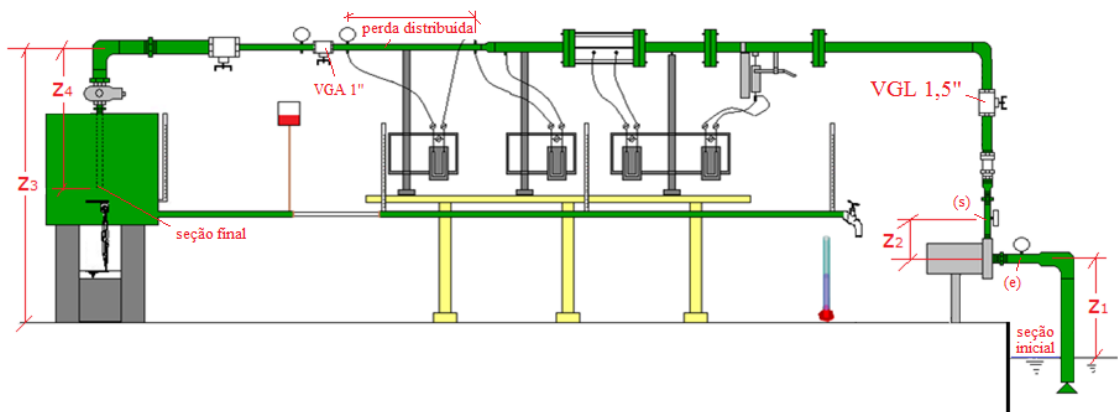


**GUIA DE ESTUDOS DE
FENÔMENOS DE TRANSPORTE
PARA ENGENHARIA CIVIL**



**Devemos assumir o
volante de nossa formação
Raimundo F Ignácio**

Capítulo 1 – Introdução, propriedades e leis básicas dos fluidos.

1.1.Introdução

A expressão **fenômenos de transporte** refere-se ao estudo sistemático e unificado da transferência de quantidade de movimento, energia e matéria. O assunto inclui as disciplinas de mecânica dos fluidos, de transferência de calor e de transferência de massa.

O transporte (transferência) destas grandezas e a construção de seus modelos guardam fortes analogias, tanto físicas como matemáticas, de tal forma que a análise matemática empregada é praticamente a mesma. Assim os problemas podem ser resolvidos de forma análoga: a partir da solução do problema de uma destas três disciplinas, modificando-se as grandezas nas equações, pode-se obter a solução para as outras duas áreas.

No nosso curso, já que ele será o alicerce para disciplinas futuras como Hidráulica, Instalações Prediais, Hidrologia, Saneamento e Portos Rios e Canais, optamos em estudar mecânica dos fluidos, que é a parte da física que estuda o fluido em repouso (hidrostática) e o fluido em movimento (hidrodinâmica).

Já que estaremos estudando os fluidos é fundamental conhecer o seu conceito e a sua classificação básica.

Fluido substância que não tem forma própria e estando em repouso não resiste a esforços tangenciais, por menores que estes sejam.

A primeira classificação dos fluidos: **líquidos e gases**, sendo que os líquidos apresentam um volume próprio, enquanto os gases não, pois têm volume igual ao recipiente que os contem.

1.2.Dimensões, homogeneidade e unidades

As características de um fluido podem ser descritas tanto qualitativamente como quantitativamente.

O aspecto qualitativo é utilizado para identificar as grandezas que definem as características do fluido, enquanto que o aspecto quantitativo define o valor numérico das características do fluido o que implica dizer que é utilizado um sistema de unidade, que para os nossos estudos estará de preferência alicerçado no SI (Sistema Internacional) e nele as grandezas fundamentais para os estudos de FT são: **M** (massa), **L** (comprimento), **T** (tempo) e **θ** (temperatura).

As demais grandezas são consideradas derivadas e devem ser definidas em função das grandezas fundamentais e isto originará **as equações dimensionais**.

Exemplos:

- v = velocidade média do escoamento, que é uma grandeza derivada.

$$\text{Qualitativamente: } [v] = \frac{L}{T} = L \times T^{-1}$$

$$\text{Quantitativamente: } [v]_{SI} = \frac{m}{s}$$

- segunda lei de Newton: $F = m \times a$, ou seja, **força** (F) é igual a **massa** (m) vezes a **aceleração** (a), neste caso, temos: **força** (F) = grandeza derivada, **massa** (m) = grandeza fundamental e **aceleração** (a) grandeza derivada.

$$\text{Qualitativamente: } [F] = M \times \frac{L}{T^2} = M \times L \times T^{-2}$$

$$\text{Quantitativamente: } [F]_{SI} = kg \times \frac{m}{s^2} = N$$

Importante: só devemos efetuar análise quantitativa de equações homogêneas, ou seja, aquelas que apresentam **as unidades do lado esquerdo iguais as unidades do lado direito da equação**.

Síntese: **DIMENSÕES** = análise qualitativa; **HOMOGENEIDADE** = exigência para trabalharmos com equações e **UNIDADES** = análise quantitativa, a qual exige um sistema de unidade, que para o nosso estudo será preferencialmente o SI.

