

**XIV Congresso Ibero
Latino-Americano de
Métodos Computacionais
em Engenharia**

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
São Paulo - SP - Brasil
1 a 3 de dezembro de 1993

**SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE CONVECÇÃO DOMINANTE UTILIZANDO A FUNÇÃO
DE INTERPOLAÇÃO COMPLETA NO MÉTODO DE VOLUMES FINITOS**

Selene Maria de Arruda Guelli Ulson de Souza
Departamento de Engenharia Química, UFSC
Campus Universitário - Trindade - C.P. 476
CEP 88.040-900 - Florianópolis - SC - Brasil

Clóvis Raimundo Maliska
Departamento de Engenharia Mecânica, UFSC
Campus Universitário - Trindade - C.P. 476
CEP 88.040-900 - Florianópolis - SC - Brasil

SUMÁRIO

Um problema clássico encontrado na literatura, utilizado para a análise do desempenho de funções de interpolação, é o transporte por convecção dominante, de um salto na variável ϕ , para vários ângulos de inclinação entre o vetor velocidade e a malha computacional. Neste trabalho, esta solução é obtida empregando-se o arranjo de variáveis co-localizadas, no método de Volumes Finitos, com a função de interpolação completa (FIC), para $\theta = 30,9$ e 45° . Os resultados obtidos são comparados com a solução analítica aproximada encontrada na literatura e com os resultados obtidos utilizando-se o esquema WUDS.

1. INTRODUÇÃO

O método de volumes finitos (Roache (1976), Patankar (1980) e Maliska (1981)) apresenta uma importante característica, não contemplada pelos métodos tradicionais, como diferenças finitas e elementos finitos, que é a conservação, a nível de volumes elementares, das grandezas físicas em questão.

Algumas dificuldades que praticamente respondem pela qualidade do método numérico podem ser destacadas como, por exemplo, a grande memória computacional requerida e os erros devidos ao uso inadequado de funções de interpolação, denominados erros de difusão numérica.

É proposto neste trabalho o uso de variáveis co-localizadas, onde todas as variáveis possuem o mesmo volume elementar de integração. Para problemas que procuram simular mais realisticamente a física do fenômeno e que, geralmente, envolvem geometrias irregulares em três dimensões, este procedimento economiza enorme memória computacional se comparado com modelos que empregam variáveis desencontradas.

O correto acoplamento pressão-velocidade empregando variáveis co-localizadas é conseguido criando-se equações obtidas através da interpolação da equação do movimento, para aquelas variáveis que são necessárias em locais onde não estão

armazenadas.

A solução de problemas que apresentam descontinuidade na função, como ondas de choque ou escoamentos bifásicos, depende da qualidade da função de interpolação. A escolha da função de interpolação a ser empregada é uma etapa fundamental para a boa representação das descontinuidades.

Com o objetivo de levar em conta os efeitos físicos relevantes do problema, na função de interpolação, Spalding (1972) desenvolveu o esquema híbrido para avaliação das variáveis nas faces do volume de controle. Raithby et al (1974) propuseram o esquema exponencial, baseando-se na formulação apresentada por Spalding (1972). O esquema WUDS apresentado por Raithby (1976a) e o esquema "power law", descrito por Patankar (1980) são derivados do exponencial e recaem nos esquemas "upwind" ou central quando a convecção ou difusão é dominante. Estes esquemas consideram somente a influência dos dois pontos vizinhos à face do volume de controle. Quando a malha não se encontra alinhada ao vetor velocidade, tais esquemas apresentam grandes erros, conhecidos como difusão numérica, que podem comprometer severamente a qualidade da solução.

Outros esquemas utilizam correções para levar em conta a inclinação do vetor velocidade com relação à malha, sendo que estes procedimentos não consideram todas as influências físicas relevantes do problema em estudos.

Nos trabalhos apresentados por Peric et al (1987), Camarero et al (1986), Schneider (1986) e Majumdar (1988), são encontrados esquemas que utilizam funções de interpolação alternativas, com variáveis co-localizadas.

