

GRUPO 6

Mecânica dos Fluidos Computacional

Alaf Santos, Felipe Moreira, Gabriela Dias, Kaique Barcellos, Mateus Coelho



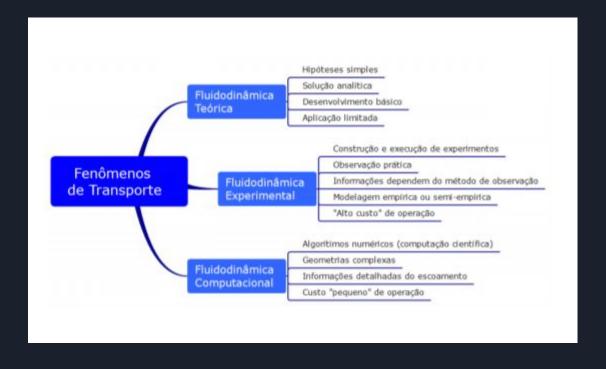
Introdução à Mecânica dos fluidos computacional

Definição

- > CFD: Computational Fluid Dynamic
- Conjunto das técnicas de simulação computacional usadas para predizer os fenômenos físicos ou físico-químicos que ocorrem em escoamentos.



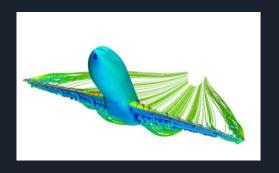
Por que utilizar?





Aplicações

- Simular difusão e convecção de substâncias fluidas nos mais diferentes ambientes, como salas de cirurgias, átrios, salas limpas etc.;
- Analisar a aerodinâmica e a aerotermodinâmica de veículos;
- Avaliar a refrigeração de equipamentos, como datacenter e microeletrônica, motores etc.;









Etapas de uma simulação numérica

utilizando a mecânica dos fluidos computacionais

Definir os objetivos da simulação

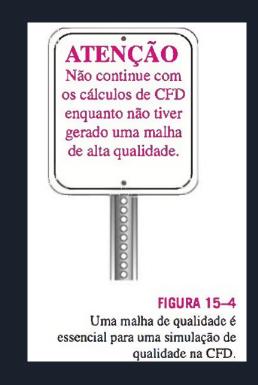
- > Inserir os dados de saída das análises e modelos físicos necessário;
- ➤ Fazer as simplificações possíveis;
- Avaliar as condições de contorno.
- > Definir os materiais que constituem o fluido a ser estudado e suas propriedades;





Criar a malha computacional

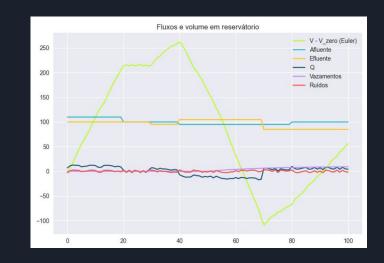
- ➤ Determinar quais os tipos de elementos e determinar o nível de qualidade da malha;
- As decisões devem ser tomadas com base na capacidade dos recursos computacionais, na precisão requerida e na disponibilidade de tempo em conjunto com estudos de convergência da malha





Cálculo da solução

Avaliar a convergência da solução, bom comportamento do processo interativo através de métodos numéricos.

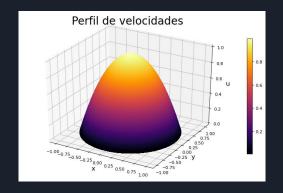




Pós-processamento

Análise dos resultados

- Obter velocidades e pressões de escoamentos em dada região de interesse, extrair os gráficos, tabelas, animações, linhas de correntes e etc.
- ➤ Validar o modelo: Comparar com dados experimentais ou analítico;
- Aplicar critérios e normas;
- ➤ Conclusões.





Resumo







Tipos de métodos numéricos

Métodos Numéricos - Resumo

- Possibilidades e limitações dos métodos numéricos;
- Componentes e Propriedades;
- Métodos de discretização.



Possibilidades e Limitações

- Simulação Numérica Direta DNS
- Simulação de Grandes Escalas
- Simulação com Média de Reynolds (modelos para turbulência)



Componentes e Propriedades

- Modelo Matemático
- Coordenadas
- Malha Numérica
- Aproximações Finitas
- Método de Solução
- Critério de Convergência
- Precisão
- Convergência



Método de Discretização

- Diferenças Finitas
- Elementos Finitos
- Volumes Finitos



Método das Diferenças Finitas

- É o método mais antigo para solução de EDP;
- Introduzido por Euler no século 18;
- É o mais fácil de ser utilizado em geometrias simples;
- Aproximações das derivadas são obtidas através da expansão em série de Taylor ou aproximação polinomial;
- Desvantagem: conservação, restrição a geometrias simples



