

1 Propriedades físicas da água I

- **Massa específica**

$$\rho = f(\text{temperatura}) \quad (1)$$

$$[\rho] = \left[\frac{m}{v} \right] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (2)$$

$$4^\circ\text{C} \rightarrow \rho = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

A **massa específica** da água é uma função de sua **temperatura**. Para outros fluidos as tabelas devem ser consultadas.

Equação de Tanaka (2001): Equação utilizada para determinar a densidade da água para variações de temperatura entre 0°C e 40°C .

$$\rho = 999.974950 \cdot \left(1 - \frac{(T - 3.983035)^2 \cdot (T + 301.797)}{522528.9 \cdot (T + 69.34881)} \right) \quad (3)$$

- **Peso específico**

$$\gamma = \frac{W}{v} = \frac{m \cdot g}{v}, \text{ sendo } g = 9.81 \text{ m/s}^2 \quad (4)$$

$$[\gamma] = \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \quad (5)$$

A água a 4°C possui $\gamma = 9810 \text{ N/m}^3 = 1000 \text{ kgf/m}^3$

γ pode ser reescrito como

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (6)$$

- **Densidade (adimensional)**

$$d = \frac{\rho_{\text{substância}}}{\rho_{\text{padrão}}} \quad (7)$$

A água a 4°C tem $d = 1$, sendo utilizado como o padrão. Nessa temperatura $\rho_{\text{padrão}} = 1000 \text{ kg/m}^3$.

- **Viscosidade:**

(a) Coeficiente de viscosidade dinâmica

Propriedade que confere resistência ao cisalhamento

$$\mu = f(\text{fluido}, \text{temperatura}) \quad (8)$$

$$[\mu] = \text{Pa} \cdot \text{s} \quad (9)$$

Água a 4°C possui $\mu = 1.566 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$

Equação de Lichachev (2003): Calcula μ em função de T

$$\mu = 32.025666 \cdot 10^{-6} \cdot e^{\frac{482.134866}{T+119.886026}} \quad (10)$$

(b) Coeficiente de viscosidade cinemática

$$\nu = f(\text{fluido, temperatura}) \quad (11)$$

$$[\nu] = \left[\frac{\mu}{\rho} \right] = \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad (12)$$

Fluido	Temperatura (°C)	Viscosidade cinemática (10 ⁻⁶ m ² /s)
Água	4	1.567
	20	1.007

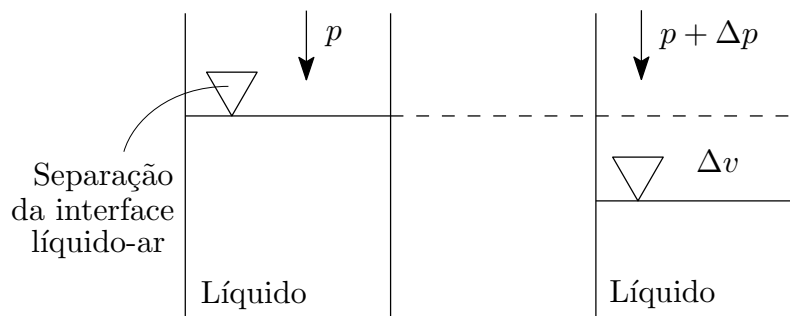
Unidades no Sistema C.G.S.

$$[\mu] = \frac{\text{dyn} \cdot \text{s}}{\text{cm}^2} = \text{P (poise)} \quad (13)$$

$$[\nu] = \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} = \text{St (stoke)} \quad (14)$$

- Compressibilidade**

Proporciona redução do volume ocupado pelo fluido quando este é submetido a um incremento de pressão.



$$\Delta v = -\alpha \cdot v_1 \cdot \Delta p \quad (15)$$

Água a 20 °C tem $\alpha = 4.75 \times 10^{-10} \frac{\text{m}^2}{\text{N}}$

- Módulo de elasticidade**

$$E = \frac{1}{\alpha} \quad (16)$$

Água a 20 °C tem $E = 21.07 \times 10^8 \text{ Pa}$

“Nas aplicações de hidráulica deve-se assumir que a água é um fluido incompressível.”

