

HIDRÁULICA I

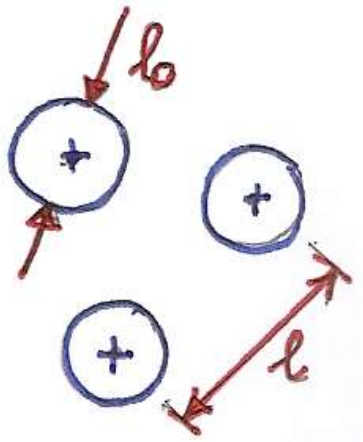
Licenciatura em Engenharia Civil

Propriedades dos fluidos

Conteúdo da Aula

- Sólidos, líquidos e gases
- Fluido como meio contínuo
- Comportamento reológico dos fluidos
- Sistema material, propriedades extensivas e intensivas
- Dimensões e unidades
- Principais propriedades dos fluidos
 - Massa volúmica, peso volúmico e densidade
 - Compressibilidade e módulo de elasticidade volumétrica
 - Tensão superficial e capilaridade
 - Viscosidade
 - Tensão de saturação do vapor

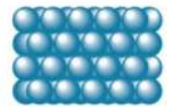
Sólidos, líquidos e gases



l : distância média entre moléculas de uma dada matéria.

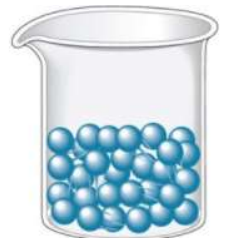
l_0 : comprimento característico da molécula

- Sólidos $l < l_0$ ou $l \approx l_0$
 - Forças de atração molecular muito fortes. Moléculas em posições fixas; forma própria.



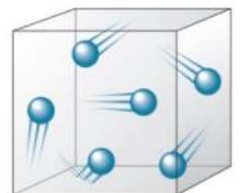
Solid

- Líquidos $l \approx l_0$
 - Moléculas não podem escapar do conjunto; volumes bem definidos mas compressíveis. Comportam-se, geralmente, como incompressíveis; adquirem a forma dos recipientes que os contêm



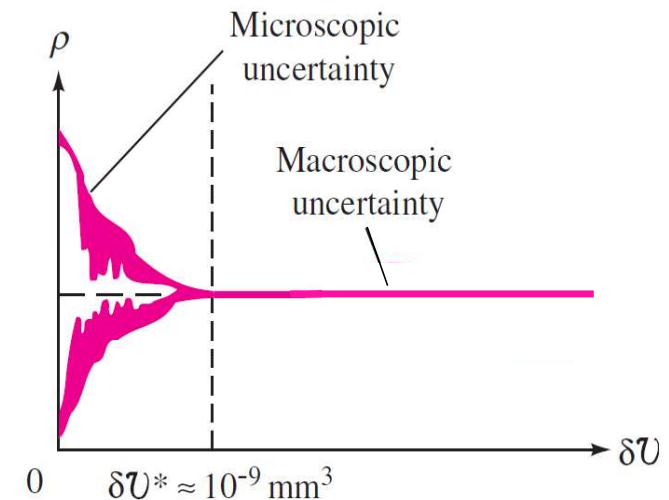
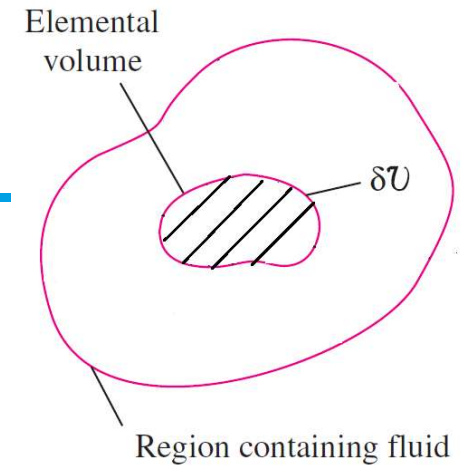
Liquid

- Gases $l \gg l_0$
 - Forças intermoleculares desprezáveis; volumes muito compressíveis. Podem-se comportar como compressíveis ou como incompressíveis.

