

Mecânica dos Fluidos

Belarmino Luís Matsinhe



Instituto Superior de Ciências de Saúde

19 de abril de 2023

Mecânica dos fluidos

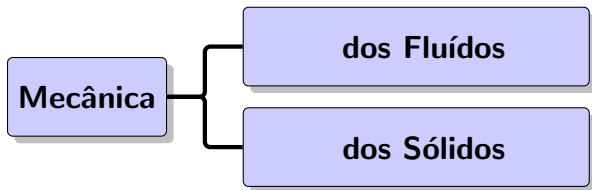
1. Propriedades mecânicas dos fluídos;
2. Hidrostática;
3. Hidrodinâmica;
 - ▶ Escoamento laminar;
 - ▶ Escoamento turbulento;
4. Gases ideais Vs reais.

Leitura complementar obrigatória: Instrumentos de
medição da viscosidade e da vazão | Difusão e Osmose.

Objectivo da aula

1. Aplicar a teoria física dos fluidos no cálculo de pressões dos líquidos celulares, explicação da respiração no corpo humano e sua importância no funcionamento do corpo humano.
2. Explicar o importante papel do comportamento dinâmico dos fluidos no deslocamento de partículas e espécimes através das veias e capilares.
3. Quantificar as diversas forças resistivas experimentadas pelos espécimes que se movem nos meios fluidos (gasosos ou líquidos).

Mecânica dos fluidos



Estudo das causas, classificação e descrição de movimentos de fluidos.

Mecânica dos fluidos

Na natureza, a matéria apresenta-se nos estados **sólido**, **líquido** ou **gasoso**. Nos estados líquido ou gasoso, a matéria é denominada um **fluido** e não possui forma definida, como acontece no estado sólido.

Líquidos e gases podem coexistir em misturas de duas fases (Ex.vapor-água, água com bolhas de ar).

Mecânica dos fluidos

O estado físico de uma substância depende do balanço entre a energia cinética das partículas (moléculas e ou átomos) que compõem a substância e as forças intermoleculares. A energia cinética, que é dependente de temperatura, faz com que as partículas se movimentem e estejam mais afastadas. Porém, as forças intermoleculares mantêm as partículas mais próximas umas das outras.

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Mecânica dos fluidos

► A densidade ou massa específica (ρ)

Em geral, é função da pressão P e da temperatura T do fluido, ou seja, $\rho = f(P, T)$. Vale também ressaltar que os líquidos e gases são fluidos viscosos, o que significa que podem exibir, também, propriedades como:

► Peso específico (γ)

► Viscosidade (μ) e

► Tensão superficial (τ)

Mecânica fluidos

PMF 1: Massa específica

Massa específica - é a razão entre a massa contida em um volume infinitesimal do fluido pela magnitude desse volume.

$$\rho = \frac{dm}{dV} \quad (1)$$

Mecânica fluidos

PMF 1: Massa específica

Tabela: Massas específicas de alguns fluidos

Fluido	T(°C)	$\rho(kg/m^3)$
Sangue	37	1050
Plasma sanguíneo	37	1030
Água pura	4	1000
Ar	0	1.30

Mecânica fluidos

PMF 2: Peso específico

Peso específico (γ) - é o peso por unidade de volume, i.é.,

$$\gamma = \frac{P}{V} = \rho g \quad (2)$$

onde, γ é o peso específico em N/m^3 no SI ou lbf/ft^3 em unidades de campo (*field units*) e, g é aceleração de gravidade.

Mecânica fluidos

PMF 3: Viscosidade

Viscosidade (μ)- é uma medida quantitativa da resistência de um fluido ao escoamento. Ela surge devido à coesão e interação entre moléculas do fluido, que oferece resistência ao cisalhamento (quando uma camada de fluido se move sobre uma outra camada paralela com velocidade finita).

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF 's)

Hidrostática

Manômetros

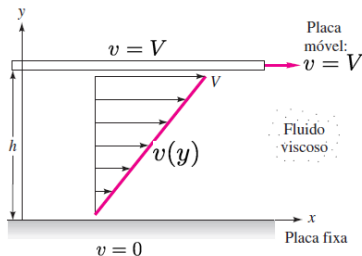
Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Mecânica fluidos

PMF 3: Viscosidade



$$F_{yx} = \mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (3)$$

A constante de proporcionalidade μ é a viscosidade dinâmica e, sua unidade no SI é kg/ms ou $N.s/m^2$.

Outra unidade também muito usada no sistema CGS é *centipoise* (cP) ($1cP = 0.01P$).

Mecânica fluidos

PMF 3: Viscosidade

$$F_{yx} = \rho \eta \frac{\partial v}{\partial y} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

A constante de proporcionalidade η é a viscosidade cinemática, sua unidade no SI é m^2/s ou cm^2/s . Outra unidade também muito usada no sistema CGS é *centiStocks* (cSt) ($1cSt = 0.01St$).

Mecânica fluidos

PMF 3: Viscosidade

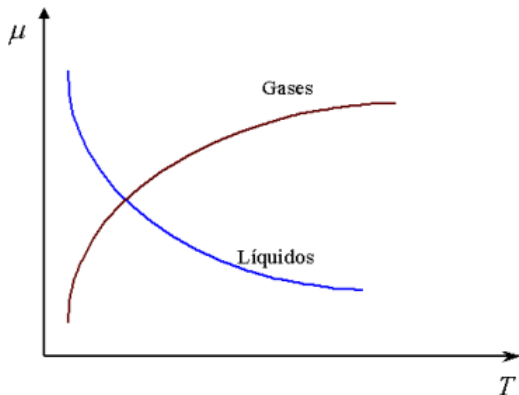


Figura: $\mu \times T$ [Alé, J., 2011]

Mecânica fluidos

PMF 3: Viscosidade

Tabela: Viscosidade de alguns fluidos [Okuno,E., 1986]

Fluido	T(°C)	$\mu(cP)$
Sangue	37	4.00
Plasma	37	1.50
Água	37	0.691
Alcool	20	1.2

Mecânica fluidos

PMF 3: Viscosidade

Porque é comum as equipas de salvação cobrirem as pessoas (com mantas térmicas) após sofrerem um acidente (ex. de viação)?