2 Propriedades físicas da água II

- **Tensão superficial**

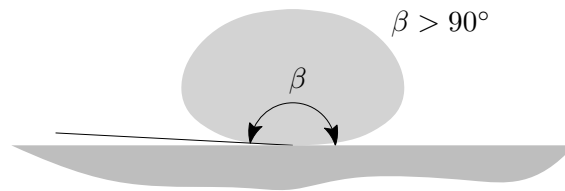
Fenômeno em interface líquido-ar

Coesão: Atração entre moléculas do próprio líquido.

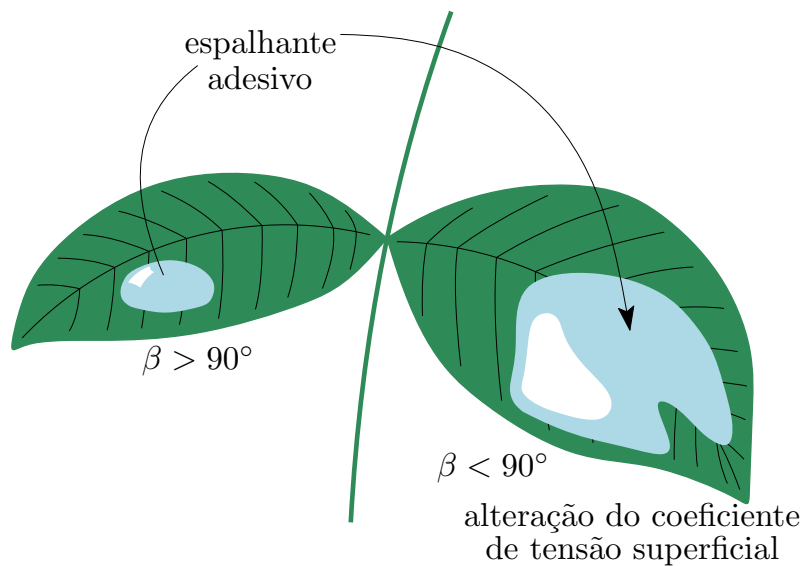
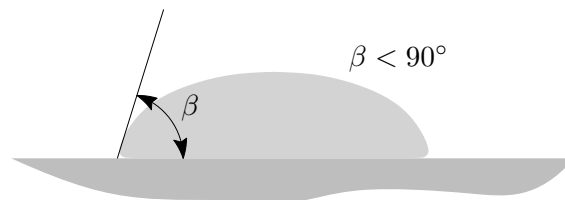
Adesão: Atração entre moléculas do líquido e do sólido com o qual há contato.

