Instituto de Física
Universidade de São Paulo

Disciplina 4300255

Mecânica dos Corpos Rígidos e dos Fluidos

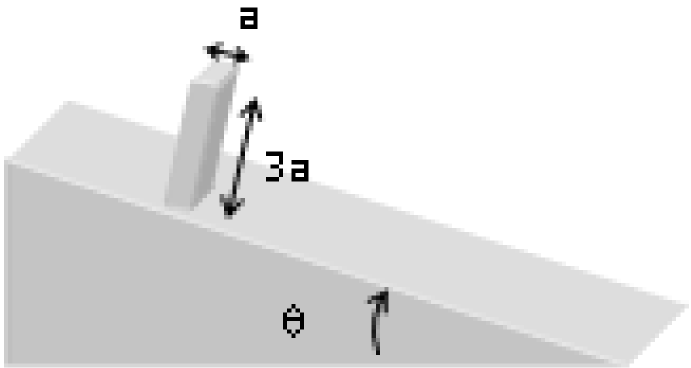
Equilíbrio

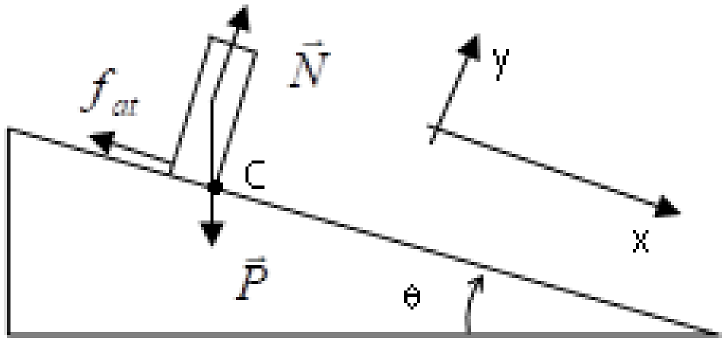
Tensão e deformação

Fluidos

José Luiz Lopes e Nora Lía Maidana

12. (Tipler Cap 12 E 86) Um paralelepípedo homogêneo está pousado num plano inclinado como mostra a figura ao lado. Se $\mu_s = 0,4$, o paralelepípedo irá escorregar pelo plano ou tombará sobre ele, quando o ângulo θ for lentamente aumentado?





$$\sum F = 0$$

$$\vec{P} + \vec{N} + \vec{f}_{at} = 0$$

Projeção x: $-f_{at} + Mg\,sen\theta = 0 \Rightarrow f_{at} = Mg\,sen\theta$

Projeção y: $N - Mg\cos\theta = 0 \Rightarrow N = Mg\cos\theta$

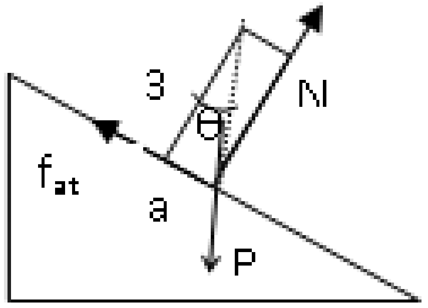
1ª hipótese: não vai escorregar.

$$f_{at} \leq \mu N \Rightarrow f_{at} \leq \mu M g \cos\theta$$

$$M g\, sen\theta \leq \mu M g \cos\theta$$

2ª hipótese: vai tombar.

A normal sempre é perpendicular ao plano. No momento em que vai tombar, ela está aplicada diretamente na aresta como mostra a figura. Nesse instante, a força de atrito está aplicada diretamente na aresta e a força peso passa por ela.

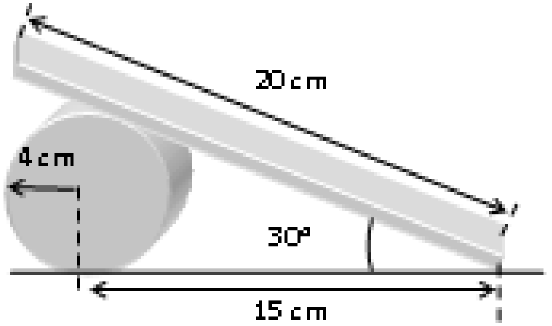


Então, podemos calcular o ângulo limite onde:

$$tg\theta = \frac{a}{3a} \Rightarrow \theta = arc\ tg\frac{1}{3} \Rightarrow \theta = 18^{\circ}$$

Nessa situação, nem a normal nem a força de atrito realizam torque e o peso, com um ângulo menor que 18º realiza o torque para a volta à posição de equilíbrio e para um ângulo maior que 18º o torque é para tombar.