Método dos Elementos Finitos

- É parecido com o método dos volumes finitos, com a diferença que as equações são multiplicadas por uma função peso antes de serem integradas em todo o domínio;
- O domínio é dividido em elementos discretos que podem ser quadriláteros ou triângulos;
- Geometrias complicadas, malhas são facilmente refinadas;
- Método dos paineis: Michael George Maunsell



Método dos Volumes Finitos

- Utiliza a forma integral das equações;
- O domínio é dividido em volumes de controle contíguos e as equações de conservação são aplicadas a cada um deles;
- As integrais de superfície e de volume são aproximadas por fórmulas de quadratura;
- Pode acomodar qualquer tipo de malha, é conservativo, fácil de programar;
- Difícil de se obter alta ordem pois possuem dois níveis de aproximação: interpolação e integração.





Principais Softwares

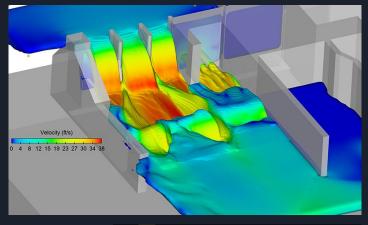
Principais Softwares em Mecânica dos Fluidos Computacional

- ANSYS
- FloEFD
- Surfer
- Delft3D
- MatLab
- Python

- Weather Research and Forecasting (WRF)
- Wavewatch III (WW3)
- Hybrid Coordinate Ocean Model (HYCOM)
- Qgis
- Arqgis



ANSYS



Ansys

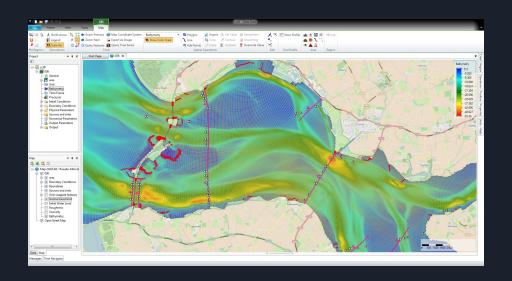
Baseado no método dos volumes finitos;

Algumas aplicações:

- Reologia
- Modelagem de turbulência
- Resfriamento de Máquinas



Delft3D



Delft3D é utilizado para modelagem 3D de problemas de hidrodinâmica, transporte e morfologia de sedimentos e qualidade da água para ambientes fluviais, estuarinos e costeiros.



Python

O Python é uma linguagem interpretada e fracamente tipada (não precisamos declarar o tipo de uma variável, por exemplo). Além disso, é uma linguagem de propósito geral. Portanto, pode ser utilizada para solucionar qualquer tipo de problema, o qual pode ser atendido com um sistema desktop, para a web ou mobile.

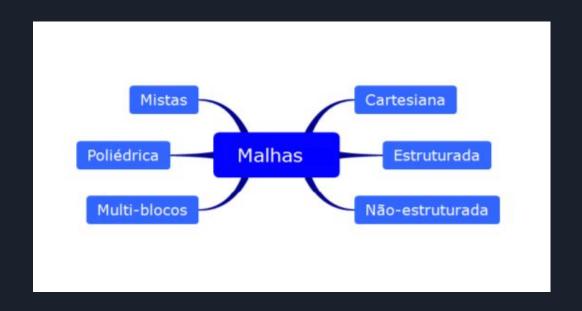




Geometria e Malha computacional

Malha computacional

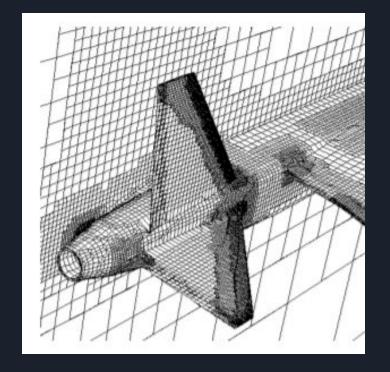
Uma malha computacional é uma representação ou a "discretização" do plano físico utilizado em uma simulação numérica.





Malhas Cartesianas

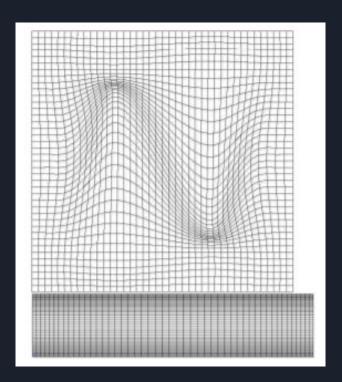
- Os elementos da malha são hexaedros.
- Existe um refino local para adequar a superfície da malha.