- **Ângulo de contato**

1. Água + superfície hidrofóbica



2. Água + superfície hidrofílica



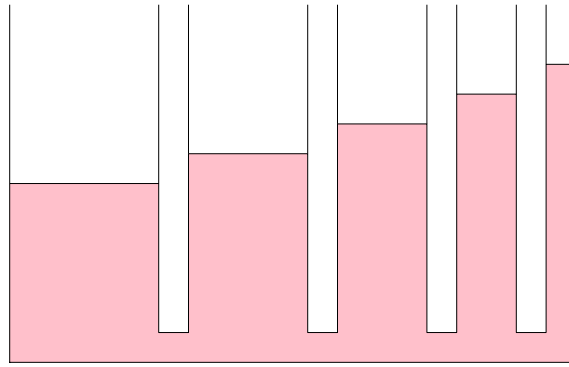
- **Tensão superficial**

$$\sigma = f(\text{fluido, temperatura}) \quad (17)$$

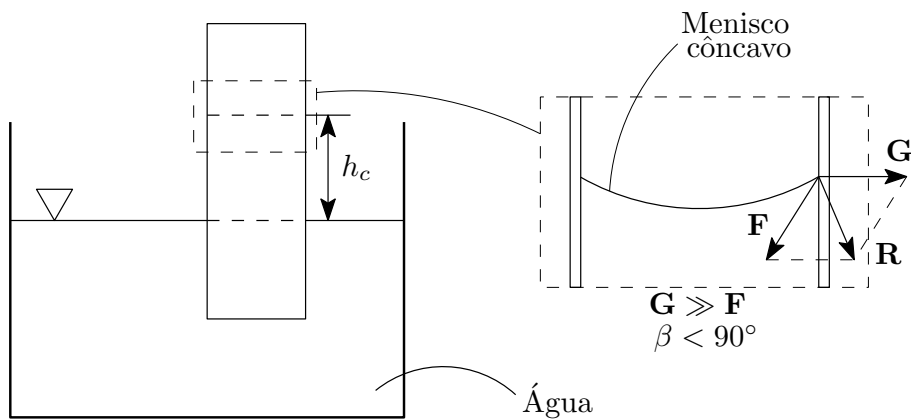
Água a 20°C possui $\sigma = 7.23 \times 10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{m}}$

- **Capilaridade**

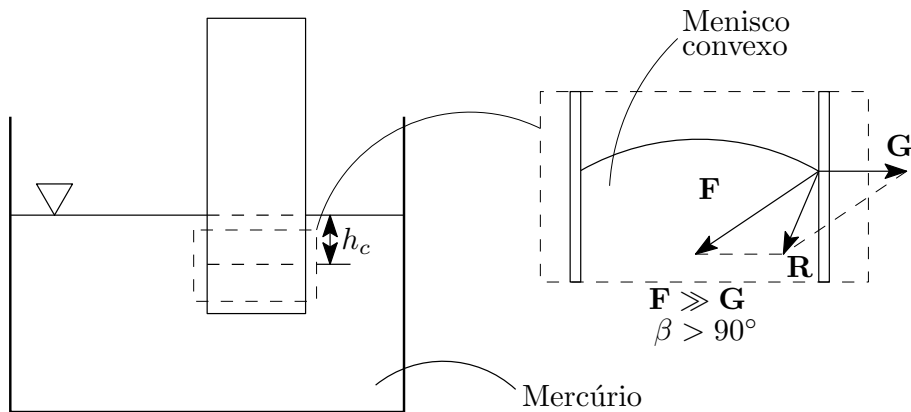
Fenômenos de **ascensão** e **depressão** capilar



1. Tubo capilar de vidro + água



2. Tubo capilar de vidro + mercúrio



Equação para cálculo da altura da ascensão/depressão capilar

$$h_c = \frac{4 \cdot \sigma \cdot \sin \beta}{\gamma \cdot d} \quad (18)$$

d é o diâmetro dos tubos capilares

Solos arenosos: $\uparrow d \rightarrow \downarrow h_c$

Solos argilos: $\downarrow d \rightarrow \uparrow h_c$

Comentários:

1. Retenção e movimento de água no solo
2. Fundamentos de hidrostática não se aplicam

3. Diâmetro de piezômetros para medição de pressão

- **Pressão de vapor:** É a pressão absoluta no qual ocorreria ebulição do líquido.

$$p_v = f(\text{fluido, temperatura, pressão absoluta}) \quad (19)$$

Temperatura	Pressão de vapor da água		
°C	N/m ²	kgf/m ²	m.c.a.
0			0.062
4	813	83	0.083
10	1225	125	0.125
20	2330	239	0.239
30	4490	458	0.458
50	12300	1259	1.259
80	47300	4830	4.830
100	101200	10330	10.330
$g = 9.81 \text{ m/s}^2$ (ao nível do mar)			

Altitude (m)	0	500	800	1000	1500	2000	3000	4000
Temperatura (°C)	100	98	97	96	95	93	91	89

Table 1: Ponto de ebulição da água conforme a altitude

2.1 Resumo

1. Massa específica
2. Peso específico
3. Densidade
4. Viscosidade
5. Compressibilidade
6. Tensão superficial e capilaridade
7. Pressão de vapor (p_{absoluta})