É proposto neste trabalho o emprego de uma função de interpolação originária da própria equação diferencial que se deseja resolver. Esta função de interpolação, denominada neste trabalho de função de interpolação completa, FIC, (Ulson de Souza, 1992), possui a dimensionalidade que o problema requer e contém todas as influências físicas presentes na equação diferencial a ser resolvida. Assim, evita-se o uso de funções de interpolação unidimensionais em problemas bidimensionais, um fator bastante conhecido como causador de grandes erros na solução.

2. FORMULAÇÃO PROPOSTA

2.1 - Equações Governantes

As equações de conservação da massa e quantidade de movimento, para o sistema de coordenadas cartesianas, considerando-se fluido newtoniano, escoamento laminar e bidimensional, são escritas, para uma variável genérica ϕ como

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u\phi)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v\phi)}{\partial y} + P^\phi = \frac{\partial(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial x})}{\partial x} + \frac{\partial(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial y})}{\partial y} + S^\phi \quad (2.1)$$

onde as variáveis ϕ , P^ϕ , S^ϕ e Γ^ϕ possuem expressões específicas

em cada uma das equações de conservação. A equação (2.1) se reduz à equação da conservação da massa quando S^ϕ e P^ϕ forem iguais a zero e $\phi = 1$. As componentes da equação da conservação da quantidade de movimento nas direções x e y são obtidas fazendo-se ϕ igual a u e v , respectivamente, com os termos fonte e de pressão apropriados. O termo P^ϕ representa o gradiente de pressão. A variável Γ^ϕ é o coeficiente de transporte que é dado pelo produto entre a difusividade relativa à variável ϕ e a massa específica do fluido.

2.2 - Discretização das equações

A equação (2.1) é utilizada para a obtenção da equação discretizada através da realização de uma integração espacial e temporal sobre o volume de controle delimitado por duas linhas de x constante e duas linhas de y constante, fornecendo

$$\begin{aligned} & [(\rho\phi)_p - (\rho\phi)_p^o] \Delta x \Delta y + [\dot{m}_{1e}\phi_e - \dot{m}_{1v}\phi_v + \dot{m}_{1n}\phi_n - \dot{m}_{1s}\phi_s] \Delta t = \\ & = [[\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial x}]_e - [\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial x}]_v] \Delta y \Delta t + \\ & + [[\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial y}]_n - [\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial y}]_s] \Delta x \Delta t + [S_p^\phi - P_p^\phi] \Delta x \Delta y \Delta t \end{aligned} \quad (2.2)$$

onde \dot{m}_{1i} representa o fluxo de massa nas faces do volume de controle e o superscrito ^o indica valores das propriedades obtidos da iteração anterior. A variável ϕ é armazenada no centro do volume de controle.

Para a obtenção das equações discretizadas, torna-se necessária a avaliação da variável ϕ e de suas derivadas nas faces do volume de controle.

2.3 - Esquema FIC

Visando minimizar os erros de difusão numérica, resultantes da utilização de uma função de interpolação unidimensional, foi proposta, em Ulson de Souza et al (1992), a função de interpolação completa, que é obtida da própria equação de conservação, escrita para a face do volume de controle, com os termos transiente, convectivo, difusivo, de pressão e fonte. A equação da conservação da quantidade de movimento, escrita para a face leste do volume de controle, em coordenadas cartesianas, é dada por

$$\begin{aligned} & (\rho\phi/\partial t)|_e + \rho u \frac{\partial\phi}{\partial x}|_e + \rho v \frac{\partial\phi}{\partial y}|_e + P^\phi|_e = \\ & = \frac{\partial(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial x})}{\partial x}|_e + \frac{\partial(\Gamma^\phi \frac{\partial\phi}{\partial y})}{\partial y}|_e + S^\phi|_e \end{aligned} \quad (2.2)$$

