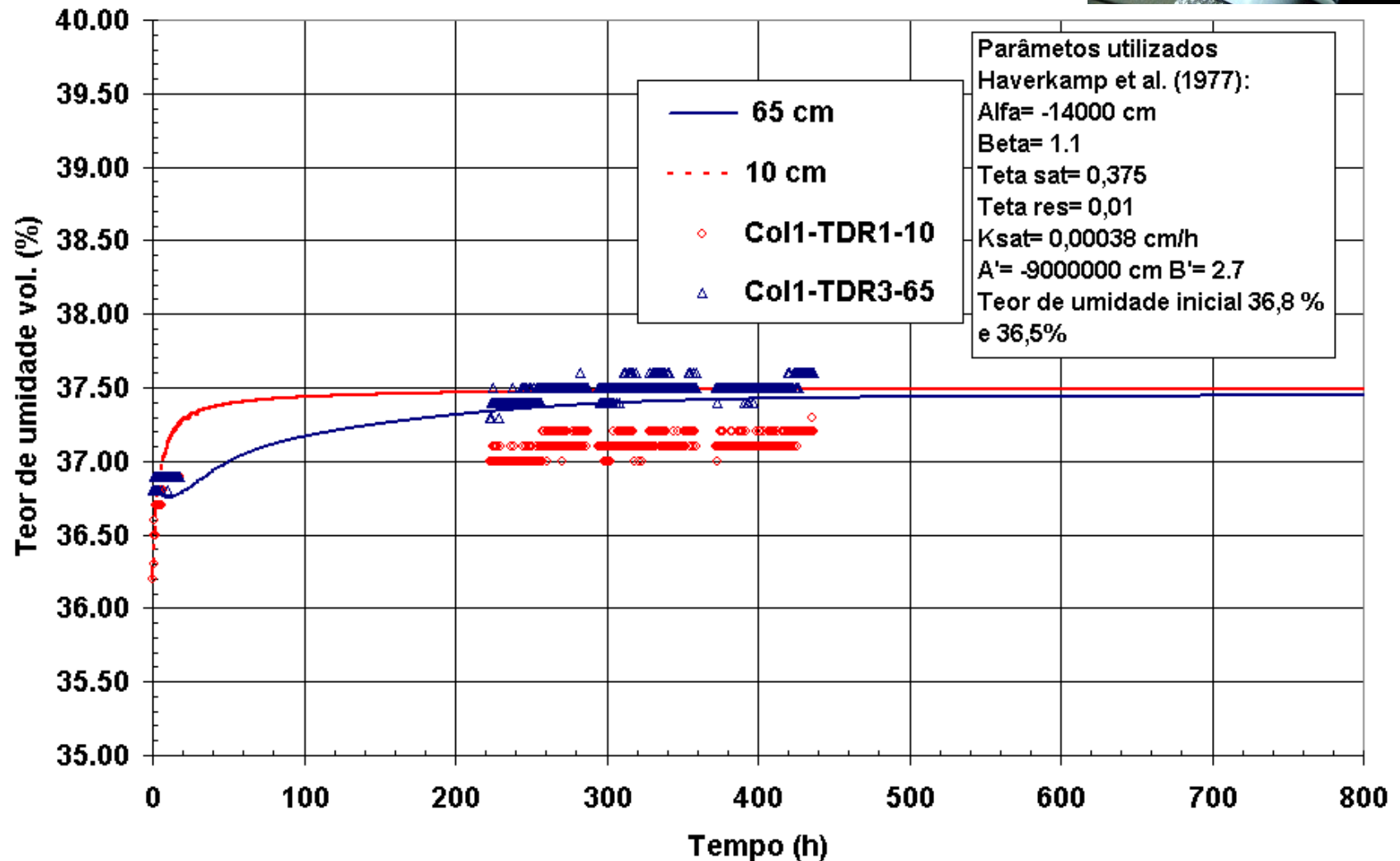
Exige uma calibração específica para vários tipos de solos (e.g. com muita matéria orgânica e alguns solos residuais)





“exumação” de uma sonda TDR

Sondas TDR (Resultados)



Frequency Domain Capacitance (FDR)

[Método dielétrico]



Princípio de funcionamento

- A capacidade elétrica de um capacitor que usa o solo como dielétrico depende do teor de umidade do solo.
- Quando se instala o capacitor (sonda) no solo e se conecta um osciloscópio para formar um circuito elétrico, mudanças no teor de umidade do solo podem ser detectadas pela mudança da frequência de operação.
- Em sensores capacitivos a constante dielétrica é determinada medindo-se o tempo de carregamento do capacitor com o meio onde ele se encontra.

