

# AÇÃO DE CORRENTES DE DENSIDADE SOBRE ESTRUTURAS CILÍNDRICAS: COMPARAÇÃO ENTRE SIMULAÇÕES NUMÉRICAS BI E TRIDIMENSIONAIS

ALUNO: Vinícios Prestes Morigi ([vinicios.morigi@ufrgs.br](mailto:vinicios.morigi@ufrgs.br))

ORIENTADORA: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Edith Beatriz Camaño Schettini ([bcamano@iph.ufrgs.br](mailto:bcamano@iph.ufrgs.br))

## INTRODUÇÃO

Correntes de Densidade são fenômenos que ocorrem quando um fluido mais denso, carregado de sedimentos, se propaga sobre outro fluido menos denso devido à ação exclusiva da gravidade (Fig. 1). Este fenômeno ocorre em deslizamentos de solo, dispersão de poluentes e avalanches, por exemplo.



Fig. 1 - Fluxo piroclástico desce a encosta do Monte Sinabung, Indonésia, 2014 (Reuters/Beawiharta).

Quando estas correntes ocorrem em ambiente submarino, estruturas como cabos de telecomunicações e oleodutos, ficam sob risco de impacto, o que pode causar rompimento por fadiga ou por exceder a carga planejada. Isto ocorreu no evento de Grand Banks, em 1929, na América do Norte, e em 2006, quando um terremoto próximo a Taiwan causou uma corrente de densidade que destruiu cabos de telecomunicação, interrompendo serviços de comunicação em várias partes da Ásia.

O objetivo deste trabalho é analisar a interação fluido-estrutura, comparando simulações numéricas 2D e 3D, avaliando suas vantagens e desvantagens.

## METODOLOGIA

As simulações consistem de uma corrente conservativa (sem depósito de sedimentos) na configuração de *lock-exchange*, com a barreira de contenção liberada no tempo inicial, formando a corrente. Um cilindro circular, em posição horizontal perpendicular à direção do escoamento com a corrente (Fig. 2) simula o conduto.

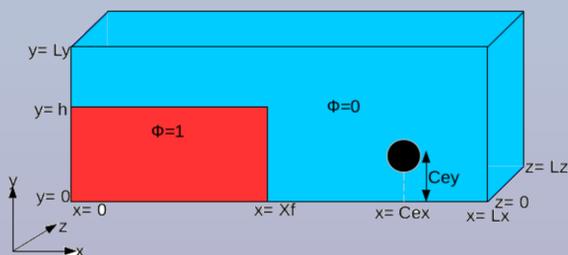


Fig. 2 - Configuração de *lock-exchange*, com os sedimentos sendo liberados no tempo inicial, formando a corrente.

Foram realizadas Simulações Numéricas Diretas (DNS) com o código *Incompact3D* modificado para simular correntes de densidade. Para a adimensionalização, foram utilizadas a velocidade de fluabilidade ( $u_b$ ), a altura do *lock-exchange* ( $h$ ), e as massas específicas mínima e máxima ( $\rho_{\min}$  e  $\rho_{\max}$ ):

$$u_b = \sqrt{g\Delta\rho/\rho} \quad \phi = \frac{\rho - \rho_{\min}}{\rho_{\max} - \rho_{\min}} \quad Re = \frac{u_b h}{\nu}$$

As equações da Continuidade, Navier-Stokes e de Transporte de sedimentos, assumindo a aproximação de Boussinesq, estão dadas por:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\nabla p + \phi \mathbf{e}_g + \frac{1}{Re} \nabla^2 \mathbf{u}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \phi = \frac{1}{Re Sc} \nabla^2 \phi$$

As condições de contorno utilizadas são de livre deslizamento em  $y = L_y$ ,  $z = 0$  e  $z = L_z$ . Nas demais fronteiras se aplica a condição de não-deslizamento. Foi utilizado um método de diferenças finitas compactas de sexta ordem para a aproximação das derivadas espaciais, e o método de Adams-Bashfort de terceira ordem para a integração temporal. O cilindro foi introduzido em uma malha cartesiana com o Método das Fronteiras Imersas (IBM). Para as simulações 3D, o código é paralelizado em múltiplos núcleos, utilizando o método *Message Passing Interface* (MPI).

## RESULTADOS

### Verificação

Para as simulações bidimensionais foi utilizado um código já verificado (Lucchese, 2015) com o trabalho numérico de Gonzalez-Juez et al. (2009). A corrente de densidade também já foi verificada para o caso 3D (Lucchese et al., 2017).

### Varição do Número de Reynolds

Para avaliar o efeito da tridimensionalidade com a variação do Número de Reynolds, os parâmetros são:

- $L_x = 15$ ;      -  $\Delta x = 0,0195$ ;      -  $C_{ex} = 7,5$ ;
- $L_y = 2$ ;      -  $\Delta y = 0,0206$ ;      -  $C_{ey} = 0,3$
- $L_z = 1$  (para 3D); -  $\Delta z = 0,0204$ ;      -  $X_f = 4$ ;
- $h=1$       -  $\Delta t = 0,0008$ ;      -  $D = 0,2$ .

Na figura 3 está representado o instante após o impacto ( $t=5$ ) para as simulações 2D e 3D, respectivamente, para o Número de Reynolds  $Re = 2000$ .