Cada termo da equação (2.2) é aproximado como mostrado a seguir:

a) Termo transiente: requer o armazenamento do valor da variável dependente obtido na iteração anterior, por ser aproximado por diferença descendente, fornecendo,

$$(\rho \partial \phi / \partial t)|_{\bullet} = \rho_{\bullet} (\phi_{\bullet} - \phi_{\bullet}^o) / \Delta t \quad (2.3)$$

b) Termo convectivo: é utilizado o esquema de diferença central para a aproximação de todas as derivadas, obtendo-se

$$(\rho u \partial \phi / \partial x)|_{\bullet} = \rho_{\bullet} u_{\bullet} (\phi_{\text{E}} - \phi_{\text{P}}) / \Delta x \quad (2.4)$$

e,

$$(\rho v \partial \phi / \partial y)|_{\bullet} = \rho_{\bullet} v_{\bullet} [(\phi_{\text{NE}} + \phi_{\text{N}}) / 2 - (\phi_{\text{S}} + \phi_{\text{SE}}) / 2] / (2 \Delta y) \quad (2.5)$$

c) Termo difusivo: é utilizado o esquema de diferença central para a aproximação de todas as derivadas, fornecendo

$$\partial (\Gamma^{\phi} \partial \phi / \partial x) / \partial x|_{\bullet} = 4 \Gamma_{\bullet}^{\phi} (\phi_{\text{P}} + \phi_{\text{E}} - 2 \phi_{\bullet}) / \Delta x^2 \quad (2.6)$$

e,

$$\begin{aligned} \partial (\Gamma^{\phi} \partial \phi / \partial y) / \partial y|_{\bullet} = & \Gamma_{\bullet}^{\phi} [(\phi_{\text{N}} + \phi_{\text{NE}}) / 2 + \\ & + (\phi_{\text{S}} + \phi_{\text{SE}}) / 2 - 2 \phi_{\bullet}] / \Delta y^2 \end{aligned} \quad (2.7)$$

d) Termo fonte: é aproximado utilizando-se uma interpolação linear entre os valores de S^{ϕ} nos pontos P e E, vizinhos à face E, resultando

$$S^{\phi}|_{\bullet} = (S^{\phi}|_{\text{P}} + S^{\phi}|_{\text{E}}) / 2 \quad (2.8)$$

e) Termo de pressão: é utilizado o esquema de diferença central para a obtenção de todas as derivadas e assim os termos do gradiente de pressão da equação da conservação de quantidade de movimento, nas direções x e y, podem ser dado por

$$P^x|_{\bullet} = \partial P / \partial x|_{\bullet} = (P_{\text{E}} - P_{\text{P}}) / \Delta x \quad (2.9)$$

$$P^y|_{\bullet} = \partial P / \partial y|_{\bullet} = [(P_{\text{N}} + P_{\text{NE}}) / 2 - (P_{\text{S}} + P_{\text{SE}}) / 2] / (2 \Delta y) \quad (2.10)$$

Esta representação fornece uma ligação entre as velocidades nas faces dos volumes de controle e as pressões nos centros dos volumes de controle.

Substituindo-se as expressões dadas pelas equações (2.3) a (2.10), na equação (2.2), obtém-se uma expressão para a avaliação da variável ϕ na face e do volume de controle centrado em P, em função da variável ϕ e pressão, avaliadas nos centros do volume de controle, que pode ser dada como

$$\begin{aligned} a_{\text{P}}^{\phi} \phi_{\text{P}} = & a_{\text{O}}^{\phi} \phi_{\text{O}} + a_{\text{P}}^{\phi} \phi_{\text{P}} + a_{\text{E}}^{\phi} \phi_{\text{E}} + a_{\text{S}}^{\phi} \phi_{\text{S}} + a_{\text{N}}^{\phi} \phi_{\text{N}} + a_{\text{NE}}^{\phi} \phi_{\text{NE}} + a_{\text{SE}}^{\phi} \phi_{\text{SE}} + \\ & + b_{\text{P}}^{\phi} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Para a obtenção da solução de problemas envolvendo escoamento de fluidos, utilizando-se o arranjo de variáveis co-localizadas, é de fundamental importância a presença da pressão na equação para a avaliação da variável ϕ nas faces do volume de controle.

