Responsáveis: Rafael Bueno e Lediane Marcon
Disciplina: Mecânica dos Fluídos II
Professor: Tobias Bleninger
Tema: Ondas Internas
Data: 31/05/2017
Contato rafael.bueno.itt@gmail.com

Introdução

Ondas podem ocorrer na interface entre dois fluidos que apresentam diferentes valores de massa específica e que são submetidos a uma forçante de instabilidade. No caso específico de ondas internas, a diferença da massa específica entre os fluidos é muito pequena. Este efeito causa um grande impacto na propagação destas ondas, afetando inclusive a forma de realizar a modelagem destas ondas. A modelagem deste sistema é semelhante ao sistema apresentado em sala, no entanto, a condição de contorno da superfície do sistema foi considerada rígida. Essa condição de contorno negligência as ondas superficiais. Assim, a relação de dispersão obtida é

$$\rho_1 \frac{\omega^2}{k} \frac{1}{\tanh kh_1} + \rho_2 \frac{\omega^2}{k} \frac{1}{\tanh kh_2} = g(\rho_2 - \rho_1) \tag{1}$$

onde ρ_1 é a massa específica da camada 1, ρ_2 é a massa específica da camada 2, h_1 é a espessura da camada 1, h_2 é a espessura da camada 2, ω é a frequência angular, k é o número de ondas e g é a aceleração da gravidade.

Objetivo

Verifique a propagação de ondas internas em um sistema de 2 camadas e compare os resultados obtidos com a teoria de ondas internas.

Materiais & Equipamentos

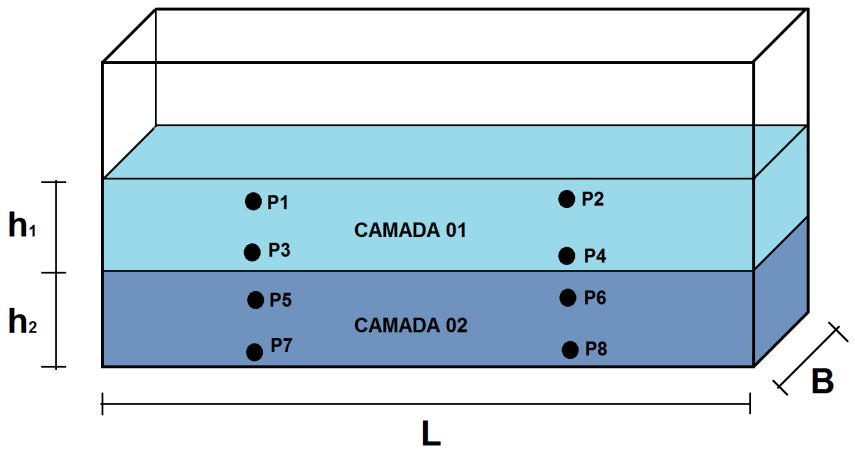


Figura 1: Tanque para a formação das ondas internas.

Procedimento experimental

Validação da curva

- Medir a massa específica de duas amostras de água com auxílio de um picnômetro de 50 ml e verificar a condutividade destas amostras (uma amostra deve ser pura e outra deve conter sal).

Volume (ml)	**Massa (g)**			**Massa específica (kg/m)**	**Condutividade (mS)**
	Picnômetro	**Total**	**Água**		
50 ml					
50 ml					

- Verifique se os valores estão de acordo com a curva 3, que será utilizada durante todo o experimento.

Preparação do sistema

Crie um sistema com diferença de massa específica de aproximadamente 20 kg/m^3.

- Verifique as dimensões do tanque: L= _____metros, B= _____metros.
- Considerando que h_1= 21 cm e h_2= 29 cm, obtenha o volume de água requerido para cada camada: Volume 1 = _____m^3 e Volume 2 = _____m^3
- **Estime o volume de água através da vazão da torneira e compare com o volume estimado anteriormente**. Em uma vasilha, cronometre o tempo de enchimento da vasilha, determinando, assim, a vazão. Repita este passo quantas vezes achar necessário para uma melhor estimativa da vazão. Sem alterar a vazão da torneira, adicione água ao tanque. **Não esqueça de cronometrar o tempo**.