Mecânica fluidos

PMF 4: Tensão superficial

A tensão superficial também pode ser definida como uma medida da Energia necessária por unidade de área necessária para aumentar a superfície do líquido.

$$\delta = \frac{W}{A} \quad [J/m^2] \quad (6)$$

Onde, δ que é o coeficiente de tensão superficial do líquido.

Mecânica fluidos

PMF 4: Tensão superficial

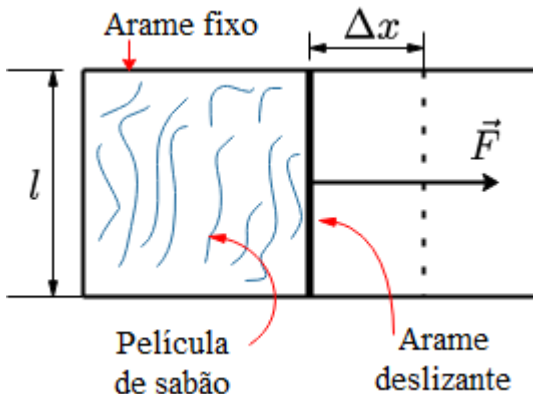


Figura: Película de face dupla

Mecânica fluidos

PMF 4: Tensão superficial

- ▶ Para uma película de face dupla (ex., filme de sabão)

$$\delta = \frac{F}{2l} \quad (6a)$$

- ▶ Para uma película de face simples (ex., superfície do leite contido no copo)

$$\delta = \frac{F}{l} \quad (6b)$$

Mecânica fluidos

PMF 4: Tensão superficial

Numa bolha de ar, a diferença de pressão é dada pela expressão:

$$p_i - p_e = \frac{2\delta}{r} \quad (7)$$

onde, p_i é pressão no interior da bolha, p_e é pressão no exterior da bolha e r é o raio da bolha.

Mecânica fluidos

PMF 4: Tensão superficial

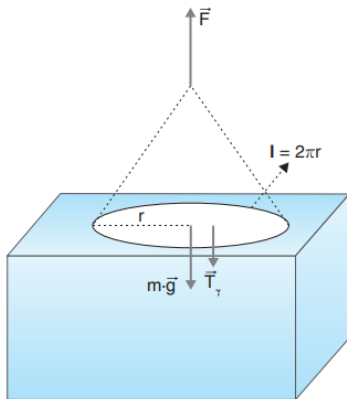


Figura: Deformação superficial[Duran, 2011]

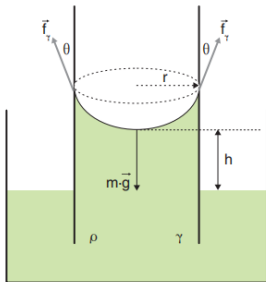
Mecânica fluidos

PMF 4: Tensão superficial

Um efeito por causa da tensão superficial de um líquido é a capacidade que ele tem para subir ou descer dentro de um tubo de diâmetro muito pequeno. Esse efeito é denominado ação capilar ou capilaridade.

Mecânica fluidos

PMF 4: Tensão superficial



$$\tau_y = 2\pi \cdot r \cdot \delta \cdot \cos(\theta) \quad (8)$$

Mecânica dos fluidos

Mecânica dos
Fluidos
Belarmino Luís
Matsinhe

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF 's)

Hidrostatica

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

A hidrostática dedica-se ao estudo de fluidos líquidos em repouso onde a tarefa fundamental é determinar a distribuição da pressão em líquidos homogêneos.

$$p = \frac{F}{S} \quad (9)$$

sendo, p a pressão em Pascal (Pa), F a força em Newton (N) exercida pelo fluido sobre a superfície S perpendicular do recipiente em m^2 .

Mecânica dos fluidos

Pressão atmosférica

Cada metro quadrado da superfície terrestre ao nível do mar experimenta uma força devido ao peso do ar sobre este m^2 . A pressão resultante é denominada uma atmosfera (1 atm).

$$P = P_0 e^{-\frac{\rho_0 g}{P_0} z} \quad (10)$$

Mecânica dos fluidos

Pressão hidrostática

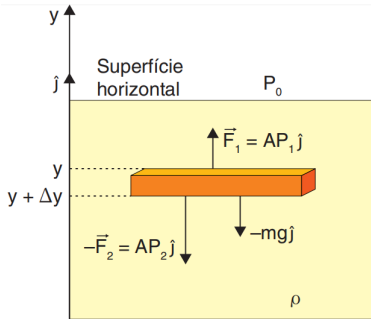


Figura: Pressão de um fluido incompressível

Mecânica dos fluidos

Pressão hidrostática

Consideremos um sistema de líquido e um corpo de massa m em equilíbrio. Assim, a resultante das forças que agem no sistema é nula ($\sum_i \vec{F}_i = 0$)

$$F_2 = F_1 + mg \Rightarrow p_2 = p_1 + \rho g \Delta y \quad (11)$$

Mecânica dos fluidos

Pressão hidrostática

Deste modo, a pressão na profundidade (h_1) é:

$$p = p_0 + \rho gh \quad (11a)$$

Onde, p_0 é a pressão atmosférica normal

($p_0 = 1.01 \times 10^5 Pa = 1 atm = 760 mmHg$), h é a profundidade (em metros), g é aceleração de gravidade ($g \approx 9.81 m/s^2$), e ρ é a densidade do líquido em kg/m^3 .

