

Objetivos da segunda aula da unidade 1:

Evocar os conceitos do MRUV (movimento retilíneo uniformemente variado), do MRU (movimento retilíneo uniforme) e a decomposição de forças.

Introduzir o conceito de força de resistência viscosa.

Evocar os conceitos do MCV (movimento circular variado) e MCU (movimento circular uniforme).

Introduzir o conceito de fluido e do fluido com meio lubrificante.

Mencionar o cálculo da força de resistência viscosa e da tensão de cisalhamento.

Apresentar o princípio de aderência.

Mostrar o cálculo do gradiente de velocidade para um escoamento laminar.

Mostrar a variação do gradiente de velocidade em função de y .

Propor como tarefa a elaboração de uma síntese dessa aula.

Lembre-se que um problema só será resolvido se soubermos enunciá-lo, portanto comece a treinar a elaboração de questões ligadas a um certo tema que esteja

estudando, já que a busca por suas respostas torna-se um dos métodos mais eficientes para o seu aprendizado.

Não podemos ainda esquecer que:

Quem sabe faz, quem não sabe aprende.

É com este espírito que desenvolverei o curso básico de Mecânica dos Fluidos.

O objetivo inicial da unidade 1 é evocar os conceitos de Física que são pré-requisitos para o seu desenvolvimento e mostrar o porque e para que desenvolver esta unidade.

Evoco um **movimento retilíneo uniformemente variado (MRUV)** através do exemplo esquematizado pela figura 1, onde considero os seguintes dados:

α - ângulo de inclinação

G_1 - peso do corpo 1

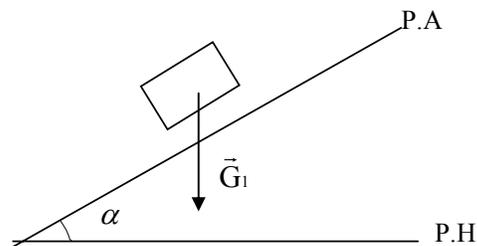


Figura 1

Por se tratar de um **MRUV**, podemos afirmar que existe uma força resultante (R), que apresenta a mesma direção e sentido do movimento cuja intensidade pode ser obtida pela equação 1:

$$\mathbf{R} = \mathbf{G}_{1t} - \mathbf{F}_{at} \quad \text{Equação 1}$$

onde G_{1t} - é a componente tangencial de G_1
 F_{at} - é a força de atrito sólido x sólido, que é sempre contrária ao movimento

A figura 2, tem como objetivo evocar a decomposição da força peso, onde ao considerar, tanto o triângulo I como o triângulo II, sabe-se que a soma dos seus ângulos internos é igual a 180° .

Lembre também que retas paralelas ao interceptarem uma mesma reta, formam com esta um mesmo ângulo.

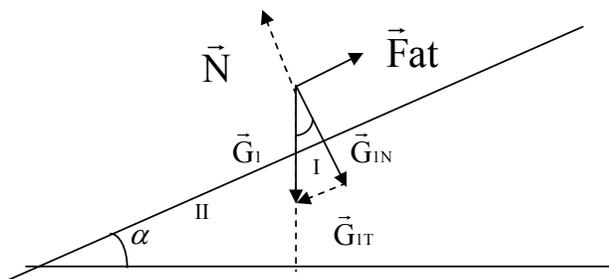


Figura 2

Considerando o triângulo I e evocando os conceitos de seno e co-seno, podemos escrever que:

$$\text{sen } \alpha = \frac{G_{1t}}{G_1} \quad \text{e} \quad \text{cos } \alpha = \frac{G_{1N}}{G_1}$$

Saliento que a componente normal é neutralizada pelo plano de apoio.

Para o nosso curso, preenchemos o espaço anular entre o corpo 1 e o plano de apoio com um fluido lubrificante, que inicialmente tem como finalidade eliminar o atrito sólido x sólido e em seguida transformar o movimento retilíneo uniformemente variado em movimento retilíneo uniforme (MU), o que equivale a dizer que a força resultante (R) será neutralizada por uma força de mesma intensidade, mesma direção, porém sentido contrário, que é denominada de **força de resistência viscosa (F_μ)**.

