

IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO DE TURBULÊNCIA K-Ω SST EM UMA CAVIDADE TRIDIMENSIONAL

Diego Alves de Moro Martins

Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia
moromartins@gmail.com

Elie Padilla

epadilla@mecanica.ufu.br

Aristeu da Silveira Neto

aristeus@mecanica.ufu.br

Resumo: Este trabalho descreve a formulação e a implementação do modelo de turbulência SST (Shear Stress Transport) nas equações de Navier-Stokes em sua forma incompressível. A motivação para o uso do modelo de turbulência SST, é que este permite avaliar o escoamento nas regiões próximas às paredes sem a necessidade de refinamento da malha nessa região.

Palavras-chave: CFD, Turbulência, k-ω SST, cavidade.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo a simulação numérica de uma cavidade tridimensional com a tampa deslizante gerando um escoamento turbulento. Para tanto, resolvem-se numericamente as equações de Navier-Stokes em sua forma incompressível. Na solução deste caso de CFD (computational fluid dynamic) as equações foram discretizadas utilizando o método de volumes finitos, sendo que, malha utilizada era cartesiana, deslocada e uniforme. O domínio do sistema é tridimensional e unitário. O modelo de turbulência implementado foi o SST (Shear Stress Transport), este que permite também a avaliação mais precisa do escoamento nas regiões próximas às paredes sem o refinamento da malha nessas.

2. FORMULAÇÃO DO MODELO SST

O modelo de turbulência SST foi proposto por Menter (1994), é um modelo do tipo RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) e utiliza o equacionamento de dois outros modelos, $k-\varepsilon$ e o $k-\omega$. Sua formulação se dá de forma bem simplificada. Na região externa do escoamento se usa a formulação do robusto modelo $k-\varepsilon$, e onde esse se mostra pouco eficiente, na região próxima à parede, utilizam-se as equações de transporte do modelo $k-\omega$.

São duas as equações de transporte do modelo SST, sendo uma a equação da energia cinética turbulenta (k), Equação 1, e outra a taxa de dissipação específica de energia cinética turbulenta (ω), Equação 4.

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial u_i k}{\partial x_i} = \frac{\tilde{P}_k}{\rho} - \beta^* \omega k + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] \quad (1)$$

Onde u_i são as componentes de velocidade, ρ é a massa específica, μ é a viscosidade molecular, μ_t é a viscosidade turbulenta

O termo $\tilde{P}_k$ é dado por:

$$\tilde{P}_k = \min(P_k, 10\varepsilon) \quad (2)$$

Onde $\varepsilon = \omega^* \beta^* k$, e o termo P_k é dado por:

$$P_k = \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

A equação da taxa de dissipação de energia cinética turbulenta ω , no modelo SST é dada por:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u_i \omega}{\partial x_i} = \alpha S^2 - \beta \omega^2 + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\mu + \sigma_\omega \mu_t) \frac{\partial \omega}{\partial x_i} \right] + 2(1 - F_1) \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}. \quad (4)$$

Onde F_1 é definido como:

$$F_1 = \tanh \left\{ \left[\min \left(\max \left(\frac{\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right), \frac{4\rho \sigma_{\omega 2} k}{CD_{k\omega} y^2} \right) \right]^4 \right\} \quad (5)$$

e,

$$CD_{k\omega} = \max \left(2\rho \sigma_{\omega 2} \frac{1}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_i} \frac{\partial \omega}{\partial x_i}, 10^{-10} \right) \quad (6)$$

e y é a distância da superfície de não deslizamento.

As outras constantes são todas oriundas dos modelos $k-\varepsilon$ e o $k-\omega$ com alguns ajustes e são determinadas como: $\beta=0,09$; $\alpha_1=5/9$; $\beta_1=3/40$, $\sigma_{k1}=0,85$; $\sigma_{\omega 1}=0,5$; $\alpha_2=0,44$; $\beta_2=0,0828$; $\sigma_{k2}=1$ e $\sigma_{\omega 2}=0,856$. (Menter, 2003).