Mecânica dos fluidos

Pressão hidrostática

Na Eq.11a, p denomina-se **pressão absoluta ou total** e ρgh denomina-se **pressão manométrica**. Deste modo:

$$p_{manometrica} = p_{absoluta} - p_{atmosferica} \quad (12)$$

- ▶ Torricelli: 1 torr = 133,3 Pa.
- ▶ Centímetros de água: 1 cm de H₂O = 98 Pa.
- ▶ Milímetro de mercúrio: 1 mm de Hg = 133,3 Pa.

Mecânica dos fluidos

Pressão no corpo humano

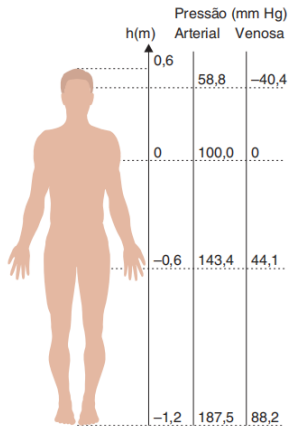


Figura: pressão arterial e venosa

Mecânica dos fluidos

Pressão no corpo humano

O instrumento clínico mais utilizado para medir pressão sanguínea é o **esfigmomanômetro**. Por exemplo para medir pressão arterial, Basicamente ele mede:

$$p_{art} = p_{corr} - p_{man} \quad (13)$$

Mecânica dos fluidos

Corpos flutuantes

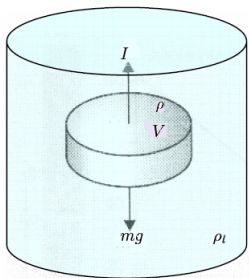
As forças de pressão sobre a superfície do corpo imerso no fluido originam uma força resultante denominada **empuxo** de direção vertical e sentido para cima, igual ao módulo do peso do volume do líquido deslocado pelo corpo.-**Arquimedes**

$$I = \rho_l V_l g \quad (14)$$

Onde, I é a força de impulsão em N , V_l é o volume do líquido deslocado em m^3 , ρ_l é a densidade do líquido.

Mecânica dos fluidos

Corpos flutuantes



$\vec{F} = \vec{I} - m\vec{g}$, e a sua magnitude
é:

$$F = \rho_l Vg - \rho Vg = (\rho_l - \rho)Vg \quad (15)$$

Figura: Força de
impulsão

Mecânica dos fluidos

Princípio fundamental da hidrostática

A diferença entre as pressões em dois pontos dentro de um líquido em equilíbrio é igual ao produto entre massa específica do líquido a aceleração de gravidade e a diferença entre as profundidades dos dois pontos em consideração.- **Stevin**

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

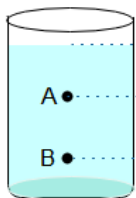
Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Mecânica dos fluidos

Princípio fundamental da hidrostática



$$\begin{aligned} p_B - p_A &= (p_0 + \rho g h_B) - (p_0 + \rho g h_A) \\ &= \rho g (h_B - h_A) \\ &= \rho g h \end{aligned}$$

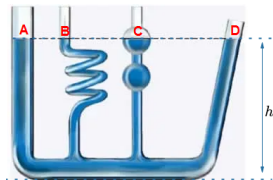
(16)

Uma das aplicações do teorema de Stevin é o caso de vasos comunicantes.

Mecânica dos fluidos

Princípio fundamental da hidrostática

Reparem que independentemente da forma geométrica de cada vaso, quando o líquido (homogêneo) estiver em equilíbrio, a altura é sempre a mesma para todos os vasos.



$$p_A = p_B = p_C = p_D$$

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

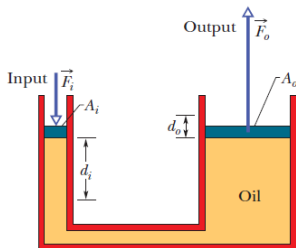
Mecânica dos fluidos

Princípio de Pascal

O acréscimo de pressão produzido num líquido em equilíbrio, por menor que seja, transmite-se integralmente a todos os pontos do fluído.

Mecânica dos fluidos

Princípio de Pascal



$$\Delta p_i = \frac{F_i}{A_i} \quad \text{e} \quad \Delta p_o = \frac{F_o}{A_o}$$

$$\Delta p_i = \Delta p_o \Rightarrow \frac{F_i}{A_i} = \frac{F_o}{A_o}$$

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidroestática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

MANÔMETROS

Mecânica dos
Fluidos

Belarmino Luís
Matsinhe

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Manômetros

Mecânica dos
Fluidos
Belarmino Luís
Matsinhe

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

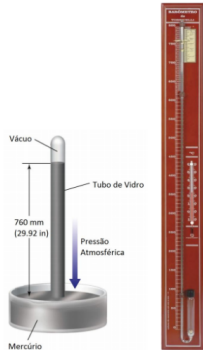


Figura: Barômetro de
Torricelli

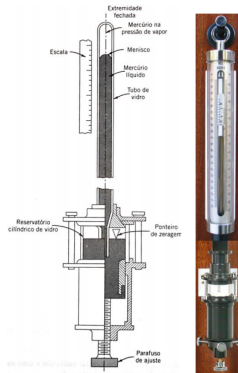


Figura: Barômetro de Fortin

Manômetros - Cont.

Para a medição de pressões acima ou abaixo da pressão atmosférica (barométrica) usa-se manômetros. Estes subdividem-se em dois tipos:

1. **Manômetros de coluna de líquido** - utilizam líquido como substância manométrica
 - ▶ Tubo em "U"
 - ▶ Colunas de áreas diferentes
 - ▶ Coluna inclinada
2. **Manômetros de tipo elástico** - utilizam a deformação de um elemento elástico como meio para se medir a pressão.

Manômetros - Cont.