Esta nova situação é representada pela figura 3:

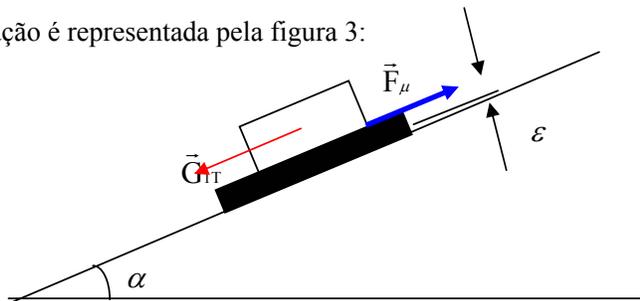


Figura 3

Através dela, podemos escrever a equação 2:

$$F_\mu = G_1 \text{sen}\alpha$$

Equação 2

onde:

F_μ - é a força de resistência viscosa

$G_1 \text{sen}\alpha$ - é a força resultante

O que foi apresentado até o momento vale para o movimento retilíneo.

É só este tipo de movimento que interessa para o curso?

Não, a tal ponto que passamos a evocar os conceitos de um movimento circular variado, que é representado pela figura 4:

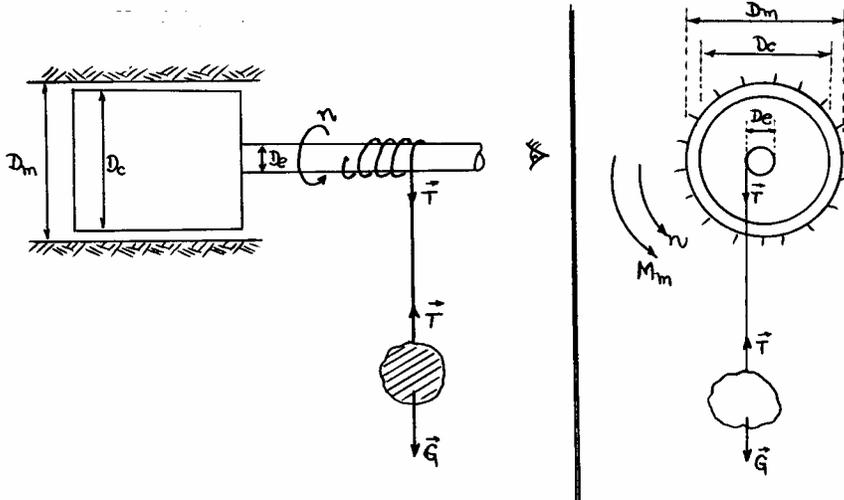


Figura 4

A rotação (n) não é constante e é originada por um torque (momento motor), cuja intensidade pode ser calculada pela equação 3:

$$M_m = T \times \frac{D_e}{2} = G \times \frac{D_e}{2} \quad \text{Equação 3}$$

Preenchendo o espaço anular entre o cilindro e o mancal com um óleo lubrificante adequado, pode-se neutralizar o momento motor através de um momento resistente viscoso ($M_{R\mu}$) que é originado pela força de resistência viscosa (F_{μ}), veja figura 5.

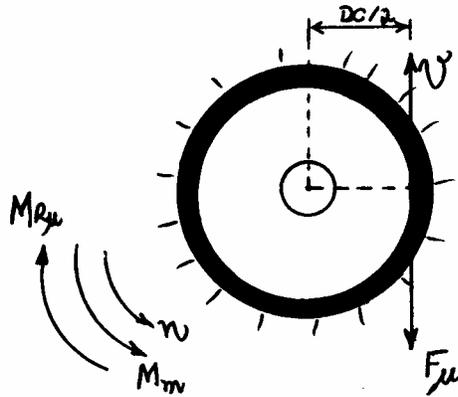


Figura 5

Como o momento motor foi neutralizado o sistema passa a ter um movimento circular uniforme, o que possibilita a obtenção da equação 4:

$$G \times \frac{D_e}{2} = F_\mu \times \frac{D_c}{2} \quad \text{Equação 4}$$

A velocidade escalar representada na figura 5 pode ser calculada pela equação 5, onde a rotação (n) é considerada em rps.

$$v = 2\pi n \times \frac{D_c}{2} \quad \text{Equação 5}$$

Através desta unidade introduzimos os conceitos básicos de fluidos, que são pré-requisitos para o estudo:

- de sistemas de lubrificação;
- de mecânica dos fluidos no que se refere a compreensão da existência de dissipação de energia ao longo dos escoamentos fluidos.

