



DETERMINAÇÃO DA VENTILAÇÃO EM CASA DE VEGETAÇÃO AUTOMÁTICA UTILIZANDO CFD

Miguel Ângelo de Oliveira Shaw, eng.miguel.shaw@gmail.com¹
Murilo dos Santos Freire, murilo.s.freire@gmail.com²
Anderson Breno Souza, anderson.souza@ufob.edu.br¹
Filipi Marques de Souza, filipi.souza@ufob.edu.br¹
Rafael Pereira da Cruz, rafaelpereira.2013@hotmail.com¹

¹Universidade Federal do Oeste da Bahia, Av. Manoel Novais, 1064, Centro CEP: 47600-000, Bom Jesus da Lapa - BA Telefone: (77) 3481-9700.

²Universidade Federal de Lavras, Av. Aqueça Sol, 3037, Centro CEP: 372000-00, Lavras - MG, Telefone: (35) 3829-1122.

Resumo. O presente trabalho avaliou o comportamento da ventilação e o escoamento interno do ar em uma casa de vegetação automática, utilizando um modelo numérico de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD). Com o auxílio da ferramenta Fluent do software ANSYS®, foram realizadas simulações da velocidade do ar no interior da instalação. Para confrontar os resultados das simulações, foram mensuradas as velocidades dos ventiladores utilizados na casa de vegetação automática. Com isso, foi possível verificar que tanto as velocidades, como as linhas de fluxo obtidas através da simulação, são compatíveis com o comportamento real, tendo uma margem de erro inferior a 10%.

Palavras chave: Dinâmica de fluidos computacional. Simulação. Ventilação. Condicionamento de Ar.

1. INTRODUÇÃO

O microclima em casas de vegetação confere às plantas, boas condições ambientais para seu desenvolvimento, tal como a umidade. Esse ambiente é resultado de uma complexa troca de massa de ar, entre os elementos internos e externos de uma casa de vegetação (HeeMa, 2010). A manutenção das condições climáticas inadequadas nessas instalações, podem levar a perdas quantitativas e qualitativas das plantas, reduzindo a eficiência da produção vegetal (Bartzanaset al., 2013).

O controle ambiental é essencial para o crescimento das plantas, porém, é dificultado por fenômenos físicos, como a transpiração, a condensação e a ventilação (Piscia et al., 2015). Portanto, a ventilação é um fator chave para controlar o clima em casas de vegetação. Podendo ser definida como a troca de ar, em resposta as variações de temperatura e pressão dentro e fora dessas instalações. Essas variações decorrem da energia solar, fontes internas de calor, vento e transferência de massa, que ocorre através das aberturas (BourneteBoulard, 2010).

O principal objetivo da ventilação é dissipar o calor excessivo, melhorar as trocas de dióxido de carbono e oxigênio, além de manter a umidade em níveis aceitáveis para a produção vegetal. Desse modo, o gerenciamento da ventilação é dependente da estação do ano. Sendo que durante o inverno, a umidade excedente deve ser retirada, enquanto que no verão, a ventilação é usada para resfriar o ar e remover o vapor d'água (BourneteBoulard, 2010).

Dessa forma, o CFD (*Computational Fluid Dynamics*) apresenta-se como uma ferramenta de modelagem útil para avaliar o comportamento de variáveis climáticas em estruturas agrícolas (Hernandez et al., 2016). Essa ferramenta é capaz de resolver modelos matemáticos através de softwares, que utilizam a equação de Navier Stokes para determinar campos de velocidade e pressão (Ambaw et al., 2013). Essa equação é um conjunto de derivadas parciais não lineares, capazes de descrever o movimento de um fluido (Ji, et al., 2013). Todavia, é necessário considerar a conservação da massa, a conservação da energia e a conservação do momento (Espinal-Montes et al., 2015).

Segundo Molina-Aiz et al. (2010), o CFD ocorre em três etapas: Pré-processamento, onde são identificados e especificados os principais aspectos do problema, como a criação da geometria e a geração de malhas. O *Setup*, onde as propriedades físicas e os demais parâmetros relativos a simulação são configurados, bem como, a Resolução, com a solução do problema através de iterações. Por fim, o Pós-Processamento, etapa de análise quantitativa e qualitativa do estudo gerado.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento da ventilação e o escoamento interno do ar em uma casa de vegetação automática, aplicando-se um modelo numérico de Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD), utilizando como *solver*, a ferramenta Fluent do software ANSYS®.

2. METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Campus Juazeiro, na cidade de Juazeiro-BA, localizada no Vale do Submédio São Francisco, em meados do mês de novembro. Para a realização das simulações com o *Fluent*, foram executadas medições das velocidades dos ventiladores da casa de vegetação e posteriormente, realizou-se as simulações seguindo a sequência de passos lógicos do *software* descritos a seguir.

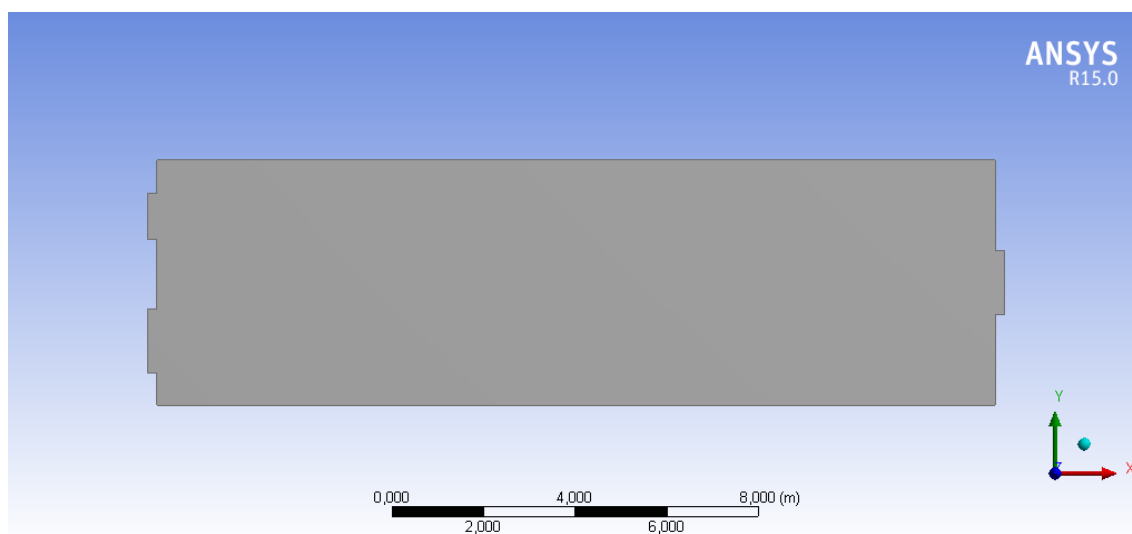
De forma a obter dados de velocidade para confrontar com os que seriam gerados pelas simulações, foram coletadas as velocidades do vento em todos os ventiladores contidos na casa de vegetação, quatro na entrada e dois na saída. A mensuração da velocidade do vento foi realizada com o auxílio do Termo-anemômetro de fio quente, da marca *Instrutherm*, modelo TAFR-190. Segundo o fabricante, o escoamento de ar em torno do fio quente o esfria, fazendo com que sua resistência elétrica seja alterada de forma proporcional à velocidade.

Conforme visto anteriormente, o processo de simulação com o *Fluent* ocorre nas seguintes etapas: Pré-processamento, cuja confecção do modelo geométrico é realizada através da ferramenta *Design Modeler™*. *Meshing*, criação e refino de malhas. *Setup*, onde se insere as condições de contorno e escolha do método iterativo, além de outros parâmetros convenientes a resolução do problema. *Results*, onde os resultados da simulação são apresentados.

Numa casa de vegetação, a principal forma de troca de calor é a convecção. Dessa maneira, para verificar a viabilidade do modelo computacional, assumiu-se a seguintes hipóteses: 1) as plantas não trocam calor e nem massa; 2) as portas, janelas e telas de proteção funcionarão como isolantes, ou seja, o único fluxo de ar será proveniente dos resfriadores evaporativos da casa de vegetação.

Para o estudo do comportamento do escoamento dentro da casa de vegetação foi efetuada a construção de uma geometria em corte transversal de umas das casas com as suas dimensões reais, para que pudesse ser feita a simulação numérica em 2D, como mostra a Fig. 1.

Figura 1. Geometria da casa de vegetação em 2D.



Essa simplificação foi realizada de acordo com as condições de simetria, observadas no modelo real, tendo em vista que a análise feita dessa maneira, reduz a complexidade e facilita o processamento dos dados. No entanto, esse procedimento não influencia sensivelmente os valores de velocidade do escoamento, uma vez que o objetivo principal é observar o comportamento do ar no interior do ambiente fechado, bem como suas velocidades de entrada e saída.

