



USO DO CFD NA AVALIAÇÃO DA VELOCIDADE E DA TEMPERATURA NUMA SALA EM CUIABÁ

C.C. VALÉRIO¹, F. H. MAEDA² e M. V. RAMIREZ¹

¹ Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia da Computação

² Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia Química

³ Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Engenharia
fernando-maeda@hotmail.com

RESUMO – O trabalho analisa de forma numérica a transferência de calor e o movimento do ar em sala de aula de uma escola pública na cidade de Cuiabá. A avaliação numérica dos fenômenos permitiu analisar, a efetividade da ventilação e da troca de calor na sala de aula. As equações utilizadas nas simulações numéricas foram a equação da continuidade, quantidade de movimento, energia e turbulência disponíveis no software *ANSYS/FLUENT*. Nas simulações numéricas foram considerados ambientes de sala de aula com ocupantes. Os sistemas analisados de ventilação foram: ventilação mecânica e ventilação natural. O fenômeno de transferência de calor por convecção foi considerado na simulação numérica. Os resultados numéricos mostram que dada às condições climatológicas da cidade de Cuiabá é imprescindível o uso de sistema de ventilação mecânica para atingir espaços termicamente favoráveis para o processo de ensino aprendizagem.

1. INTRODUÇÃO

Estudar e trabalhar em espaços confortáveis aumenta a capacidade e o raciocínio do indivíduo. Segundo a *ASRAE* (*American Society of Heating, refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) o conforto térmico é o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico. As pesquisas indicam que: um habitante urbano passa cerca de 87% do seu tempo em ambientes fechados, 6% em ambientes abertos e 7% na transição entre eles (Fakhoury, 2017).

A avaliação térmica de salas de aula é um tema que desperta grande interesse dado que estudantes e professores passam grande parte do tempo em ambientes internos que poderiam ser adversos ao processo de ensino aprendizagem. Segundo Arenhardt e Wander (2018) os estudos sobre o tema “salas de aula” aumentaram consideravelmente na última década, sendo a maior parte dos estudos e pesquisas na área de engenharia e a China é o país com maior número de publicações. Segundo Arenhardt e Wander (2018): o Brasil ocupa a posição 12^a nas publicações referentes ao estudo do conforto térmico em salas de aula.

A literatura indica que os estudos térmicos em salas de aulas realizados no Brasil são voltados em sua grande maioria na área experimental, onde se destacam: Sousa et al (2018), Ochoa et al (2012), Vecchi et al (2013), Nogueira et al (2009). Por outro lado, estudos numéricos sobre a avaliação da transferência de calor em salas de aula no Brasil são poucos na literatura só foi possível encontrar o trabalho de Rossi et al. (2012). Segundo Çengel e Ghajar (2014): os principais mecanismos de transferência de calor em espaços internos são a convecção e a radiação térmica. No presente estudo as simulações foram realizadas

considerando o fenômeno de transferência de calor por convecção. A transferência de calor convecção obedece à lei de resfriamento de Newton, e pode ser: convecção natural e/ou convecção forçada.

Os estudos numéricos dos fenômenos da transferência de calor e movimento permitem economia de custos comparados com as abordagens experimentais. A Fluido Dinâmica Computacional (CFD) é uma técnica numérica que está sendo utilizada em muitas áreas da tecnologia.

Tendo em vista as vantagens e oportunidades da simulação numérica o presente estudo tem como objetivo simular e avaliar as condições de transferência de calor e movimento existentes numa sala de aula na cidade de Cuiabá. Os dados experimentais foram tomados de Nogueira et al 2009. A cidade de Cuiabá possui clima tropical dado a sua proximidade ao Equador, as estações apresentam altas temperaturas em grande parte do ano. Nas simulações numéricas foram considerados 30 alunos e um professor dentro de uma sala de aula. Dois sistemas de ventilação foram simulados: ventilação mecânica e ventilação natural. Na simulação com ventilação natural foram consideradas ventanas e portas abertas. A velocidade do vento foi determinada experimentalmente utilizando um anemômetro digital.