1.2 Conceito de fluido

É uma substância que não apresenta forma própria e estando em repouso não resiste a esforços tangenciais por menores que estes se apresentem, o que equivale a dizer que a mesma se deforma continuamente.

1.3 Fluido como meio lubrificante

Para um corpo deslizar sobre outro, deve-se vencer uma força adversa denominada: força de atrito.

O atrito pode ser estático: os corpos permanecem imóveis, ou cinemático ou de deslizamento, que é devido basicamente a dois fatores:

- rugosidade da superfície;
- tendência das áreas mais planas das superfícies se soldarem, quando submetidas a condições severas de deslizamento.

Apesar do atrito apresentar uma série de aspectos positivos, já que sem o mesmo seria impossível andar, ou até mesmo frear um automóvel, em muitas outras aplicações ele é indesejável, pois se gasta uma certa quantidade de energia para vencê-lo, o que implica em perda, tanto da potência como do rendimento do sistema. Além disto, sabemos que o atrito pode acarretar em aumento da temperatura das partes que se encontram em contato, podendo até mesmo originar uma fusão das mesmas.

- **O que aconteceria com o motor de um veículo, se o mesmo operar sem o óleo lubrificante?**

Comentário: Certamente iria fundir!

Uma das tarefas do engenheiro consiste em controlar o atrito, aumentá-lo onde o mesmo é necessário e reduzi-lo onde for inconveniente.

Desejando reduzi-lo, recorreremos a **lubrificação**, que consiste em introduzir uma película fluida com a finalidade de transformar o atrito sólido x sólido em sólido x fluido.

Todos os fluidos, de um certo modo, são lubrificantes, sendo que alguns apresentam melhor desempenho do que outros. A escolha adequada de um fluido lubrificante é responsável por uma boa eficiência ou não do funcionamento do sistema.

- **O que aconteceria com o motor do veículo se fosse escolhida a água como fluido lubrificante?**

Comentário: Com ela não apresenta as características apropriadas de um fluido lubrificante, o motor acabaria fundindo.

Certos derivados do petróleo mostraram ser excelentes fluidos lubrificantes, já que:

- apresentam elevada capacidade de umectação;
- apresentam capacidade de aderência, o que permite a formação de uma película “permanente” do fluido lubrificante.

1.4 Cálculo da força de resistência viscosa - (F_{μ})

A figura 6 mostra duas superfícies deslizantes que estão separadas por um fluido lubrificante, que geralmente apresenta um fluxo **laminar**, ou seja, a película é composta de camadas extremamente finas ou lâminas, cada uma movendo-se na mesma direção, porém com velocidades diferentes.

Com as lâminas se movendo com velocidades diferentes, cada lâmina deverá deslizar sobre a outra, o que comprova a existência de uma força entre elas.

A resistência a esta força, considerada por unidade de área é denominada de tensão de cisalhamento (τ).

Considerando a tensão de cisalhamento constante ao longo da película lubrificante, pode-se determinar a intensidade da força de resistência viscosa pela equação 6:

$$F_{\mu} = \tau \cdot A$$

Equação 6

onde “A” é a área de contato entre a superfície em movimento e a película do lubrificante.

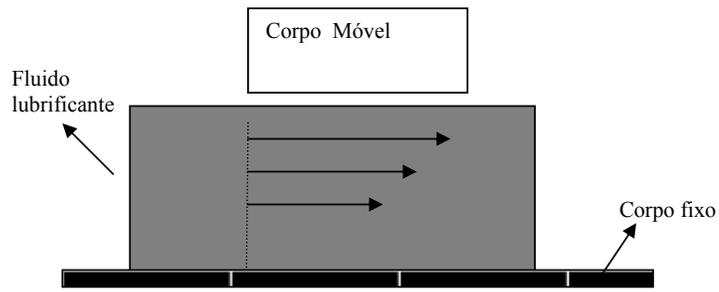


Figura 6

A figura 6 representa a experiência das duas placas realizada por Newton.

1.4.1 Cálculo da tensão de cisalhamento - (τ)

A tensão de cisalhamento é calculada pela lei de Newton da viscosidade.