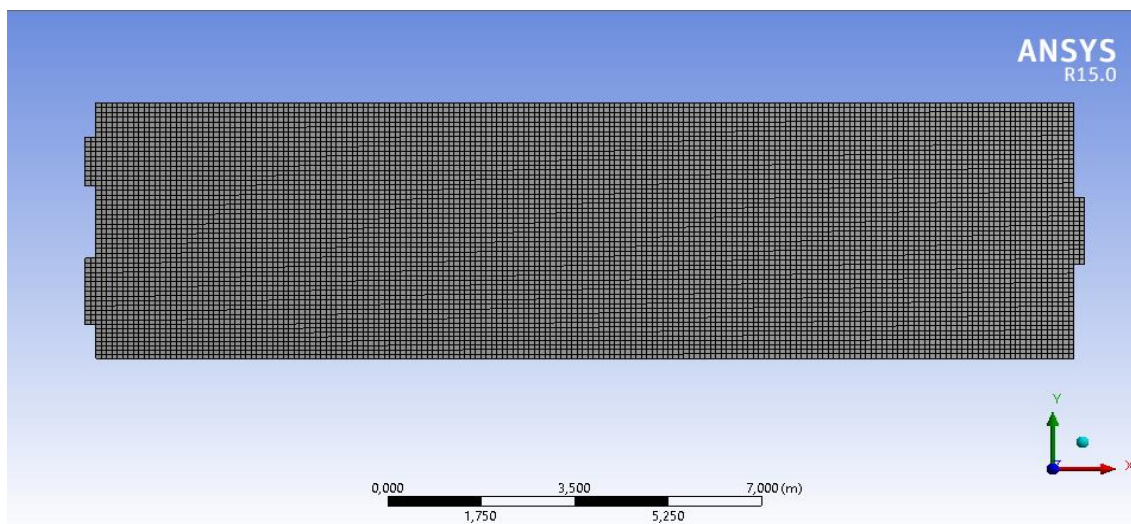
Depois de criada a geometria, foram determinadas as regiões de entrada e saída dos fluxos de ar da casa de vegetação. Para tanto, através do comando *Namedselection*, foi escolhida a protuberância do lado direito como entrada, e as protuberâncias do lado esquerdo como saída, por onde o ar é retirado do ambiente. O restante da geometria é considerado como parede. As dimensões da geometria da estrutura podem ser vistas na Tab. 1.

Tabela 1. Dimensões da geometria da casa de vegetação.

Arestas	Dimensões (m)
Total da casa de Vegetação	18,30 x 5,30
Entrada	1,38
Saída	1,00 (superior) e 1,38 (inferior)

Em seguida, foi realizada a segunda fase do pré-processamento, a geração da malha (Fig. 2). Para esta simulação, a malha foi feita utilizando o refinamento dos tamanhos máximos e mínimos dos elementos. Para estruturar a malha, foi utilizada a ferramenta *Mapled Face Meshing*. Os demais parâmetros da malha, foram determinados pelo próprio programa, uma vez que a malha mostrou um bom comportamento não necessitando da utilização de mais ferramentas para refino.

Figura 2. Malha gerada após a definição dos parâmetros.



Na segunda etapa da simulação (*Setup*), é importado ao *Solver*, os dados relativos as condições de contorno, materiais, método de resolução, configuração dos parâmetros de convergência, dentre outros.

O modelo de equação utilizado nesta simulação foi o K- ϵ , que envolve duas equações de escoamento viscoso, sendo este bastante difundido em soluções numéricas para problemas que envolvem escoamentos turbulentos.

Foi utilizado o ar como material para simulação, uma vez que pretende-se simular o comportamento desse fluido dentro da instalação, cujas propriedades consideradas foram: $c_p = 1006,4 \text{ J/Kg-K}$ e densidade volumétrica $\rho = 1,225 \text{ m}^3$.

As condições de contorno foram configuradas em relação a velocidade de entrada da casa de vegetação, para tanto, determinou-se como padrão, a maior velocidade de fluxo de ar oriunda dos sopradores. Para a saída, foi considerada a condição de pressão estática, pois a simulação se deu em regime estacionário. O restante da superfície foi determinado como domínio fluido, com condição de não escorregamento.

As técnicas de cálculo não foram editadas, pois uma vez que determinado o método de solução, a discretização das equações foi satisfatória. Além disso, foi determinado um número de 1000 interações para a convergência dos dados, devido as capacidades de processamento da máquina usada para realizar a simulação.