Para a avaliação das componentes do gradiente ϕ nas faces e e n do volume de controle, por exemplo, é utilizado o esquema de diferença central, resultando

$$(\partial \phi / \partial x)|_{\bullet} = (\phi_{\text{E}} - \phi_{\text{P}}) / \Delta x \quad (2.12)$$

$$(\partial \phi / \partial y)|_{\text{n}} = (\phi_{\text{N}} - \phi_{\text{P}}) / \Delta y \quad (2.13)$$

Substituindo-se as expressões para a avaliação de ϕ e de sua derivada nas faces n, e, w e e do volume de controle centrado em P na equação (2.1), obtém-se

$$\begin{aligned} a_{\text{P}} \phi_{\text{P}} = & (a_{\text{O}}^{\phi})^* \phi_{\text{O}}^{\phi} + (a_{\text{V}}^{\phi})^* \phi_{\text{V}}^{\phi} + (a_{\text{N}}^{\phi})^* \phi_{\text{N}}^{\phi} + (a_{\text{E}}^{\phi})^* \phi_{\text{E}}^{\phi} + (a_{\text{P}}^{\phi})^* \phi_{\text{P}}^{\phi} + \\ & + a_{\text{V}} \phi_{\text{V}} + a_{\text{O}} \phi_{\text{O}} + a_{\text{S}} \phi_{\text{S}} + a_{\text{N}} \phi_{\text{N}} + a_{\text{NE}} \phi_{\text{NE}} + a_{\text{SE}} \phi_{\text{SE}} + \\ & + a_{\text{NW}} \phi_{\text{NW}} + a_{\text{SW}} \phi_{\text{SW}} + b_{\text{P}}^{\phi} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Para a solução do sistema de equações lineares resultante da equação (2.14) é utilizado o método MSI ("Modified Strongly Implicit"), proposto por Schneider et al (1981).

Para a avaliação dos fluxos de massa nas faces do volume de controle foi utilizada a metodologia proposta por Marchi et al (1989) e para o tratamento do acoplamento pressão-velocidade, foi utilizado o método SIMPLEC, proposto por Van Doormaal et al (1984).

3. TRANSPORTE, COM CONVECÇÃO DOMINANTE, DE UM SALTO NA VARIÁVEL ESCALAR ϕ

Com o objetivo de analisar o desempenho da formulação proposta na solução de um problema com convecção dominante é escolhido, para análise, o caso do transporte, com velocidade uniforme, de um salto na variável escalar ϕ .

A FIGURA 3.1 ilustra o problema de convecção dominante no transporte da variável ϕ , em um domínio quadrado de dimensão $L = 0,5$, com número de Reynolds igual 250. A magnitude do vetor velocidade utilizada é $|V| = 500$, a massa específica do fluido e o coeficiente de difusão $\Gamma\phi$ são unitários. O escoamento é paralelo à linha que passa no centro do domínio, inclinada de um ângulo θ com relação à linha horizontal, conforme ilustra a FIGURA 3.1.