É basicamente constituído por um tubo de vidro com uma secção uniforme, uma escala graduada e um líquido manométrico(H_2O , CCl_4 e H_g).

Seu princípio de funcionamento consiste na aplicação de pressão num dos terminais do seu tubo o que faz com que o líquido desça nesse ramo e suba no outro ramo.

Por exemplo, para a Fig.9, a pressão aplicada é p_B . p_A é pressão atmosférica.

Manômetros - Cont.

$$p_0 = p_A + \rho g H + \rho_m g h$$

$$p_1 = p_B + \rho g H + \rho g h$$

$$p_0 = p_1 \Rightarrow p_B - p_A = (\rho_m - \rho) g h$$

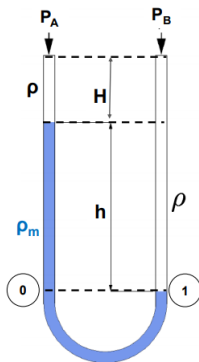


Figura: Tubo em U

O inverso da diferença das densidades dos fluidos no tubo é a sensibilidade do manômetro, isto é,

Manômetros - Cont.

O inverso da diferença das densidades dos fluidos no tubo é a sensibilidade do manômetro, isto é,

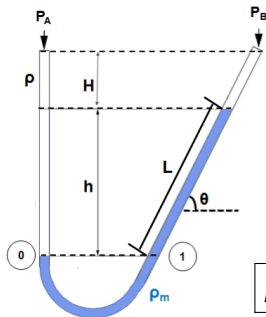
$$\kappa = \frac{1}{\rho_m - \rho} \quad (18)$$

Manômetros - Cont.

Assim, para que a sensibilidade do manômetro seja máxima, deve-se escolher ρ_m de tal forma que a diferença ($\rho_m - \rho$) seja mínima. Porém os dois líquidos devem ser **imiscíveis**.

Manômetros - Cont.

Manômetro de coluna inclinada



$$p_0 = p_A + \rho g H + \rho g h$$

$$p_1 = p_B + \rho g H + \rho_m g L \sin \theta$$

$$p_A - p_B = (\rho_m - \rho) g L \sin \theta$$

Figura: Coluna
inclinada

Manômetros - Cont.

O manômetro de tubo tipo em U tem a desvantagem de que a mudança em altura do líquido deve ser lida em ambos lados do manômetro. Isto pode-se evitar usando manômetro de poço.

Manômetros - Cont.

Manômetro de poço

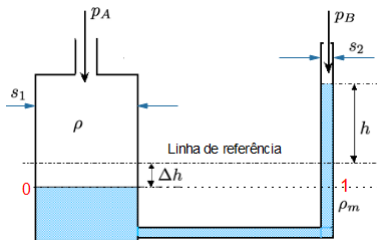


Figura: Manômetro de poço

Manômetros - Cont.

$$p_0 = p_A + \rho g(h + \Delta h)$$

$$p_1 = p_B + \rho_m g(h + \Delta h)$$

$$p_A - p_B = g(\rho_m - \rho)(h + \Delta h)$$

Sendo que o volume deslocado é o mesmo (Eq. de continuidade) $V_1 = V_2$:

$$\Delta h s_1 = h s_2 \Rightarrow \Delta h = h \frac{s_2}{s_1}$$

$$p_A - p_B = (\rho_m - \rho)g \left(1 + \frac{s_2}{s_1}\right)$$

Manômetros - Cont.

Os manômetros de coluna de líquido embora actualmente estejam a ser progressivamente abandonados, principalmente na medicina, eles ainda desempenham um papel importante para a calibração de todos os manômetros modernos que utilizam uma gama de transdutores para a medição de pressão (Tubo de Bourdon, diafragma, capacitivos, Piezoeléctricos, relutância magnética e LVDT's - *linear variable displacement transducer* e mais).

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostatica

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Manômetros - Cont.

Manômetros de tipo elástico - Tubo de Bourdon

O manômetro de Bourdon é um medidor de pressão totalmente mecânico cujo princípio de funcionamento baseia-se na lei de Hooke. O tubo de Bourdon é acoplado a um sistema de engrenagens que também por sua vez é ligado a um ponteiro que, por uma escala graduada, consegue se ler o valor da pressão. Quando o tubo é submetido à uma força de pressão, estende-se (deforma-se) e o sistema de engrenagem gira movendo consigo o ponteiro.

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Manômetros - Cont.

O tubo de Bourdon é curvado em vários formatos, isto é, **helicoidal**, **C**, **espiral** e **torcida**. Porém, os mais usados são a espiral e helicoidal (secção elíptica) visto que tem uma maior amplitude de movimentos e também tem uma maior rapidez de resposta se comparados com os de tipo **C**.

Manômetros - Cont.

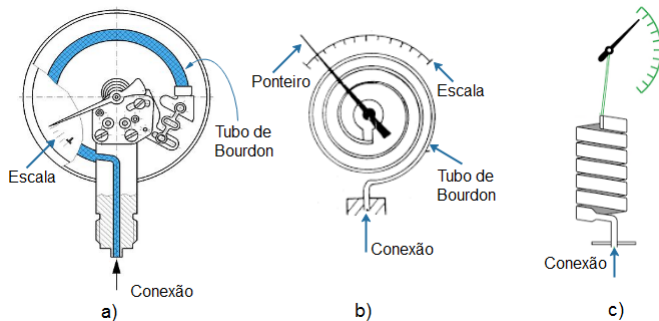


Figura: Tubos de Bourdon: a) Tipo C; b) Tipo espiral e c) Tipo helicoidal [Imagens adaptadas em: <[URL1](#) ; [URL2](#) >.
Acesso em 03/08/2021.]