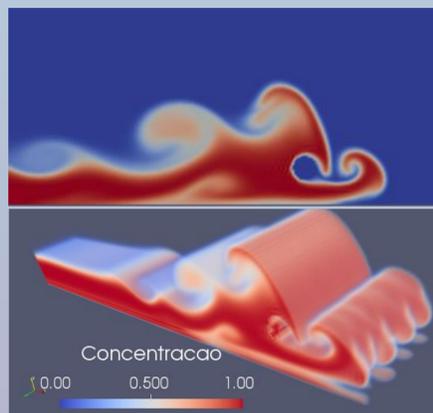


Fig. 3 - Frente da corrente de densidade no instante após o impacto, para os casos 2D e 3D, respectivamente, e  $Re=2000$ .

A frente de ambas as correntes é bastante semelhante no instante do impacto, com estruturas similares. Contudo, a corrente 3D mostra as instabilidades de lóbulos e fendas, geradas pelo efeito da tridimensionalidade do escoamento.

Os coeficientes de arrasto e sustentação estão representados nas figuras 4 a 6, para  $Re = 1000$ , 2000 e 5000. Os coeficientes 3D correspondem ao valor médio ao longo do eixo  $z$ , a fim de comparar com os 2D. O formato das curvas é semelhante em ambos os casos, com os 2D apresentando valores maiores, devido a não haver transferência de energia na direção transversal ( $z$ ). O coeficiente  $C_L$  apresenta as maiores diferenças entre os cálculos 2D e 3D, com uma clara superestimativa no cálculo 2D. O efeito da passagem da corrente é mais persistente no tempo para o caso 2D ( $t > 10$ ).

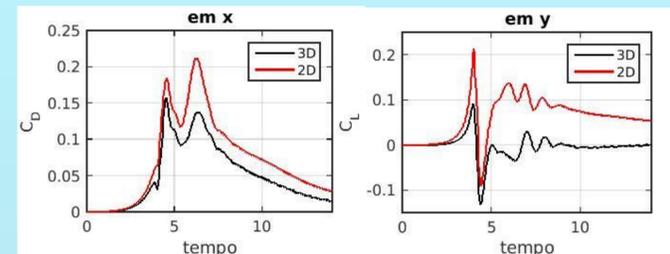


Fig. 4 - Coeficientes de Arrasto (a esquerda) e Sustentação (a direita) para Reynolds 1000, 2D em vermelho, 3D em preto.

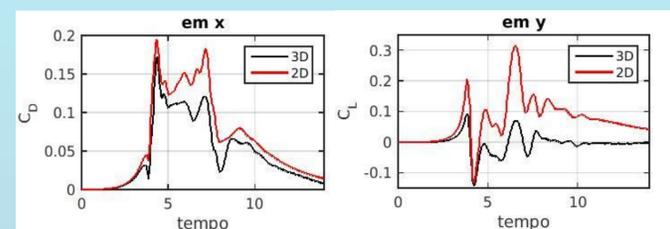


Fig. 5 - Coeficientes de Arrasto (a esquerda) e Sustentação (a direita) para Reynolds 2000, 2D em vermelho, 3D em preto.

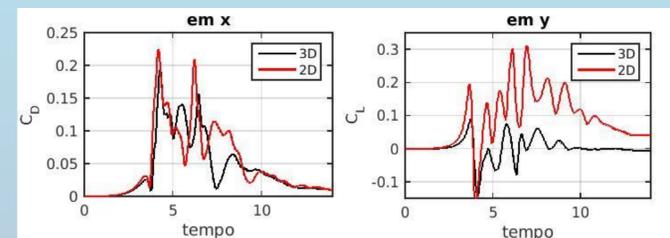


Fig. 6 - Coeficientes de Arrasto (a esquerda) e Sustentação (a direita) para Reynolds 5000, 2D em vermelho, 3D em preto.

## CONCLUSÃO

Nesse trabalho foram analisadas as forças atuantes sobre um conduto cilíndrico por impacto de uma corrente de densidade, comparando cálculos bidimensionais com tridimensionais.

Os menores resultados encontrados nas simulações 3D são oriundos da energia dissipada na direção transversal, que não existe no cálculo 2D. Para maiores números de Reynolds existe uma maior diferença entre 2D e 3D devido à riqueza de escalas turbulentas. Com o aumento do número de Reynolds também há uma maior oscilação dos coeficientes, mostrando a maior energia existente do fenômeno após o instante do impacto. Em consequência, os resultados obtidos por cálculos 3D representam melhor a realidade.

## AGRADECIMENTOS

O autor agradece à UFRGS pela concessão da bolsa de iniciação científica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Laizet S. & Li N., 2011, Incompact3d, a powerful tool to tackle turbulence problems with up to  $0(10^6)$  computational cores, Int. J. of Numerical Methods in Fluids, Vol 67-11, pp 1735-1757
- Lucchese, L. V., 2015. Simulação Numérica Direta (DNS) de Correntes de Densidade e a sua Interação com Estruturas Cilíndricas. Salão de Iniciação Científica (UFRGS, Porto Alegre, RS).
- Lucchese, L. V., Monteiro, L. R., Schettini, E. B. C., 2017. Direct Numerical Simulations of Turbidity Currents with Evolving Topography by Deposit. In: IUTAM Amerimech Dynamics of Gravity Currents Symposium.