

NETT

Núcleo de Estudos em Transição e Turbulência

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DIRETA DA INTERAÇÃO ENTRE CORRENTE DE DENSIDADE E ESTRUTURA CILÍNDRICA

Aluna: **Luísa Vieira Lucchese** (luisa.lucchese@ufrgs.br)
 Orientadora: **Prof^a. Dr^a. Edith Beatriz Camaño Schettini** (bcamano@iph.ufrgs.br)

INTRODUÇÃO

→ As correntes de densidade (Fig. 1) são originadas quando um fluido se propaga sob outro menos denso por ação da gravidade.



Fig.1 – Tempestade de areia na China, um exemplo de corrente de densidade.

A motivação do presente trabalho é analisar a dinâmica da interação das correntes de densidade com uma estrutura cilíndrica, visando simular as situações em que a corrente de densidade impacta sobre estruturas cilíndricas submersas, como emissários e oleodutos. Para tal, são realizadas simulações numéricas diretas (DNS), por meio do código *Incompact3d*, modificado para poder simular uma corrente de densidade. O objetivo central deste trabalho é a comparação dos efeitos de diferentes alterações nos parâmetros da interação corrente de densidade-estrutura. Adota-se, para os casos a analisar, um cilindro circular em posição horizontal e perpendicular à direção da corrente de densidade. Variam-se as dimensões e o posicionamento do conduto e são avaliadas as forças que atuam na interação estrutura – corrente de densidade.

METODOLOGIA

→ O código computacional *Incompact3d* (code.google.com/p/incompact3d/), código-livre, resolve as equações da Continuidade, Navier-Stokes e transporte difusivo-convectivo, com diferenças finitas de 6^a ordem, compactas. O código foi modificado para simular correntes de densidade e cilindros imersos.

As equações foram adimensionalizadas com a velocidade de fluabilidade ($u_b = \sqrt{g\Delta\rho/\rho}$), a altura do fluido mais denso na condição inicial (h), e a massa específica do fluido mais denso (ρ_1) correspondente à concentração $C_1 = 1$. Para caracterizar as diferenças de concentração entre os dois fluidos, foi utilizado o número de Grashof, que mostra a relação entre as forças de empuxo e as viscosas:

$$Gr = \frac{u_b^2 h^2}{\nu^2} \cong Re^2$$

Sendo $Sc = \nu/k$, as equações estão dadas por:

$$\nabla \cdot u = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u(\nabla \cdot u) = -\nabla p + \rho \vec{e}_g + \frac{1}{\sqrt{Gr}} \nabla^2 u$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \rho u = \frac{1}{\sqrt{Gr} Sc} \nabla^2 \rho$$

Na Figura 2 é apresentada a condição inicial (*lock-exchange*) e as dimensões. A estrutura cilíndrica permaneceu fixa e separada por uma distância constante do fundo durante a mesma simulação. A representação do obstáculo e feita com o Método das Fronteiras Imersas (IBM), por meio da inserção de um termo de força.

Foram implementadas as seguintes condições de contorno: todos os contornos são impermeáveis e sem transferência de massa através deles ($x=0, x=L_x, y=0, y=L_y$, cilindro), e foi imposta a condição de não-deslizamento.

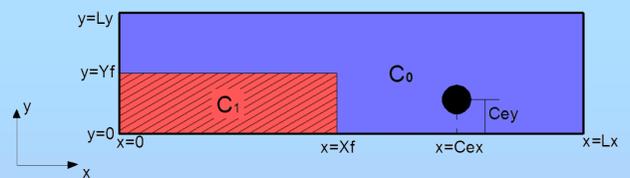


Fig. 2 – Condição inicial do escoamento no canal simulado

RESULTADOS

→ Foram analisados os três estágios da interação entre a corrente e o cilindro: impacto, transiente e quase-estável. Na Figura 3 são mostrados os campos de concentração e velocidade dos três estágios e na Figura 4 as linhas de corrente.

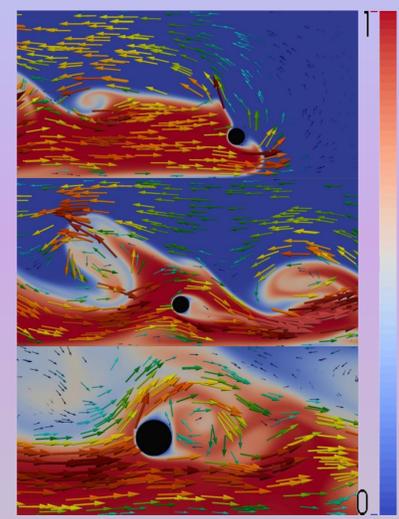


Fig.3 – Visualização dos estágios do escoamento: impacto, transiente e quase-estável ($Gr = 4 \cdot 10^6$).