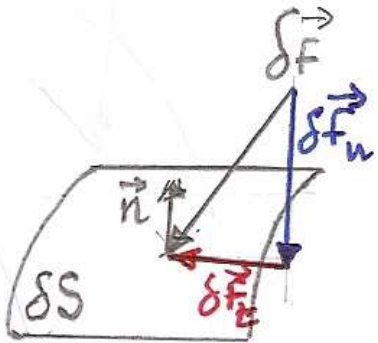


Fluido como meio contínuo

- Em Engenharia, quase sempre interessa conhecer o comportamento médio (**macroscópico**) de grandes quantidades de moléculas.
- Considera-se que **os fluidos (líquidos e gases) se comportam como meios contínuos**.
- Hipótese válida quando a menor dimensão característica do meio (escoamento) é muito superior à trajetória média livre das moléculas, cuja ordem de grandeza é ℓ
 - No **ar** à pressão atmosférica (padrão) existem 2×10^8 moléculas num cubo com $2 \mu\text{m}$ de lado; a trajetória média livre é $0,05 \mu\text{m}$.



Fluido como meio contínuo



Tensão normal

$$\sigma_n = \frac{\delta F_n}{\delta S}$$

Tensão tangencial

$$\sigma_t = \tau = \frac{\delta F_t}{\delta S}$$

As definições podem-se generalizar a um ponto fazendo

$$\sigma = \lim_{\delta S \rightarrow 0} \frac{\delta F}{\delta S} = \frac{dF}{dS}$$

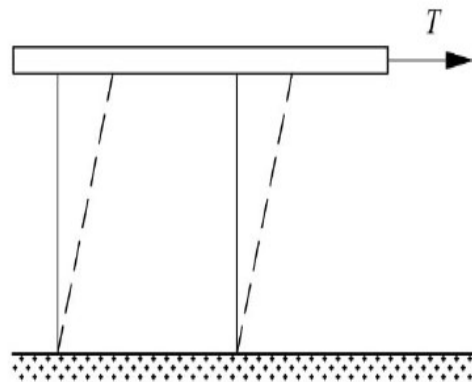
- **Pressão mecânica** num ponto do fluido (como meio contínuo)

$$\bar{p} = \frac{1}{3}(\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sigma_{33})$$

- **Pressão termodinâmica** (ou somente pressão) $\equiv$ estado de tensão de um fluido em repouso $\rightarrow p = \sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{33}$, independente da direção; puramente compressiva.

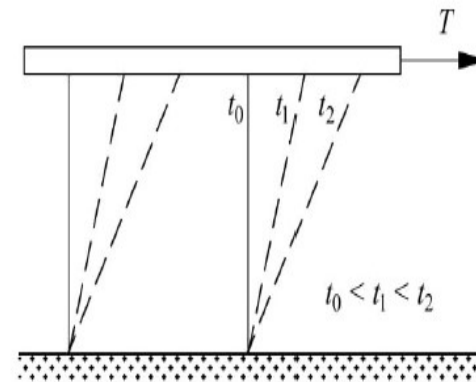
Comportamento reológico dos fluidos

- **Fluido** $\equiv$ substância que se deforma continuamente quando sujeita à ação de uma tensão tangencial, τ , por mais pequena que esta seja.



Um **sólido** deforma-se até atingir um novo estado de equilíbrio.

Se não atingir o regime plástico, a deformação é proporcional à tensão aplicada: $\varepsilon = E \sigma$ (lei de Hooke)



Um **fluido** deforma-se continuamente enquanto a força estiver a ser aplicada.

Para cada fluido existe uma relação bem definida entre τ e a velocidade de deformação, $d\theta/dt$

Sistema material, propriedades extensivas e intensivas

- Sistema material

- porção ou quantidade de matéria fluida suficiente para ser representativa do meio contínuo.
- pode-se deslocar e mudar de forma e de volume ao longo do tempo.

- Propriedades extensivas

- As propriedades relacionadas com a massa total do sistema material (proporcionais à massa)
- Exemplo: energia; peso.

- Propriedades intensivas

- As propriedades independentes da quantidade de massa
- Exemplo: massa volúmica; pressão; temperatura.