Nota-se que a viscosidade de turbulência é calculada neste modelo como:

$$\mu_t = \rho \frac{\alpha_1 k}{\max \left(\alpha_1 \omega, (S_{ij} S_{ij})^{\frac{1}{2}} F_2 \right)} \quad (7)$$

Onde $(S_{ij} S_{ij})^{\frac{1}{2}}$ é uma medida invariante do tensor taxa de deformação e F_2 é uma das funções de combinação e é determinada por:

$$F_2 = \tanh \left\{ \left[\max \left(\frac{2\sqrt{k}}{\beta^* \omega y}, \frac{500\nu}{y^2 \omega} \right)^2 \right] \right\} \quad (8)$$

Através do valor encontrado para as funções F_1 e F_2 , o modelo irá mudar a formulação nas equações de transporte, onde a função de mistura F_1 , Equação 5, é responsável pela determinação das constantes do modelo e pela troca de modelos na equação de transporte de ω , e F_2 , Equação 8, é responsável pela troca de modelos na formulação da viscosidade turbulenta.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os parâmetros usados na simulação numérica.

Tabela 1: Parâmetros da simulação numérica.

Especificações	Valores dos parâmetros
Passo de Tempo	0,05 s
Tempo final	240 s
Domínio	1 x 1 x 1
Malha	30 x 30 x 30
Viscosidade de fluido	1 x 10 ⁻⁴ m ² /s
Densidade do fluido	1 kg/m ³
Velocidade da tampa	1 m/s
Re	10000

As linhas de correntes observadas na Figura 1 mostram o comportamento turbulento para o Reynolds utilizado, apresentando as recirculações conforme o previsto.

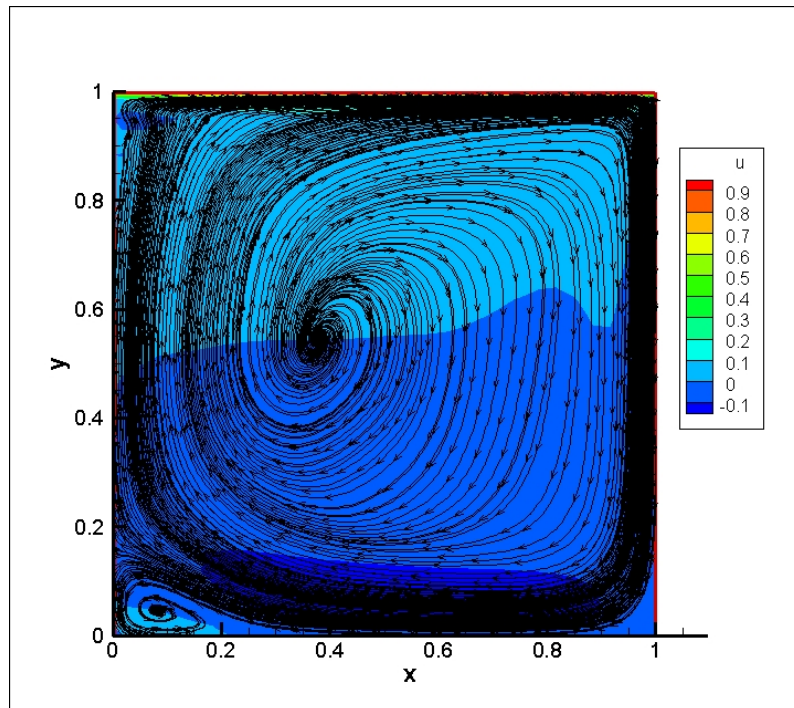


Figura 1: Linhas de correntes no perfil da velocidade em um plano z .

A Figura 2 mostra o comportamento tridimensional do escoamento com as linhas de corrente no instante final.