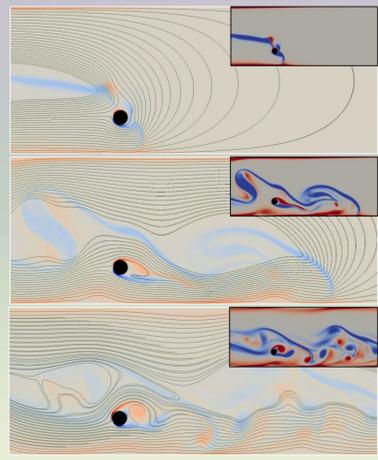


Fig.4 – Isolinhas de função corrente para os estágios impacto, transiente e quase-estável, e, no detalhe, os campos de vorticidade correspondentes ($Gr = 4 \cdot 10^6$).

Os campos de vorticidade da Fig. 4 mostram a formação da esteira de vórtices a jusante do cilindro. No estágio transiente, se observa a formação incipiente da esteira e, no quase-estável, o claro desprendimento de vórtices de Von Kármán. As linhas de corrente apontam a presença de recirculação nas regiões onde se desenvolvem as instabilidades de Kelvin-Helmholtz.

Simularam-se diferentes números de Grashof (Fig. 5), onde se observam os diferentes graus de mistura e turbulência, crescentes com o Gr .

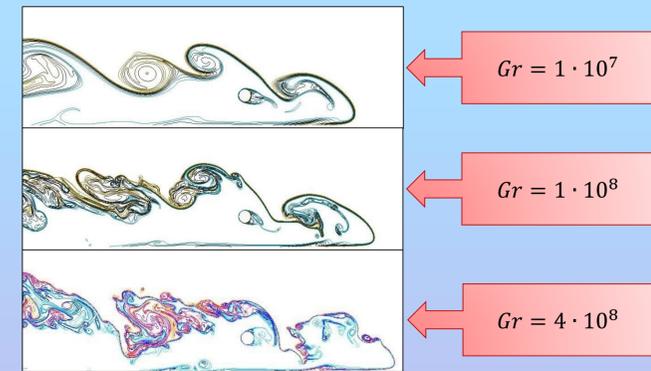


Fig. 5 - Isolinhas de concentração mostrando a passagem da corrente pela estrutura cilíndrica, para diferentes Gr .

Analisou-se diferentes C_{ey} (Fig. 6), observando que o cilindro pode atuar como uma comporta e como vertedor.

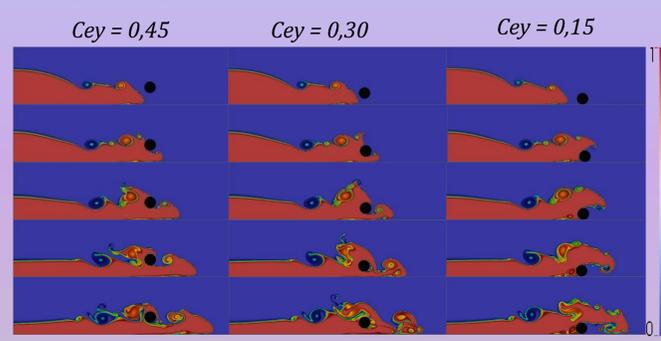


Fig.6 – Choque da corrente de densidade no cilindro para diferentes distâncias ao fundo do canal (C_{ey}).

CONCLUSÕES

→ A ação de uma corrente de densidade sobre uma estrutura cilíndrica foi analisada por meio da simulação numérica 2D, com resultados de campos de concentração, velocidade, vorticidade e linhas de corrente. No estágio quase-estável foi verificada a formação de uma camada de mistura na parte superior da corrente, característica de instabilidades do tipo Kelvin-Helmholtz. A distância do cilindro ao fundo do canal mostrou que a estrutura apresenta comportamentos que variam do escoamento tipo comporta a obstáculo de fundo. O aumento do número de Grashof causa maior atividade turbulenta deste escoamento.

AGRADECIMENTOS

→ As autoras agradecem à UFRGS pela concessão da bolsa de Iniciação Científica concedida à primeira autora.