IBERIAN LATIN AMERICAN CONGRESS ON COMPUTATIONAL METHODS IN ENGINEERING ***(CILAMCE)***

São Paulo, 01 de Agosto de 2011

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL THERMAL COMFORT PARAMETERS IN A CLASSROOM USING CFD

Rogério Vilain
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Brasil
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Brasil
vilainroger@yahoo.com

Douglas Fabichak Junior
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Brasil
douglasfabichak@hotmail.com

Marcelo Luiz Pereira
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Brasil

Arlindo Tribess
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica, Brasil
atribess@usp.br

Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Prof. Mello Moraes, 2231 - Cidade Universitária – 05508-900 – São Paulo, Brasil.

RESUMO

A avaliação do conforto térmico em ambientes interiores é geralmente realizada a partir da medição em campo das variáveis como temperatura do ar, temperatura média radiante, velocidade do ar e umidade relativa. Nos últimos anos, entretanto, tem sido crescente o uso de programas CFD para solução numérica do escoamento e da troca de calor e massa no cálculo dos parâmetros ambientais. Neste trabalho condições de conforto térmico em uma sala climatizada com um sistema split são analisadas utilizando o programa Fluent como simulador para predição do escoamento e para o cálculo das variáveis ambientais. As principais equações que governam o escoamento são apresentadas. A solução do escoamento é visualizada em gráficos (temperatura, velocidade e umidade). Trinta e cinco pessoas são consideradas na sala, que possui baixa renovação de ar, conforme indicado em medições experimentais realizadas. As pessoas são modeladas considerando cargas térmicas sensível e latente. Os parâmetros de conforto são calculados e indicados em gráficos para vários planos de interesse do ambiente utilizando a solução numérica obtida.

Key-words: Thermal comfort, CFD, classroom, split system

ABSTRACT

The evaluation of thermal comfort in indoor environments is usually performed from the field measurements of variables such as air temperature, mean radiant temperature, air velocity and relative humidity. In recent years, however, has been a growing use of CFD software for numerical solution of flow and heat exchange and mass in the calculation of environmental parameters. In this work the thermal comfort in a room heated with a split system are analyzed using the program as Fluent simulation for prediction of flow and to calculate the environmental variables. The main equations governing the flow are presented. The solution of the flow is visualized in graphs (temperature, velocity and humidity). Thirty-five people are regarded in the room, which has low air exchange, as indicated by experimental measurements performed. People are modeled considering sensible and latent heat loads. The comfort parameters are calculated and displayed in graphs for various levels of interest in the environment using the numerical solution obtained.

Key Words: Thermal comfort, CFD, classroom, split system

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, quando consideramos aspectos importantes de desenvolvimento e processos de aprendizagem dentro da sala de aula, não podemos descartar os estímulos causados pelo meio, ou seja, ambiente que o aluno se desenvolve. Considerando tais aspectos, foi realizado então, um estudo visando analisar o conforto térmico em uma sala de aula condicionada, tendo o controle de variados parâmetros de conforto, através de um programa CFD.

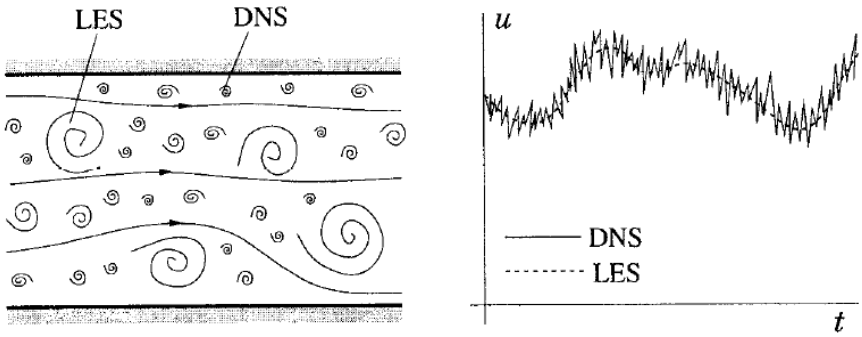

Fig1. Esquema representativo do movimento do fluxo e o tempo dependente da velocidade no componente num ponto.(FERZIGER, 2002)

Segundo Ferziger, uma grande escala de movimentos são geralmente contém mais energia que uma escala menor, seu tamanho faz com que eles se propaguem por distâncias maiores de forma mais efetiva no transporte da conservação das propriedades.

Uma escala menor é mais fraca e propicia pequeno transporte dessas propriedades. A simulação em que trata os vórtices grandes são mais exatas que as de menores vórtices e isso faz sentido. A simulação de grandes vórtices, são tridimensionais dependentes do tempo e mais caras, mas muito menos onerosas que DSN num mesmo fluxo. Em geral, por esse motivo eles se tornam mais precisas, o DNS é o método preferencial quase sempre ele torna-se viável.