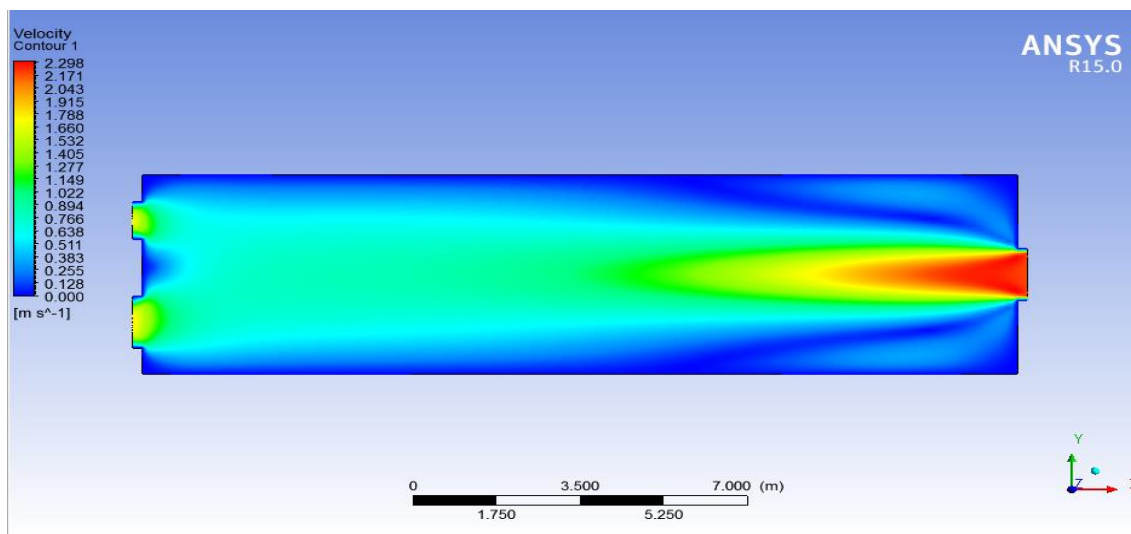
Posteriormente, no *Results*, foram verificados os resultados gerais da simulação e analisados os valores de velocidade de saída, como também o comportamento da velocidade do ar dentro da estufa.

3. RESULTADOS

A partir do pós-processamento, foi possível analisar os resultados obtidos pela simulação e verificar se estes possuíam discrepâncias significativas em relação aos dados coletados em campo. Além disso, pode-se observar como comporta-se o escoamento do ar no interior da casa de vegetação (Fig. 3).

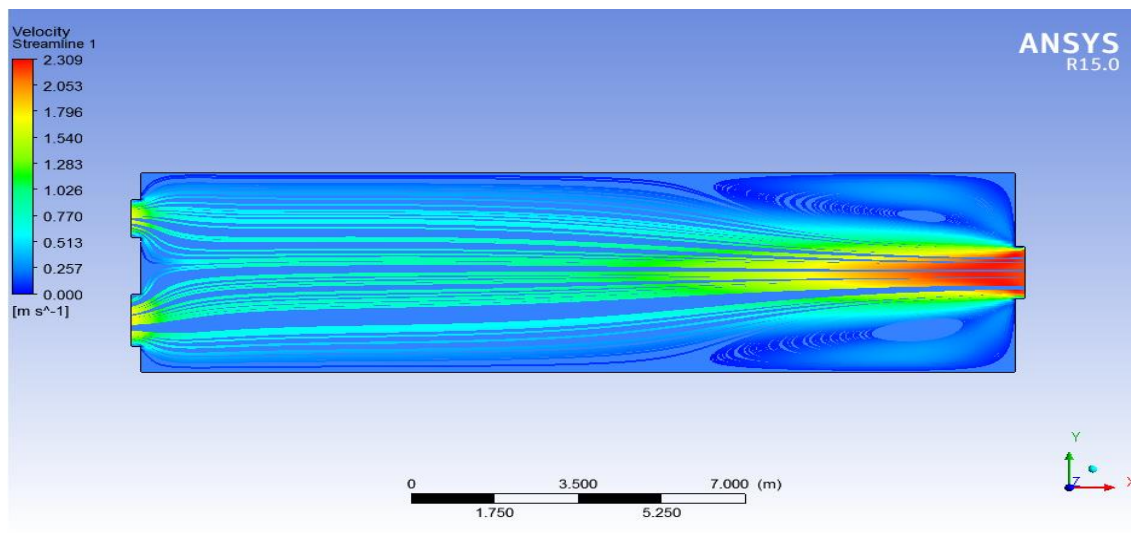
Verifica-se, portanto, que o comportamento da velocidade do ar está de acordo com o esperado, uma vez que a maior velocidade é obtida na entrada, evidenciada pela cor alaranjada. E, conseqüentemente, a saída apresenta os menores valores, com tonalidade esverdeada. Além disso, observa-se nas bordas zonas de estagnação do fluxo, em azul, visto que a geometria não possui arredondamentos para facilitar o fluxo de ar.

