



HIDRAÚLICA

Prof. Dr. Patricia Angélica Alves Marques



Programa da Disciplina

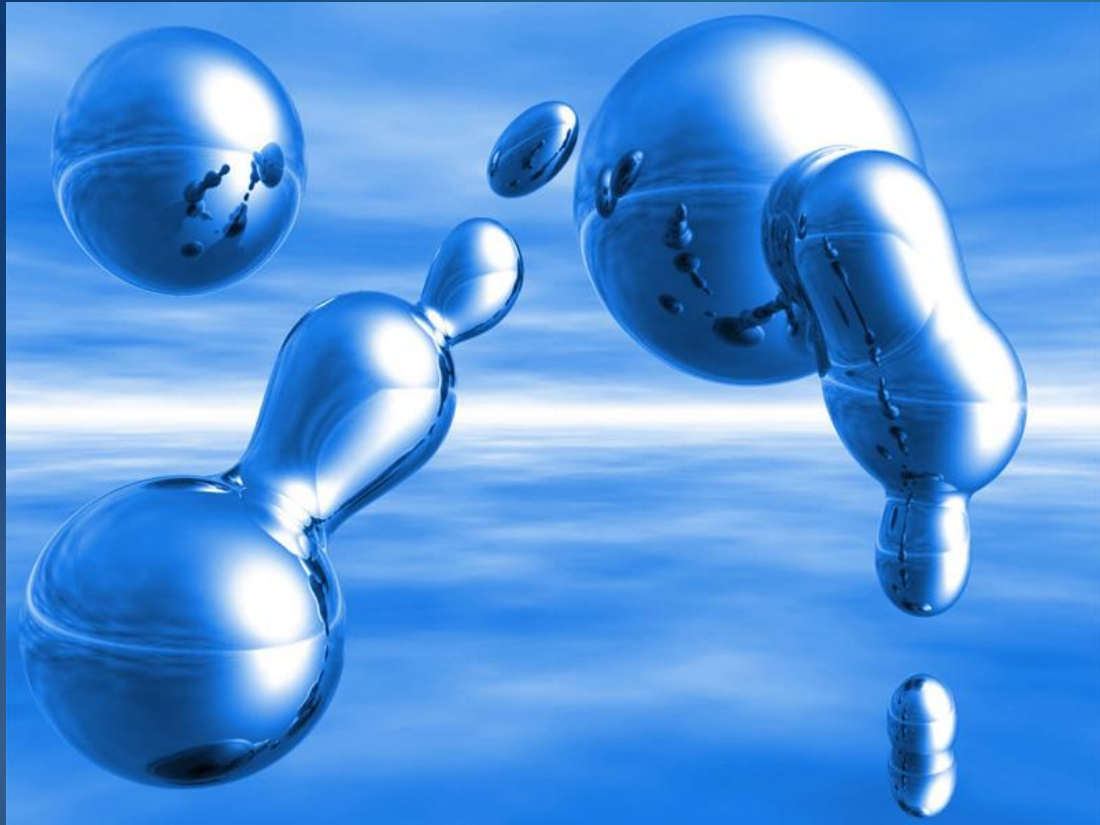
- a. Propriedades físicas dos fluidos e sistema de unidades
- b. Hidrostática (Estática dos fluidos);
- c. Hidrodinâmica (Dinâmica dos fluidos);
- d. Condutos forçados (tubulações);
- e. Bombas hidráulicas;
- f. Sistemas de recalque;
- g. Hidrometria;
- h. Condutos livres (canais).

DIAS LETIVOS

Agosto	02	09	16	23	30
Setembro	06*Semana da Pátria	13	20	27	
Outubro	04*Prova 1	11*Semana Luiz de Queiroz	18	25	
Novembro	01 Finados Feriado	08	15 República Feriado	22	29*Prova 2
Dezembro	06*Prova Repositiva ou Substitutiva				

- O número máximo de faltas admissível será de 5 (cinco) faltas (30%).
- Serão realizadas duas provas (P1 e P2); Exercícios em aulas e listas de exercícios.
- O sistema de recuperação é baseado em uma única prova teórico-prática, com a matéria toda do semestre, sendo a média final calculada de acordo com a resolução COG-3583 de 29/09/89.
- A nota final do curso será a média:

$$m\acute{e}dia = \frac{2 * P1 + 2 * P2 + m\acute{e}dia \text{ de exerc\acute{c}ios}}{5}$$