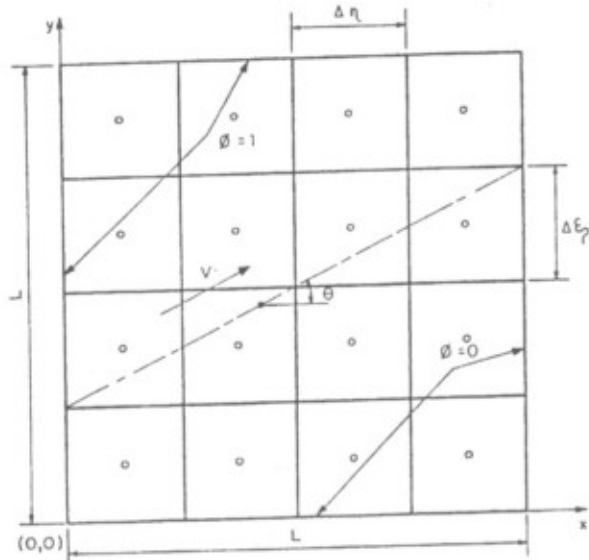


FIGURA 3.1 - Convecção dominante no transporte da variável ϕ , com velocidade uniforme.

A equação de conservação que governa este problema é dada por

$$\begin{aligned} \partial(\rho u \phi) / \partial x + \partial(\rho v \phi) / \partial y &= \partial(\Gamma \phi \partial \phi / \partial x) / \partial x + \\ &+ \partial(\Gamma \phi \partial \phi / \partial y) / \partial y \end{aligned} \quad (3.1)$$

onde $u = |V| \cos \theta$, $v = |V| \sin \theta$ e ϕ representa um escalar genérico.

As condições de contorno para ϕ são especificadas

como $\phi = 1$ para todas as regiões do contorno acima da linha paralela ao escoamento passando através do centro do domínio e $\phi = 0$, para as regiões abaixo desta linha. Quando a linha, que passa no centro do domínio, intercepta um ponto de ϕ , no contorno, utiliza-se $\phi = 0,5$.

Os resultados numéricos, para $x = 0,25$, são comparados com o perfil analítico aproximado, apresentado por Raithby (1976b), dado por

$$\begin{aligned} \phi &= 1/2(1 + \text{erf}[(\rho/\Gamma\phi)^{1/2}[(y-y_c)u - xv]/ \\ &/[(y-y_c)v + xu]^{1/2}]) \end{aligned} \quad (3.2)$$

onde,

$$y_c = 1/4 (1 - \text{tg} \theta) \quad (3.3)$$

Dois ângulos foram utilizados para a análise deste problema: $\theta = 30,9^\circ$ e $\theta = 45^\circ$. Duas malhas cartesianas foram utilizadas para a obtenção da solução deste problema: 20×20 e 40×40 .

A FIGURA 3.2 apresenta o perfil de ϕ obtido com o esquema FIC e com o esquema WUDS, para o caso de $\theta = 30,9^\circ$ e 45° , com malhas cartesianas 20×20 e 40×40 , para $x = 0,25$.

O perfil analítico aproximado, dado pelas equações (3.2) e (3.3), para $x = 0,25$, é apresentado na FIGURA (3.2) através da linha contínua.

Para análise do desempenho do esquema FIC comparado com o esquema WUDS, é calculada a inclinação das curvas obtidas em $x = 0,25$, no ponto $y = 0,25$.

O cálculo da inclinação destas curvas é utilizado para avaliar os erros de um dado esquema numérico, com relação à solução analítica aproximada apresentada por Raithby (1976b).

Se a diferença entre o valor de $(\partial\phi/\partial y)$ em $y = 0,25$, obtido com o esquema numérico específico e o valor obtido a partir da solução analítica for elevada, pode concluir-se que altos erros devidos à difusão numérica estão presentes na solução.

A solução analítica aproximada, mostrada por Raithby (1976b) para $x = 0,25$, apresenta o valor para $(\partial\phi/\partial y)$, em $y = 0,25$, de 10,0208 e 7,5013, para os casos de $\theta = 30,9^\circ$ e $\theta = 45^\circ$, respectivamente.

O erro relativo da solução obtida com o esquema FIC e com o esquema WUDS, na obtenção de $(\partial\phi/\partial y)$, é calculado utilizando-se os valores da solução analítica aproximada, como referência, sendo apresentado no QUADRO 3.1, para os casos $\theta = 30,9^\circ$ e 45° .