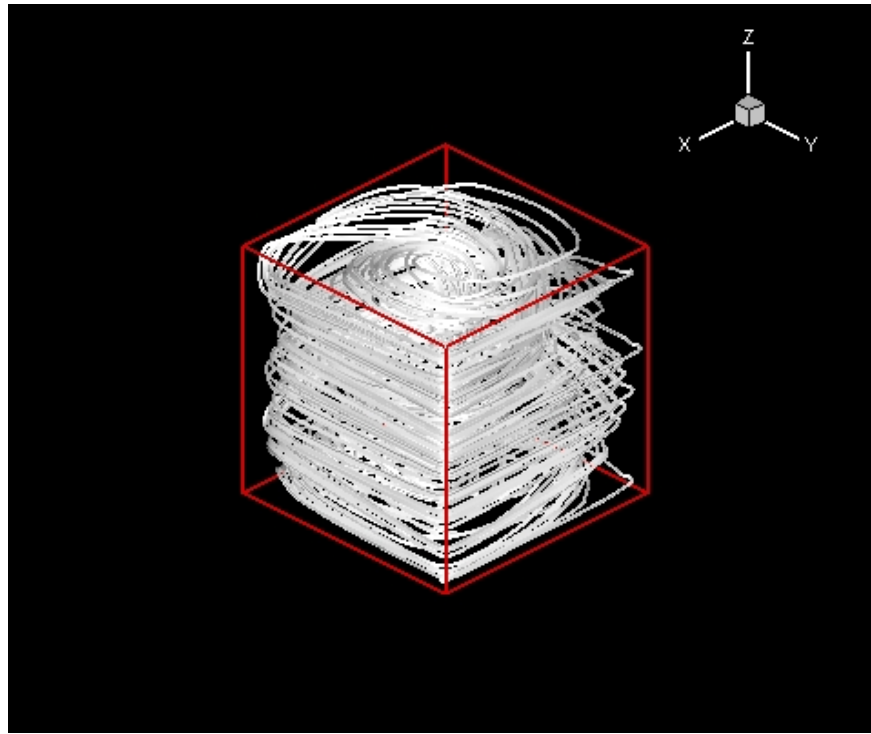


Figura 2: Linhas de corrente.

Observando nota-se que o regime do escoamento é transitório, mesmo com 240 s de cálculo. As Figuras 3 e 4 mostram respectivamente a comparação da média temporal das velocidades na direção x e y em um plano z no centro do domínio.

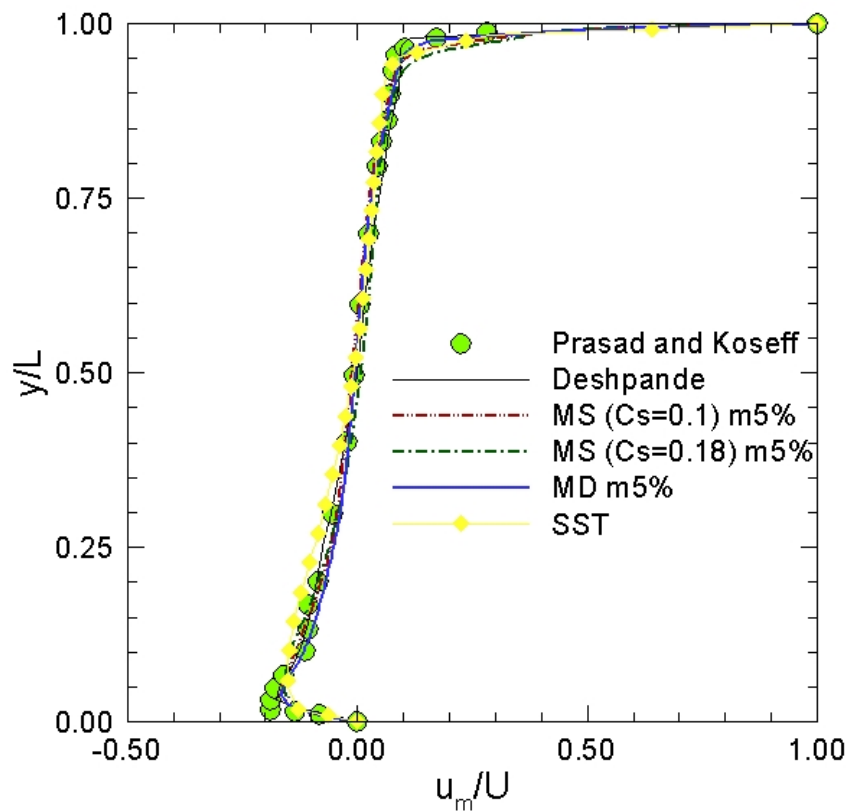


Figura 3: Média temporal de $\bar{u}$, em um plano z no centro do domínio, comparada com outros modelos de turbulência.