[Esta Foto](#) de Autor Desconhecido está licenciado em [CC BY-SA](#)

Aula 1 – Introdução, Propriedades Físicas dos Fluidos e Sistemas de Unidades

1 Introdução

- ▶ 1.1 Definição: Hidráulica é a ciência que trata das leis do equilíbrio e movimento dos líquidos e da aplicação dessas leis à solução de problemas práticos.
- ▶ - Principal foco de estudo: fluxos de líquidos limitados por paredes resistentes (tubos e canais naturais ou artificiais).

1.2 Generalidades

- ▶ **Aplicações da hidráulica:**
- ▶ irrigação, drenagem, conservação do solo, defesa contra inundação, dimensionamento de tubulações e canais, cálculos fluviais, hidrelétricas, saneamento, abastecimento urbano e animal entre outros.

Hidráulica = deriva da Mecânica dos fluidos

- ▶ Mecânica dos fluidos desenvolveu-se em dois ramos:
 - a) ramo puramente teórico, de análises matemáticas exatas baseadas nas leis da mecânica. Limitação: nem sempre resolve problemas práticos.
 - b) ramo prático, com ampla aplicação de experimentos e acumulação de dados para utilização prática na engenharia. Limitação: não explica as causas dos fenômenos, sendo ciência puramente empírica.

Hidráulica contemporânea: associação de ambos os ramos

- ▶ Fenômenos examinados e modelados matematicamente, utilizando-se as leis da mecânica teórica;
- ▶ - Resultados obtidos comparados com dados experimentais para verificar a concordância entre teoria pura e prática;
- ▶ - Revisão das deduções e introdução de coeficientes de ajuste (adaptação).

Hidráulica contemporânea: associação de ambos os ramos

- ▶ Fenômenos complexos e de extrema dificuldade de análise puramente teórica
- ▶ - Estudados de modo puramente experimental
- ▶ - Desenvolvimento de fórmulas empíricas para explicação do fenômeno

Hidráulica contemporânea: associação de ambos os ramos

- ▶ - Utilização das fórmulas empíricas na solução de problemas
- ▶ Exemplos:
 - Dimensionamento de tubulações para condução de água.
 - Cálculo da perda de carga (pressão) em tubos e canais.
 - Dimensionamento de vertedores (sangradouros) de barragens.

1.3 Subdivisões da Mecânica dos Fluidos e da Hidráulica

► - Mecânica dos fluidos

a) Aerodinâmica

b) Engenharia naval

c) Hidráulica

1.3 Subdivisões da Mecânica dos Fluidos e da Hidráulica

► - Hidráulica

- a) Hidrostática: esforços a que estão submetidos os fluidos em repouso
- b) Hidrodinâmica: fluidos em movimento.
- c) Hidráulica aplicada: solução de problemas práticos.
 - Dimensionamento de tubulações e canais
 - Dimensionamento de redes de abastecimento
 - Projetos de sistemas de irrigação e drenagem

2. Sistema de unidades

2.1 Sistemas MLT e FLT

- ▶ Sistemas de definição de características físicas de grandezas
- ▶ Baseados nas unidades fundamentais de medidas:
MASSA, FORÇA, COMPRIMENTO, TEMPO
- ▶ Massa: quantidade de matéria que um corpo contém.
- ▶ Peso: ação (força) exercida no corpo pela gravidade.

2. Sistema de unidades

► MLT: Massa (M, mass) $\rightarrow m = F/a$

Comprimento (L, *length*)

Tempo (T, *time*)

► FLT: Força (F, force) $\rightarrow F = m.a$

Comprimento (L, *length*)

Tempo (T, *time*)

Sistema de unidades

- ▶ MLT → MKS = sistema internacional (SI)
→ CGS
- ▶ FLT → MK*S = sistema técnico

2.3 Quadro de unidades

Grandeza	Sistema		
	MLT		FLT
	CGS	MKS (SI)	MK*S
Massa	g	kg	UTM
Força	dina	N (newton)	kgf
Comprimento	cm	m	m
Tempo	s	s	s
Pressão	dina cm ⁻²	N m ⁻²	kgf m ⁻²
Vazão	cm ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹	m ³ s ⁻¹