Para os casos de $\theta = 30,9^\circ$ e 45° , os resultados obtidos com o esquema proposto e com o esquema WUDS são apresentados na FIGURA 3.2 e no QUADRO 3.1. Estes dois casos representam a situação mais crítica, pois, a difusão numérica é elevada devido à grande inclinação do vetor velocidade relativamente à malha

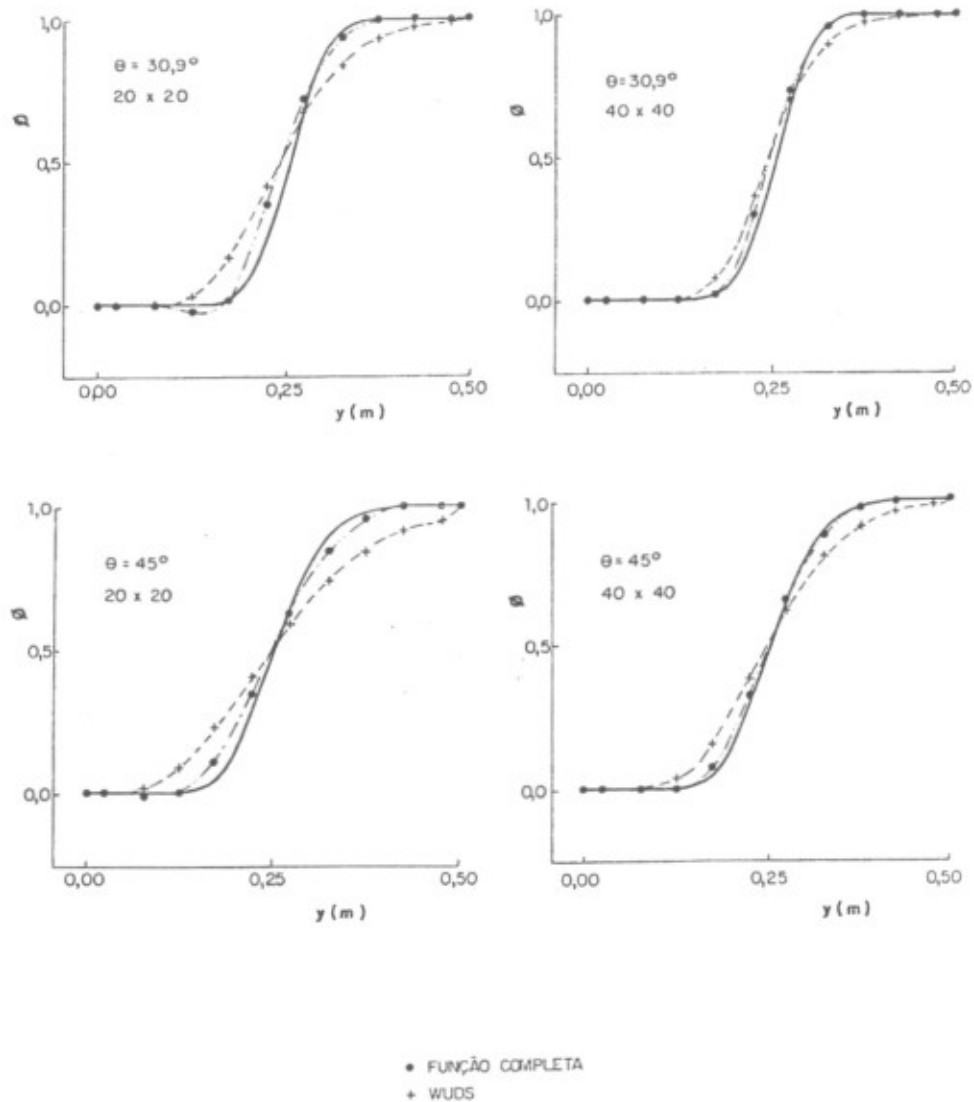


FIGURA 3.2 - Perfil de ϕ em $x = 0,25$, para o caso de $\theta = 30,9^\circ$ e 45° , com malhas 20×20 e 40×40 .

computacional. O perfil de ϕ , em $x = 0,25$, obtido com a formulação proposta, com malha 40×40 , aproxima-se marcadamente do perfil apresentado por Raithby (1976b), o que não ocorre quando o esquema WUDS é utilizado, como ilustrado na FIGURA 3.3.

