

Determinação da distribuição de temperatura em uma barra através o software OpenFOAM

Beatriz Faga / Lorena Alves Vicente
19150627 / 19250536

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é avaliar a transferência de calor através de uma barra retangular longa de seção transversal com $L = 50 \text{ cm}$ e $D = 50 \text{ cm}$ tem sua superfície superior mantida a $T_2 = 100 \text{ °C}$, enquanto as demais superfícies são mantidas a $T_1 = 0 \text{ °C}$, conforme a Figura 1. O problema pode ser tratado como bidimensional e a sua equação governante é dada por:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$

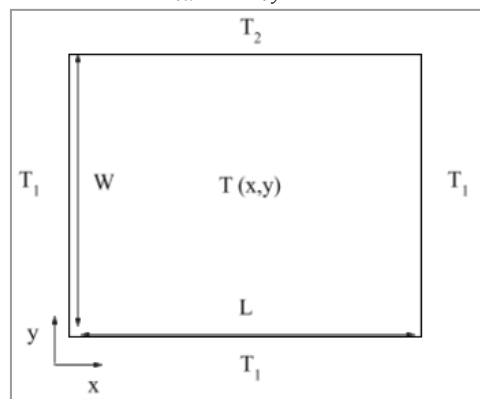


Figura 1: Ilustração do problema (Incropera, 2003).

2. METODOLOGIA

Diante da complexidade da maioria dos problemas de mecânica dos fluidos, é vantajoso fazer o uso de métodos numéricos para resolvê-los. Neste trabalho é utilizado o método de volumes finitos para discretizar a equação da difusão de calor,

Para o problema em questão - tomando as hipóteses de regime permanente, condução bidimensional sem geração de calor e propriedades constantes ao longo de todo domínio -, ao integrar a equação 1, e interpolar linearmente a temperatura para uma malha genérica como da Figura 1, tem-se:

$$\left[2 \frac{\Delta y}{\Delta x} + 2 \frac{\Delta x}{\Delta y} - S_p \right] T_p = \left(\frac{\Delta x}{\Delta y} \right) T_N + \left(\frac{\Delta x}{\Delta y} \right) T_S + \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) T_E + \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) T_W + S_u \quad (2)$$

Pode-se observar que a temperatura no volume de interesse P depende de seus vizinhos a norte, sul, leste e oeste. Quando o volume de controle pertence às regiões adjacentes às superfícies do domínio, como o volume 1 da Figura 2 onde não há vizinhança a norte e a oeste, faz-se necessário o uso das condições de contornos para substituir a ausência desses vizinhos. As condições de contorno são as temperaturas fixadas nas paredes da barra

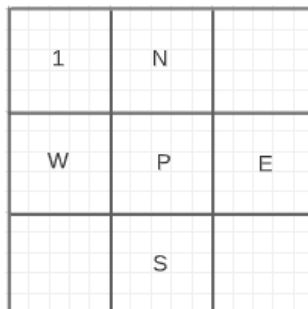


Figura 2: Malha genérica (Autoras, 2022).

Para solucionar este caso, foi aplicado o uso de códigos de fluidodinâmica computacional para simular a distribuição de temperaturas ao longo da placa para essas condições de contorno. Além disso, uma análise de refino de malha e comparação com a solução analítica também foram realizadas para verificar a aplicabilidade do método escolhido. Para computar a solução analítica foi, ainda, implementado um script em Matlab.

Para simular este problema, foi requerido a aplicação do software OpenFOAM, um dos principais programas em código aberto para análises de fluidodinâmica computacional. Dentro do programa existem diversos *solvers*, que se diferenciam de acordo com o problema a ser resolvido.

Neste trabalho, foi adotado o solver *laplacianFoam*, aplicável em casos de difusão de calor em sólidos, ou seja, ideal para o problema em questão. Dentro do caso, foi inserida uma malha simétrica e estruturada, iniciada com 25 volumes de controle, e depois refinada para 225 volumes de controle. Posteriormente, optou-se por fazer uma progressão de refino apenas na região superior da placa, uma vez que esse é o local onde há maiores gradientes de temperatura.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme a Figura 3, é possível observar que o refino da malha proporciona uma maior concordância com a solução analítica, ilustrada na Figura 4.