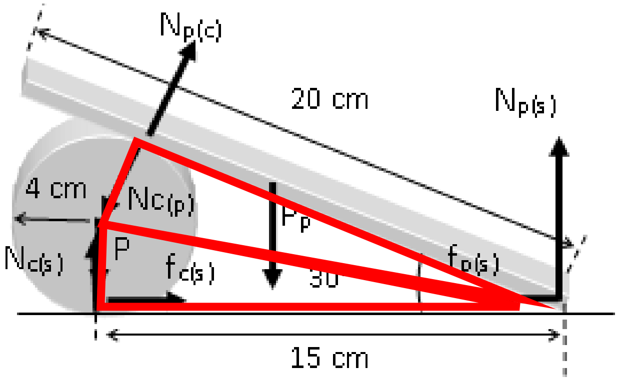
13. (Tipler Cap 12 E 99) A figura ao lado mostra uma chapa uniforme, rígida de 20 cm de comprimento, apoiada num cilindro de 4 cm de raio. A massa da chapa é de 5,0 kg e a do cilindro de 8,0 kg. Considerar não nulo o coeficiente de atrito entre a chapa e o cilindro. a) Calcular as forças que atuam sobre a chapa e sobre o cilindro. b) Quais devem ser os coeficientes de atrito estático mínimos entre a chapa e o plano horizontal e entre o cilindro e o plano horizontal para que não haja escorregamento?



Como a placa está apoiada, consideramos que está em equilíbrio, então:

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{P}_p + \vec{N}_{p(c)} + \vec{N}_{p(s)} + \vec{f}_{p(s)} = 0$$

Projetando em x: $N_{p(c)} sen30 - f_{p(s)} = 0 \Rightarrow f_{p(s)} = N_{p(c)} sen30$



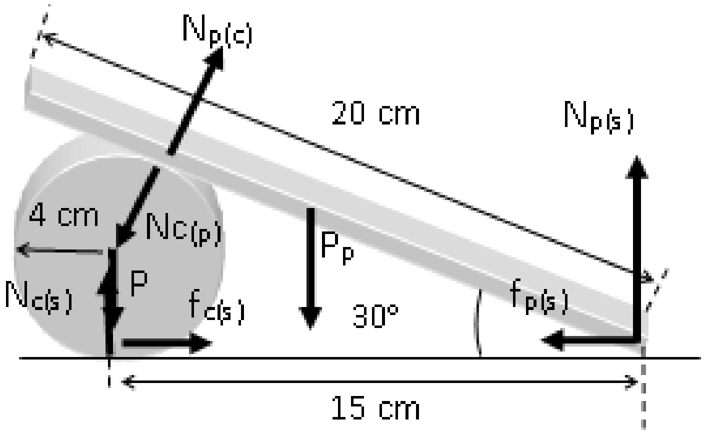
Projetando em y: $-M_p g + N_{p(s)} + N_{p(c)} \cos 30 = 0 \Rightarrow N_{p(s)} = Mg - N_{p(c)} \cos 30$

Considerando o ponto O, para a análise dos torques o ponto onde a placa apóia no chão:

$$\sum \tau = 0 \Rightarrow Mg\frac{20}{2}\cos 30 - N_{p(c)}15 = 0 \Rightarrow N_{p(c)} = \frac{Mg\frac{20}{2}\cos 30}{15} = Mg\frac{\sqrt{3}}{3} = 0{,}577Mg = 0{,}6Mg = 30N$$

Como: $f_{p(s)} = N_{p(c)} sen\,30 = 30.0,5 = 15N$

$$N_{p(s)} = Mg - N_{p(c)} \cos 30 = 5.10 - 30.\frac{\sqrt{3}}{2} = 50 - 26 = 24N$$



Analisando o cilindro:

$$\left|N_{c(p)}\right| = \left|N_{p(c)}\right| \Rightarrow N_{c(p)} = 30N$$

Dado que o cilindro é considerado em equilíbrio:

$$\vec{N}_{c(p)} + \vec{N}_{c(s)} + \vec{P}_c + f_{c(s)} = 0$$

Projetando em x: $-N_{c(p)} sen30 + f_{c(s)} = 0 \Rightarrow f_{c(s)} = N_{p(c)} sen30 = 30.0,5 = 15N$

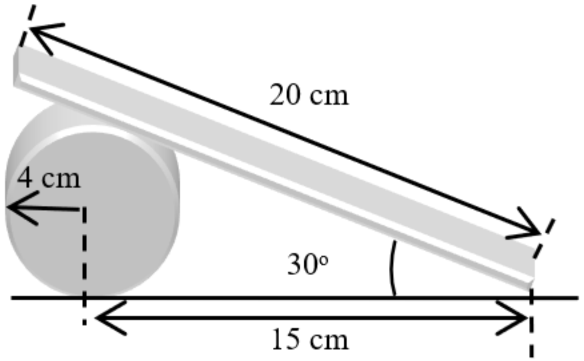
Projetando em y: $-M_c g + N_{c(s)} - N_{c(p)} \cos 30 = 0 \Rightarrow N_{c(s)} = M_c g - N_{c(p)} \cos 30 = 8.10 + 30\frac{\sqrt{3}}{2} = 106N$

b)