Sistema de unidades

- ▶ 1 Newton = $1 \text{ kg} \times 1 \text{ m s}^{-2}$
- ▶ 1 kgf = $1 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m s}^{-2}$ ou 9,81 N
- ▶ UTM = unidade técnica de massa (unidade derivada)

$$\text{UTM} = \frac{F}{a} = \frac{1 \text{ kgf}}{1 \text{ m s}^{-2}} = \frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ m s}^{-2}} = \frac{9,81 \text{ kg} \times \text{m s}^{-2}}{1 \text{ m s}^{-2}} = 9,81 \text{ kg}$$

- ▶ 1 dina = $1 \text{ g} \cdot 1 \text{ cm s}^{-2}$

Exemplos

- ▶ 1) Transforme para SI (MKS) e técnico (MK*S):
- ▶ a) $72\text{m}^3/\text{h}$
- ▶ b) 36 km/h
- ▶ c) 1000 kgf/m^3
- ▶ d) 108 litros/h
- ▶ e) 27 libras/pol^2 ($1\text{ pol} = 0,0254\text{m}$; $1\text{ libra} = 0,45359\text{ kgf}$ e $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$)

Exemplos

- ▶ 2) Qual o peso de um corpo de massa 1 kg na Terra ($a=g= 9,81 \text{ m s}^{-2}$) expresso no MKS e MK*S.
- ▶ 3) Um corpo tem peso de 60 kgf em local de $g= 9,81 \text{ m s}^{-2}$. Qual será seu peso e sua massa em local com $g= 10,2 \text{ m s}^{-2}$?
- ▶ 4) Qual a massa necessária para exercer uma força de 1 kgf num local cuja aceleração da gravidade é de $1,1 \text{ m s}^{-2}$? (expresso no MKS e MK*S)

3. Propriedades físicas dos fluidos

Fluido: substância que se deforma continuamente quando submetido a uma tensão de cisalhamento.

Modalidade da matéria que compreende líquidos e gases.

3.1 Definições

- ▶ a) Líquido: fluido com volume definido
praticamente incompressível
forma indefinida (tomam a forma do recipiente em que está)

- ▶ b) Gás: fluido com volume e forma indefinidos.
variam o volume sob variações de pressão (compressível)

3.2 Massa específica (ρ)

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

Sistema MK*S: $\rho = \text{UTM m}^{-3}$

SI (MKS): $\rho = \text{kg m}^{-3}$

CGS: $\rho = \text{g cm}^{-3}$

Quanto < Temperatura > massa específica

ρ água a 20°C = 101,75 UTM m⁻³ = 998,17 kg m⁻³

ρ água a 4°C = 101,94 UTM m⁻³ = 1000 kg m⁻³

3.3 Peso específica (γ)

$$\gamma = \frac{\text{peso}}{\text{volume}}$$

Sistema MK*S:

$$\gamma = \text{N m}^{-3}$$

SI (MKS):

$$\gamma = \text{kgf m}^{-3}$$

CGS:

$$\gamma = \text{dina cm}^{-3}$$

$$\gamma \text{ \u00e1gua a } 4^{\circ} \text{ C} = 9810 \text{ N m}^{-3} = 1000 \text{ kgf m}^{-3}$$

$$\gamma = \frac{\text{peso}}{\text{volume}} = \frac{\text{m} \cdot g}{\text{volume}} = \rho \cdot g \quad \text{e} \quad \rho = \frac{\gamma}{g}$$

ρ

3.4 Densidade relativa (d)

$$d = \frac{\rho \text{ substância considerada}}{\rho \text{ substância padrão}}$$

Ou

$$d = \frac{\gamma \text{ substância considerada}}{\gamma \text{ substância padrão}}$$

Medida relativa → Adimensional

Para nós a substância padrão será a água a 4°C:

$$\gamma = 9810 \text{ N m}^{-3} = 1000 \text{ kgf m}^{-3}$$

Densidade relativa (d)

Alcool etílico	0,80
Petróleo	0,88
Óleo Diesel	0,82 a 0,96
ÁGUA (Destilada)	1,0
ÁGUA do Mar (Salgada)	1,02 a 1,03
Melado	1,40 a 1,50
Tetracloreto de Carbono	1,59
MERCÚRIO	13,6