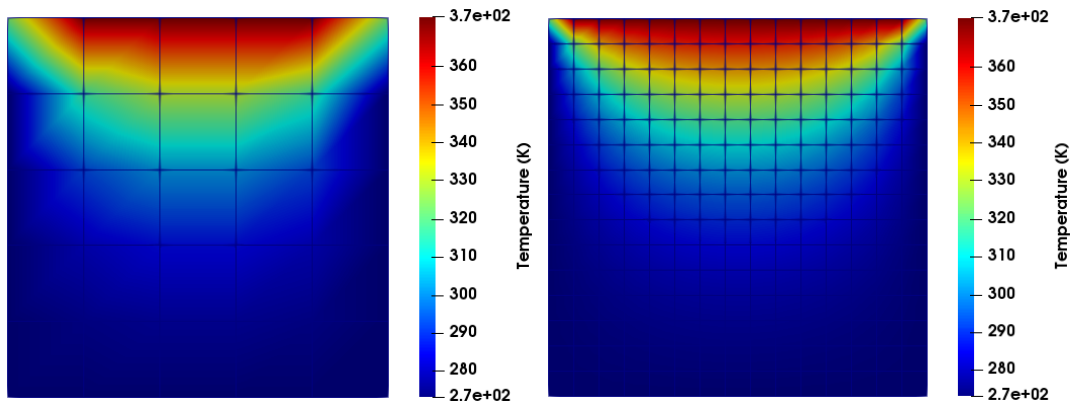


Figura 3: Resultados obtidos no OpenFOAM através do solver *laplacianFoam*, para uma malha com 25 volumes de controle (esquerda), e outra, à direita, com 225 volumes de controle (Autoras, 2022).

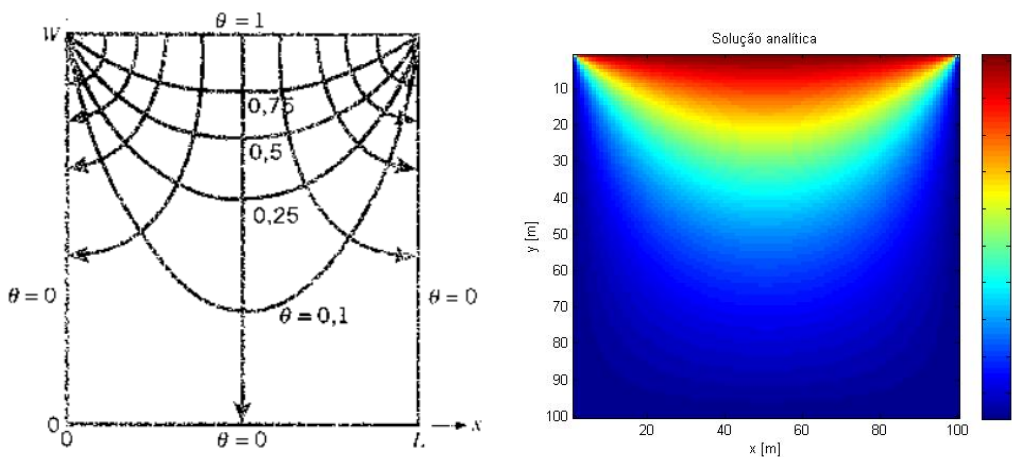


Figura 4: À esquerda distribuição de temperaturas ao longo da placa pela solução analítica (Incropera, 2008) e à direita a implementação do script em Matlab (Autoras, 2022).

A seguir tem-se na Figura 5 uma progressão de refino da malha apenas na região superior da placa.