2. ESTUDO NUMÉRICO

As simulações numéricas foram realizadas utilizando no pacote computacional *ANSYS*, a geometria foi construída no software *SPACECLAIM*, a malha foi elaborada no software *MESH* e as simulações numéricas foram realizadas no software *FLUENT*.

2.1. Elaboração da geometria e da malha

A geometria da sala de aula teve as seguintes medidas: comprimento 5,89 m, largura 6,94 m e altura 3,35 m. Foi considerada a porta de 1,0 m de largura por 2,80 m de altura representada pela cor azul e duas janelas laterais de 1,99 m de largura e 1,37 m altura representada pela região vermelha da parede (ver Figura 1). Na parte interna da sala foram considerados 30 alunos na forma de blocos verticais de 0,5 m de comprimento 0,5 m de largura e 1,5 m de altura cada e um professor representado por um bloco de 0,5 m de comprimento, 0,5 m de largura e 1,7 m de altura. A Figura 1 mostra a malha utilizada na simulação numérica. O tipo de malha utilizado nas simulações numéricas foi do tipo hexaédrico. O tamanho mínimo das células foi de 1 mm e o tamanho máximo de 6,4 mm. Para determinar a estabilidade da malha, foram realizadas simulações numéricas em malhas com 400k, 600k e 700k unidades de células. Foi observado que os resultados numéricos se mantiveram constantes nas malhas com 600k e 700k unidades de células.

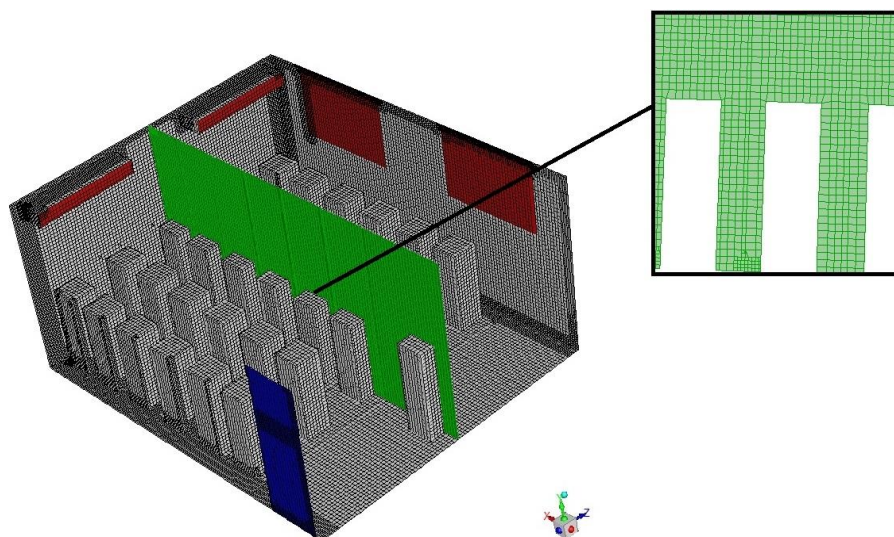


Figura 1. Malha da sala de aula utilizada na simulação numérica

2.2. CONDIÇÕES DE FRONTEIRA, ESQUEMA DE DISCRETIZAÇÃO E EQUAÇÕES UTILIZADAS NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

As condições de contorno impostas na simulação numérica estão na Tabela 1. Para o acoplamento Pressão-Velocidade foi utilizando o método *SIMPLE*. O esquema de discretização foi do tipo *SECOND ORDER UPWIND*. O método numérico utilizado foi o método dos Volumes Finitos. As equações utilizadas na simulação numérica foram:

- Equação da energia;
- Equação de movimento;
- Equação da continuidade;
- Modelo de turbulência $k - \varepsilon$ standard padrão.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros físicos utilizados nas simulações numéricas. O critério de convergência adotado nas simulações numéricas foi a diferença dos resíduos menor 10^{-6} para todas as equações simuladas. Os resultados numéricos foram comparados com dados disponíveis na literatura.