3.5 Viscosidade dinâmica (μ , atrito interno)

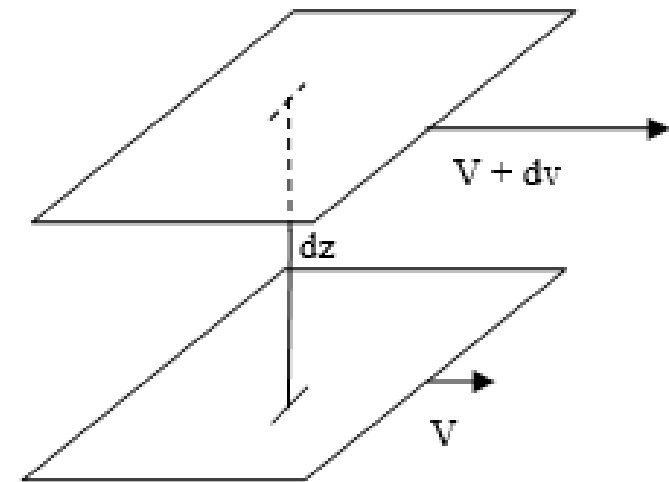
Propriedade dos fluidos responsável pela sua resistência à força cisalhante. Ou resistência encontrada entre as partículas ao deslizarem umas sobre as outras.

Exemplo: Óleo lubrificante escoa mais lentamente que a água ou álcool

Sistema MK*S: $\mu = \text{kgf s m}^{-2}$

SI (MKS): $\mu = \text{N s m}^{-2}$

CGS: $\mu = \text{dina s cm}^{-2} = \text{poise}$



3.6 Viscosidade cinemática (ν)

Forma simplificada de apresentar a viscosidade

$$\nu = \frac{\text{viscosidade dinâmica}}{\text{massa específica}} = \frac{\mu}{\rho}$$

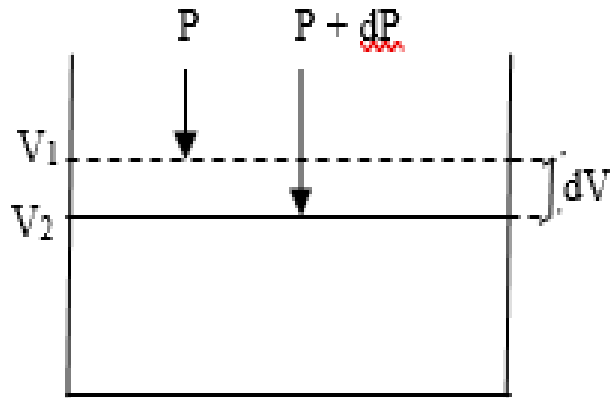
Sistema MK*S: $\nu = \text{m}^2 \text{s}^{-1}$

SI (MKS): $\nu = \text{m}^2 \text{s}^{-1}$

CGS: $\nu = \text{cm}^2 \text{s}^{-1} = \text{stoke}$

3.7 Compressibilidade

Propriedade do fluido de mudar de volume quando submetido a mudanças de pressão



$$dV = -\alpha dP.V$$

α - coeficiente de proporcionalidade volumétrica

$$\uparrow P \rightarrow \downarrow V$$

Gases α valores altos

Líquidos α valores baixos (prática incompressíveis)

3.7 Compressibilidade

ε - módulo de elasticidade

Gases ε valores baixos

Líquidos ε valores altos

$$\varepsilon = \frac{1}{\alpha}$$

$$dv(m^3) = \frac{-dp \left(\frac{kgf}{m^2} \right) \cdot V (m^3)}{\varepsilon \left(\frac{kgf}{m^2} \right)}$$

3.7 Compressibilidade

Exemplo: qual a variação de volume de 1 m³ de água a 10°C se submetida a um acréscimo de pressão de 1 atm técnica?