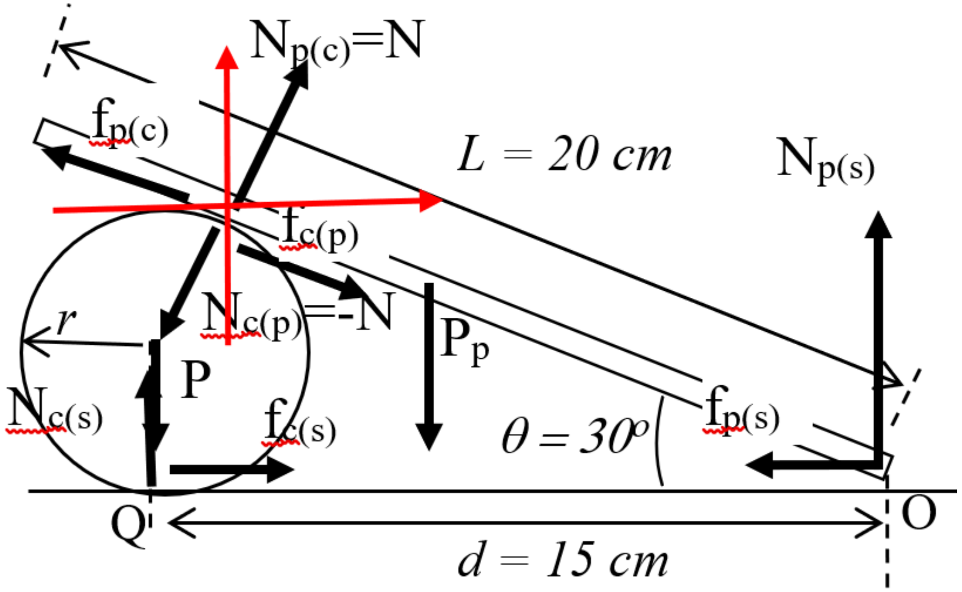
$f_{p(s)} = 15N$ como $f_{p(s)} \leq \mu.N_{p(s)} \Rightarrow \mu \geq \dfrac{f_{p(s)}}{N_{p(s)}} \Rightarrow \mu \geq \dfrac{15}{24} \Rightarrow \mu \geq 0.6$

$f_{c(s)} = 15N$ idem acima $f_{c(s)} \leq \mu.N_{c(s)} \Rightarrow \mu \geq \dfrac{f_{c(s)}}{N_{c(s)}} \Rightarrow \mu \geq \dfrac{15}{106} \Rightarrow \mu \geq 0{,}14$

12. **(Tipler Cap 12 E 99)** A figura ao lado mostra uma chapa uniforme, rígida, de 20 cm de comprimento, apoiada num cilindro de 4 cm de raio. A massa da chapa é de 5,0 kg e a do cilindro de 8,0 kg. Considerar não nulo o coeficiente de atrito entre a chapa e o cilindro. a) Calcular as forças que atuam sobre a chapa e sobre o cilindro. b) Quais devem ser os coeficientes de atrito estático mínimos entre a chapa e o plano horizontal e entre o cilindro e o plano horizontal para que não haja escorregamento?



Se não considerarmos o atrito entre a placa e o cilindro, não há como evitar que o cilindro role para a esquerda já que a soma dos torques quando considerado o ponto de contato do cilindro com o solo não pode ser não nulo se só participa dessa soma de torques a força $N_{c(p)}$. Assim, temos de adicionar um par de forças no nosso diagrama. E chamar a atenção aos alunos que o enunciado está errado!!!



$$N_{p(c)} = -N_{p(c)} = N$$
$$f_{c(p)} = -f_{p(c)} = f$$

Na placa

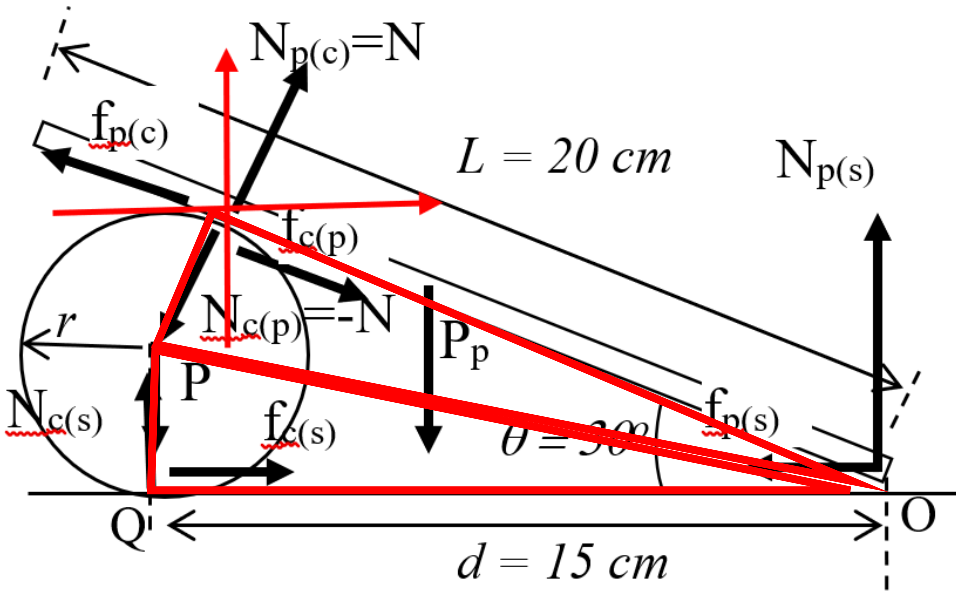
Como a placa está apoiada, consideramos que está em equilíbrio:

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \vec{P}_p + \vec{N} + \vec{N}_{p(s)} + \vec{f}_{p(s)} + \vec{f} = 0$$

$$\vec{P}_p + \vec{N} + \vec{N}_{p(s)} + \vec{f}_{p(s)} + \vec{f} = 0$$

Projetando em x: $N \cdot sen\theta - f_{p(s)} - f\, cos\, \theta = 0$ **(1)**

Projetando em y:$-M_p g + N_{p(s)} + N\, cos\, \theta + f \cdot sen\theta = 0$ **(2)**



Considerando o ponto O, para a análise dos torques, ponto onde a pl

apoia no chão:

$$\sum \tau = 0 \Rightarrow M \cdot g \cdot \frac{l}{2} \cdot sen(90 - \theta) - N \cdot d = 0 \quad (3)$$

Nesta soma pode se observar que a força de atrito na placa, não realiza torque em O, por estar aplicada na reta que passa por O.

No cilindro

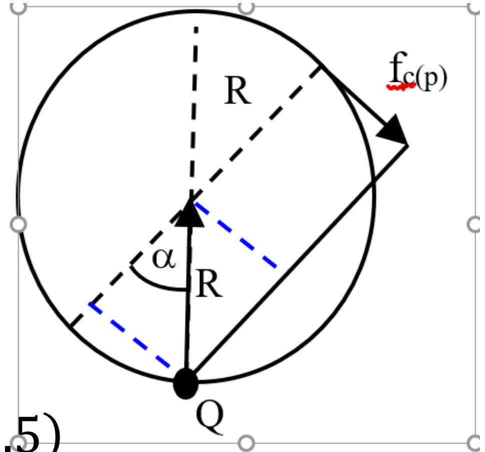
Dado que o cilindro é considerado em equilíbrio: $\vec{N} + \vec{N}_{c(s)} + \vec{P}_c + \vec{f}_{c(s)} + \vec{f} = 0$

Projetando em x:

$N_{c(p)} sen\ 30 + N_{C(s)} + f_{c(p)}\, cos\ 30 + f_{c(s)} = 0$ (4)

Projetando em y: $-M_c g + N_{c(s)} - N\, cos\, \theta - f \cdot sen\theta = 0$ (5)

Considerando o ponto Q, para uma nova análise dos torques, ponto onde o cilindro apoia no chão:



$$\sum \tau_Q = 0 \Rightarrow N\,(R\cdot sen\theta) - f(R + R\cdot \cos 30) = 0 \qquad (6)$$

De (3),

$$N = \frac{M\cdot g\cdot \frac{l}{2}\cdot\cos\theta}{d} = \frac{M\cdot g\cdot l\cdot\cos\theta}{2d} \qquad N = \frac{5\cdot 10\cdot 20\cdot\sqrt{3}}{2\cdot 2\cdot 15} = 28.87 \approx 29 \quad \text{N}$$

De (6),

$$N(R\cdot sen\theta) = f(R + R\cdot\cos 30) \Rightarrow f = \frac{N(R\cdot sen\theta)}{R + R\cdot\cos 30} \qquad f = \frac{29(0{,}04 * 0.5)}{0{,}04 + 0{,}032} = 7{,}7\ \text{N}$$

Substituindo os valores de N e f obtidos na expressão $N\cdot sen\theta - f_{p(s)} - f\cos\theta = 0$ **(1)**,

$$N\cdot sen\theta - f_{p(s)} - f\cos\theta = 0 \Rightarrow f_{p(s)} = N\cdot sen\theta - f\cos\theta = 29\frac{1}{2} - 7.7\frac{\sqrt{3}}{2} = 7.8 \quad \text{N}$$

Substituindo os valores de $N_{c(p)}$ e $f_{c(p)}$ obtidos na expressão $-M_p g + N_{p(s)} + N\cos\theta + f\cdot sen\theta = 0$ **(2)**,

$$-M_p g + N_{p(s)} + N\cos\theta + f\cdot sen\theta = 0 N_{p(s)} = M_p g - N_{p(c)}\cos\theta - f\cdot sen\theta N_{p(s)} =$$

$$= 5\cdot 10 - 29\frac{\sqrt{3}}{2} - 7.7\frac{1}{2} = 20 \quad \text{N}$$

Substituindo os valores de N e f obtidos na expressão $-M_c g + N_{c(s)} - N\cos\theta - f\cdot sen\theta = 0$ (5) ,

$$-M_c g + N_{c(s)} - N\cos\theta - f\cdot sen\theta = 0$$

$$N_{c(s)} = M_c g + N\cos\theta + f\cdot sen\theta = 8\cdot 10 + 29\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} + 7.7\frac{1}{2} = 108.9 = 109 \quad \text{N}$$