1.4.2 Lei de Newton da viscosidade

Newton ao realizar a experiência das duas placas (figura 7), estabeleceu que:

“A tensão de cisalhamento é diretamente proporcional ao gradiente de velocidade.”



Figura 7

1.4.3 Princípio de aderência

“As partículas fluidas em contato com uma superfície sólida apresentam a velocidade da superfície.”

Ao considerar o princípio de aderência na figura 7, podemos concluir que ao longo da espessura (ϵ) do fluido a sua velocidade varia de zero, junto à placa fixa, até v_p junto à placa móvel.

1.4.4 Cálculo do gradiente de velocidade

O gradiente de velocidade pode ser definido por uma derivada direcional da velocidade, através da qual estudamos a variação da velocidade segundo a direção mais rápida da sua variação.

Considerando a figura 7, pergunta-se qual a direção mais rápida da variação da velocidade?

Comentário: É a direção perpendicular entre as placas.

Denominando a direção mencionada anteriormente de y , isto porque estamos levando em conta a hipótese do **escoamento ser unidirecional**, o enunciado da lei de Newton pode ser representada pela expressão 1:

$$\tau \propto \frac{dv}{dy}$$

Expressão 1

Para calcular o gradiente de velocidade ($\frac{dv}{dy}$), devemos estabelecer a função da velocidade em relação ao eixo escolhido, no nosso caso $v = f(y)$.

Pela hipótese de **escoamento laminar** esta função pode ser representada por uma parábola como mostra a figura 8:

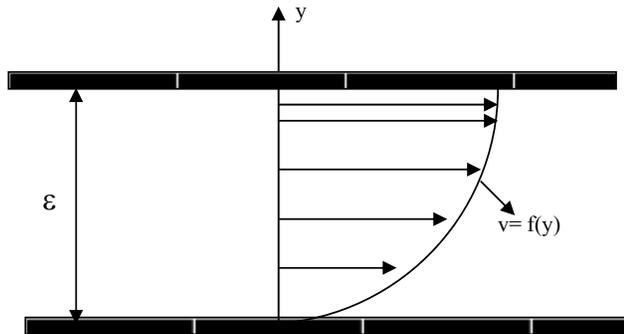


Figura 8

$$v = f(y) \quad \rightarrow \quad v = ay^2 + by + c$$

Devemos impor condições de contorno com o objetivo de determinar **a**, **b** e **c**:

$$1^a - \text{para } y = 0 \quad \Rightarrow \quad v = 0 \quad \therefore \quad c = 0$$

$$2^a - \text{para } y = \varepsilon \quad \Rightarrow \quad v = v_p \quad \therefore \quad v_p = a \varepsilon^2 + b \cdot \varepsilon$$

$$3^a - \text{para } y = \varepsilon \quad \Rightarrow \quad \frac{dv}{dy} = 0 \quad \therefore \quad 0 = 2a\varepsilon + b$$

Resolvendo o sistema de equações especificado acima obtemos:

$$a = -\frac{v_p}{\varepsilon^2} \quad \text{e} \quad b = \frac{2v_p}{\varepsilon}$$

Portanto para o escoamento laminar $v = f(y)$ pode ser representada pela equação 7:

$$v = -\frac{v_p}{\varepsilon^2} y^2 + \frac{2v_p}{\varepsilon} y \quad \text{Equação 7}$$

onde:

- v_p - é a velocidade escalar constante da placa móvel
- ε - é a espessura do fluido lubrificante colocada entre as placas

Através da equação 7, podemos representar a variação do gradiente de velocidade em função de y , como mostra a figura 9.

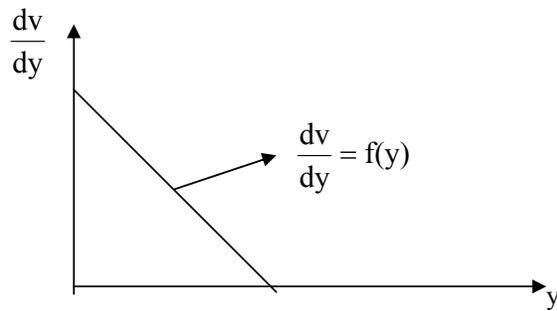


Figura 9



**Pobre daquele
que pelo receio de conviver
com o desconhecido
for incapaz
ou até excluído
de viver
o seu próprio amanhã.**

**Raimundo Ferreira
Ignácio**