Teste	**Primeiro**	**Segundo**	**Terceiro**	**Definitivo**	**Tanque Principal**
Volume					
Tempo					
Vazão					

- Adicione a água da camada 2 no tanque.
- Meça a condutividade da água pura para estimar a massa específica da camada 1 e, consequentemente, obter a massa específica da camada 2. $\rho_2 = \Delta\rho + \rho_1$ = _____kg/m^3.
- Verifique qual deverá ser a concentração de sal adicionada para a massa específica da camada 2 calculada. Utilize para isso informações do gráfico 2.
- Multiplique a concentração de sal com o volume de água da camada 2 para a obtenção da massa de sal necessária. m_{sal} = _____kg = _____g.
- Adicione a massa de sal na camada 2 e misture bem até tornar o sistema todo homogêneo.
- Adicione água pura na camada 1. **Faça esta etapa com cuidado, utilize uma vazão muito baixa, principalmente próximo à interface entre as duas camadas.**
- Injete o corante na camada 2.
- Meça a condutividade do sistema nos pontos P1 a P8. Em seguida verifique a massa específica média de cada camada e a diferença com o gradiente estimado anteriormente.

Pontos	**Condutividade (mS)**	**Massa específica (kg/m)**	**Massa específica média (kg/m)**
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			

Execução do experimento

- Adicione o oscilador automático lentamente no sistema, configure o oscilador para baixa frequência. **Atenção: a frequência angular do oscilador deve ser menor do que a frequência de Brunt–Väisälä, requisito mínimo para que não ocorra misturas no sistema.**

$$\omega^2 < N^2 = \frac{g\Delta\rho}{(h_1 + h_2)\rho_2} \tag{2}$$

  onde N é a frequência de Brunt–Väisälä.

- Anote o comprimento de onda da onda interna formada e o período experimental

- Repita o procedimento anterior para uma frequência um pouco maior.

Teste	**Freq N (rad/s)**	λ**(m)**	$\mathbf{f}_{exp}$ **(Hz)**	ω_{exp}**(rad/s)**	$\mathbf{T}_{exp}$ **(s)**
01					
02					
03					
04					

- Utilize a expressão 3, derivada da equação 1, para calcular o período teórico. Verifique o erro relativo entre o valor teórico e experimental.

$$T^2 = \frac{2\pi\lambda(\rho_2 \tanh kh_1 + \rho_1 \tanh kh_2)}{g\Delta\rho \tanh kh_1 \tanh kh_2} \tag{3}$$

Teste	$\mathbf{T}_{exp}$ **(s)**	$\mathbf{T}_{teo}$ **(s)**	**ERRO** (%)
01			
02			
03			
04			

Tabelas

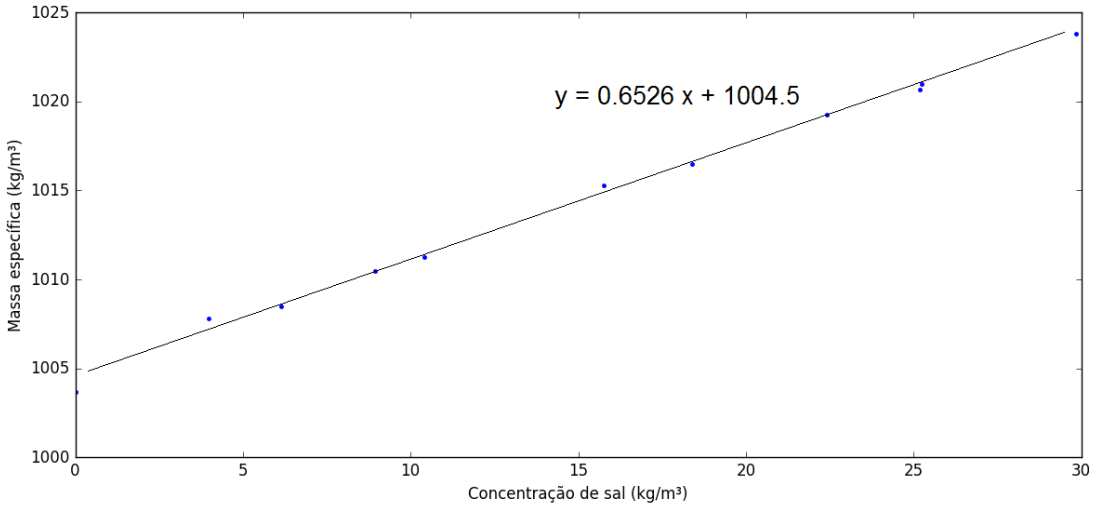


Figura 2: Curva da relação entre concentração de sal e massa específica da água.

