Guia de estudos de fenômenos de transporte (FT) – engenharia civil

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 e Saneamento, 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.

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

  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.

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

  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 da mais comum e importante propriedade 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)

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

Sabemos que: 1 kg = 1000 g e 1 m³ = 10^6 cm³, portanto: $[\rho]_{SI}=\frac{kg}{m^3}=\frac{10^3 g}{10^6 cm^3}=10^{-3}\frac{g}{cm^3}=10^{-3}[\rho]_{CGS}$

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: $[\rho]_{SI}=\frac{kg}{m^3}$, portanto 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: $[\rho]_{SI}=\frac{10\times 1000\,kg}{10000\times 10^{-3}\,m^3}=1000\frac{kg}{m^3}$ e sabemos que $G=m\times g=10000\times 9{,}8=98000N$.

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.

$$\gamma=\frac{G}{V}=\frac{m\times g}{V}=\rho\times g \qquad \textbf{equação 2}$$

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

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

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 4^0C: $\gamma_{padrão_{líquidoss}} = \gamma_{água_{4^0C}} = 1000 \times g \frac{N}{m^3}$. **Para a América Latina:** $g = 9{,}8 \frac{m}{s^2} \therefore \gamma_{padrão_{líquidoss}} = \gamma_{água_{4^0C}} = 9800 \frac{N}{m^3}$ e que dá origem a equação 3 que define o peso específico relativo:

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

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 $\rho_{padrão_{líquidos}} = \rho_{água_{4^0C}} = 1000 \frac{kg}{m^3}$ (equação 4).

$$\rho_R = \frac{\rho}{\rho_{padrão}} = \gamma_R \Rightarrow \rho_R = \frac{\rho_{líquido}\,(kg/m^3)}{1000}$$ **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.

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

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.

$$V_{reservatório} = 42875L$$

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

Como 1 m³ = 1000 L, temos: $V_{líquido} = \frac{25725}{1000} = 25{,}725m^3$.

Por outro lado, sabemos que a massa específica é constante, portanto para um volume de 25,725 m³ existe uma massa m correspondente que mantém a massa específica constante, portanto: $\rho = \frac{m}{25{,}725}\left(\frac{kg}{m^3}\right)$.

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

Para **líquidos** a massa específica padrão é a da água a 4^0C, portanto: $\rho_{padrão} = 1000 kg / m^3$

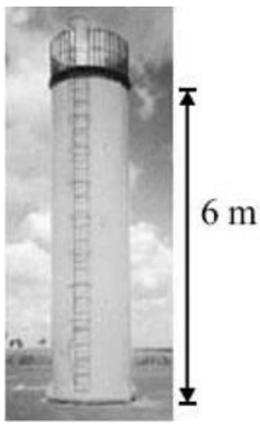
Portanto: $0{,}82 = \frac{\rho}{1000\frac{kg}{m^3}} \therefore \rho = 820\frac{kg}{m^3} = \frac{m(kg)}{25{,}725(m^3)} \Rightarrow m = 21094{,}5 kg$

Exercício 4: A massa específica de um combustível leve é 805 kg/m³. 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 m³ da mesma; b) o peso específico do sulfato de alumínio em um local com a aceleração da gravidade igual a 9,8 m/s².

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 m/s², pede-se: o diâmetro aproximado da base do reservatório e o peso que o volume total da água exerce na base do reservatório. **Dado:** $\rho_{água}$ = 1000 kg/m³



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 m/s², especifique a massa do corpo.

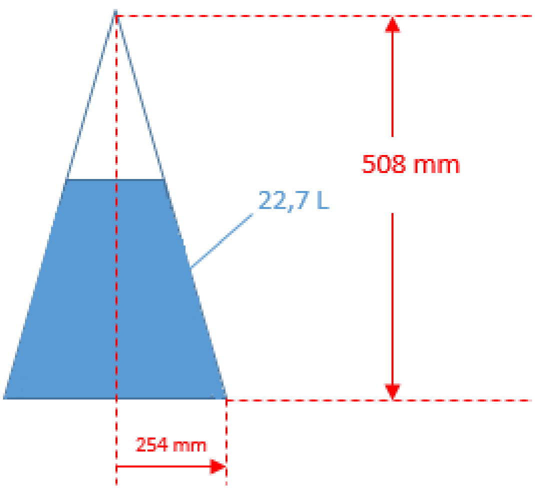
Exercício 10: O álcool etílico tem uma massa específica relativa igual a 0,79 e será armazenado em um reservatório cônico. Sabendo que por limitação de espaço a altura do cone será de 5 m, especifique o raio aproximado do mesmo, sabendo que armazenará 16,5 toneladas de álcool etílico.

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

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

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

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:

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