Substituindo os valores de N e f obtidos na expressão $N_{c(p)} sen\ 30 + N_{C(s)} + f_{c(p)} sen\ 30 + f_{c(s)} = 0$ (4),

$$-N\cdot sen\theta + f_{c(s)} + f\cos\theta = 0 f_{c(s)} = N_{p(c)} sen\theta - f\cos\theta = 29.\frac{1}{2} - 7.7\cdot\frac{\sqrt{3}}{2} = 14.5 - 6.7 = 7.8 \text{ N}$$

b) $f_{p(s)} = 21.2\ N$ como $f_{p(s)} \le \mu. N_{p(s)} \Rightarrow \mu \ge \frac{f_{p(s)}}{N_{p(s)}} \Rightarrow \mu \ge \frac{7.8}{28.7} \Rightarrow \mu \ge 0.27 \Rightarrow \mu \ge 0.3$

$f_{c(s)} = 7.8N$ idem acima: $f_{c(s)} \le \mu. N_{c(s)} \Rightarrow \mu \ge \frac{f_{c(s)}}{N_{c(s)}} \Rightarrow \mu \ge \frac{7.8}{109} \Rightarrow \mu \ge 7\cdot 10^{-2}$

$f_{c(p)} = 7.7N$ idem acima: $f_{c(p)} \le \mu. N_{c(p)} \Rightarrow \mu \ge \frac{f}{N} \Rightarrow \mu \ge \frac{7.7}{29} \Rightarrow \mu \ge 0.26 \approx 0.3$

Fluidos

Discussão grupal assistida

- Definição de fluido
- Forças tangenciais e normais
- Pressão em um fluido - Paradoxo hidrostático
- Tensão volumétrica de compressão (ou tensão volumétrica)
- Deformação de compressão volumétrica (ou deformação volumétrica)
- O módulo de elasticidade ➔ módulo de compressão
- Compressão – Compressibilidade
- Propriedades dos fluidos
- Características de um fluido em equilíbrio
- Forças volumétricas e forças superficiais
- Unidades

Fluídos

Nos exemplos abordados na primeira parte desta disciplina, consideramos os “corpos rígidos” como uma idealização dos corpos sólidos. A partir de hoje iremos tratar os fluídos. Que entendem por fluídos? $\rightarrow$ líquidos e gases.

- Definição de fluido
- Forças tangenciais e normais
- Pressão em um fluido - Paradoxo hidrostático
- Tensão volumétrica de compressão (ou tensão volumétrica)
- Deformação de compressão volumétrica (ou deformação volumétrica)
- O módulo de elasticidade ➔ módulo de compressão
- Compressão – Compressibilidade
- Propriedades dos fluidos
- Características de um fluido em equilíbrio
- Forças volumétricas e forças superficiais
- Unidades

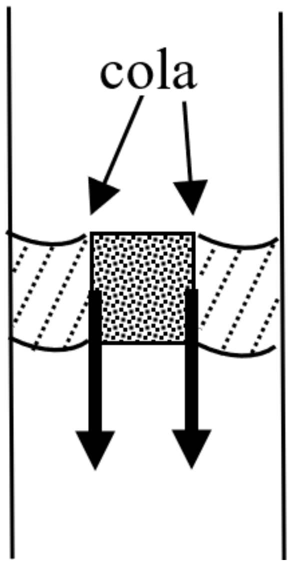
Definição de fluído: entendem-se por fluidos, líquidos, gases ou vapores. A distinção entre os estados sólido e fluído fica clara se compararmos o comportamento de um com o do outro.

Vimos que um corpo sólido quase não altera a forma ou volume pela ação de forças externas.

Um líquido tem um volume bem definido, mas não forma: já que se amolda ao recipiente que o contém. No caso de um gás, podemos dizer que não tem forma nem volume bem definidos, expandindo-se até ocupar todo o volume que o contém. A propriedade dos fluidos é que podem se escoar ou fluir facilmente, dali o nome de fluidos.

Vimos nas aulas passadas que a *tensão* era igual a força dividida pela área: Tensão = F/A, mas é importante diferenciar entre tensões normais e tangenciais as superfícies sobre as quais atuam

Vimos exemplos de tensões normais ao longo da primeira parte, a normal de um corpo ou a força de tração de uma corda com um corpo pendurado, N e T, respectivamente.



