

TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM ESTUFAS COM TUBOS PARA AQUECIMENTO

Bernardo Bastos Alexandre¹ e Washington Braga²

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio

Marquês de São Vicente, 225, 22453-900, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

berbastos@gmail.com¹ e wbraga@mec.puc-rio.br² (Orientador)

Objetivo

O objetivo do trabalho é estudar a transferência de calor, por Convecção e Radiação, em estufas utilizadas para plantio de culturas. O problema envolve interações entre as superfícies da cavidade e um tubo de aquecimento, por onde há o escoamento de água quente para produzir o aquecimento desejado.

Introdução

A troca de calor por Radiação entre as superfícies ocorre através de emissão de fótons que podem ou não interagir com o meio (gases, no caso) que as envolve. Os gases que apresentam algum tipo de interação (emissão, absorção ou espalhamento) são chamados de gases participantes. Já a troca por Convecção Natural ocorre devido à diferença de massa específica do fluido, que é consequência das diferenças de temperatura (além, claro, do campo gravitacional). O escoamento do fluido pode ser laminar ou turbulento de acordo com o número de Rayleigh que leva em consideração o fluido, a geometria e as temperaturas, de acordo com a Eq. (1).

$$Ra = \frac{g\beta\Delta T D^3}{\alpha\nu} \quad (1)$$

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura despreza a troca de calor por Radiação por diferentes razões, embora experiências indicam que o fluxo de calor devido a Radiação seja da mesma ordem de grandeza da Convecção Natural[1], especialmente para baixas e médias temperaturas.

Devido à complexidade das equações que governam o problema e à não-linearidade do problema, soluções analíticas inexistem, o que resulta na busca de soluções numéricas. No presente trabalho, a solução numérica foi obtida a partir do programa de simulação do escoamento de fluidos e térmico, FLUENT, disponível no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio.

Metodologia

O modelo utilizado para a geometria da estufa tem uma seção retangular (largura L e altura H), de acordo com a figura 1. As superfícies 1 e 2 simulam as plantas, a superfície 3 indica o solo e a superfície 4, o teto. Para o modelo apresentado, a profundidade da estufa é considerada infinita (muito maior que a altura H e o comprimento L), resultando em uma simulação bidimensional, o que equivale a se desprezar as trocas que ocorrem pelas extremidades. O tubo de diâmetro D está posicionado na posição (x, y).

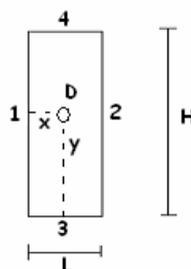


Figura 1 – Geometria da Estufa

Para análise de performance, definiu-se uma eficiência para a estufa que é representada pela Eq. (2):

$$\eta = \frac{(Q_1 + Q_2)}{Q_{TUBO}} \quad (2)$$

Através do FLUENT foi possível resolver as equações de Navier-Stokes, energia e intensidade de Radiação que descrevem o problema. Uma vez que o escoamento é considerado no regime turbulento, utilizou-se o modelo k-epsilon para a modelagem da turbulência. Utilizou-se o método das ordenadas discretas para resolver a equação de intensidade de Radiação por ser este capaz de solucionar o problema para diferentes coeficientes de absorção (outros modelos não atendem essa restrição) e apresentar baixo custo computacional.

Resultados

Para a validação dos resultados obtidos, utilizaram-se soluções analíticas ou disponíveis na literatura, e que envolveram Radiação e Convecção separadamente pela inexistência de nenhuma simulação teórica de referência. Após esta validação, os problemas envolvendo os dois modos de Troca de Calor foram consideradas. A tabela 1 apresenta a solução encontrada para os seguintes parâmetros: $H/L=3$, $x=0,5m$, $y=1,5m$, $D=0,1m$, $\epsilon = 1$, a (coeficiente de absorção do meio) = $0,5$, $T_1=T_2=T_3=293K$, $T_4=283K$ e $T_{TUBO}=323K$. A malha apresenta 150 pontos nas paredes verticais, 30 pontos nas paredes horizontais e 20 pontos na superfície do tubo. Devido à presença do tubo, a malha utilizada foi triangular.

Tabela 1 – Calor Trocado para diferentes Combinações ($Ra = 2 \times 10^6$)

Combinação \ Calor Trocado [W]	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_{TUBO}	Eficiência
Radiação	-4,5	-4,5	-2,8	-55,2	66,8	13,5%
Convecção	-6,0	-6,2	0,00	-26,1	38,2	31,9%
Radiação + Convecção	-8,8	-8,9	-2,6	-83,7	104,1	17,0%

Observando os resultados é possível concluir que desprezar a radiação pode ser um erro grave, uma vez que a eficiência considerando apenas convecção é 31,9%, enquanto que na realidade o seu valor vale 17,0%. Ou seja, a maior parte da energia não atinge as plantas. A figura 2A mostra o fluxo de calor ao longo da parede vertical (plantas), já a figura 2B representa a velocidade y para um plano horizontal acima do tubo.

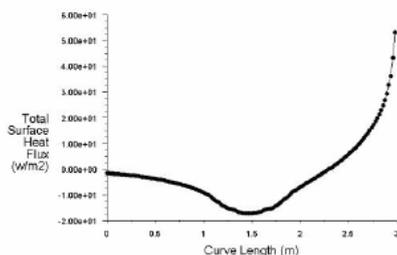


Figura 2A – Fluxo de Calor ao longo da parede vertical

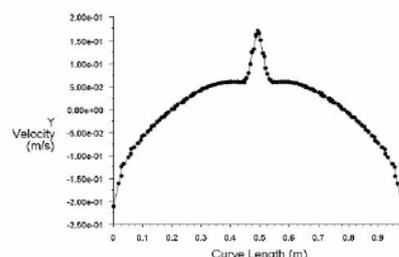


Figura 2B – Velocidade y para um plano horizontal acima do tubo

A figura 2A mostra que o fluxo de calor não é uniforme, sendo que na parte superior da superfície há perda de calor, o que é prejudicial para as plantas. Já a figura 2B mostra o aumento na velocidade y na região acima do tubo de acordo com esperado, uma vez que a temperatura do fluido nessa região é maior.

Conclusões

A simulação dos dois modos combinados de troca de calor, Radiação e Convecção, é fundamental para o entendimento adequado da Física do problema e dimensionamento da geometria. Nenhum dos dois modos pode ser ignorado, pelo menos nos casos considerados. Os resultados indicam claramente a relevância da simulação completa. A complementação do estudo envolve o processo de otimização da posição e do tamanho do tubo de aquecimento, o que pode envolver o uso de mais do que um tubo, para evitar uma distribuição não uniforme do calor trocado, que pode gerar problemas no crescimento das plantas (crescimento não uniforme).

Referências Bibliográficas

- Bastos, B. & Braga, W., “Radiative and Convective effects inside Greenhouses”, submetido ao COBEM 2005.
- Bastos, B. & Braga, W., “Radiação Térmica em Estufas em Presença de Tubos para Aquecimento”, Anais do XI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica, CREEM, código do trabalho CRE04 – TF15, Nova Friburgo, RJ, 2004.
- Teitel, M., Tanny, J., “Radiative Heat Transfer form Heating Tubes in Greehouse”, J. Agirc. Engng. Res, Vol 69, pp. 185-188, 1998.