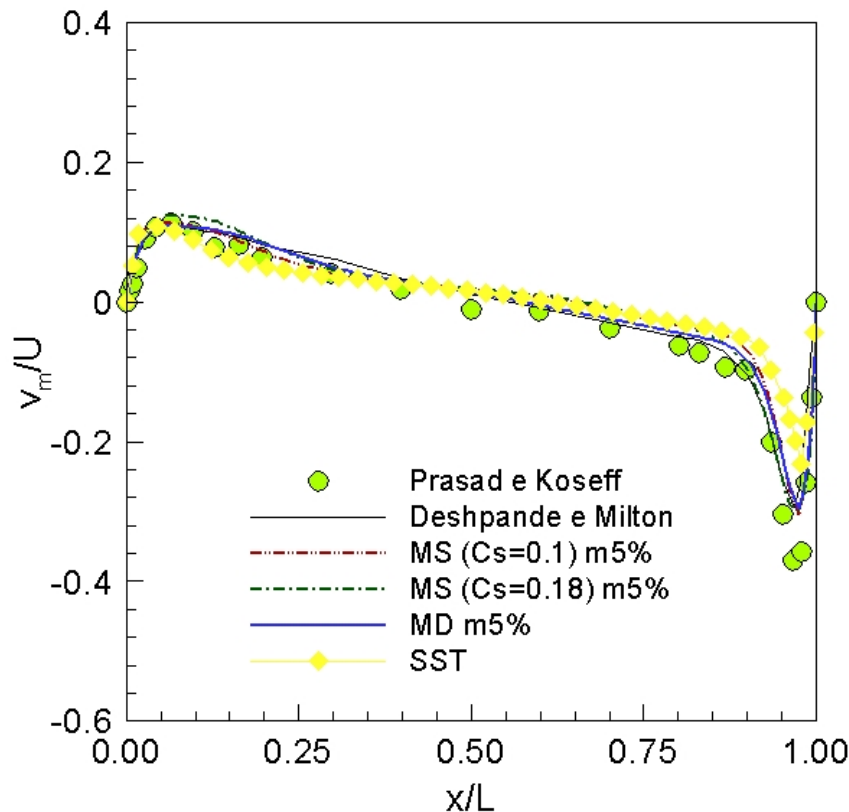


Figura 4: Média temporal de $\bar{v}$, em um plano z no centro do domínio, comparada com outros modelos de turbulência.

Como visto nas Figuras 3 e 4, o modelo SST tem um comportamento bem similar aos outros modelos de turbulência comparados, Prasad e Koseff, Deshpande e Milton, modelo de Smagorinsky e modelo dinâmico.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi realizada a simulação numérica de um problema comum de CFD, uma cavidade 3D com tampa deslizante, para isso foram utilizadas as equações de Navier-Stokes com o modelo de turbulência SST. Os resultados obtidos desta simulação são bem satisfatórios comparando-os com resultados da literatura, porém para obtê-los foi necessário um artifício computacional para chegar à convergência, o que limitou a solução. Um próximo passo é implicar o termo viscoso para chegar à convergência da solução sem utilizar este artifício computacional.

Futuramente será implementado o modelo de turbulência SST DES, proposto por Strelets (2001), uma vez que tal modelo permite aliar-se a excelente capacidade do modelo RANS Menter-SST de capturar bem o ponto próximo às regiões das paredes, sem a utilização de malhas extremamente refinadas nestas, com a característica de um modelo LES de não sobre-amortecer ou sobre-dissipar as estruturas que surgem no escoamento turbulento.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia FEMEC e ao Laboratório de transferência de calor e massa e dinâmica dos fluidos LTCM pelo suporte e apoio dado para realizarmos esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

- Menter, F.R., 1994, "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications", AIAA Journal, vol. 30, pp. 1657-1659
- Menter, F.R., Kuntz M. and Langtry, R., 2003, "Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model", Turbulence, Heat and Mass Transfer 4, New York, Begell House, Inc., pp. 624-632.
- Strelets, M., 2001, "Detached Eddy Simulation of Massively Separated Flows", AIAA 2001-0879.

IMPLEMENTATION OF THE TURBULENCE MODEL K- Ω SST IN A THREE-DIMENSIONAL CAVITY

Diego Alves de Moro Martins

Federal University of Uberlândia Department of Mechanical Engineering
moromartins@gmail.com

Elie Padilla

epadilla@mecanica.ufu.br

Aristeu da Silveira Neto

aristeus@mecanica.ufu.br

Abstract: *This work describes the formulation and the implementation of the turbulence model SST (Shear Stress Transport) on the Navier-Stokes equations in your incompressible form. The motivation for use the turbulence model SST, it's because this model can to evaluate the fluid flow on the regions near the wall layers, without the mesh refinement in this area.*

Keywords: *CFD, turbulence, k- ω SST, cavity.*