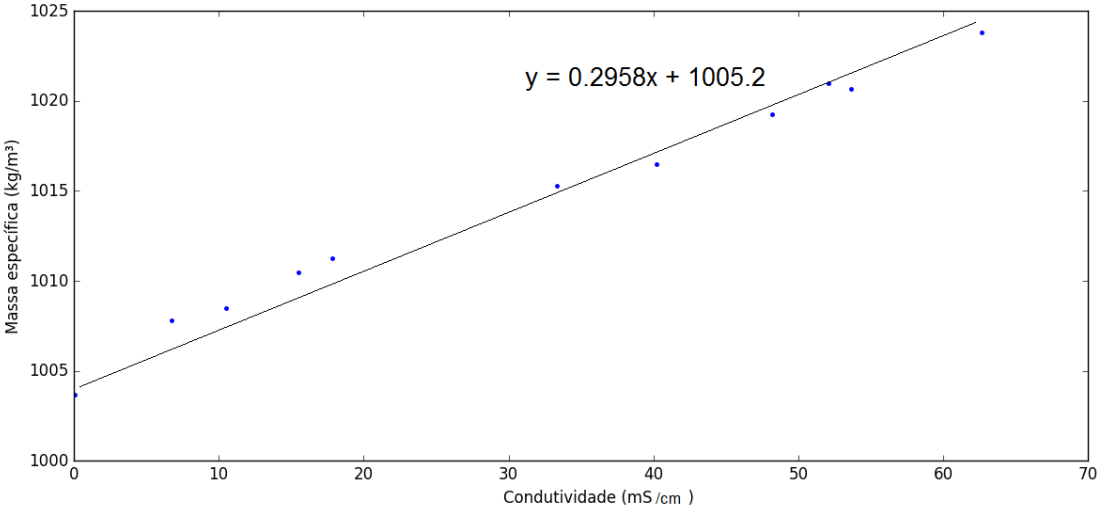
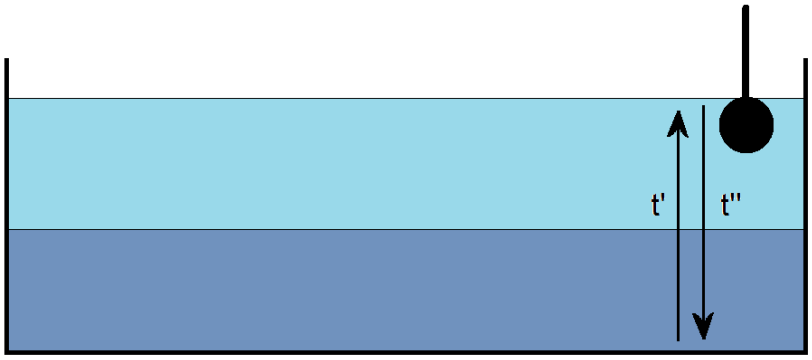


Figura 3: Curva da relação entre condutividade e massa específica da água.

Análise dos resultados

- Plote um gráfico da massa específica x altura e verifique a estratificação do sistema. Indique e comente onde encontra-se a região de maior estabilidade do sistema.
- Justifique de forma detalhada todas as simplificações envolvendo a solução das equações da quantidade de movimento e conservação da massa feitas na dedução da equação 1 para o sistema utilizado. Assim, comente também sobre as limitações do modelo e da validade para o tanque. **As simplificações são as mesmas feitas na dedução do modelo proposto em sala, no entanto, a superfície neste caso foi considerada rígida. Assim, não considere que a condição de contorno na superfície do sistema seja uma condição cinemática, mas uma condição sem oscilação, dada por**

$$\left.\frac{\partial \phi_1}{\partial z}\right|_{z=0} = 0 \tag{4}$$

- Simplifique a equação 3 para uma onda rasa ou profunda. Realize a simplificação que achar adequada explicando o motivo da simplificação escolhida. Compare o valor do período teórico obtido através da equação 3 e do período obtido através da simplificação realizada.
- A partir de *N*, estime o Δt mínimo para que não ocorra mistura no sistema. Considere Δt = t'+ t"