QUADRO 3.1 - Erro relativo com a formulação proposta e com o esquema WUDS, no cálculo de $(\partial\phi/\partial y)$, no centro do domínio, para $\theta = 30,9^\circ$ e 45° .

θ	FORMULAÇÃO	MALHA	ERRO RELATIVO (%)
$30,9^\circ$	FIC	20×20	23,5
		40×40	10,7
	WUDS	20×20	47,6
		40×40	30,6
$45,0^\circ$	FIC	20×20	24,3
		40×40	9,1
	WUDS	20×20	50,8
		40×40	35,7

4. CONCLUSÃO

A utilização da função de interpolação completa para a obtenção da solução do problema de transporte, com velocidade uniforme, de um salto na variável escalar ϕ , onde a convecção é dominante, para o caso crítico de $\theta = 45^\circ$, que apresenta grande inclinação entre o vetor velocidade e as linhas coordenadas da malha, fornece um perfil de θ , na linha vertical central do domínio, obtido com a malha 40×40 , que concorda com o perfil analítico aproximado apresentado por Raithby (1976b), enquanto que este comportamento não é observado no perfil obtido com a utilização do esquema WUDS. O erro relativo obtido com a utilização do esquema FIC é muito menor que o obtido com o esquema WUDS, para todas as malhas utilizadas e todos valores de θ estudados.

O erro relativo encontrado no cálculo de $(\partial\phi/\partial y)$, neste trabalho, com malha 20×20 , é muito menor que o obtido com o esquema WUDS, com malha 40×40 , mostrando que uma grande economia de memória computacional pode ser obtida utilizando-se a função de interpolação completa, para uma mesma qualidade de solução.

REFERÊNCIAS

- Camarero, R. and Reggio, M. (1986) - "Numerical Solution Procedure for Viscous Incompressible Flows", Numerical Heat Transfer, vol.10, p. 131-146.
- Majumdar, S. (1988) - "Role of Underrelaxation in Momentum Interpolation for Calculation of Flow with Non-Staggered Grids", Numerical Heat Transfer, vol.13, p.125-132.
- Maliska, C.R. (1981) - "A Solution Method for Three-dimensional Parabolic Fluid Flow Problems in Nonorthogonal Coordinates", Ph. D. Thesis, University of Waterloo, Canadá.
- Marchi, C.H., Maliska, C.R. and Bortoli, A.L. (1989) - "The Use of Co-located Variables in the Solution of Supersonic Flows", COBEM 89 - X Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica.
- Patankar, S.V. (1980) - "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Hemisphere Publishing Co., Washington, DC., USA.
- Peric, M., Kessler, R. Scheuerer, G. (1988) - "Comparison of Finite-Volume Numerical Methods with Staggered and Colocated Grids", Computers and Fluids, vol. 16, p. 389-403.
- Raithby, G.D. (1976a) - "Prediction of Dispersion by Surface Discharge", Basin Investigation and Modelling Section, Canada Centre for Inland Waters, Burlington, Ontario.
- Raithby, G.D. (1976b) - "Skew Upstream Differencing Schemes for Problems Involving Fluid Flow", Comp. Meth. Applied Mech. Eng., vol.9, p. 153-164.
- Raithby, G.D. and Torrance, K.E. (1974) - "Upstream Weighted Differencing Schemes and their Application to Elliptic Problems Involving Fluid Flow", Computers and Fluids, vol. 2, p. 191-206.
- Roache, P.J. (1976) - "Computational Fluid Dynamics", Hermosa Publishers, Albuquerque, N.M., USA.
- Schneider, G.E. (1986) - "A Novel Co-located Finite Difference Procedure For the Numerical Computation of Fluid Flow", AIAA 4th Joint Thermophysics and Heat Transfer Conference, Boston, Massachusetts.
- Schneider, G.E. and Zedan, M. (1981) - "A Modified Strongly Implicit Procedure for the Numerical Solution Of Field Problems", Numerical Heat Transfer, vol. 4, p. 1-19.
- Spalding, D.B. (1972) - "A Novel Finite Difference Formulation for Differential Expressions Involving Both First and Second Derivatives", Int. Journal Num. Meth. Eng., vol. 4, p. 551-559.
- Ulson de Souza, S.M.A.G. (1992) - "Um Esquema Numérico utilizando Variáveis Co-localizadas com Função de Interpolação Completa para a Solução de Problemas de escoamento de Fluidos", Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC.
- Ulson de Souza, S.M.A.G., Ulson de Souza A.A. e Maliska, C.R. (1992) - "Comparação entre a Função de Interpolação Completa e o Esquema WUDS no Método de Volumes Finitos", IX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, Salvador-BA, p. 535-542.
- Van Doornaal, J.P. and Raithby, G.D. (1984) - "Enhancements of the SIMPLE Method for Predicting Incompressible Fluid Flows", Numerical Heat Transfer, vol. 7, p. 147-163.