Manômetros - FIM

Tarefa #1

TEMA: Princípio de funcionamento dos instrumentos de medição de pressão: Arterial, pulmonal, na Bexiga e, nos Olhos. Exemplo: O Esfigmomanômetro pediátrico é um instrumento de medição da Pressão Arterial; Descreva o seu princípio de funcionamento baseando-se em equações de hidrostática.

A data limite de submissão desta tarefa é 05/05/2023, 23:30 hrs.

Manômetros - FIM

Tarefa #1

Itens a considerar:

1. Introdução

- Em linhas gerais dizer o que é esfigmomanômetro pediátrico, qual é a sua relevância e como é que você faz o seu estudo neste trabalho.

2. Desenvolvimento

- Constituição; funcionamento (a Física envolvida); faixas de pressão em que é utilizado e precisão.

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostatica

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Manômetros - FIM

Mecânica dos
Fluidos
Belarmino Luís
Matsinhe

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Tarefa #1

Itens a considerar:

1. Considerações finais

-Quais são as principais constatações deste trabalho.

Em linhas gerais diga qual é princípio físico que governa o funcionamento do esfigmomanômetro pediátrico.

Mecânica dos fluidos

Mecânica dos
Fluidos
Belarmino Luís
Matsinhe

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

A **hidrodinâmica** dedica-se ao estudo de **fluidos líquidos em movimento**, suas causas e efeitos. Este movimento é especificado pela velocidade de escoamento \vec{v} e pela densidade ρ do fluido.

O principal efeito da dinâmica dos fluidos é o escoamento. Seja, este:

- ▶ **Laminar** ou
- ▶ **Turbulento**

Mecânica dos fluidos

Regimes de escoamento

Escoamento laminar - quando a agitação das camadas do fluido é mínimo e/ou desprezível. As camadas do fluido deslocam-se em planos paralelos ou em círculos concêntricos no caso de condutas circulares. Ocorrem em velocidade relativamente baixas.

Este fluxo é silencioso e, é usado para a medição da pressão diastólica ($\approx 85\text{mmHg}$)

Mecânica dos fluidos

Regimes de escoamento

Escoamento turbulento - o movimento das partículas é caótica e não se tem uma única linha de fluxo. Há formação de turbilhões. Ocorre em velocidades relativamente altas.

Este fluxo é barrulhento e, é usado para a medição da pressão sistólica ($\approx 120\text{mmHg}$)

Mecânica dos fluidos

Regimes de escoamento: Nr de Reynolds

É um número adimensional, usado para avaliar a estabilidade e identificação dos regimes de escoamento.

Sua expressão pode ser dada como:

$$R_e = \frac{\rho \times v \times D}{\mu} \quad (19)$$

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidroestática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Mecânica dos fluidos

Regimes de escoamento: Nr de Reynolds

- ▶ $R_e < 2000 \implies$ Escoamento laminar;
- ▶ $2000 < R_e < 2400 \implies$ Escoamento de transição;
- ▶ $R_e > 2400 \implies$ Escoamento turbulento;

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidroestática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Mecânica dos fluidos

Escoamento de um fluido

- ▶ $R_e < 2000 \implies$ Escoamento laminar;
- ▶ $2000 < R_e < 2400 \implies$ Escoamento de transição;
- ▶ $R_e > 2400 \implies$ Escoamento turbulento;

Mecânica dos fluidos

Escoamento de um fluido

A grandeza de medida do escoamento dos fluidos é a Vazão. Esta pode ser volumétrica ou Gravimétrica.

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad (20)$$

$$\dot{Q} = \frac{\dot{m}}{\Delta t} \quad (21)$$

Onde: Q é em $\frac{m^3}{s}$ e \dot{Q} em $\frac{kg}{s}$

Mecânica dos fluidos

Equação de continuidade

Teorema

Em um determinado volume que apresenta apenas uma secção de alimentação e uma de descarga, a vazão mássica de um fluido ideal na entrada é igual à vazão mássica do fluido na saída.

Mecânica dos fluidos

Equação de continuidade

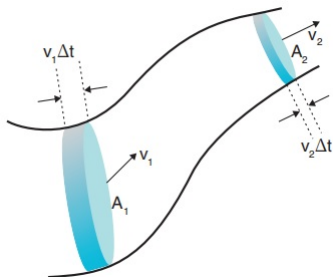


Figura:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 Q_1 = \rho_2 Q_2$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

$$\text{Se } (\rho_1 = \rho_2),$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

(22)

Mecânica dos fluidos

Equação de Bernoulli

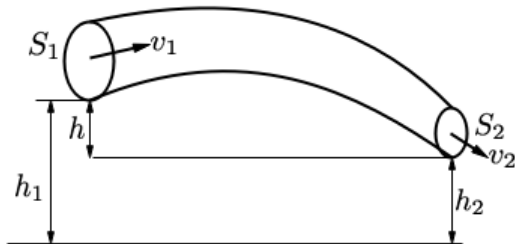


Figura:

Mecânica dos fluidos

Equação de Bernoulli

$$\rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2 = \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 \quad (22a)$$

Se o tubo estiver na horizontal;

$$\frac{1}{2} \rho v_2^2 + p_2 = \frac{1}{2} \rho v_1^2 + p_1 \quad (22b)$$

Mecânica dos fluidos

Lei de Poiseuille

A lei de Poiseuille é matematicamente expressa por:

$$Q = \frac{\pi r^4}{8\mu l} \Delta p \quad (23)$$

onde, r é o raio do tubo, μ é a viscosidade dinâmica do fluido, l é o comprimento do tubo e Δp é a diferença de pressão.

