



# Trabalho 01

Disciplina: Tópicos Especiais em Sistemas Térmicos

Professor: Adriano Possebon Rosa

Departamento de Engenharia Mecânica

Faculdade de Tecnologia

Universidade de Brasília

Instruções:

- o trabalho é individual. Você pode discutir os problemas com os seus colegas, mas cada um deve fazer o seu próprio trabalho e desenvolver suas próprias simulações;
- você pode utilizar qualquer software de CFD (recomendo o OpenFOAM);
- resolva os problemas e apresente gráficos das soluções. Explique e comente todos os gráficos que forem apresentados;
- o relatório com as respostas deve ser enviado em formato pdf, por meio do Moodle.

**Problema 1.** Estude o escoamento de um fluido newtoniano incompressível em uma cavidade cisalhante bidimensional de lado  $L$ . A cavidade é quadrada com três paredes fixas e uma parede se movendo a velocidade constante. Faça simulações para  $Re = 0.01, 10, 100, 400$  e  $1000$ . O escoamento é laminar.

1. Faça gráficos da pressão, das linhas de corrente e da vorticidade para todos os  $Re$ . Garanta que o escoamento chegou no regime permanente. Monitore o resíduo da velocidade e da pressão.
2. Faça um teste de convergência de malha para  $Re = 10$ . Use uma componente da velocidade, em um ponto, como variável de análise.
3. Faça gráficos de  $u$  em função de  $y$ , para  $x = 0.5L$ , e compare com os resultados de Marchi, Suero e Araki (2009) (ver tabela 6 do artigo).
4. Extra. Se você cursou MNT, compare com os resultados do seu código da cavidade também.
5. Extra. Resolva a simulação com uma malha com refinamento próximo às paredes e compare com o resultado para a malha sem refinamento.

**Problema 2.** Considere o escoamento laminar de um fluido newtoniano incompressível em uma junção T, como mostra a figura 1. A junção tem uma entrada e duas saídas. Os dois canais, principal e secundário, possuem largura  $D$ . Considere  $L = 3D$ . A pressão na saída é igual a 0 nos dois canais. Na entrada do canal principal, a velocidade pode ser uniforme ou parabólica.

1. Faça um teste de convergência de malha para  $Re = 100$ . Use a vazão na saída principal como variável de análise.

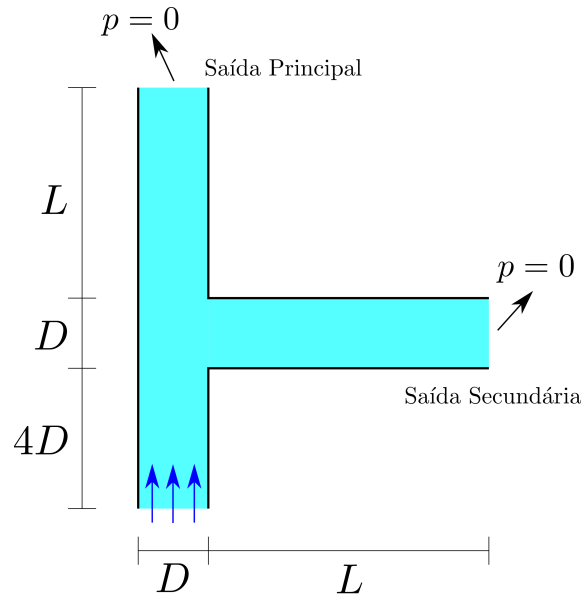


Figura 1: Junção T.

2. Simule os casos com  $Re = 1, 50, 100, 200, 400$  e  $600$ . Faça gráficos de linha de corrente, de vorticidade e de pressão. Calcule a razão entre a vazão volumétrica na saída principal e a saída secundária. Some as vazões nas saídas e verifique se esse valor coincide com a vazão de entrada. Compare os seus resultados com o resultado de Hayes, Nandakumar e Nasr-El-Din (1989) (ver figura 6 do artigo).
3. Extra. Diminua o tamanho do canal de saída secundária para  $0.5D$  e refaça as simulações. Compare novamente com os resultados de Hayes, Nandakumar e Nasr-El-Din (1989) (ver figura 6 do artigo).