ε - água 10°C = $2,09 \cdot 10^8$ kgf/m²

1 atm técnica = 10000 kgf/m²

$$dv(m^3) = \frac{-dp \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right) \cdot V (m^3)}{\varepsilon \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right)}$$

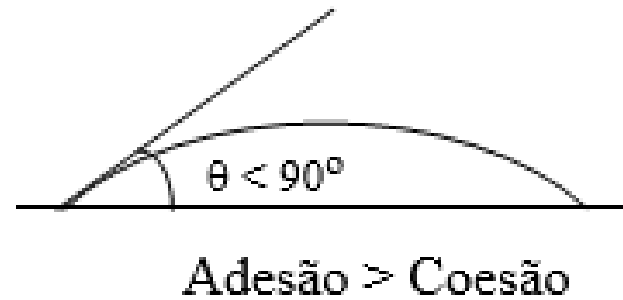
3.8 Coesão, adesão, tensão superficial e ângulo de contato

Coesão: atração entre moléculas do próprio líquido

Adesão: atração entre moléculas do líquido e do sólido com que está em contato

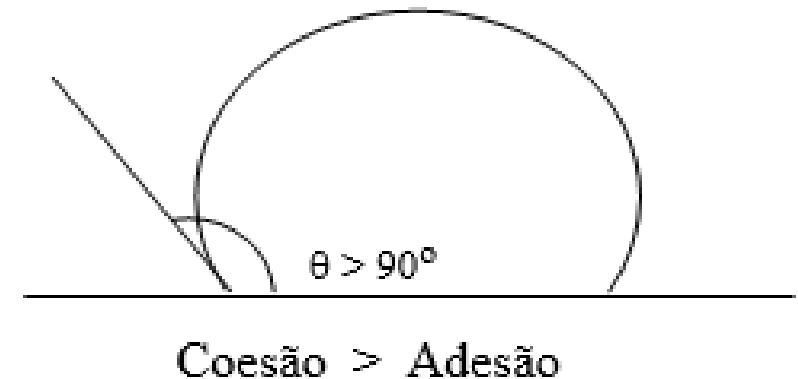
Ângulo de contato (θ)

- detergente, espalhante $\rightarrow$ reduz
- Cera $\rightarrow$ aumenta



Ex: água e vidro
 $\theta = 0^\circ$

Ex: mercúrio e vidro
 $\theta = 148^\circ$



3.8 Coesão, adesão, tensão superficial e ângulo de contato

- Tensão superficial (σ): é o trabalho por unidade de área necessário para trazer as moléculas à superfície do líquido. Na superfície de contato entre dois fluidos não miscíveis (fluidos que não se misturam, como por exemplo: água e ar), forma-se uma película elástica capaz de resistir a pequenos esforços. A tensão superficial é a força de coesão necessária para formar a película.

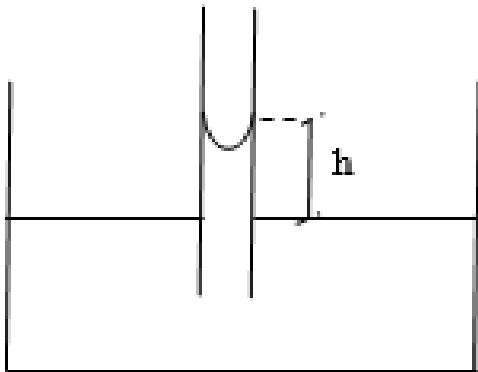
$$\sigma = \frac{\text{trabalho}}{\text{área}}$$

Sistema MK*S: $\sigma = \text{kgf m}^{-1}$

SI (MKS): $\sigma = \text{N m}^{-1}$

3.9 Capilaridade

- As propriedades de adesão, coesão e tensão superficial são responsáveis pelo fenômeno da CAPILARIDADE, que é a elevação (ou depressão) de um líquido dentro de um tubo de pequeno diâmetro. - A elevação ou depressão capilar é inversamente proporcional ao diâmetro do tubo.