Malhas Estruturadas "Body-fitted"

- Malhas com elementos hexaédricos e regularmente conectados.
- ➤ A malha se adapta ao contorno.
- Difícil controlar o refino local da malha em geometrias complexas.

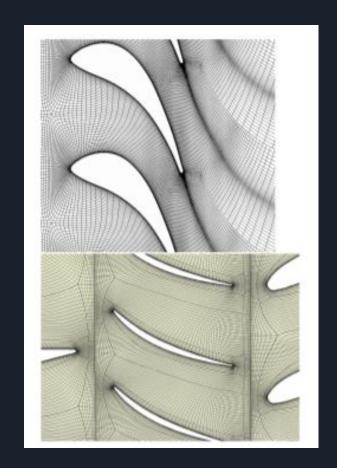




Malhas Multi-blocos

Composta por vários blocos de uma malha estruturada tipo "body-fitted".

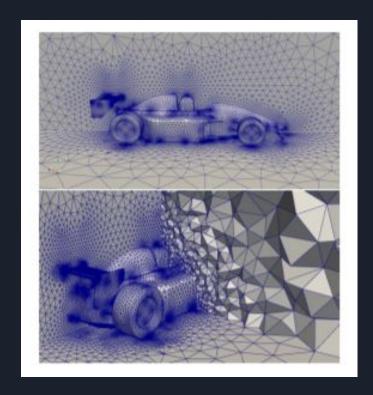
- Mais fácil criar um refino local em geometrias mais complexas.
- Pode ser um processo trabalhoso em adaptar os blocos na geometria.





Malhas Não-estruturadas

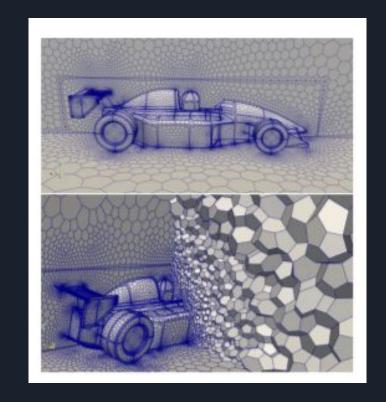
- Permite utilizar diversos elementos
 básicos diferentes: hexaedros, primas,
 cunhas, pirâmides etc.
- Pode apresentar baixo grau de ortogonalidade e deformação dos elementos básicos.





Malhas Poliédricas

- Utilização de elementos poliédricos.
- Metodologia mais confiável de geração de malhas automáticas.
- Pode gerar um tamanho de malha maior que o necessário para boa descrição do problema.

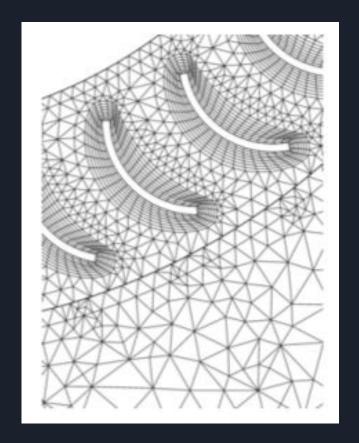




Malhas Mistas

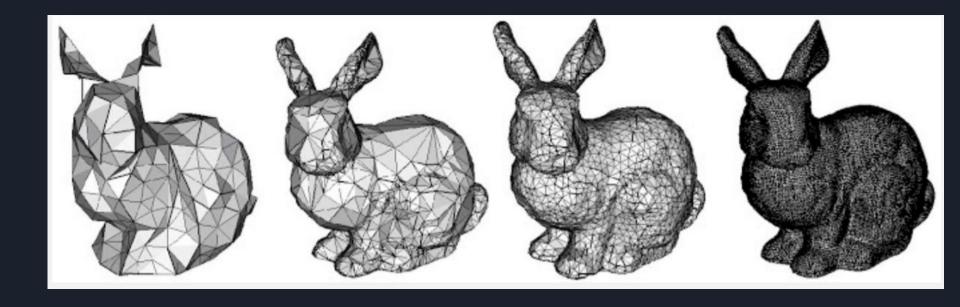
- Permite unir elementos hexaédricos com elementos de outra natureza (tetraedros, cunhas, poliedros etc).
- É o melhor tipo para descrever geometrias complexas.

Pode ser muito trabalhoso fazer uma boa malha.





Refino de malhas







Exercício Mecânica dos Fluidos Computacional

Considere o escoamento de um fluido com viscosidade μ e massa específica ρ no interior de um trecho de tubulação de seção transversal circular e diâmetro constante. Adotando-se o sistema de coordenadas cilíndricas, sabe-se que o perfil radial de velocidades é parabólico. Trata-se de um escoamento unidimensional axial e completamente desenvolvido. A velocidade máxima do escoamento é U, r é o eixo radial e R é o raio da tubulação. Considere o fluido Newtoniano e incompressível.