Mecânica dos fluidos

Lei de Poiseuille

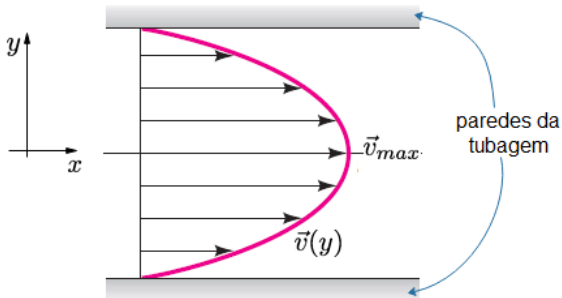


Figura: perfil da velocidade

Mecânica dos fluidos

Lei de Poiseuille

Associando a viscosidade à resistência total da tubulação (R), a Eq.23 fica:

$$Q = \frac{\Delta p}{R} \quad (23a)$$

onde a resistência hidrodinâmica (R) é expressa por:

$$R = \frac{8\mu l}{\pi r^4} \quad [Nsm^{-5}] \quad (23b)$$

Mecânica dos fluidos

Lei de Poiseuille

No que concerne à velocidade em caso de escoamento real, esta não é constante para diferentes camadas, pelo que considera-se a velocidade média, isto é,

$$\bar{v} = \frac{r^2}{8\mu l} \Delta p \quad (24)$$

Mecânica dos fluidos

líquidos no corpo humano: A Água

Uma pessoa com 70kg de massa possui aproximadamente (40 – 70) litros de água em seu corpo. Considerando o limite inferior, perto de 25 litros constituem o líquido intracelular, localizado nos compartimentos intracelulares, e 15 litros constituem o líquido extracelular, que é distribuído aproximadamente como 12 litros de líquido intersticial e 3 litros de líquido no plasma sanguíneo.

Mecânica dos fluidos

líquidos no corpo humano: O sangue

O escoamento sanguíneo através das artérias normalmente é laminar.

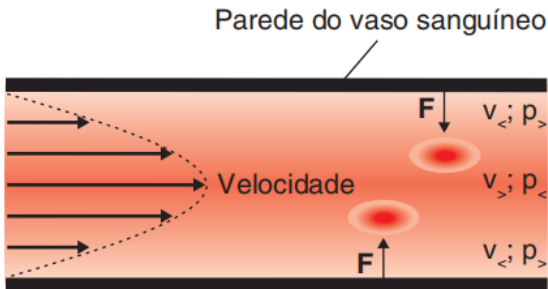


Figura: perfil da velocidade no sangue

Mecânica dos fluidos

líquidos no corpo humano: O sangue

Por exemplo, em um indivíduo adulto, a pressão sistólica toma valores entre 100 a 140 mmHg, e a pressão diastólica toma entre 60 a 90 mm Hg. Pode-se assumir que a pressão média na aorta seja 100 mmHg.

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostatica

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Mecânica dos fluidos

líquidos no corpo humano: O sangue

O **aumento da velocidade** e aliado a redução da viscosidade do sangue, pode propiciar a ocorrência da turbulência e, como consequência, **umenta-se a pressão local** e deste modo dilatação excessiva do vaso sanguíneo.

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidroestática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Mecânica dos fluidos

Exemplos didáticos

P1.

Sabe-se que o sangue, ao sair da aorta, é distribuído para as várias artérias onde depois flui para as arteríolas e, por fim para os capilares. Se a soma das secções de todas as artérias é de 20cm^2 e o fluxo volumétrico do sangue através da aorta é de 90ml/s , qual é a velocidade média do escoamento do sangue pelas artérias?

Mecânica dos fluidos

Exemplos didáticos

Solução

$$A = 20 \text{ cm}^2$$

$$Q = 90 \text{ ml/s} = 90 \text{ cm}^3/\text{s}$$

$$Q = \bar{v}A \Rightarrow \bar{v} = \frac{Q}{A}$$

$$\bar{v} = 4.5 \text{ cm/s}$$

Mecânica dos fluidos

Exemplos didáticos

P2.

O diâmetro da aorta de um adulto é de aproximadamente 2.2cm. A velocidade sistólica média do sangue é de cerca de 60cm/s. Sabendo que a $37^{\circ}C$, a densidade e a viscosidade do sangue são respectivamente $1050kg/m^3$ e $4.00 \times 10^{-3}Ns/m^2$, determine se o fluxo sanguíneo na aorta é laminar ou é turbulento.

Mecânica dos fluidos

Exemplos didáticos

Dados

$$\mu = 4.00 \times 10^{-3} \text{Ns}/\text{m}^2$$

$$\rho = 1050 \text{kg}/\text{m}^3$$

$$D = 2.2 \text{cm}$$

$$v = 60 \text{cm}/\text{s}$$

Mecânica dos fluidos

Exemplos didáticos

Solução

$$\begin{aligned} Re &= \frac{v\rho D}{\mu} \\ &= \frac{0.6 \times 1050 \times 0.0022}{4.00 \times 10^{-3}} \\ &= 3465 \end{aligned}$$

R: O fluxo sanguíneo na aorta é turbulento

Mecânica dos fluidos

Temperatura e escalas termométricas

Temperatura é uma medida de grau de aquecimento ou de arrefecimento dos corpos.

Sob ponto de vista microscópico, pode-se associar a temperatura com o nível de agitação das partículas que compõem um dado corpo, pois, quanto maior for a temperatura, maior é a agitação (maior é a energia cinética das partículas).

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostatica

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Mecânica dos fluidos

Temperatura e escalas termométricas

Temperatura é uma medida de grau de aquecimento ou de arrefecimento dos corpos.

Sob ponto de vista microscópico, pode-se associar a temperatura com o nível de agitação das partículas que compõem um dado corpo, pois, quanto maior for a temperatura, maior é a agitação (maior é a energia cinética das partículas).

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostatica

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Gases ideais: Temperatura e escalas termométricas

Um termómetro é um dispositivo que contém uma grandeza física cuja propriedade mensurável muda com a mudança da temperatura. Essa propriedade denomina-se **propriedade termométrica** e a substância denomina-se **substância termométrica**.