Frequency Domain Capacitance (FDR)

[Método dielétrico]

Vantagens

Acurácia quando se usa uma calibração específica é de $\pm 0.01 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

Pode ser usado em solos com elevado teor de sal

Possui uma resolução melhor que o TDR (evita o ruído que existe na análise da forma da onda usada no TDR)

Pode ser conectado a sistemas de aquisição de dados convencionais (DC output signal)

Maior flexibilidade na forma do sensor (mais que o TDR)

São mais baratos que o TDR em geral



Desvantagens

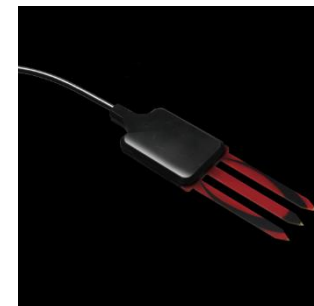
Possui uma área de influência pequena (4cm de raio) - (pode não ser desvantagem!!!)

É necessário um bom contato com o solo para se obter medições confiáveis

Não pode haver vazios entre o solo e o sensor (bom contato)

É mais afetado por temperatura, densidade e teor de argila do que o TDR

Precisa de calibração específica para cada solo.



Amplitude Domain Reflectometry (ADR)

Equi-Tensiômetro

Vantagens

Acurácia com uma calibração específica é de $\pm 0.01 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$.

Permite medições em solos com alta salinidade

Induz pouca perturbação no solo

Pode ser conectado a um sistema convencional de aquisição de dados (DC output signal)

Baixo custo

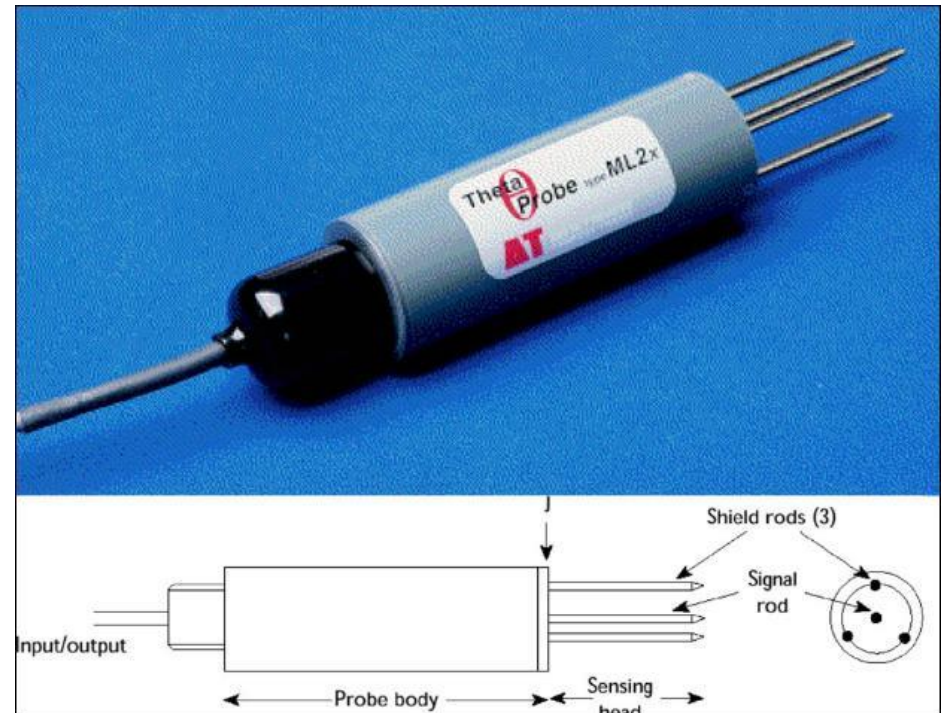
Não é afetado pela temperatura

Desvantagens

Exige uma calibração específica

As medições podem ser afetadas pelo mal contato (presença de ar entre o solo e o sensor), pela presença de pequenas pedras

O volume envolvido na medição é de 4.4 cm^3



Phase Transmission (Virrib)

Vantagens

Acurácia com uma calibração específica é de $\pm 0.01 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

O volume envolvido na medição é grande (17 litros)

Pode ser conectado a um sistema convencional de aquisição de dados (DC output signal)

Baixo custo

Desvantagens

Causa significativa perturbação no solo durante a instalação.

Necessita de calibração específica

É sensível a salinidades elevadas

A precisão é pequena devida a distorção do pulso durante a transmissão

Tem que ser instalado definitivamente no solo



Time Domain Transmission (TDT)

Vantagens

Acurácia de ± 0.01 a $0.02 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$

O volume envolvido na medição é grande (± 4.5 litros)

Pode ser conectado a um sistema convencional de aquisição de dados (DC output signal)

Baixo custo

Desvantagens

A precisão é pequena devida a distorção do pulso durante a transmissão

Causa significativa perturbação no solo durante a instalação.

