

MECÂNICA DOS FLUIDOS

Lista 2 — Fluidos Ideais e Viscosos

Aulas 5–15 · Módulos II (completo) e III

Prof. Marcelo Santos Guimarães

*Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Graduação em Física · 1º Semestre 2026*

Avaliação A2 — 04/05/2026

Legenda dos níveis:



Nível A — Aplicação direta de definições e equações.



Nível B — Combinação de conceitos, estimativas de ordem de grandeza, situações novas.



Nível C — Problema desafiador (demonstração, fenômeno real, ou competição).

2 Lista 2 — Fluidos Ideais e Viscosos (Aulas 5–15)

Avaliação A2 — 04/05/2026

Conteúdo: Módulos II (completo) e III

Nível A — Aplicação Direta

Problema 2.1

~20 min

Considere o escoamento de Couette entre duas placas paralelas separadas por $h = 5$ mm. A placa superior move-se com velocidade $U = 0,5$ m/s. O fluido é óleo com $\mu = 0,1$ Pa · s.

- (a) Escreva o perfil de velocidade $u(z)$.
- (b) Calcule a tensão de cisalhamento τ nas placas.
- (c) Calcule a potência dissipada por unidade de área.

Ref.: Tong §3.2.2; Aula 12

Problema 2.2

~25 min

Água ($\mu = 10^{-3}$ Pa · s, $\rho = 10^3$ kg/m³) escoar por um tubo de raio $R = 5$ mm e comprimento $L = 10$ m sob queda de pressão $\Delta P = 500$ Pa.

- (a) Calcule a vazão volumétrica pela lei de Hagen-Poiseuille.
- (b) Determine a velocidade máxima (no centro) e a velocidade média.
- (c) Estime o número de Reynolds. O escoamento é realmente laminar ($Re < 2300$)?

Ref.: Tong §3.2.3; Aula 12

Problema 2.3

~20 min

Usando a fórmula de Stokes ($F = 6\pi\mu RU$), calcule a velocidade terminal de uma esfera de aço ($\rho_s = 7800$ kg/m³, $R = 1$ mm) caindo em glicerina ($\rho_f = 1260$ kg/m³, $\mu = 1,5$ Pa · s). Verifique se $Re < 1$ justifica o uso da fórmula de Stokes.

Ref.: Tong §3.4.1; Aula 13

Nível B — Combinação de Conceitos

Problema 2.4

~35 min

[Fenômeno observável — hemodinâmica] O sangue ($\mu \approx 3,5 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\rho \approx 1060 \text{ kg/m}^3$) escoa pela artéria carótida ($R \approx 3 \text{ mm}$, $L \approx 12 \text{ cm}$) com vazão média $Q \approx 6 \text{ mL/s}$.

- Calcule a velocidade média e o número de Reynolds. O escoamento é laminar ou turbulento?
- Usando Hagen-Poiseuille, estime a queda de pressão.
- Se uma placa aterosclerótica reduz o raio efetivo para $R' = 1,5 \text{ mm}$ (50% de estenose), por qual fator a resistência ao fluxo aumenta? ($Q \propto R^4$: o fator é $(R/R')^4$.)
- Discuta por que estenoses “moderadas” (50%) podem ter consequências graves.

Ref.: Aulas 11–12

Problema 2.5

~35 min

Considere o potencial complexo $w(z) = U(z + R^2/z) - \frac{i\Gamma}{2\pi} \ln z$.

- Identifique este escoamento e escreva as componentes u_r e u_θ em $r = R$.
- Determine os pontos de estagnação em função de $\Gamma/(4\pi UR)$.
- Calcule a sustentação (*lift*) por unidade de comprimento usando Kutta-Joukowski.
- Se o cilindro tem raio $R = 5 \text{ cm}$, $U = 10 \text{ m/s}$, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ e $\Gamma = -2 \text{ m}^2/\text{s}$, calcule a força de sustentação numericamente.

Ref.: Tong §2.4; Aulas 8–9

Problema 2.6

~30 min

A espessura da camada limite de Blasius sobre uma placa plana é $\delta_{99} \approx 5,0\sqrt{\nu x/U}$.

- Um carro a $U = 30 \text{ m/s}$ tem um capô de $L = 1,2 \text{ m}$. Calcule δ_{99} no final do capô ($\nu_{\text{ar}} = 1,5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$).
- Estime o Reynolds local Re_x no final do capô. A camada é provavelmente laminar ou turbulenta?
- Calcule a força de arrasto viscoso (atrito) sobre o capô usando $C_f = 1,328/\sqrt{\text{Re}_L}$ (supondo laminar). Área do capô: $A = 1,2 \times 1,5 \text{ m}^2$.

Ref.: Tong §3.5; Aulas 14–15

Nível C — Problema Desafiador

Problema 2.7

~50 min

[Demonstração — Dissipação viscosa] Partindo da equação de Navier-Stokes para fluido incompressível, demonstre que a taxa de variação da energia cinética total $K = \frac{1}{2}\rho \int_V |\mathbf{u}|^2 dV$ é:

$$\frac{dK}{dt} = -2\mu \int_V E_{ij}E_{ij} dV + \text{termos de superfície e de forças externas}.$$

Dica: tome o produto escalar da equação de N-S com $\mathbf{u}$, integre sobre V , e use integração por partes.

- (a) Realize a demonstração.
- (b) Mostre que $E_{ij}E_{ij} \geq 0$, garantindo que a dissipação é positiva (energia é sempre *perdida*).
- (c) Para o escoamento de Poiseuille em canal ($u(z) = u_{\max}(1 - z^2/h^2)$), com placas em $z = \pm h$, calcule $E_{ij}E_{ij}$ como função de z e a dissipação total por unidade de área $\mathcal{D} = 2\mu \int_{-h}^h E_{ij}E_{ij} dz$. Verifique que $\mathcal{D}$ coincide com o trabalho feito pelo gradiente de pressão sobre o fluido.

Ref.: Tong §3.1.2; Aula 11