Figura 3. Comportamento da velocidade do ar no interior da casa de vegetação.



Através da Fig. 4, observa-se linhas de corrente, criadas devido ao escoamento que flui da direita para esquerda, ou seja, do soprador que insufla o ar para dentro da casa, para os sopradores que retiram o ar do ambiente, permitindo, dessa maneira, a constante renovação do ar.

Figura 4. Linhas de fluxo dentro da estufa.



Avaliado o comportamento do perfil de escoamento dentro da casa de vegetação, é pertinente realizar as comparações entre os valores das velocidades, obtidas através das medições em loco, com os valores obtidos via simulação numérica, juntamente com as respectivas margens de erro (Tab. 2).

Tabela 2. Comparação entre velocidades máximas reais e obtidas através da simulação.

Região	Velocidade real (m/s)	Velocidade simulada (m/s)	Margem de erro (%)
Entrada	2,16	2,31	6,94
Saída	1,80	1,66	7,77

Nota-se, portanto, que a margem de erro se encontra abaixo de 10%, quando comparadas as velocidades mensuradas e as simuladas, valor aceitável pelas boas práticas da engenharia. Dessa maneira, verifica-se que a simulação gerou resultados satisfatórios, mesmo com as simplificações realizadas em respeito à geometria, como também o refino de malha utilizado.

Além disso, ressalta-se que os resultados obtidos poderiam gerar uma margem de erro menor, se fosse efetuado melhor refinamento da malha, como também a realização de um novo processamento utilizando maior número de interações

4. CONCLUSÕES

- A velocidade do ar comportou-se como previsto, com maior velocidade na entrada, menor velocidade na saída e zonas de estagnação.
- A simulação numérica apresentou margem de erro menor que 10%, em relação a mensuração em campo. Podendo ser reduzida, com o melhor refinamento e maior número de interações em trabalhos futuros.
- O *Fluent* mostrou-se uma ferramenta útil para verificar comportamento do fluxo de ar, dentro de casas de vegetação.

5. REFERÊNCIAS

- Ambaw, A., Delele, M. A., Defraeye, T., Ho, Q. T., Opara, L. U., Nicolaï, B. M., Verboven, P., 2013. “The use of CFD to characterize and design post-harvest storage facilities: Past, present and future”. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 93, p. 184-194.
- Bartzanas, T., Kacira, M., Zhu, H., Karmakar, S., Tamimi, E., Katsoulas, N., Bok, I., Kittas, C., 2013. “Computational fluid dynamics application to improve crop production systems”. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 93, p. 151-167.
- Bournet, P., Boulard, T., 2010. “Effect of ventilator configuration on the distributed climate of greenhouses: A review of experimental and CFD studies”. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 74, p. 195-217.
- Espinal-Montes, V., López-Cruz, I. L., Rojano-Aguilar, A., Romantchik-Kriuchova, E., Ramírez-Arias, A., 2015. “Determinación de los gradientes térmicos nocturnos en un invernadero usando dinámica de fluidos computacional”. *Agrociencia*, Vol. 49, n. 3, p. 233-247.
- He, F., Ma, C., 2010. “Modeling greenhouse air humidity by means of artificial neural network and principal component analysis”. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 71, p. 519-523.
- Hernandez, R. O., Tinoco, I. F. F., Osorio S, J. A., Mendes, L. B., Rocha, K. S. O., Garcia, L. M. G., 2016. “Thermal environment in two broiler barns during the first three weeks of age”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Vol. 20, n. 3, p. 256-262.
- Ji, H. S., Wang, Q., Guo, Z. Y., 2013. “CFD-Based Simulation of the Temperature Distribution in Multi-Span Greenhouse with Warm Air Heating System”. *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 316-317, p. 1138-1142.
- Molina-Aiz, F. D., Fatnassi, H., Boulard, T., Roy, J. C., Valera, D. L., 2010. “Comparison of finite element and finite volume methods for simulation of natural ventilation in greenhouses”. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 72, n. 2, p. 69-86.
- Piscia, D., Muñoz, P., Panadès, C., Montero, J. I., 2015. “A method of coupling CFD and energy balance simulation to study humidity control in unheated greenhouses”. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 115, p. 129-141.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.