Tem que ser instalado definitivamente no solo



Ground Penetrating Radar (GPR)

- A técnica baseia-se no mesmo princípio do TDR
- Não quer contato direto com o solo
- Pode ser montado em um veículo
- Investigação a partir de 1 m até aproximadamente 10m
- Ideal para grandes áreas
- Ainda em fase experimental (Davis and Annan, 2002)



Electromagnetic induction (EMI)

- Adequado para determinar o teor de umidade de grandes áreas.
- Normalmente é feito de um avião ou satélite
- O EMI usa duas antenas. Um para transmitir e outra para receber os sinais eletromagnéticos
- Não mede o teor de umidade diretamente
- Usa a condutividade elétrica do solo
- Requer uma calibração específica para o solo
- As pesquisas estão em andamento (Dane and Topp, 2002)



O que cada sensor de fato mede?

Table 1.2. Surrogate measures used by different θ_v sensors

Method	Surrogate Measurement	Explanation
Neutron moisture meter	Count of slow neutrons around a source of fast neutrons	A radioactive source emits fast neutrons (5 MeV), which lose energy as they collide with other atoms, in particular hydrogen. The surrogate is the concentration of slow neutrons. Since the only rapidly changing source of hydrogen in the soil is water, θ_v can be calibrated vs. the count of slow neutrons.
Thermal sensors	Heat conductivity or heat capacity of the soil	A pulse of heat is generated and the subsequent rise or fall in temperature of adjacent soil is measured over time. Soil is a poor conductor of heat, and water a good one, so the amount of heat or rate of heat transmission is closely related to θ_v .
Time domain reflectometer (TDR)	Travel time of an electromagnetic pulse	A fast rise time electromagnetic pulse is injected into a waveguide inserted into or buried in the soil. The time required for the pulse to travel along the metal rods of the waveguide is determined by the bulk electrical permittivity of the soil. The θ_v is a major factor influencing the bulk permittivity (BEC). True TDR involves capture of a waveform and analysis to find the travel time of the highest frequency part of the pulse.
Campbell FDR	Repetition time for a fast rise time electromagnetic pulse	See TDR sensors; same, except reliance on reflected pulse reaching a set voltage rather than waveform analysis causes the method to be more influenced by BEC and temperature.
Capacitive sensors	Frequency of an oscillating circuit	An oscillating current is induced in a circuit, part of which is a capacitor that is arranged so that the soil becomes part of the dielectric medium affected by the electromagnetic field between the capacitor's electrodes. The θ_v influences the electrical permittivity of the soil, which in turn affects the capacitance, causing the frequency of oscillation to shift.
Conductivity sensors (e.g., granular matrix sensors and gypsum blocks)	Electrical conductivity of a porous medium in contact with the soil	An alternating current voltage is placed on two electrodes in a porous material in contact with the soil, and the amount of current is a measure of the conductivity and amount of water in the porous material between the electrodes. These are used for estimation of soil water tension (suction), not θ_v .
Tensiometers	Matric and gravitational soil water potential components	Capillary forces retaining water in the soil pores are connected through the soil water to water in a porous cup connected to a tube filled with water. This generates a negative pressure within the tube, which can be measured with a vacuum gauge. These are used for estimation of soil water tension (suction), not θ_v .

Nestes casos se mede a sucção



O que interfere nas medidas de cada sensor?

Table 1.4. Characteristics of some types of soil water sensor

Technology	Sensed volume	Interferences
NMM	$3 \times 10^4 \text{ cm}^3$ (wet soil) $28 \times 10^4 \text{ cm}^3$ (dry soil)	Cl, B, Fe, C
TDR	Soil volume along length of probe rods, and ~10 mm above and below the plane of the rods, and 10 mm to the side of the plane of the rods (e.g., ~320 cm^3 for a 20 cm probe with 3 rods and 3 cm rod-to-rod spacing).	Salt, electrical conductivity of soil and temperature, magnetic minerals (uncommon)
Capacitive, FDR	Highly variable — usually 90% of reading comes from within 20 mm of the sensitive face of the sensor, but sometimes the sensed volume is smaller than the height of the sensors. Typically ~200– 400 cm^3 .	Salt, electrical conductivity of soil (including clay type, content, and water content) and temperature
Heat dissipation	Highly variable — 20 mm zone around sensor, which is small.	Metallic soil components
Conductivity sensors (e.g. gypsum blocks)	Will equilibrate with a volume of soil that is determined by the soil hydraulic conductivity. Typically 500 cm^3 in wet soil, but much smaller in dry soil.	Temperature, salts other than the CaSO_4 used in the sensor

Medidas feitas com vários sensores no mesmo local no mesmo intervalo de tempo.