1.3. Massa específica

Uma das mais comuns e importantes propriedades do fluido é a sua massa específica (ρ), **que é definida pela relação entre a massa e o volume e formará a nossa equação 1:**

$$\rho = \frac{m}{V}$$

equação 1

ρ = massa específica do fluido

m = massa do fluido

V = volume do fluido

Em relação a massa específica do fluido, pede-se:

- sua equação dimensional,
- a relação entre a sua unidade no SI e no CGS, que adota como unidades fundamentais: **massa** = grama (g), **comprimento** = centímetro (cm) e **tempo** = segundo (s)

$$\text{Qualitativamente: } [\rho] = \frac{M}{L^3} = M \times L^{-3} \rightarrow \text{equação dimensional}$$

Sabemos que: 1 kg = 1000 g e 1 m³ = 10⁶ cm³, portanto:

$$[\rho]_{SI} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{10^3 \text{ g}}{10^6 \text{ cm}^3} = 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = 10^{-3} [\rho]_{CGS}$$

Importante: é fundamental fazer a distinção entre **peso** (G) e **massa** (m), já que $G = m \times g$

Exercício 1: um dado líquido contido em um reservatório de volume igual a 10000 L tem uma massa igual a 10 toneladas, pede-se: especificar sua massa específica no SI e especificar seu peso no SI.

Para resolver o exercício é fundamental observar a homogeneidade da equação, portanto no SI, temos: $[\rho]_{SI} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, o que implica que a massa tem que ser dada em kg e o

volume em m³, por outro lado, sabemos que 1 tonelada = 1000 kg e 1 L = 10⁻³ m³, portanto:

$$[\rho]_{SI} = \frac{10 \times 1000 \text{ kg}}{10000 \times 10^{-3} \text{ m}^3} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{e} \quad \text{como} \quad G = m \times g, \quad \text{temos} \quad \text{que} \\ G = 10000 \times 9,8 = 98000 \text{ N}$$

1.4. Peso específico e peso específico relativo

Definimos peso específico (γ) **como sendo a relação entre o peso (G) e o volume (V)** e originará a equação 2.

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{m \times g}{V} = \rho \times g \quad \text{equação 2}$$

$$\text{Qualitativamente: } [\gamma] = \frac{M \times L \times T^{-2}}{L^3} = \frac{M}{L^2 \times T^2} = M \times L^{-2} \times T^{-2}$$

$$\text{Quantitativamente: } [\gamma]_{SI} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \times \text{s}^2} = \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

O peso específico relativo (γ_R) é um número adimensional (número puro) que indica a relação entre o peso específico do fluido e o peso específico padrão, no caso dos líquidos o peso específico padrão é o d'água definido a 4°C:

$\gamma_{\text{padrão líquidos}} = \gamma_{\text{água}_{4^{\circ}\text{C}}} = 1000 \times g \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$. **Para a América Latina:**
 $g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \therefore \gamma_{\text{padrão líquidos}} = \gamma_{\text{água}_{4^{\circ}\text{C}}} = 9800 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$ e que dá origem a equação 3 que define o peso específico relativo:

$$\gamma_R = \frac{\gamma}{\gamma_{\text{padrão}}} \Rightarrow \gamma_R = \frac{\gamma_{\text{líquido}}(\text{N/m}^3)}{9800} \quad \text{equação 3}$$

$$\text{Qualitativamente: } [\gamma_R] = \frac{M \times L^{-2} \times T^{-2}}{M \times L^{-2} \times T^{-2}} = M^0 \times L^0 \times T^0$$

Importante: o peso específico relativo (γ_R) é igual a massa específica relativa (ρ_R), onde

para líquidos $\rho_{\text{padrão líquidos}} = \rho_{\text{água}_{4^{\circ}\text{C}}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ (equação 4).

$$\rho_R = \frac{\rho}{\rho_{\text{padrão}}} = \gamma_R \Rightarrow \rho_R = \frac{\rho_{\text{líquido}}(\text{kg/m}^3)}{1000} \quad \text{equação 4}$$

Para os gases a massa específica padrão é a do ar nas CNPT.

Exercício 2: O peso específico relativo de certo líquido é 1,8. Determine a sua massa específica e o seu peso específico no SI de unidades.

$$1,8 = \frac{\rho}{1000} \therefore \rho = 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \Rightarrow \gamma = \rho \times g = 1800 \times 9,8 = 17640 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Exercício 3: Um reservatório cúbico de 42875 litros aberto à atmosfera tem 3/5 de sua capacidade preenchida por um líquido de massa específica relativa igual a 0,82, especifique a massa do líquido nesta situação no SI.

$$V_{\text{reservatório}} = 42875 \text{L}$$

Temos o líquido considerado ocupando 3/5 da capacidade do reservatório, portanto: $V_{\text{líquido}} = \frac{3}{5} \times 42875 = 25725 \text{L}$

$$\text{Como } 1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L, temos: } V_{\text{líquido}} = \frac{25725}{1000} = 25,725 \text{m}^3.$$

Por outro lado, sabemos que a massa específica é constante, portanto para um volume de $25,725 \text{ m}^3$ existe uma massa m correspondente que mantém a massa específica constante, portanto: $\rho = \frac{m}{25,725 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$.