Neste caso, o bloco está entre duas paredes fixo por uma cola. No contato das superfícies com a cola, existem tensões tangenciais, também chamadas de *cisalhamento*. Estas tensões tenderiam a produzir um deslizamento de camadas adjacentes. Mas há reações de igual módulo e sentido oposto na cola solidificada, que equilibram o corpo, sustentando-o entre as paredes.
A diferença fundamental entre sólidos e fluídos está na forma de responder às tensões tangenciais. Vimos que um sólido, submetido a uma força tangencial, se deforma até que sejam produzidas tensões tangenciais internas que equilibrem a força (e se esta não ultrapassa o limite de cisalhamento, uma vez que acaba a força externa, o corpo volta à forma primitiva (deformação *elástica*).

- Definição de fluido
- Forças tangenciais e normais
- Pressão em um fluido - Paradoxo hidrostático
- Tensão volumétrica de compressão (ou tensão volumétrica)
- Deformação de compressão volumétrica (ou deformação volumétrica)
- O módulo de elasticidade ➔ módulo de compressão
- Compressão – Compressibilidade
- Propriedades dos fluidos
- Características de um fluido em equilíbrio
- Forças volumétricas e forças superficiais
- Unidades

Um fluido, ao contrario de um sólido, não pode equilibrar a força tangencial, por menor que ela seja. Quando submetido a uma força tangencial, o fluído se escoa, e permanece em movimento enquanto a força estiver sendo aplicada. No nosso exemplo, se a cola não estiver solidificada, o bloco escorregará ao longo das paredes sob a ação da força do peso; só quando solidifica é que as forças da cola podem equilibrar as forças tangenciais exercidas pelo bloco.

Qualquer força por pequena que seja pode produzir num fluido uma deformação significativa. Um fluido real opõe resistência ao deslizamento relativo entre camadas adjacentes: esta resistência mede a *viscosidade* de um fluido, e depende da taxa de variação espacial da velocidade relativa de deslizamento. Comparando, num sólido, a resistência a esforços tangenciais depende da deformação, num fluido ela depende da *velocidade* de deformação, e é por isso que forças pequenas atuando durante bastante tempo, podem ocasionar grandes deformações. (exemplo: marés).

Num fluido em equilíbrio não pode haver tensões tangenciais.

Existe todo um leque de substâncias com propriedades intermediárias entre sólidos e fluidos, dependendo da magnitude das forças e do tempo em que o escoamento sob a ação de esforços tangenciais se torna visível: massa de pão, gelatina, piche (?). Este último se fratura com um golpe brusco mas também escoa (com muita lentidão).

A seguir, veremos fluidos em equilíbrio = *estática dos fluidos.*

Elasticidade e Plasticidade

A proporcionalidade entre a tensão e a deformação em deformações elásticas possui um limite de validade. Quando abordamos os conceitos de tensão e deformação sempre houve a consideração que as “forças fossem suficientemente pequenas para que a lei de Hooke seja válida”.

Na escala macroscópica, um fluido se comporta como um meio contínuo, suas propriedades variam com continuidade em torno de cada ponto do fluido. Porém, na escala microscópica, em dimensões correspondentes às distâncias inter-atômicas, as propriedades sofrem flutuações que refletem a estrutura atômica da matéria.

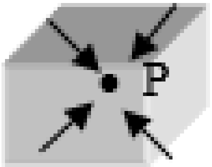
Em condições normais, as distâncias inter-atômicas são tão pequenas comparadas com as dimensões macroscópicas, que as flutuações se tornam imperceptíveis, induzindo ao modelo do meio contínuo.
Se consideramos um elemento de volume infinitésimo $\Delta V = \Delta x \Delta y \Delta z$, com dimensões muito menores que as macroscópicas, mas muito superiores às inter-atômicas de maneira que caibam nele um grande número de átomos para que as flutuações sejam desprezíveis, podemos definir a densidade ρ de um fluido com a expressão:

$$= \lim_{\Delta V \to 0} \left(\frac{\Delta m}{\Delta V} \right) = \frac{dm}{dV}$$

onde *dm* é a massa do volume ΔV do fluido em torno do ponto P e o $\lim_{\Delta V \to 0}$ deve ser interpretado como um limite infinitésimo físico.

As unidades no Sistema Internacional são kg/m^3.

O grama foi definido originalmente, como a massa de um centímetro cúbico de água, e por isso a densidade da água é $1\ g/cm^3 = 10^3 kg/m^3$.



Um fluido está em equilíbrio, quando cada porção do fluido está em equilíbrio.
Para isto, é necessário que a *resultante das forças que atuam sobre cada porção do fluido se anule.*

Para analisar as forças atuantes sobre uma porção de um médio contínuo devemos distinguir entre *forças volumétricas* e *forças superficiais*. As primeiras são de longo alcance, como a gravidade, que atuam em todos os pontos do meio, de tal forma que a força resultante sobre um *elemento de volume* é *proporcional ao volume*. Assim, neste caso, a força devida a gravidade de um elemento de volume ΔV em torno de um ponto do meio onde a densidade é ρ é:

$$\Delta\vec{F} = \Delta m\, \vec{g} = \rho\, \Delta V\, \vec{g}$$

$$\rho = \frac{dm}{dV} \Rightarrow dm = \rho \cdot dV$$

(outro exemplo é o de forças elétricas sobre um fluido carregado).

