

Solução do escoamento turbulento sobre uma placa plana com gradiente nulo de pressão com resolução da subcamada viscosa

Trata-se da solução do escoamento sobre uma placa plana paralela à corrente, com comparação dos resultados com a expressão da lei logarítmica e da lei da subcamada viscosa para uma placa lisa. Um esquema da geometria e das condições de contorno pode ser vista abaixo.

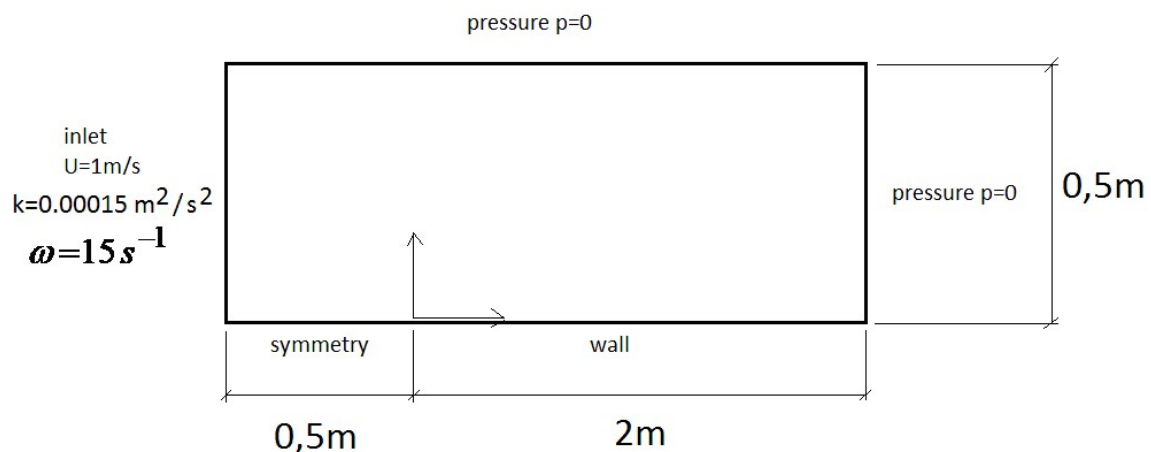


Fig. (1): Esquema e condições de contorno da simulação.

- 1) Escolha o diretório em que o caso vaio ser salvo e o nome do caso.
- 2) Importe a malha. No momento, vamos usar a malha do tipo GAMBIT “flatPlateViscousSublayer.neu”.
- 3) Após importar a malha, vá ao menu “Mesh” e especifique as condições de contorno que são do tipo “empty”, “symmetry”, “wall” e “patch”. A fronteira selecionada sempre fica na cor laranja.
- 4) Vá ao menu “Setup” e escolha o solver. No caso, queremos resolver escoamento permanente (*steady*) e incompressível. O solver será o simpleFoam.
- 5) Após a escolha do solver, use o menu “Turbulence” para escolher a modelagem de turbulência. Será usado o modelo RANS $k-\omega$ SST.
- 6) No menu “Transport properties” selecione o valor da viscosidade cinemática. Faça $\nu=1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, de forma a ter $Re_x=1 \times 10^6$ para $x=1\text{m}$, na metade da placa.
- 7) No menu “Discretization” existem quatro submenus, para a discretização temporal, espacial (*Convection*), cálculo dos gradientes e interpolações. Na discretização temporal, o problema é permanente (*Steady State*). Na discretização espacial, troque o esquema convectivo da quantidade de movimento de *upwind* para *linear upwind*. As demais opções podem ser deixadas em seus estados originais. Lembre-se que as grandezas turbulentas k e ω em geral devem ser resolvidas com o esquema *upwind*.

8) No menu de solução (*solution*) existem quatro submenus, “*Solvers*”, “*Simple*”, “*Residuals*” e “*Relaxation*”. Deixe os estados originais, menos o valor dos resíduos de encerramento e a relaxação. Baixe todos os resíduos para 10^{-5} . Utilize uma subrelaxação de 0.5 para pressão (no caso do algoritmo SIMPLE selecionado usar a opção *consistent*, ou seja, você estará usando o algoritmo SIMPLEC). Use subrelaxação 0.3 para velocidade, energia cinética e dissipação específica.