Evocando o conceito de massa específica relativa, temos: $\rho_R = \frac{\rho}{\rho_{\text{padrão}}}$.

Para **líquidos** a massa específica padrão é a da água a 4°C , portanto: $\rho_{\text{padrão}} = 1000 \text{ kg/m}^3$

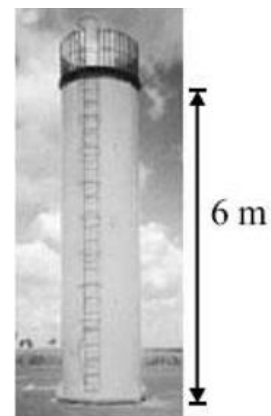
$$\text{Portanto: } 0,82 = \frac{\rho}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \therefore \rho = 820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{m(\text{kg})}{25,725(\text{m}^3)} \Rightarrow m = 210945 \text{ kg}$$

Exercício 4: A massa específica de um combustível leve é 805 kg/m^3 . Determinar o seu peso específico e a sua massa específica relativa.

Exercício 5: Um reservatório graduado contém 500 ml de um líquido que pesa 8,5 N. Determinar o peso específico, a massa específica e a massa específica relativa do líquido.

Exercício 6: Uma solução líquida de sulfato de alumínio tem uma massa específica relativa igual a 1,328. Calcular: a) a massa total dessa solução dentro de um reservatório que contém 255 m^3 da mesma; b) o peso específico do sulfato de alumínio em um local com a aceleração da gravidade igual a $9,8 \text{ m/s}^2$.

Exercício 7: A figura abaixo mostra um reservatório de água na forma de um cilindro circular reto, com 6 m de altura. Quando está completamente cheio, o reservatório é suficiente para abastecer, por um dia, 900 casas cujo consumo por casa é de 500 litros de água. Sabendo que ele está situado na cidade de Amparo que tem a aceleração da gravidade aproximadamente igual a $9,8 \text{ m/s}^2$, pede-se: o diâmetro aproximado da base do reservatório e o peso que o volume total da água exerce na base do reservatório. **Dado:** $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$



Exercício 8: Um reservatório de glicerina tem uma massa de 1450 kg e um volume de 1189,5 L. Determine o peso, o peso específico, a massa específica e a massa específica da glicerina.

Exercício 9: Um corpo necessita de uma força de 250 N para adquirir uma aceleração de $0,85 \text{ m/s}^2$, especifique a massa do corpo.

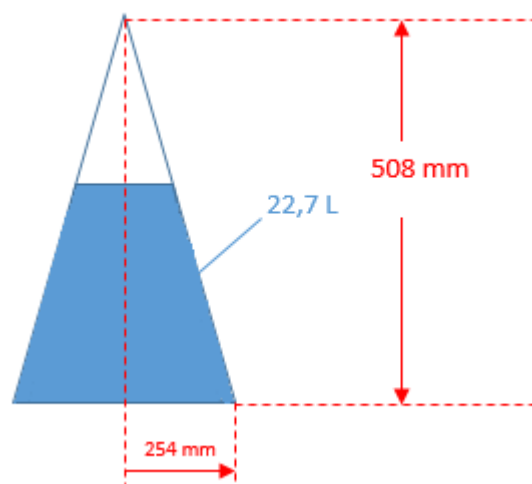
Exercício 10: O álcool etílico tem uma massa específica relativa igual a 0,79 e será armazenado em um reservatório cônico. Sabendo que por limitação de espaço a altura do cone será de 5 m, especifique o raio aproximado do mesmo, sabendo que armazenará 16,5 toneladas de álcool etílico.

$$0,79 = \frac{\rho_{\text{álcool etílico}}}{\rho_{\text{padrão}}} = \frac{\rho_{\text{álcool etílico}}}{1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)} \therefore \rho_{\text{álcool etílico}} = 0,79 \times 1000 = 790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$790 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{m(\text{kg})}{V(\text{m}^3)} = \frac{16,5 \times 1000(\text{kg})}{V(\text{m}^3)} \therefore V = \frac{16500}{790} \cong 20,89 \text{ m}^3 = \frac{1}{3} \times A_{\text{base}} \times \text{altura}$$

$$20,89 = \frac{1}{3} \times \pi \times R^2 \times 5 \Rightarrow R = \sqrt{\frac{20,89 \times 3}{\pi \times 5}} \cong 2 \text{ m}$$

Exercício 11: Encontre a massa e a altura da superfície livre de um volume de 22,7 L de água que é colocado em um tanque cônico de 508 mm de altura, com um raio de base igual a 254 mm. Especifique também o volume de água adicional e o peso correspondente ao mesmo, que é necessário para encher completamente o tanque?



Dado:

$$\rho_{\text{água}} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$