Existem vários tipos de termómetros, dependendo da substância termométrica em uso. Porém, para a nossa consideração importam dois tipos, a saber:

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostatica

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Gases ideais: Temperatura e escalas termométricas

1. Termómetros líquidos

- O seu funcionamento baseia-se no princípio de variação do volume com variação da temperatura. O mercúrio e o álcool são líquidos comuns usados na construção desses termómetros.

2. Termómetro Infravermelho ou Pirômetro

- Seu funcionamento é com base na emissão de uma radiação electromagnético. Usam a lei de Stefan Boltzmann.

Gases ideais: Temperatura e escalas termométricas

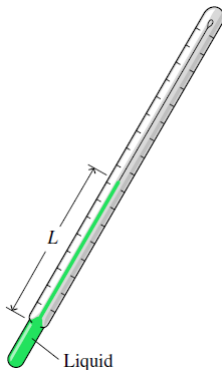


Figura: Termómetro de líquido

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Gases ideais: Temperatura e escalas termométricas



Figura: Termómetro de infra-vermelho

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Gases ideais: Temperatura e escalas termométricas

Qualquer propriedade termométrica pode ser usada para estabelecer uma escala de temperatura. Para a nossa consideração, usaremos três escalas

1. Celcius;
2. Fahrenheit e
3. Kelvin

Gases ideais: Temperatura e escalas termométricas

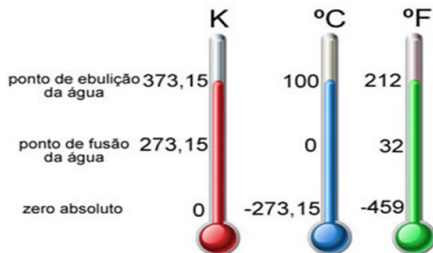


Figura:

Gases ideais: Temperatura e escalas termométricas

1. Fahrenheit - Celcius

$$5(t_F - 32) = 9t_C \quad (25a)$$

2. Celcius-Kelvin

$$K = t_C + 273.15 \quad (25b)$$

Gases ideais

Um gás ideal é aquele em que a interação entre as suas moléculas e/ou átomos é desprezível. Assim, as moléculas do gás estão tão separadas que raramente chocam entre si.

Qualquer gás real, a pressões baixas, comporta-se aproximadamente como um gás ideal.

Gases ideais

Um gás ideal obedece rigorosamente as seguintes leis:

1. Lei de Boyle ($T \rightarrow \text{constante}$)

$$pV = \text{const.} \quad (26)$$

2. Lei de Charles e Gay-Lussac ($p \rightarrow \text{constante}$)

$$\frac{V}{T} = \text{const.} \quad (27)$$

Gases ideais

A combinação das Eqs.26 e 27 resulta em uma equação que relaciona a pressão, volume e temperatura de um gás ideal, conhecida como **Equação de estado de um gás ideal (Equação de Clapeyron)**:

$$pV = nRT \quad (28)$$

Gases ideais

Assim, para uma massa fixa de gás,

$$\frac{pV}{T} = \text{constante} \quad (28a)$$

onde, p é pressão, V é volume, n é o número de moles, R é a constante universal de gás ($R = 8,314 J/molK$), T é temperatura absoluta.

Gases ideais

A quantidade de gás é, com frequência expressa em **moles**.

Lei de Avogadro

Volumes iguais, de quaisquer gases, nas mesmas condições de temperatura e pressão, possuem o mesmo número de moléculas (N).

Assim, 1mol de qualquer substância têm

$$6.02 \times 10^{23} \text{moléculas}$$

$$N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}.$$

Gases ideais

Deste modo, se temos n moles de uma substância, então o número de moléculas (N) é

$$N = nN_A \quad (29)$$

Substituindo-se Eq.29 na Eq.28, a equação de estado fica:

$$pV = NkT \quad (30)$$

Gases ideais

onde $k = R/N_A$ é constante de Boltzmann

$$(k = 1.381 \times 10^{-23} J/K)$$

Ainda mais, a equação de estado pode ser escrita tendo em consideração a densidade, isto é,

$$p = \rho \frac{RT}{M} \quad (30a)$$

Onde M é a massa molar

Gases ideais

A equação de estado pode também descrever as propriedades de gases reais, desde que estes possuam pequena massa específica (e, portanto, estejam sob pressões relativamente baixas). Caso contrário, correcções devem ser feitas à equação de estado, por exemplo, a equação de van der Waals, outras equações cúbicas e correlações.

O estado de uma dada quantidade de gás é completamente especificado com o conhecimento de quaisquer duas das três variáveis de estado **P, V e T**.

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos

Gases ideais: Isoprocessos

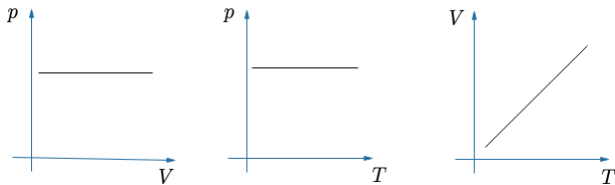


Figura: Isobárica

Gases ideais: Isoprocessos

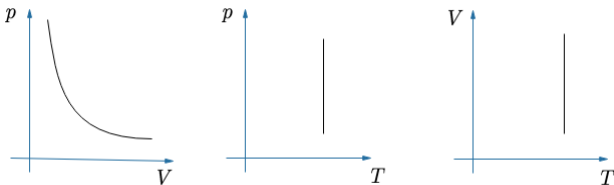


Figura: Isotérmica

Gases ideais: Isoprocessos

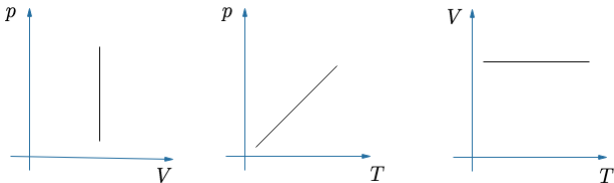


Figura: Isocórica

Gases ideais: Mistura de gases ideais - Lei de Dalton

O ar seco é uma mistura de gases cujas maiores fracções são de Nitrogénio (79%) e Oxigénio (21%). Assim, a pressão exercida pelo ar seco, é a superposição das pressões individuais de cada gás que faz parte da mistura

Lei de Dalton

A pressão total da mistura é igual a soma das pressões parciais.