2.DESCRIÇÃO DA SALA

LES é geralmente introduzida com base no conceito de filtragem e é o método preferencial para fluxos em que o número de Reynolds é tão grande ou a geometria é tão complexa para permitir a aplicação do DNS.(FERZIGER, 2002)

É essencial definir com rigor as quantidades na simulação para que ela seja precisa computacionalmente. Precisamos então de um campo de velocidade que contenha somente uma escala de componentes de um campo total. Isto é melhor produzido por uma filtragem no campo de velocidade. Nesta aproximação o campo de escala é solucionável podendo ser simulado. É essencialmente um local médio de campo completo. Devemos usar uma notação unidimensional, a generalização do tridimensional é direta e a filtragem da velocidade é definida por:

$$\overline{u}_i(x) = \int G(x, x')\, u_i(x')\, \mathrm{d}x'$$

Onde G(x,x´), o filtro Kernel, é uma função localizada. Filtro kernel tem sido aplicado no LES incluindo um filtro caixa (num local médio simples) e um corte (um filtro que elimina todos os coeficientes de Fourier seguindo para ondas de números acima do corte).

Todo filtro tem uma escala de altura associado com, Δ. Aproximadamente, vórtices com tamanho grande Δ e os menores Δ são os pequenos vórtices e estes então são modelados.

Quando a equação de NAVIER-STOKES com uma densidade constante (fluxo incompressível), são filtrados, nós obtemos um conjunto de equações muito parecidas para o RANS (equação).

$$\frac{\partial(\rho\overline{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\overline{u_i u_j})}{\partial x_j} = -\frac{\partial\overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu\left(\frac{\partial\overline{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial\overline{u}_j}{\partial x_i}\right)\right]$$

Desde que a equação de continuidade seja linear, a filtragem não mudará.

$$\frac{\partial(\rho\overline{u}_i)}{\partial x_i} = 0$$

É importante ressaltar que existem condições a serem seguidas conforme segue:

$$\overline{u_i u_j} \neq \overline{u}_i \overline{u}_j$$

E a quantidade no lado esquerdo desta desigualdade não é facilmente computada, uma aproximação no modelo para uma diferença entre 2 lados de uma desigualdade.

$$\tau_{ij}^{s} = -\rho(\overline{u_i u_j} - \overline{u}_i \overline{u}_j)$$

Deve ser introduzido neste modelo de LES, τ ij é chamado de tensão de Reynolds de sub-grade. O nome tensão deriva do caminho em que ora é tratado como físicamente natural. De fato uma grande escala do fluxo de momento é causado por ação de um pequeno ou uma escala sem resolução. O nome *subgrid scale* é considerado como termo impróprio. A largura do filtro Δ, não precisa ser escalonado com o tamanho da malha, h outra condição obvia é que Δ > h. Alguns autores fazem tal conexão e suas nomenclaturas tem alterado uma situação normal.

O modelo usado para aproximar o *SGS Reynolds stress* são chamados *subgrid scale* (SGS) ou *sub filter-scale models*.

O *subgrid-scale Reynolds stress* contém diferentes campos com pequena escala então os modelos precisam ser baseados no campo local de velocidade ou talvez, num histórico passado do fluido local. O ultimo pode ser realizado pelo uso de um modelo que resolve equação diferencial parcial para obter os parâmetros necessários para determinar o SGS Reynolds stress.

4. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO E DISCUSSÃO

Alguns destes utilizam uma camada do tipo de contorno de Reynolds, equação de transporte de média resolvidos no interior da célula da grade na parede perto de uma grade de embutidos.
Comuns a todas as camadas modelos gerais a serem discutidos nesta seção é o cálculo de uma quantidade contínua φ (ou várias quantidades) através da interface posicionado em y *. Para as equações de transporte correspondente, ou seja, a equação de momentum e transporte equações do modelo selecionado, este rendimento (BREUER, 2007).

$$\langle\phi\rangle(t, y^*) = \overline{\phi}(t, y^*).$$

Como os modelos do RANS são operados no modo instável devido ao acoplamento com o LES tempo-dependente, $\langle\varphi\rangle$ geralmente é dependente do tempo. Isto levanta a questão de acordo com a definição original das operações de compensação e filtragem. Para equações que são válidas apenas em uma camada, condições de contorno explícito precisam ser definidas.

RANS usado com o K - ω modelo próximo da parede e uma equação com base no modelo LES K τ . O ω equação foi resolvido apenas na camada de RANS com a condição de contorno.

$$\left.\frac{\partial\omega}{\partial y}\right|_{y^*} = 0$$

Na interface. O K - equação virou o K τ equação na interface e foi resolvido de forma contínua. O local foi escolhido na interface de uma linha de grade certo.