**Problema 3.** Considere o escoamento laminar bidimensional de um fluido newtoniano incompressível em torno de um cilindro de diâmetro  $D$ .

1. Estude os casos com  $Re = 1, 30, 80$  e  $120$ . Faça gráficos de contorno da pressão e da velocidade. Faça gráficos das linhas de corrente. Quais são as condições de contorno para este caso?
2. Extra. Calcule o valor de  $F_D$  (força de arrasto) e de  $F_L$  (força de sustentação) ao longo do tempo. Em quais casos a simulação atinge o regime permanente? (Dica: use a função de pós-processamento *forcesIncompressible*.)
3. Considere agora um segundo cilindro posicionado a uma distância  $2D$  a jusante do primeiro. Simule para  $Re = 120$ . Faça gráficos da velocidade e da pressão.
4. Extra. Faça gráficos de  $F_L$  e  $F_D$  ao longo do tempo para os dois cilindros.

## Geometria e malha para o Problema 3.

Já percebemos que gerar malhas com o *blockMesh* é bem trabalhoso. Por isso, vamos aprender a usar o *gmsh* e, depois, o *snappyHexMesh*.

No exercício 3, precisamos de uma malha em torno de cilindro. Como ainda não vimos como usar o *gmsh*, vou fornecer duas malhas para vocês: uma de um cilindro e outra de dois cilindros. Ambas foram geradas com o *gmsh*. Todos os cilindros têm diâmetro de 1 *m*.

A malha de um cilindro está na pasta *cylinderOneCylinder*. Nesta pasta vocês vão encontrar os arquivos *oneCylinder.geo* e *oneCylinder.msh*. O arquivo *.geo* é o arquivo com os comandos do *gmsh* para gerar a geometria e a malha. O *gmsh* possui interface gráfica e também permite desenvolvimento por código (perfeito!). O arquivo *.msh* é a malha.

No entanto, a malha que está no arquivo *.msh* ainda não é apropriada para o OpenFOAM. Para podermos utilizar essa malha, temos que executar o comando

***gmshToFoam oneCylinder.msh***

Esse comando deve ser executado na pasta *cylinderOneCylinder*. Para o comando funcionar, é necessário a presença do arquivo *controlDict* (por isso incluí esse arquivo na pasta também).

Depois de dar o comando, vai aparecer a pasta *constant* com a pasta *polyMesh* dentro. Essa é a malha apropriada para o OpenFOAM.

Abra o arquivo *boundary* dentro da pasta *polyMesh*. Você vai ver que nós temos 6 superfícies de contorno: *frontAndBack*, *bottomWall*, *topWall*, *outlet*, *inlet* e *cylinder*. Note que todas estão com *type* igual a *patch*, que é o padrão. Temos que corrigir isso (obs.: não é necessário corrigir a variável *physicalType*). Para *frontAndBack*, coloque *empty*. Para *topWall*, *bottomWall* e *cylinder*, coloque *wall*. Para *inlet* e *outlet*, deixe *patch* mesmo, já que neste caso temos entrada e saída de fluido. Você pode visualizar a malha no *paraview*.

Agora você deve configurar o resto da simulação. Use a simulação do degrau como inspiração. Você vai precisar da pasta *0* com os arquivos *U* e *p* (aqui você vai definir as condições de contorno). Vai precisar também dos arquivos *momentumTransport* e *physicalProperties* na pasta *constant*, e dos arquivos *fvSchemes* e *fvSolution* na pasta *system*. Modifique o arquivo *controlDict* de acordo com a simulação também. Rode a simulação e veja se os parâmetros estão adequados.

Depois de dar tudo certo com a simulação de um cilindro, repita o procedimento para a malha com dois cilindros, que está na pasta *cylinderTwoCylinders*. Observe que agora temos *cylinder1* e *cylinder2*. Ambos devem ser tratados como paredes.

Observação 1: a malha para o caso com dois cilindros está bem melhor do que a malha para o caso com um cilindro. Por quê?

Observação 2: uma condição de contorno melhor para as paredes de cima e de baixo é a condição de simetria (*symmetryPlane*). Pesquise sobre essa condição e tente implementá-la.