Se a partir de algum momento os resíduos não baixarem mais, mude a subrelaxação para 1.0 para a pressão e 0.1 para velocidade, energia cinética e dissipação específica.

9) Nos menus “*Operating Conditions*” e “*cell zones*” não mexa.

10) No menu “*Boundary Conditions*” estipule as condições para velocidades e pressões nas fronteiras que foram categorizadas como “*patch*”. Em entradas, tipicamente, estipule as componentes do vetor da velocidade e uma condição de Neumann de gradiente normal nulo para a pressão (*zeroGradient*). Utilize as condições de contorno da Fig. (1) para k e ω . Nas saídas tipicamente é o contrário, a velocidade e as grandezas turbulentas tem a condição de gradiente normal nulo e a pressão é especificada.

Na parede, use “*standard wall function*” para ω e para a viscosidade turbilhonar ν_t . A energia cinética k é $k=0$ na parede, pois estamos resolvendo a subcamada viscosa, onde a energia cinética turbulenta é nula. A velocidade tem condição de contorno de velocidade nula (0,0,0) (parede estacionária) e use gradiente nulo para a pressão. Não use para a velocidade a condição no-slip do openFOAM (embora em teoria seja isso mesmo, não funciona bem).

11) No menu “*Initial Conditions*” estipule a estimativa inicial para pressões e velocidades. Use os valores da corrente livre para inicializar velocidades e grandezas turbulentas.

12) Em “*Controls*” estipule a frequência com que quer salvar a solução.

13) Em “*Monitors*” não mexa.

14) Em “*Run*”, estipule o número de “*time-steps*”, o que é um nome impróprio uma vez que o solver é permanente. Para o simpleFoam, cada *time-step* é uma iteração. O valor do passo de tempo “*time-step*” obviamente é um. Assim, se escolher um “*end time*” igual a 100000, teremos no máximo 100000 iterações caso a convergência não ocorra.

15) Salve o caso em “*write case*” e rode em “*run calculation*”.

16) Após a convergência, pode-se checar o y^+ das células junto às paredes, o que é importante quando da utilização de modelagem de turbulência. Use o menu “*calculate*”, opção “*wall*” para checar se $y^+ < 1$, o que é praxe quando se usa um modelo $k-\omega$ para resolver a subcamada viscosa.

17) Vá para “*postProcessing*” e clique no botão do *paraView*.

18) No canto superior direito, em “*time*”, escolha a iteração que será visualizada.

19) Clique no botão “*apply*”.

20) No menu “*filters*”, em “*alphabetical*”, escolha “*plot over line*”.

21) Vamos escolher uma linha entre os pontos (1,0,0) e (1,0.03,0).

22) Deve ser obtido um perfil de velocidades para comparação com as expressões da subcamada viscosa e da camada logarítmica:

$$U^+ = y^+ \text{ para } y^+ < 5$$

$$U^+ = \frac{1}{\kappa} \ln y^+ + B \quad \kappa = 0.41 \quad B = 5 \text{ para } y^+ > 30$$

23) A velocidade de cisalhamento é obtida através da tensão de cisalhamento na parede. Feche momentaneamente o Paraview. Vá ao menu “*calculate*”, opção “*wall*” e calcule a “*wall shear stress*”.

24) Abra novamente o Paraview. Selecione a parede (Wall) para visualizar resultados e lembre-se de selecionar a tensão na parede (wallShearStress) para ser carregada.

25) Numa linha entre os pontos 0.01,0,0 e 2,0,0, plote e salve os dados da tensão na parede na direção x e do módulo de tensão de cisalhamento. A tensão na direção x será negativa, por conta da forma como o OpenFOAM a calcula. Use o módulo nos cálculos que se seguirão.

26) Use a tensão no ponto (1,0,0) para calcular a velocidade de cisalhamento. Lembre-se que:

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\rho}}, \text{ onde } \rho = 1 \text{ kg} / \text{m}^3$$

27) Aproveite e trace o coeficiente de atrito $c_f = \frac{\tau_o}{\frac{1}{2} \rho U^2}$ como uma função de

$\text{Re}_x = \frac{U x}{\nu}$. Compare com o resultado clássico da solução da equação integral de Von Kármán para o perfil da lei de 1/7:

$$c_f = \frac{0.059}{\text{Re}_x^{0.2}}$$