Dimensões e unidades

- No Sistema Internacional de Unidades (SI), as grandezas fundamentais são:
 - A massa, M.
 - O comprimento, L.
 - O tempo, T.
 - A temperatura, Θ .
- O Sistema Internacional de Unidades é conhecido por sistema MLT.
- As **unidades** das grandezas fundamentais do SI são:
 - O quilograma, kg (para a massa).
 - O metro, m (para o comprimento).
 - O segundo, s (para o tempo).
 - O kelvin, K (para a temperatura).

Principais propriedades dos fluidos |

Massa volúmica, peso volúmico e densidade

ρ, γ, d variam muito pouco com a temperatura

- Massa volúmica = massa por unidade de volume

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho_{\text{água } 4^{\circ}\text{C}} = 1000 \text{ kgm}^{-3}$$

$$\rho_{\text{ar } 20^{\circ}\text{C}} = 1,204 \text{ kgm}^{-3}$$

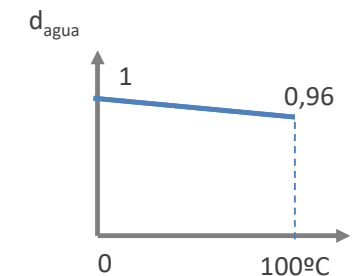
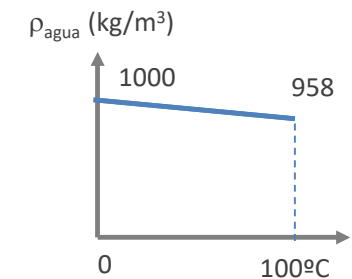
- Peso volúmico = peso por unidade de volume

$$\gamma = \frac{gm}{V} = \rho g$$

$$\gamma_{\text{água } 4^{\circ}\text{C}} = 9800 \text{ Nm}^{-3}$$

- Densidade = razão entre o peso volúmico (ou a massa volúmica) de uma substância numa dada condição de pressão e temperatura e a da água a 4 °C

$$d = \frac{\rho_{\text{fluido}}}{\rho_{\text{água } 4^{\circ}\text{C}}}$$



$$d_{\text{água}, 4^{\circ}\text{C}} = 1$$

$$d_{\text{Hg}, 20^{\circ}\text{C}} = 13,6$$

Principais propriedades dos fluidos |

Compressibilidade e módulo de elasticidade volumétrica

- Os fluidos apresentam deformação finita quando submetidos a esforços normais de compressão.
- Os **líquidos** comportam-se frequentemente como incompressíveis.
 - Exceções: golpe de aríete; aumento da massa volúmica a grandes profundidades oceânicas.
- Os **gases** comportam-se frequentemente como compressíveis.
- Coeficiente de compressibilidade
 - razão entre a variação elementar de volume por unidade de volume de uma dada porção de fluido e a variação elementar de pressão que a origina (a temperatura constante)

$$\alpha = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp} \right)_\Theta$$

Principais propriedades dos fluidos |

Compressibilidade e módulo de elasticidade volumétrica

ε, α variam muito pouco com a temperatura

- Módulo de elasticidade volumétrica

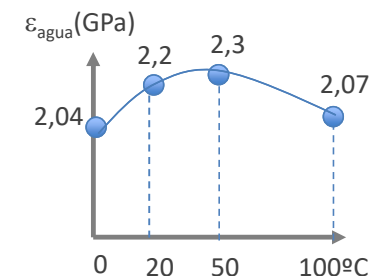
$$\varepsilon = \frac{1}{\alpha} = -\nabla \left(\frac{dp}{d\nabla} \right)_{\theta}$$

- A massa de um dado volume de fluido é constante, pelo que
(negativo porque uma variação de p induz um aumento de massa volúmica)

$$\varepsilon = \rho \left(\frac{dp}{d\rho} \right)_{\theta}$$

- Quanto maior o módulo de elasticidade volumétrica, menos compressível é o fluido e menor a variação da massa volúmica associada a uma determinada variação de pressão.
- Módulo de elasticidade da água a 20 °C e à pressão atmosférica padrão:

$$\varepsilon = 2,20 \times 10^9 \text{ Nm}^{-2}$$

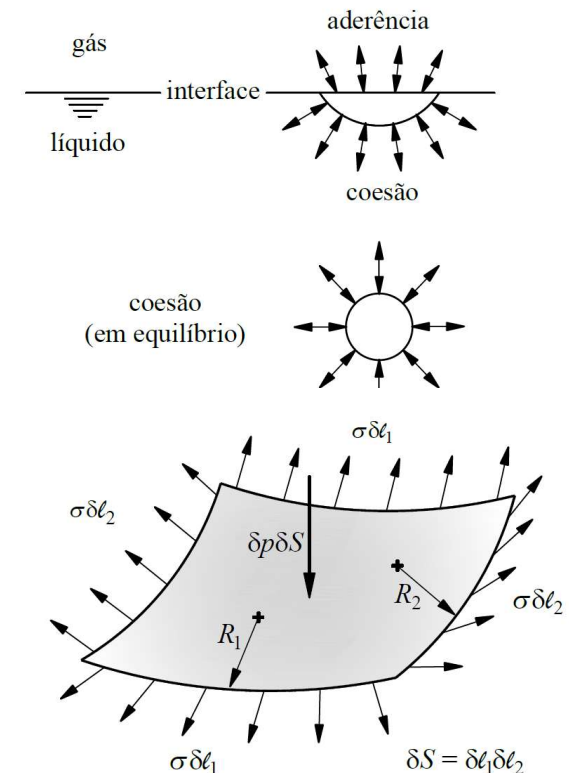
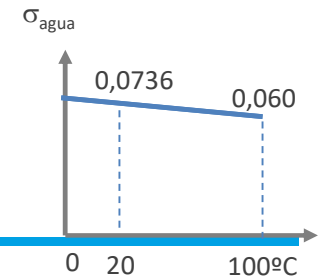


Principais propriedades dos fluidos |

Tensão superficial

- A **tensão superficial** é devida ao desequilíbrio entre forças de coesão (entre moléculas semelhantes) e forças de aderência (entre moléculas de meios diferentes).
- Numa interface líquido-gás, as moléculas na superfície do líquido estão tracionadas a superfície comporta-se como uma **membrana tendida**.
- O efeito de tração traduz-se numa força tangencial à superfície de interface
- **Tensão superficial, σ**
 - é a força tangencial à superfície de interface que atua na linha de fronteira onde é aplicada expressa por unidade de comprimento.

σ diminui com a temperatura



$$(\sigma_{\text{água}})_{\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,0736 \text{ Nm}^{-1}$$

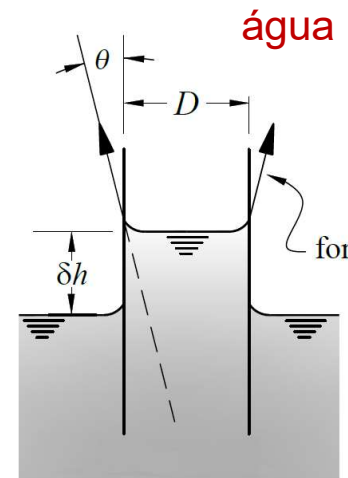
$$(\sigma_{\text{mercúrio}})_{\Theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}} = 0,48 \text{ Nm}^{-1}.$$

Principais propriedades dos fluidos |

Capilaridade

■ Capilaridade

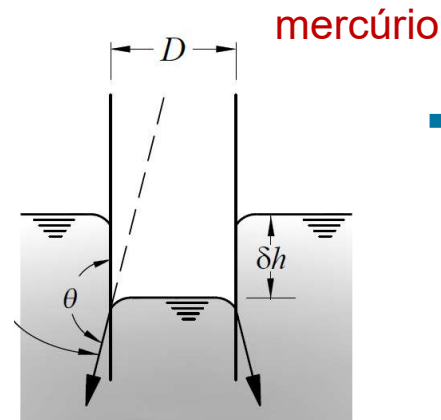
- fenómeno associado à existência de tensões superficiais em interfaces líquido-sólido.



- Se as forças de coesão no líquido $<$ forças de aderência ao sólido, então $\theta < 90^\circ$; o líquido “molha” a superfície sólida

- Em tubos com secção transversal muito pequena, o efeito da tensão superficial (e da capilaridade) não é desprezável.

- Na Hidráulica, despreza-se o efeito da capilaridade em tubos com $D > 15 \text{ mm}$.