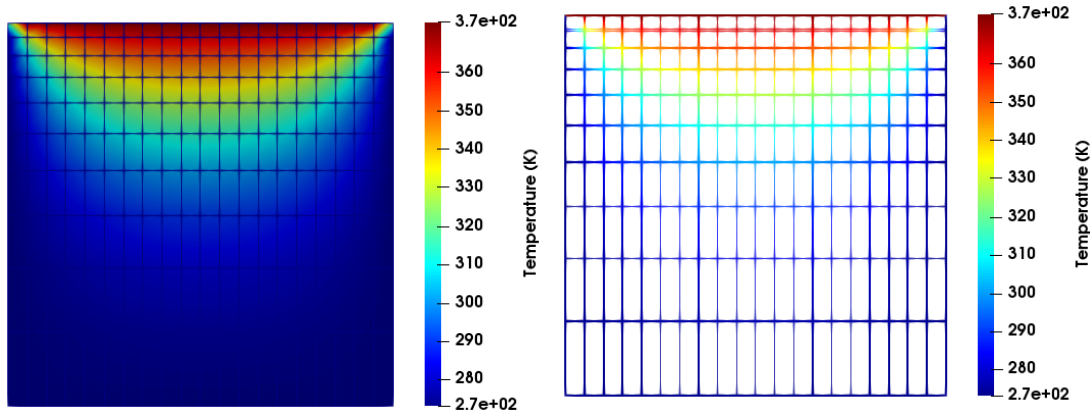


Figura 5: Proposta de refino de malha com 200 volumes de controle, e refino mais próximos à região de maior gradiente de temperatura.

Para este caso em específico, foi gerado o gráfico de resíduos, Figura 6, a fim de visualizar a convergência da simulação. É interessante notar que a solução para de sofrer alterações significativas a partir da iteração 500, indicando um bom ponto para finalizar a simulação como estratégia para redução de custo computacional, já que um maior refinamento exige um custo computacional mais elevado. Este fator deve ser analisado em projetos antes da simulação para garantir que é possível chegar na solução desejada com os recursos disponíveis.

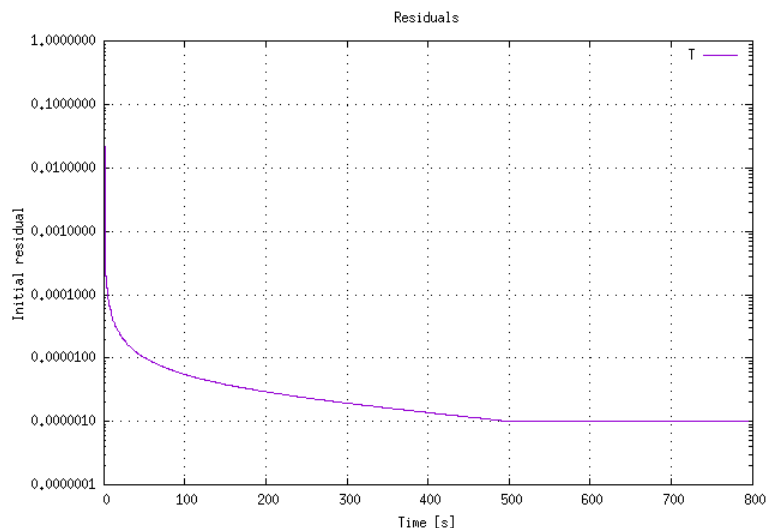


Figura 6: Gráfico de resíduos para simulação com 200 volumes de controle.

Por fim, analisou-se os tempos de simulação para ambos os códigos, apresentados na Tabela 1, onde pode-se concluir que conforme tem-se resultados mais acurados, maiores são os tempos de simulação, o que desprende em um maior custo computacional.

Tabela 1: Tempo de simulação para os respectivos métodos de solução em diferentes números de volume de controle.

Número de volumes	Tempo de simulação
25	65.60 s
200	75.09 s
225	79.18 s

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho, mostrou-se efetivo para aplicação do método de volumes finitos para análises bidimensionais de transferência de calor.

Observou-se que limitar o número de iterações a partir do qual a solução não sofre mudanças significativas é desejável para diminuir custo computacional. De maneira análoga, notou-se que em um tempo menor, a simulação com progressão de refino apenas na região superior da placa gerou resultados próximos à simulação com 225 volumes de controle.

Referências

- [1] INCROPERA, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, & Lavine, A. S. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro: LTC. 2008.
- [2] VERSTEEG, H. K., MALALASEKERA, W.. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics: the Finite Volume Method**. 2ed. Pearson. 2007