Algumas propriedades dos fluidos

- Definição de fluido
- Forças tangenciais e normais
- Pressão em um fluido - Paradoxo hidrostático
- Tensão volumétrica de compressão (ou tensão volumétrica)
- Deformação de compressão volumétrica (ou deformação volumétrica)
- O módulo de elasticidade ➔ módulo de compressão
- Compressão – Compressibilidade
- Propriedades dos fluidos
- Características de um fluido em equilíbrio
- Forças volumétricas e forças superficiais
- Unidades

1. Massa específica, ρ é a massa, m dividida pelo seu volume, V.

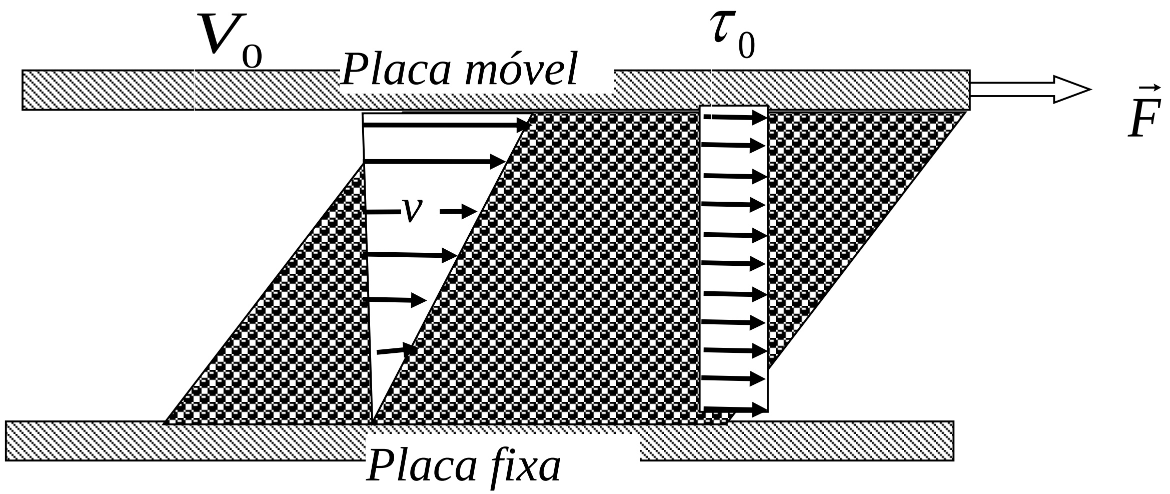
$$\rho = m/V$$

2. Peso específico, γ, é o peso G, da amostra dividido pelo seu volume, V.

$$\gamma = G/V$$

3. Viscosidade.

Principio da aderência Completa: partículas fluídas em contato com superfícies sólidas adquirem a mesma velocidade dos pontos da superfície sólida com as quais estabelecem contato.



O filme de óleo entre as placas paralelas é representado por lâminas paralelas e justapostas, em que cada lâmina é formada por partículas fluídas. Quando uma força F tangencial for aplicada à lâmina superior, ela transmite aos fluídos uma tensão tangencial τ.

A pressão debaixo da água aumenta com a profundidade e ao contrario, a pressão atmosférica diminui com o aumento de altura. No caso particular da água, com uma densidade praticamente constante, a pressão aumenta linearmente com a profundidade (dado: a densidade da água só aumenta em ~0,5 % quando a pressão varia de 1 atm a 100 atm).

Igualando esta força ao peso da coluna, obtemos:

$pA - p_0 A = \rho g A h$ ou $p = p_0 + \rho g h$ Quando ρ é constante

Também é usada: $\Delta p = \rho g h$

Chamada lei de Stevin: *a pressão no interior de um líquido aumenta linearmente com a profundidade.*

TENSÃO e deformação volumétrica

- Definição de fluido
- Forças tangenciais e normais
- Pressão em um fluido - Paradoxo hidrostático
- Tensão volumétrica de compressão (ou tensão volumétrica)
- Deformação de compressão volumétrica (ou deformação volumétrica)
- O módulo de elasticidade ➔ módulo de compressão
- Compressão – Compressibilidade
- Propriedades dos fluidos
- Características de um fluido em equilíbrio
- Forças volumétricas e forças superficiais
- Unidades

A deformação produzida por uma pressão hidrostática, chamada *deformação volumétrica*, é definida como a razão entre a variação de volume, ΔV, e o volume original V ➔ também um número adimensional.

Quando um objeto mergulha, a água exerce uma pressão aproximadamente uniforme sobre a superfície e esmaga o objeto. Fazendo com que seu volume seja ligeiramente menor. Esta situação é diferente às situações observadas nos pontos anteriores. A pressão agora é uniforme em todas as direções, e a deformação resultante é uma variação do volume.