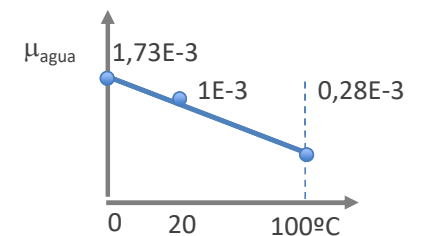
- Se as forças de coesão no líquido $>$ forças de aderência ao sólido, então $\theta > 90^\circ$; o líquido não “molha” a superfície sólida

Principais propriedades dos fluidos |

Viscosidade

μ, ν diminuem
significativamente
com a temperatura

Os fluidos em que a velocidade de deformação é proporcional à tensão tangencial aplicada, dizem-se **fluidos newtonianos**.



A constante de proporcionalidade é uma característica de cada fluido newtoniano. Designa-se por **coeficiente de viscosidade**, **coeficiente de viscosidade dinâmica** ou somente **viscosidade**.

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

$$[\mu] = \text{ML}^{-1}\text{T}^{-1}$$

É frequente recorrer-se à utilização de uma grandeza derivada da viscosidade, a **viscosidade cinemática**

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

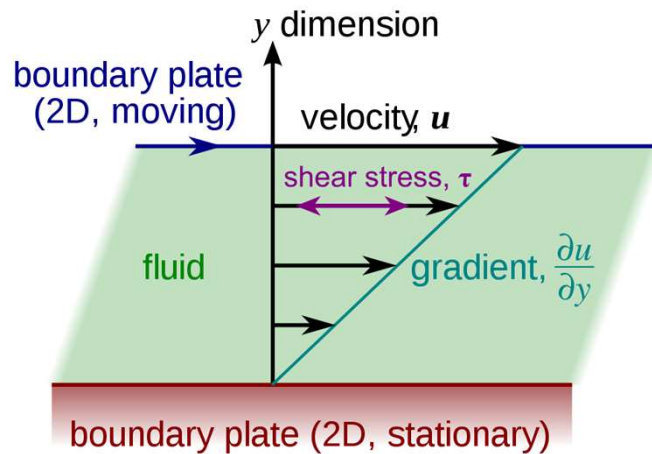
$$[\nu] = \text{L}^2\text{T}^{-1}$$

$$\nu_{\text{água}} \approx 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$$

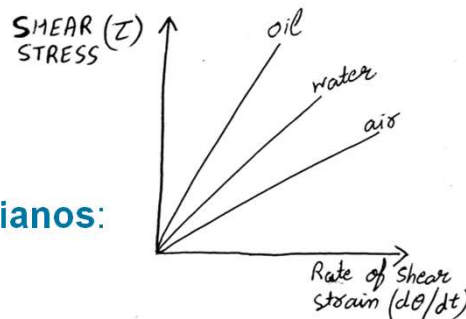
Principais propriedades dos fluidos

Um *fluido newtoniano* é aquele cujo valor da tensão tangencial aplicada é proporcional ao valor da velocidade de deformação, sendo a constante de proporcionalidade a viscosidade μ .

Exemplo de escoamento bidimensional

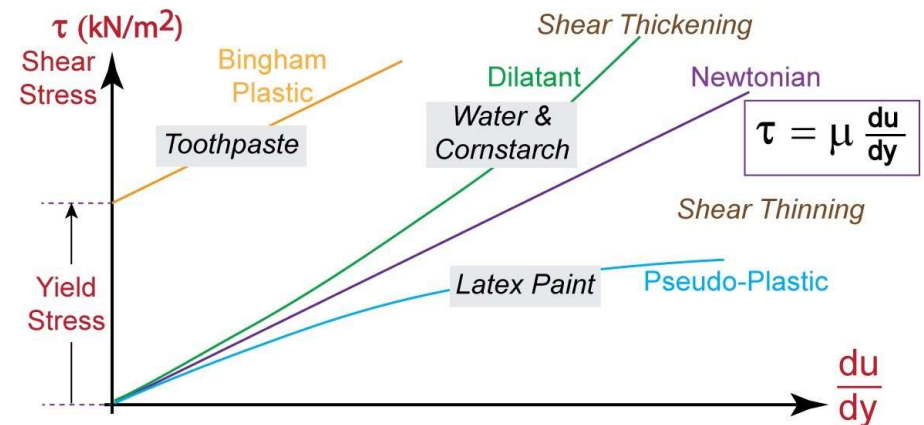


$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$



Exemplos de fluidos newtonianos:
Água, ar, óleo

NON-NEWTONIAN FLUIDS



Principais propriedades dos fluidos

- Tensão de saturação do vapor

A tensão de saturação do vapor, t_v , de um dado líquido é a pressão para a qual esse líquido passa ao estado gasoso quando está a uma determinada temperatura,