Tabela 1 - Condições de contorno utilizadas na simulação numérica

Área	Condição de contorno	Propriedades prescritas
Ar condicionado	Velocidade de entrada	$V = 2 \text{ m/s}$ $T = 21^{\circ}\text{C}$
Janelas	Velocidade de entrada	$V = 1.1 \text{ m/s}$ $T = 25, 30, 35^{\circ}\text{C}$
Na porta	Pressão de saída	$1,01325 \times 10^5 \text{ Pa}$
Nas superfícies internas da sala de aula	Temperatura constante	Parede lateral da sala = $25, 30, 35^{\circ}\text{C}$ Parede do teto = $25, 30, 35^{\circ}\text{C}$ Bloco aluno = 37°C Bloco professor = 37°C

3 RESULTADO DA SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Para as simulações numéricas utilizando a ventilação mecânica, foram considerados na sala de aula dois aparelhos de ar condicionado localizados na parte superior da parede, a velocidade e a temperatura do jato na saída do bocal foi determinado experimentalmente 2 m/s e 21 °C. Para as simulações numérica utilizando a ventilação natural foram consideradas duas janelas abertas por onde o ar ingressa e uma porta aberta por onde o ar sai. Para este segundo caso foi determinado experimentalmente a velocidade de entrada do ar pela janela igual a 1,1 m/s. As condições de contorno de temperatura para a ventilação natural foram tomadas da literatura (Nogueira et al 2009). A pesquisa realizada por Nogueira et al 2009 apresenta a variação da temperatura numa escola ao longo do ano. No presente estudo foram consideradas três temperaturas 25, 30 e 35 °C.

A Figura 2 apresenta o perfil de velocidade para todos os casos simulados. Na Figura 2(a) observa-se que as maiores velocidades são atingidas perto da região do teto e na parede oposta ao aparelho de ar condicionado com isso é favorecido a homogeneização da temperatura ao longo da sala de aula. Na Figura 3(a) é possível observa que a distribuição de temperatura é quase uniforme para a sala com ventilação mecânica. Neste primeiro caso estamos diante de um fenômeno de transferência de calor por convecção forçada. Os resultados numéricos para a ventilação mecânica são condicentes com os perfis de temperatura obtidos por Gan (1995) e Wang *et al* (2014).

Comparando as Figuras 2 (a), 2(b), 2(c) e 2(d) observa-se que o perfil de temperatura se manteve constante nas Figuras 2(b), 2(c) e 2(d) dado que nessas simulações foi considerada a mesma velocidade e condições de contorno de temperatura diferentes 25, 30 e 35 °C. Comparando as Figuras 2 (a) e 2(b) observa-se que na ventilação mecânica a distribuição do campo escalar é homogêneo por outro lado na ventilação natural (Figura 2(b)) observa-se a formação de regiões com maiores gradientes.

A Figura 3 fornece os perfis de temperatura da ventilação mecânica e da ventilação natural. É possível observar que as Figuras 3(a) e 3 (b) apresentam semelhança na distribuição da temperatura. Esses são condizentes com a realidade, se a temperatura interna da sala de aula na cidade de Cuiabá for 25°C não é necessário o uso dos aparelhos de ar condicionado. A temperatura de 25°C é alcançada na estação de inverno por algumas semanas (Nogueira et al 2009). Nas Figuras 3(c) e 3 (d) observa-se incremento no perfil de temperatura, é possível verificar que a sala de aula sendo ventilada de forma natural quando a temperatura ambiente for 30 e 35 °C é insuficiente para fornecer temperaturas amenas para o processo de ensino aprendizagem. A temperatura da sala é muito alta e com pouca ventilação. Na ventilação mecânica o processo de resfriamento é favorecido pela velocidade do escoamento e pela temperatura.

A Figura 4 apresenta os valores da temperatura ao longo de uma linha. A linha foi considerada na região central da sala de aula na direção em acordo com a fileira do professor. Nesta figura observa-se que na ventilação mecânica à 21°C a temperatura tem um pico, isso pode ser explicado pelo resfriamento das paredes considerando temperatura extrema de 35 °C. Já na ventilação natural não ocorre essa variação devido à parede estar em mesma temperatura que o ar fornecido pela janela. Sendo assim, ventilação natural a 25°C apresentam boa semelhança com a ventilação mecânica. As simulações com as temperaturas iguais a 30 e 35°C apresentam o perfil de distribuição de temperatura quase constantes sendo as condições de contorno, nestas duas condições é fundamental o uso do aparelho de ar condicionado para manter as condições de conforto térmico na sala de aula.