XIV Congresso Ibero Latino-Americano de Métodos Computacionais em Engenharia

Instituto de Pesquisas Tecnológicas
São Paulo - SP - Brasil
1 a 3 de dezembro de 1993

QUANTIFICAÇÃO DA DIFUSÃO NUMÉRICA NA SOLUÇÃO DE PROBLEMAS EM COORDENADAS GENERALIZADAS, COM MALHAS ADAPTATIVAS

Antônio Augusto Ulson De Souza
Departamento de Engenharia Química - UFSC
Campus Universitário - Trindade - CP. 476
Cep: 88040 - 900 - Florianópolis - SC - Brasil

Clóvis Raimundo Maliska
Departamento de Engenharia Mecânica - UFSC
Campus Universitário - Trindade - CP. 476
Cep: 88040 - 900 - Florianópolis - SC - Brasil

SUMÁRIO

Uma alternativa para a quantificação da difusão numérica é proposta por Vahl Davis e Mallison aplicada ao sistema de coordenadas cartesianas. Neste trabalho é feita uma extensão desta proposta para o sistema de coordenadas generalizadas. Um esquema de malhas adaptativas é utilizado para a solução de um problema de escoamento de fluidos, sendo o efeito da difusão numérica analisado em função da adaptação da malha.

1. INTRODUÇÃO

Na solução numérica de problemas de escoamento de fluidos, utilizando-se o método de volumes finitos, especialmente nos casos onde a convecção é dominante, a influência da difusão numérica pode ocasionar graves distorções dos resultados. Diversas estratégias podem ser empregadas para a minimização dos efeitos da difusão numérica, como o refinamento da malha, o uso de funções de interpolação baseadas nas equações de conservação (Schneider e Raw, (1987), Ulson de Souza, (1992)), esquemas de interpolação "Skew upwind" (Raithby, (1976a), Lillington, (1981)) ou a utilização de malhas adaptativas (Ghia et al, (1981), Ulson de Souza, (1992)).

O elevado custo computacional ocasionado pela excessiva discretização do domínio de cálculo torna, em muitos casos, proibitiva a utilização de uma malha muito refinada. A complexidade e grande dificuldade da implementação de esquemas de interpolação multidimensionais ou baseados nas equações de conservação completas, nos programas computacionais existentes, é um fator desmotivante para a adoção destas técnicas de interpolação. A presença de coeficientes negativos, nos casos "Skew upwind", levam a problema de convergência ou de resultados não realísticos (Hassan et al, 1983).

A utilização de malhas adaptativas, que se ajustam à