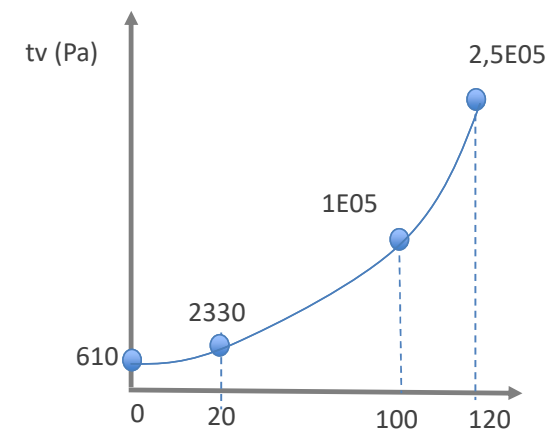
$$(t_v)_{\text{água a } 10\text{ °C}} \approx \frac{1}{100} p_{atm}$$

$$(t_v)_{\text{água a } 100\text{ °C}} = p_{atm}$$

$$(t_v)_{\text{água a } 125 - 130\text{ °C}} \approx 2,5 p_{atm}$$

(panela de pressão)

tv aumenta
significativamente
com a temperatura



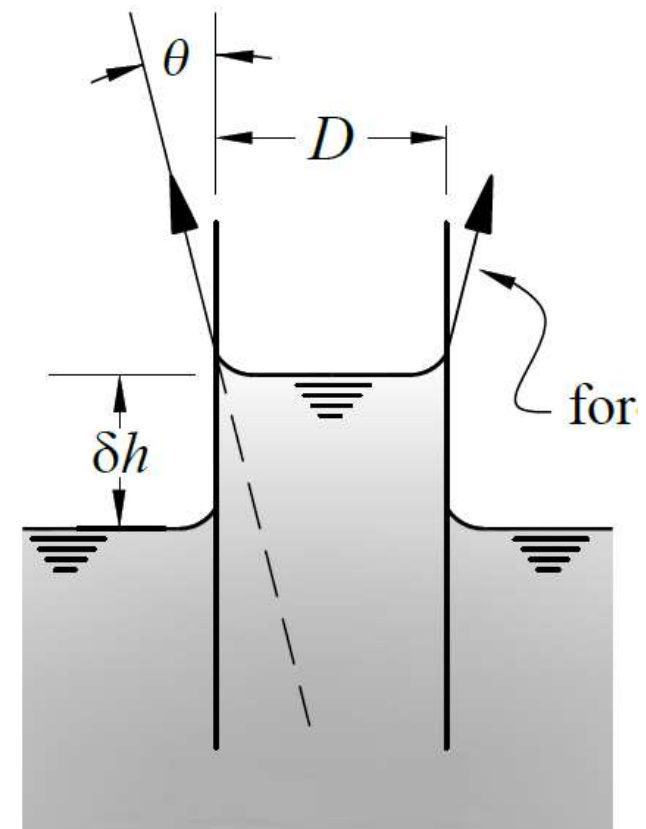
Exemplo 1.3

- Calcule δh sabendo

$$\sigma = 0,0736 \text{ N/m}$$

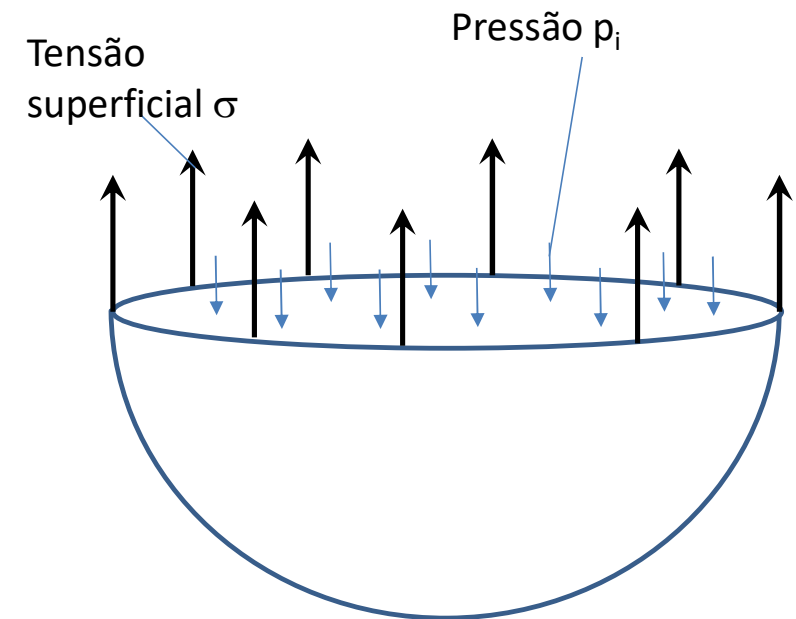
$$\gamma = 9800 \text{ N/m}^3$$

$$D = 1 \text{ mm}$$



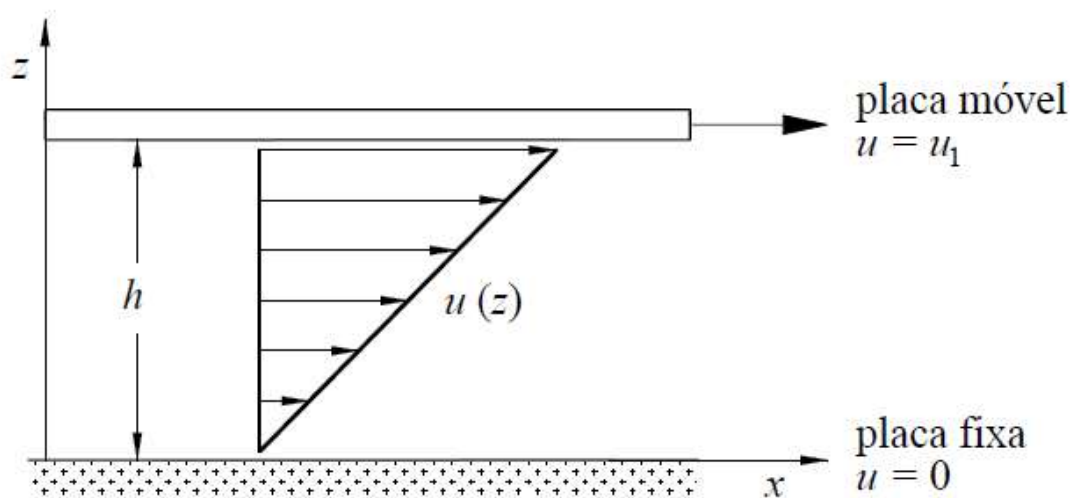
Exemplo 1.2

- Calcule a pressão no interior de uma gota de água esférica com 1 mm de diâmetro. Considere que a ação da gravidade é desprezável ou que o peso da gota é equilibrado por uma ação externa. Admita que a tensão superficial da água é $\sigma = 0,0736 \text{ Nm}^{-1}$ e que a pressão exterior é nula.



Problema 1.3

- Considere o escoamento de um fluido viscoso entre uma placa imóvel (inferior) e uma placa móvel (superior). Na placa superior aplica-se, no sentido do movimento, uma força por unidade de área, $\tau = 1,5 \times 10^{-2}$ Pa. A distribuição vertical da velocidade longitudinal é linear, a distância entre placas é $h = 0,02$ m e a velocidade da placa superior é $u_1 = 0,1$ m/s. Calcule:
 - a) A viscosidade do fluido;
 - b) A viscosidade cinemática do fluido, quando a massa volúmica é de 1300 kg/m^3



Estudo autónomo

- Estudar
 - Secções 1.1-1.6 (Livro)
 - Exemplos 1.1 a 1.4 (Livro)
- Resolver
 - Problemas 1.1, 1.2 e 1.4 (Livro)