Adesão > Coesão



Coesão > Adesão

$$h(m) = \frac{2 \cdot \sigma \left(\frac{kgf}{m} \right) \cdot \cos \theta}{\gamma \left(\frac{kgf}{m^3} \right) \cdot r(m)}$$

3.9 Capilaridade

- Aplicações práticas:
 - Piezômetros: definição de diâmetro mínimo para evitar a capilaridade
 - Solos: fenômeno de ascensão de água de camadas profundas (uso em irrigação, drenagem e construção civil – impermeabilização)

3.9 Capilaridade

Exemplo: Calcule o efeito da capilaridade (em cm) num tubo de 5mm de diâmetro com água a 20°C. Sendo σ água 20°C = 0,00743 kgf/m; $\theta = 0^\circ$ e γ água 20°C = 998,2 kgf/m³.

$$h(m) = \frac{2 \cdot \sigma \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}} \right) \cdot \cos \theta}{\gamma \left(\frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \right) \cdot r (m)}$$

h = altura de elevação

σ = coeficiente de tensão superficial

θ = ângulo de contato líquido – sólido (tubo)

γ = peso específico do líquido

r = raio do capilar

3.10 Pressão (tensão) de vapor

- Pressão de vapor ou tensão de vapor corresponde ao valor da pressão na qual o líquido passa da fase líquida para a gasosa.
- Na superfície de um líquido → moléculas que escapam para a atmosfera (evaporação) e outras que penetram no líquido (condensação).
- Depende da atividade molecular → $f(\text{temperatura e pressão})$
- $>$ da pressão e da temperatura → $>$ pressão de vapor do líquido.
- Pressão na superfície do líquido = pressão de vapor → ebulição

3.10 Pressão (tensão) de vapor

- Aplicações práticas:
 - - Panela de pressão: cozimento acima da pressão atmosférica
 - - Cavitação em bombas hidráulicas

**TABELA – 1 PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA DOCE, À PRESSÃO ATMOSFÉRICA
($g=9,80665 \text{ m/s}^2$)**