Gases ideais: Mistura de gases ideais - Lei de Dalton

$$n = n_1 + n_2 + n_3 + \dots \Rightarrow p = \frac{RT}{V}(n_1 + n_2 + n_3 + \dots) \quad (31a)$$

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots \quad (31b)$$

onde, p_1 é pressão parcial do gás 1, p_2 é pressão parcial do gás 2 e por ai em diante.

Gases ideais: Mistura de gases ideais - Lei de Dalton

A pressão parcial (p_x) de um gás é:

$$p_x = \chi(x) \times p_a \quad (32)$$

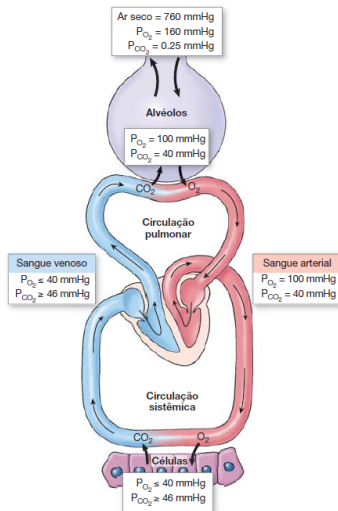
onde, p_a é a pressão atmosférica (mmHg) e $\chi(x)$ é a fracção do gás na mistura.

Gases ideais: Mistura de gases ideais - Lei de Dalton

A pressão parcial dos gases nos alvéolos difere daquela da atmosfera devido a vários factores:

- ▶ Umidificação do ar inalado nas vias aéreas;
- ▶ Troca gasosa constante entre os alvéolos e os capilares alveolares
- ▶ Renovação frequente do ar alveolar

Gases ideais: Mistura de gases ideais - Lei de Dalton



Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

A respiração é o fluxo de ar para dentro e para fora dos pulmões. O O_2 e CO_2 passam entre alvéolos e capilares pulmonares através da membrana respiratória num processo que se chama **difusão**.

A membrana respiratória: $0.2 - 0.3\mu m$ - espessura e $50 - 100m^2$ - área de superfície.

Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

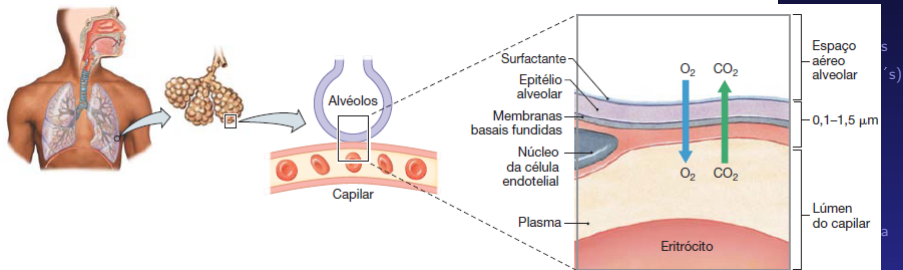


Figura: Membrana Respiratória. A seta azul representa as trocas gasosas entre o espaço aéreo alveolar e o plasma
[Silvertorn, D.U., 2017]

Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

Lei de difusão de Fick

A taxa de transferência de um gás através de uma membrana de tecido é directamente proporcional à área da membrana e à diferença de pressão entre as duas faces da membrana e, é inversamente proporcional à espessura da membrana.

Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

$$j = DA \frac{\Delta p}{l} \quad (33)$$

Onde, j é a taxa de difusão (transferência) do gás, D é coeficiente de difusão, Δp é a diferença parcial de pressão de gás entre os lados adjacentes da membrana e l é a espessura da membrana.

Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

$$j = DA \frac{\Delta p}{l} \quad (34)$$

O coeficiente de difusão é:

$$D = \frac{S}{\sqrt{M}}$$

onde, S é a solubilidade do gás parcial que se difunde e,
 M é a sua massa molar.

Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

Tabela: Solubilidade de alguns gases

O_2	1.0
CO_2	20.3
CO	0.81
N_2	0.53
He	0.95

Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

Lei de Graham

Nas mesmas condições de temperatura e pressão, a velocidade de difusão e efusão dos gases (seu espalhamento em outro meio) é inversamente proporcional à raiz quadrada da sua densidade.

$$v_1 = v_2 \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \quad (35)$$

Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

Assim, percebe-se através da lei Graham que, quando um gás se difunde por outro meio gasoso, a sua densidade interfere na velocidade dessa difusão. Quanto menos denso for o gás, maior é a sua velocidade de difusão e efusão.

Efusão é a propriedade que os gases têm de passar através de pequenos orifícios.

Gases ideais: Troca de O_2/CO_2 entre pulmões e sangue

A lei Graham também pode ser expressa em função das massas molares, tendo em conta que a temperatura e pressão são as mesmas para as duas substâncias.

$$v_1 = v_2 \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} \quad (35a)$$

Resolver os exercícios da AP# 2 e apresentar as possíveis dúvidas nas aulas práticas.

FIM DA AULA



**Se estudar é pesado, então
está no lugar errado!!**

Mecânica dos
Fluidos
Belarmino Luís
Matsinhe

Sumário

Conceitos gerais

Propriedades
mecânicas dos
fluidos (PMF's)

Hidrostática

Manômetros

Hidrodinâmica

Fluidos gasosos

Fluidos gasosos