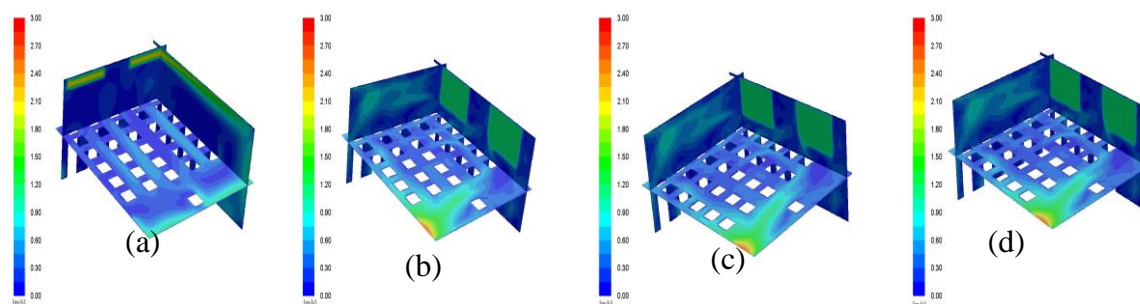


Figura 2. Perfil de velocidade: Ventilação mecânica (a). Ventilação natural 25 °C (b). Ventilação natural 30 °C (c). Ventilação natural 35 °C (d).

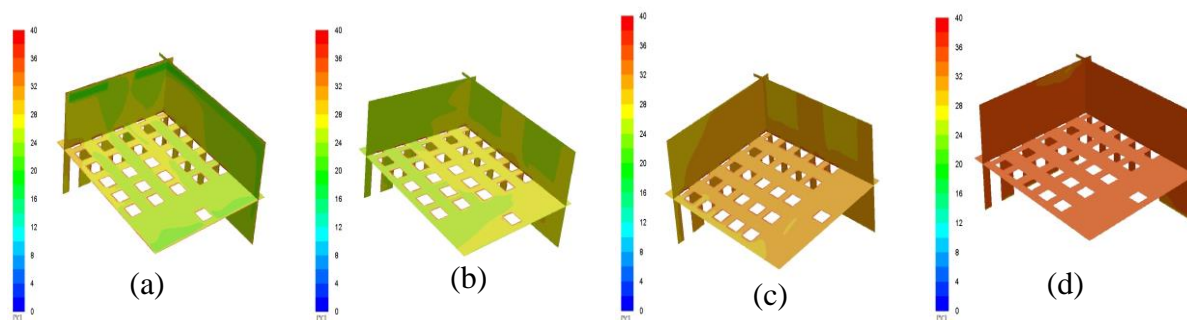


Figura 3. Perfil de temperatura: Ventilação mecânica (a). Ventilação natural 25 °C (b). Ventilação natural 30 °C (c). Ventilação natural 35 °C (d).