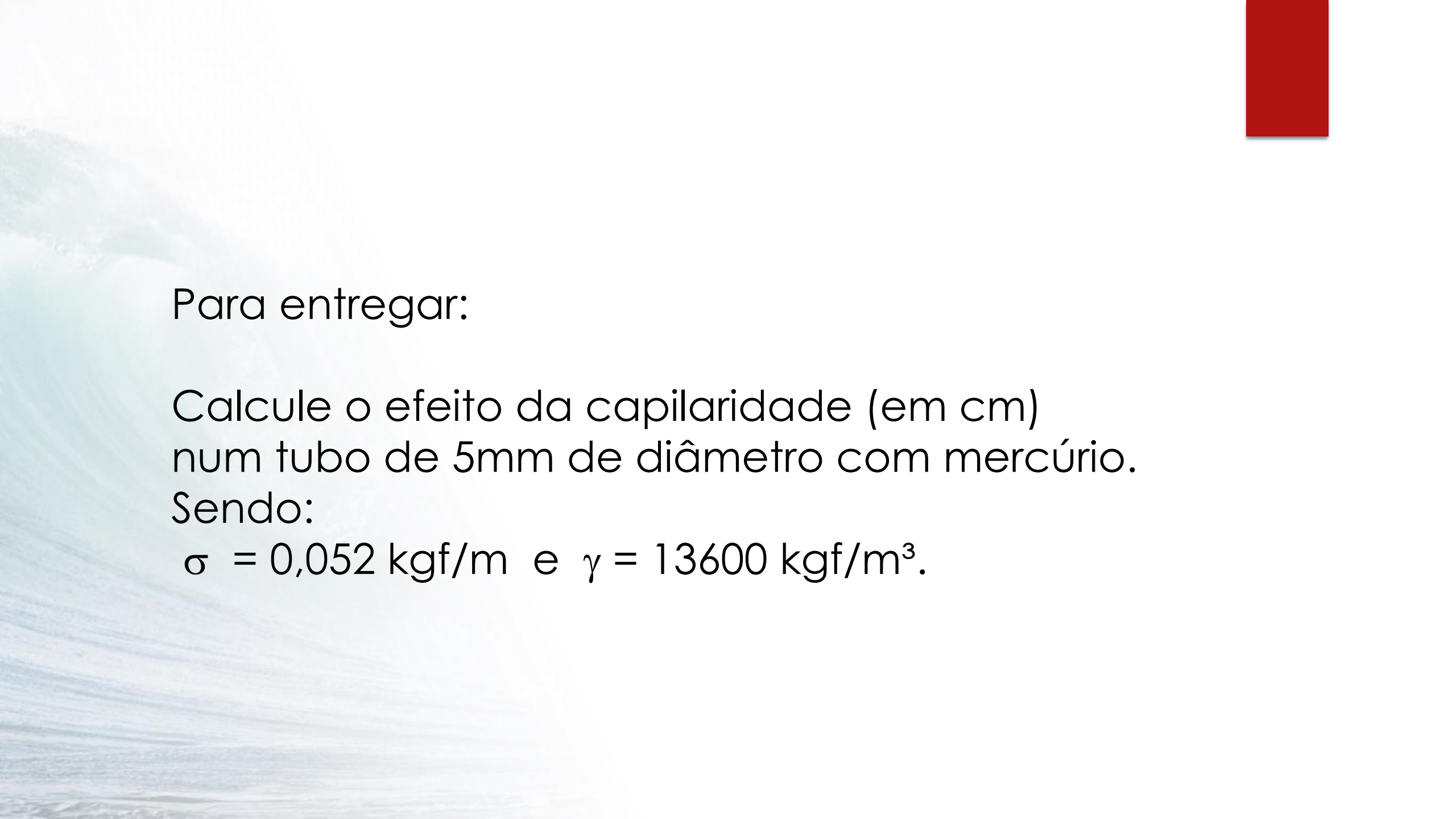
TEMPE- RATURA °C	PESO ESPECÍFICO γ N/m ³	MASSA ESPECÍFICA ρ kg/m ³	VISCOSIDADE CINEMÁTICA ν m ² /s	TENSÃO SUPERFICIAL σ N/m	PRESSÃO DE VAPOR P_v kPa	PRESSÃO DE VAPOR P_v/γ m
0	9.805	999,8	$1,785 \times 10^{-6}$	0,0756	0,61	0,06
5	9.807	1.000,0	$1,519 \times 10^{-6}$	0,0749	0,87	0,09
10	9.804	999,7	$1,306 \times 10^{-6}$	0,0742	1,23	0,12
15	9.798	999,1	$1,139 \times 10^{-6}$	0,0735	1,70	0,17
20	9.789	998,2	$1,003 \times 10^{-6}$	0,0728	2,34	0,25
25	9.777	997,0	$0,893 \times 10^{-6}$	0,0720	3,17	0,33
30	9.764	995,7	$0,800 \times 10^{-6}$	0,0712	4,24	0,44
40	9.730	992,2	$0,658 \times 10^{-6}$	0,0696	7,38	0,76
50	9.689	988,0	$0,553 \times 10^{-6}$	0,0679	12,33	1,26
60	9.642	983,2	$0,474 \times 10^{-6}$	0,0662	19,92	2,03
70	9.589	977,8	$0,413 \times 10^{-6}$	0,0644	31,16	3,20
80	9.530	971,8	$0,364 \times 10^{-6}$	0,0626	47,34	4,96
90	9.466	965,3	$0,326 \times 10^{-6}$	0,0608	70,10	7,18
100	9.399	958,4	$0,294 \times 10^{-6}$	0,0589	101,33	10,33

3.11 Solubilidade dos gases em líquidos

- Os líquidos podem dissolver os gases. A água dissolve o ar em proporções diferentes entre o O_2 e N_2 .
- William Henry, químico britânico (1775-1836): Lei de Henry: “A uma temperatura constante, a massa de um gás dissolvido num líquido em equilíbrio de solubilidade (saturado com o gás) é diretamente proporcional à pressão parcial do gás.” $P_1 V_1 = P_2 V_2$
- -Implicação: Pode ser a causa do desprendimento de ar e aparecimento de bolhas de ar nos pontos altos das tubulações.

3.11 Solubilidade dos gases em líquidos

- Aplicações práticas:
- a) Água mineral com gás carbônico (CO_2):
 - Garrafa fechada ($P > P_{\text{atm}}$): sem bolhas (mais gás dissolvido)
 - Garrafa aberta ($P = P_{\text{atm}}$): bolhas saindo da água (menos gás dissolvido)
- b) Adução de água
 - Pontos altos: menor pressão e acúmulo de ar que reduz ou impede o escoamento.



Para entregar:

Calcule o efeito da capilaridade (em cm)
num tubo de 5mm de diâmetro com mercúrio.

Sendo:

$$\sigma = 0,052 \text{ kgf/m} \text{ e } \gamma = 13600 \text{ kgf/m}^3.$$