A **tensão volumétrica de compressão** (ou **tensão volumétrica**) e a deformação **de compressão volumétrica** (ou **deformação volumétrica**) serão utilizadas para descrever as grandezas associadas a estes fatos.

Se for escolhida uma secção reta arbitrária no interior de um fluido (líquido ou gás) em repouso, a força que atua em cada lado da secção reta será sempre perpendicular à área. Se tentarmos exercer uma força paralela à secção, o fluido escoará lentamente em virtude desse esforço. Quando um sólido está imerso num fluido e ambos estão em repouso, as forças que o fluido exerce sobre a superfície do corpo são sempre perpendiculares à superfície em cada ponto do corpo. A força ortogonal *F* por unidade de área *A* do corpo denomina-se **pressão** do fluido: $\boldsymbol{p = F/A}$

José Luiz Lopes e Nora Lía Maidana

Quando aplicarmos uma pressão sobre a superfície de um fluido no interior de um recipiente, a pressão é transmitida através do fluído e também é exercida sobre a superfície de qualquer corpo imerso no fluido. Esse princípio denomina-se *lei de Pascal*: desprezando-se as diferenças de pressão em profundidades diferentes do fluido, a pressão é a mesma em todos os pontos do fluido e em todos os pontos sobre a superfície de qualquer corpo submerso.

A pressão desempenha o mesmo papel da tensão em uma deformação volumétrica. A deformação correspondente é a fração da variação do volume $\mathbf{\Delta V}$ e do volume inicial $\mathbf{V_0}$.

$$Deformação\ volumétrica = \frac{\Delta V}{V_0}$$

A deformação volumétrica é uma variação do volume por unidade de volume. Igual que os outros tipos de deformações, é um número puro, sem unidades.

Quando a lei de Hooke é obedecida, um aumento da pressão (tensão volumétrica) produz uma deformação volumétrica proporcional (fração da variação de volume). O módulo de elasticidade correspondente denomina-se **módulo de compressão** designado por ***B***. Quando a pressão sobre um corpo varia de uma quantidade pequena $\mathbf{\Delta p}$, e a deformação volumétrica correspondente é $\mathbf{\Delta V/V_0}$ a lei de Hooke assume a forma:

$$B = -\frac{\Delta p}{\Delta V / V_0}$$

(módulo de compressão)

O sinal negativo dessa expressão significa que um aumento de pressão sempre produz uma diminuição de volume. Quando $\mathbf{\Delta p}$ é positivo, $\mathbf{\Delta V}$ é negativo. O módulo de compressão B é uma grandeza positiva.

A pressão exercida por um fluido sobre um corpo, tende a comprimir o mesmo. A razão entre a variação da pressão (Δp) e a diminuição relativa do volume (-ΔV/V), é chamada *módulo de elasticidade volumétrica)*

$$B = -\frac{\Delta p}{\Delta V / V}$$

sendo este quociente com sinal negativo, o módulo de compressibilidade é positivo, pois o volume de qualquer corpo diminui com o aumento da pressão).

Quanto mais difícil for comprimir um corpo, menor será a razão ΔV/V, para uma certa variação de pressão, e maior o módulo de compressibilidade. Todas as substâncias (sólidas, líquidas ou gasosas) possuem um módulo de compressibilidade. Os líquidos são relativamente incompressíveis e têm valores elevados de B, pouco dependem da temperatura e pressão. Os gases são comprimidos com facilidade e os valores de B dependem muito da pressão e da temperatura.

Para pequenas variações de pressão em um sólido ou em um líquido, consideramos B constante. O módulo de compressão de um gás, depende da pressão inicial p_0. O inverso do módulo de compressão denomina-se **compressibilidade** que é designada pela letra ***k***.

$$k = \frac{1}{B} = -\frac{\Delta V / V_0}{\Delta p} = -\frac{1}{V_0}\frac{\Delta V}{\Delta p}$$

A compressibilidade é dada pela fração da diminuição do volume, -ΔV/Vo, por unidade de aumento Δp da pressão e suas unidades são as mesmas de Pressão. Se entende como o decréscimo fracional no volume por unidade de acréscimo da pressão.

Resumindo:

Tipo de esforço	Tensão	Deformação	Módulo elástico	Nome
Tração ou compressão	$\frac{F_\perp}{A}$	$\frac{\Delta L}{L}$	$Y = \frac{F_\perp / A}{\Delta L / L}$	Módulo de Young
Cisalhamento	$\frac{F_{\parallel}}{A}$	$\frac{\Delta x}{L}$	$M_s = \frac{F_{\parallel} / A}{\Delta x / L}$	Módulo de Cisalhamento
Pressão hidrostática	$p\left(=\frac{F_\perp}{A}\right)$	$\frac{\Delta V}{V}$	$B = -V\frac{dp}{dV}$	Módulo de elasticidade volumétrica