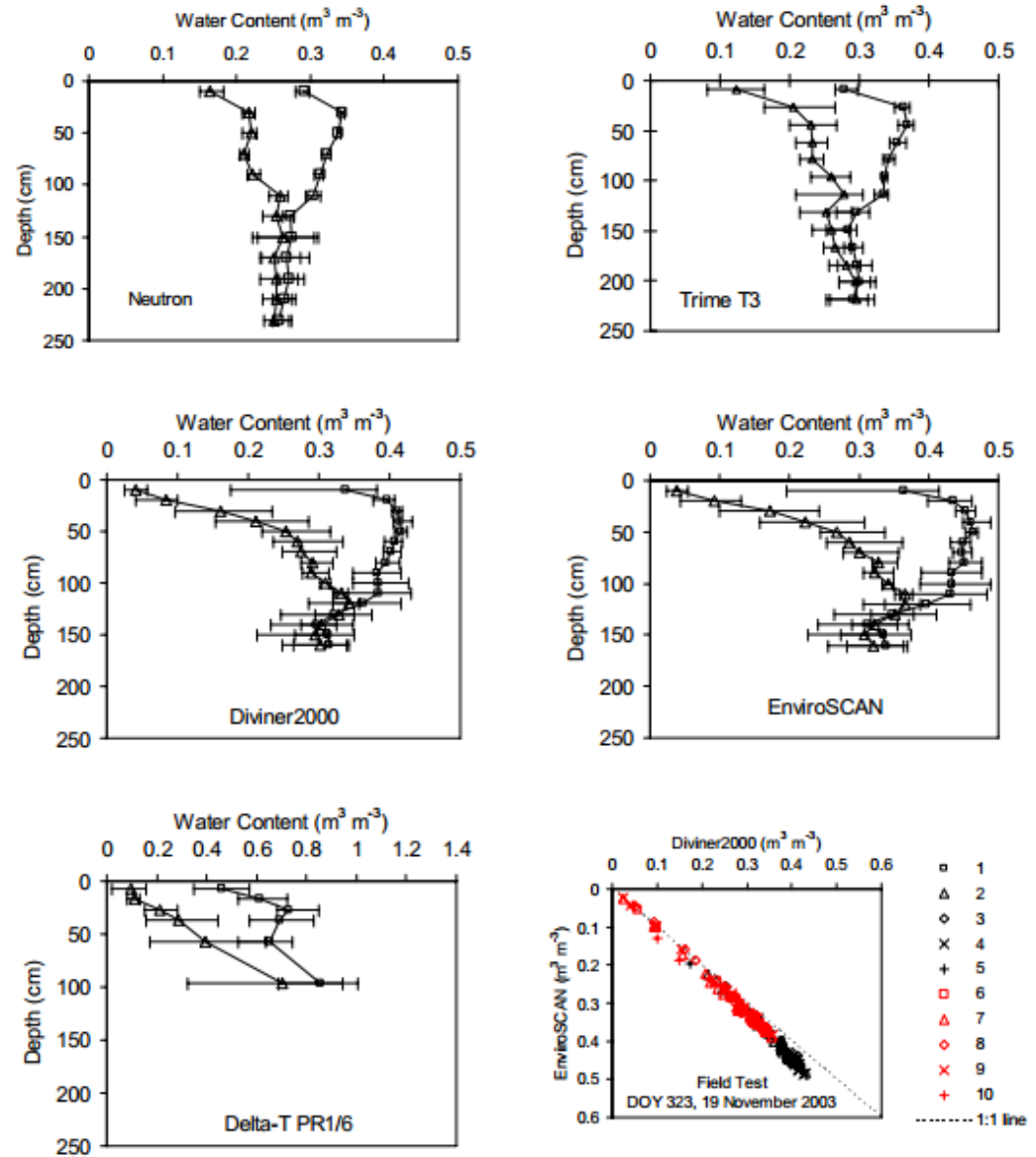


Figure 1.1. Soil water contents reported by five different sensors in access tubes in two plots irrigated weekly to 100% replenishment of soil water to field capacity (squares) and to 33% of the 100% amount (triangles indicate this deficit irrigation). Ten access tubes for each sensor were in the 100% plot and ten each in the 33% plot. Bars indicate the maximum and minimum values of θ_v for each plot and depth, and solid lines indicate the mean value of θ_v .