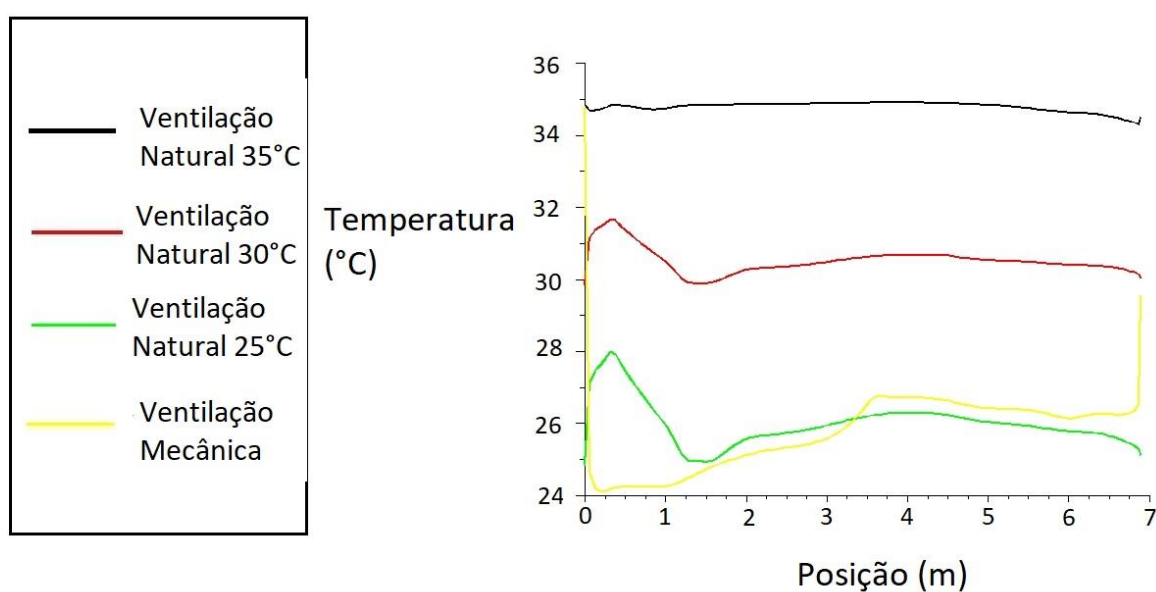


Figura 4. Ventilação Mecânica e Natural.

4. CONCLUSÃO

Verifica-se que a velocidade do ar deve ser o suficiente para remover o calor, assim mesmo a temperatura do ar deve ser baixa para garantir condições térmicas adequadas ao processo de ensino aprendizagem em uma sala de aula na cidade de Cuiabá.

Com temperatura ambiente igual a 25⁰C podem ser desligados os aparelhos de ar condicionado dado que a distribuição da temperatura é adequada ao conforto térmico, por outro lado salas de aula com temperaturas iguais a 30 e 35 ⁰C precisam do uso do aparelho de ar condicionado.

5. BIBLIOGRAFIA

- ARENHARDT L. N.; WANDER P. Um Panorama sobre os estudos relacionados ao conforto térmico em salas de aula; *Revista Científica Eletrônica de Engenharia de Produção*, 2018.
- ÇENGEL Y. A.; GHAJAR A. J., Transferência de Calor e Massa, uma abordagem prática, *Editora McGraw-Hill*, 2012
- FAKHOURY, N. A. Estudo da qualidade do ar interior em ambientes educacionais. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica de Energia e Fluidos), Escola Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2017.
- GAN G. Evaluation of room air distribution systems using computational fluid dynamics, *Energy and Building*, v. 23, p.83-93, 1995.
- NOGUEIRA A.; SANTOS M. F.; OLIVEIRA A. S.; NICE C. P.; DURANTE L. C.; LUZ S. V. Análise de desempenho térmico e sua relação com o índice de insalubridade em uma escola pública na cidade de Cuiabá/MT, X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de conforto no ambiente Construído, 2009.
- OCHOA H. J.; ARAÚJO L. D.; SATTLER A. M. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. *Revista Ambiente Construído*, 2012.
- ROSSI, H. F. *et al.* Análise do conforto térmico de um ambiente condicionado com diferentes sistemas de distribuição de ar através de simulação cfd. XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Juiz de Fora, p. 2169-2173, 2012.
- SOUZA P. C.; NOGUEIRA C. G. W.; SARAIVA C. A. Conforto térmico humano em ambientes escolares de clima semiárido, *Revista Geo. Interações*, 2018.
- VECCHI, R.D.; Condições de conforto térmico e aceitabilidade da velocidade do ar em salas de aula com ventiladores de teto para o clima de Florianópolis/SC. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2011.
- WANG, Y.; ZHAO FU-YUN; KUCKELKORN J.; SPLIETHOFF H.; RANK E. School building energy performance and classroom air environment implemented with the heat recovery heat pump and displacement ventilation system, *Applied Energy*, v. 114, p. 58-68, 2014.