Deduza a expressão matemática do perfil radial de velocidades no interior da tubulação utilizando-se do conceito da condição de não-deslizamento;

Seja u a velocidade, r a distância do centro da tubulação, U a velocidade máxima do fluido e R o raio da tubulação, considerando que o perfil de velocidades é parabólico, temos que:





$$u = ar^2 + br + c$$

 $\overline{Parar = -R, u = 0}$

$$0 = aR^2 - bR + c$$

$$c = bR - aR^2$$

Para r = R, u = 0

$$0 = aR^2 + bR + bR - aR^2$$

$$b = 0$$





Para r = 0, u = umax = U

$$U = c = -aR^2$$

$$a = \frac{-U}{R^2}$$

Então

$$u = \frac{-U}{R^2}r^2 + U = U(1 - \frac{r^2}{R^2})$$

<u>Tendo U = 1 m/s</u> e R = 1 m

$$u = (1 - r^2)$$



$$r^{2} = x^{2} + y^{2}$$

$$x = r \cdot cos(\phi)$$

$$y = r \cdot sen(\phi)$$

Sendo $0 < \phi < 2\pi$



```
r_min = 0.00001
phi_min = 0
r_max = 1.0
phi_max = 2*np.pi
```

```
R = np.sqrt(X**2 + Y**2)
phi = np.arctan(Y/X)

u = (1 - (R**2)/(r_max**2))
```



Tensão de cisalhamento

Expresse graficamente a tensão cisalhante de um fluxo de água em função do raio da tubulação em que ele escoa com o perfil de velocidade deduzido anteriormente.

Partindo da lei da viscosidade de Newton:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dr}$$

Uma vez que para a água $\mu = 1,0020*10^{\circ}(-3)$ Pa*s, U foi definido como 1 m/s e R = 1 m, temos que

 $\tau = -1,0020 \cdot 10^{-3} \cdot 2r$

$$u = \frac{-U}{R^2}r^2 + U = U(1 - \frac{r^2}{R^2})$$

$$\tau = \mu \cdot \frac{-2U}{R^2} r$$

$$\tau = \mathbf{u} \cdot \frac{-2U}{R^2} r$$



Tensão de cisalhamento

```
r_min = 0.00001
phi_min = 0
r_max = 1.0
phi_max = 2*np.pi
```

```
R = np.sqrt(X**2 + Y**2)
phi = np.arctan(Y/X)
u = (1 - (R**2)/(r_max**2))
```

```
mi = 1.0020*10**(-3)

u_ = (1-(r**2)/(r_max**2))
tr_ = mi*u_.diff(r)

tr = []
for i in range(len(R)):
    tr.append(tr_.subs([(r, R[i])]))
```



MENTER, Florian R. Best practice: scale-resolving simulations in ANSYS CFD. ANSYS Germany GmbH, 2012, vol. 1.

J. H. Ferziger and M. Peric, 'Computational Methods for Fluid Dynamics', SpringerVerlag Berlin Heidelberg New York, 1997.

R. W. Fox e A. T. McDonald, 'Introdução a mecânica dos Fluidos', Guanabara, 1985.

H. Schlichting, 'Boundary Layer Theory', McGrawHill, 1979.



F. M. White, 'Fluid Mechanics', McGrawHill, 2001.

"Engineering Simulation & 3D Design Software | Ansys". Ansys.Com, 2020, https://www.ansys.com/. Accessed 1 Dec 2020.

"MODELO HYCOM | Centro De Hidrografia Da Marinha". Marinha.Mil.Br, 2020, https://www.marinha.mil.br/chm/dados-do-smm-paginas-modelagem-numerica/modelo-hycom. Accessed 1 Dec 2020.



"Weather Research And Forecasting Model | MMM: Mesoscale & Microscale Meteorology Laboratory". Mmm.Ucar.Edu, 2020, https://www.mmm.ucar.edu/weather-research-and-forecasting-model. Accessed 1 Dec 2020.

"About Delft3d - Delft3d - Oss.Deltares.NI". Oss.Deltares.NI, 2020, https://oss.deltares.nl/web/delft3d/about. Accessed 1 Dec 2020.

"Introdução a fluidodinâmica computacional. Disponível em: http://www.professores.uff.br/mitre/wp-content /uploads/sites/146/2017/09/CFD.pdf>. Acesso em: 01/12/2020.



"Processos de simulação a fluidodinâmica. Disponível em: https://www.esss.co/blog/processo-de-simulacao-fluidodinamica-cfd/. Acesso em: 01/12/2020.





GRUPO 6

Mecânica dos Fluidos Computacional

Alaf Santos, Felipe Moreira, Gabriela Dias, Kaique Barcellos, Mateus Coelho