U ma equação-modelo RANS perto da parede que usa um K equação com uma equação do modelo LES e um com base em K τ, novamente implicitamente aplicação K τ = K nos pontos de fusão. Para reforçar

$$\nu_t^{\mathrm{RANS}} = \nu_t^{\mathrm{LES}}$$

Na interface, além disso, C μ na camada RANS foi modificada usando uma função de mistura empírica:

$$C_\mu = 0.09 + (C_\mu^* - 0.09)\frac{1 - \exp(-y/\Delta)}{1 - \exp(-y^*/\Delta^*)}.$$

Novamente, o asterisco indica os valores na interface, que foi identificado com uma linha de grade certo.

Encontrados vários K -εRANS modelos com LES que funcionem com uma Smagorinsky ou a uma equação Yoshizawa. (A.Yoshizawa and K.Horiuti, 1985)Para este último, a equação de transporte de K (ou K τ) foi resolvido de forma contínua. Condições de contorno adicionais para as equações RANS foram obtidos a partir dos dados LES.

Para o modelo de Smagorinsky, teremos:

$$K = \frac{(C_S\Delta)^2 S^2}{0.3} \quad \text{and} \quad \varepsilon = (C_s\Delta)^2 S^3$$

E para o modelo Yoshizawa, teremos:

$$\varepsilon = \frac{C_\varepsilon K_\tau^{3/2}}{\Delta}.$$

Aqui, S é a magnitude do tensor taxa de deformação resolvido, Δ é uma escala representativa para a grade, enquanto C S e Cε são constantes do modelo. A localização foi determinada por meio de interface:

$$K^* = \left\langle \frac{K_\tau}{K_\tau + 1/2(\overline{u'u'} + \overline{v'v'} + \overline{w'w'})} \right\rangle.$$

RANS e LES combinados com base em modelos de uma equação para K e K τ . Sem condições de acoplamento explícito eram necessários para ser especificado. Dois RANS foram testados diferentes modelos: um modelo de parede quase linear com base em $\sqrt{\overline{v'^2}}$ (Mas expressa em forma de K) e um não-linear Reynolds stress modelo algébrico explícito que é capaz de dar conta de anisotropias, agilizar curvatura e redistribuição de energia entre os componentes do stress Reynolds diferente. Para este método, a interface foi determinada empregando:

$$y^* = \frac{y_{\text{int}}\sqrt{K}}{\nu}.$$

A incompatibilidade das pistas do perfil de velocidade logarítmica para os fluxos turbulentos canal é geralmente visível quando se utiliza a duas abordagens camada acima descrito até agora. Este é realmente um problema fundamental, independente do tipo de modelos combinados, o método de interface, e se a região RANS é entre o LES e na parede ou vice-versa. A incompatibilidade está relacionada a uma rápida mudança nas escalas de comprimento dos modelos RANS e LES. Ao permitir uma mudança descontínua das escalas de comprimento e que utilizam informação dos dados do DNS, sendo capaz de eliminar a incompatibilidade. Como este é impraticável em um cenário realista, ele sugere usar uma função linear de mistura para ajustar a taxa de dissipação turbulenta utilizados no LES e modelos RANS sobre uma região de mistura na região logarítmica do perfil de velocidade. No entanto, a incompatibilidade se manteve, embora com uma magnitude menor do que antes.(DAVIDSON, 2003)

4. CONCLUSÃO

Este estudo tem como função demonstrar, que para previsões precisas de conforto térmico em salas de aula, é necessária a análise de algumas variações, como fluxo de ar, temperatura do ar, temperatura médias radiante, pressão do vapor de água e turbulência de intensidade.

5. REFERÊNCIAS

Fanger, P. O. (1972). Thermal Comfort, Analysis and Application in Environmental Engineering, McGraw-Hill, New York, 245p.

Fluent Full Manual, 2005. Fluent Inc. Lebanon, NH.

Gan, G. 1994. Numerical Method for a full assessment of indoor thermal confort. Proceedings of Indoor Air.pp. 154-168.

HCN - Health Council of the Netherlands. 2010. Indoor air quality in primary schools. Publication no. 2010/06E. ISBN 978-90-5549-808-6.

Maliska,C.R.,"Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional",LTC Editora,1995.

Nilsson, H. O. comfort climate evaluation with thermal manikin methods and computer simulation models. Doctorate thesis. Royal Institute of Technology, Sweden. 2004.

Patankar,S.V. 1980. "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", McGrawHill Co.

Tribess, A. Apostila de Conforto Térmico. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Versteeg,H.K.,Malalasekera,W., "An Introduction to Computational Fluid Dynamics – The Finite Volume Method", 2nd. Ed.,2007.