



V SEMANA DO CONHECIMENTO

**CONSTRUINDO CONHECIMENTOS
PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES**

1 A 5 DE OUTUBRO DE 2018



Marque a opção do tipo de trabalho que está inscrevendo:

Resumo

Relato de Caso

AVALIAÇÃO ANALÍTICA E NUMÉRICA DA DISTRIBUIÇÃO DE TEMPERATURA EM BARRAS CILÍNDRICAS DE URÂNIO DE REATOR NUCLEAR

AUTOR PRINCIPAL: Carlos Lorenzet Filho

CO-AUTORES: Eduardo Rupollo

ORIENTADOR: Lucas Dalla Maria

UNIVERSIDADE: Universidade de Passo Fundo

INTRODUÇÃO

O principal objetivo de um método numérico é resolver uma ou mais equações diferenciais por meio da substituição das derivadas existentes por equações algébricas que contém a função desejada (MALISKA, 2004).

O uso da simulação numérica na engenharia permite projetar e otimizar equipamentos e sistemas de uma forma rápida e eficiente. Isto somente é possível devido ao desenvolvimento da capacidade computacional, tanto em termos de velocidade e capacidade de armazenamento, como ao aprimoramento dos métodos numéricos (FRANCO, 2011).

Por ser de fácil utilização e obter resultados de excelente qualidade, os métodos numéricos estão em crescente utilização em razão da economia de tempo de projeto e, conseqüentemente, do custo total do equipamento.

Contudo, deve-se observar que as soluções numéricas dependem da correção e adequação de um modelo matemático, o que requer cuidados específicos para não comprometer a solução e reforça a necessidade de validação analítica ou experimental.

DESENVOLVIMENTO

O processo de simulação consiste em três etapas principais: pré-processamento, processamento e pós-processamento. No pré-processamento, temos a criação do domínio físico, a escolha do modelo matemático, a atribuição das

V SEMANA DO CONHECIMENTO

CONSTRUINDO CONHECIMENTOS
PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

1 A 5 DE OUTUBRO DE 2018



propriedades físicas dos materiais, a geração da malha computacional e a aplicação das condições iniciais e de contorno.

Em seguida, no processamento o computador efetua os cálculos matemáticos necessários. Segundo Çengel e Ghajar (2012), a equação geral de condução de calor em coordenadas cilíndricas obtida através da primeira lei da termodinâmica aplicada para um volume de controle diferencial torna-se:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \phi} \left(k \frac{\partial T}{\partial \phi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{e}_{\text{ger}} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Após a resolução da equação discretizada para elementos finitos, entra-se na última parte da simulação, o pós-processamento, na qual geramos os gráficos, visualizamos os resultados e interpretamos os fenômenos físicos ocorridos.

As análises analítica e numérica foram realizadas para um elemento cilíndrico a fim de obter a distribuição de temperatura. Posteriormente, tendo como objetivo validar o método numérico, compararam-se os dados obtidos com as temperaturas calculadas analiticamente.

Para isso, utilizou-se o exemplo 2.5, disponível em Kreith, Manglik e Bohn (2014), cujo enunciado solicita a determinação da temperatura no centro das barras de um reator nuclear, tendo geração de calor uniformemente em barras de urânio com 0,05 m de diâmetro, a uma taxa de $7,5 \cdot 10^7 \text{ W/m}^3$. As barras são envolvidas por um anel no qual a água, a uma temperatura média de 120 °C, é colocada para circular. Com isso, a água resfria as barras e o coeficiente de transferência de calor por convecção médio é estimado em 55000 W/m² K. A condutividade térmica do urânio é de 29,5 W/m K. O diagrama esquemático pode ser observado na Figura 1.

Considera-se que as barras são longas, podendo desprezar os efeitos nas extremidades, e que a condutividade térmica do urânio não se altera com a temperatura. Desta forma, a taxa de fluxo através da superfície externa da barra é igual à taxa de geração de calor interno:

$$2\pi r_0 L \left(-k \frac{dT}{dr} \right)_{r_0} = \dot{q} \pi r_0^2 L$$

Resolvendo a equação acima, obtém-se:

$$-k \frac{dT}{dr} \Big|_{r_0} = \frac{\dot{q} r_0}{2} = \frac{\left(7,5 \cdot 10^7 \frac{\text{W}}{\text{m}^3} \right) (0,025 \text{ m})}{2} = 9,375 \cdot 10^5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Como a taxa do fluxo de calor por condução na superfície externa é igual à taxa do fluxo de calor por convecção da superfície para a água, temos:

$$2\pi r_0 \left(-k \frac{dT}{dr} \right) \Big|_{r_0} = 2\pi r_0 h (T_0 - T_{\text{água}})$$

V SEMANA DO CONHECIMENTO

CONSTRUINDO CONHECIMENTOS
PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

1 A 5 DE OUTUBRO DE 2018



Isolando a temperatura da superfície externa, obtém-se:

$$T_0 = \frac{-k(dT/dr)|_{r_0}}{h} + T_{\text{água}} = \frac{9,375 \cdot 10^5 \frac{W}{m^2}}{5,5 \cdot 10^4 \frac{W}{m^2 K}} + 120 \text{ } ^\circ\text{C} = 137,04 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Finalmente, consegue-se calcular a temperatura máxima da barra pelo método analítico, adicionando a diferença de temperatura entre o centro e a superfície externa:

$$T_{\text{máx}} = T_0 + \frac{\ddot{q} r_0^2}{4k} = 137,04 \text{ } ^\circ\text{C} + \frac{\left(7,5 \cdot 10^7 \frac{W}{m^3}\right) (0,025 \text{ m})^2}{4 \left(29,5 \frac{W}{m K}\right)} = 534,29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Complementarmente, para a simulação, utilizaram-se 110250 nós e 54689 elementos para a malha computacional, e após o processamento de dados, obtemos a temperatura externa de 136,94 °C e a temperatura máxima de 534,29 °C localizada na linha de centro da barra cilíndrica, conforme Figura 2.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Comparando-se os resultados analíticos com os perfis de temperatura obtidos numericamente, percebe-se que os valores convergiram. Isto comprova que simulações podem ser executadas para resolver problemas complexos e intrincados do ponto de vista analítico. Desta forma, a simulação através do modelo *Steady-State Thermal* mostrou-se válida para este tipo de problemas, obtendo valores confiáveis.

REFERÊNCIAS

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. Tradução de Fátima A. M. Lino. 4ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012.

FRANCO, A. T. **Métodos Numéricos Aplicados à Engenharia: Introdução aos Métodos de Diferenças Finitas e de Volumes Finitos**. UFPR. Curitiba. 2011.

KREITH, F.; MANGLIK, R. M.; BOHN, M. S. **Princípios de Transferência de Calor**. Tradução de Noveritis do Brasil. 7ª. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. 2ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

NÚMERO DA APROVAÇÃO CEP OU CEUA (para trabalhos de pesquisa):

V SEMANA DO CONHECIMENTO

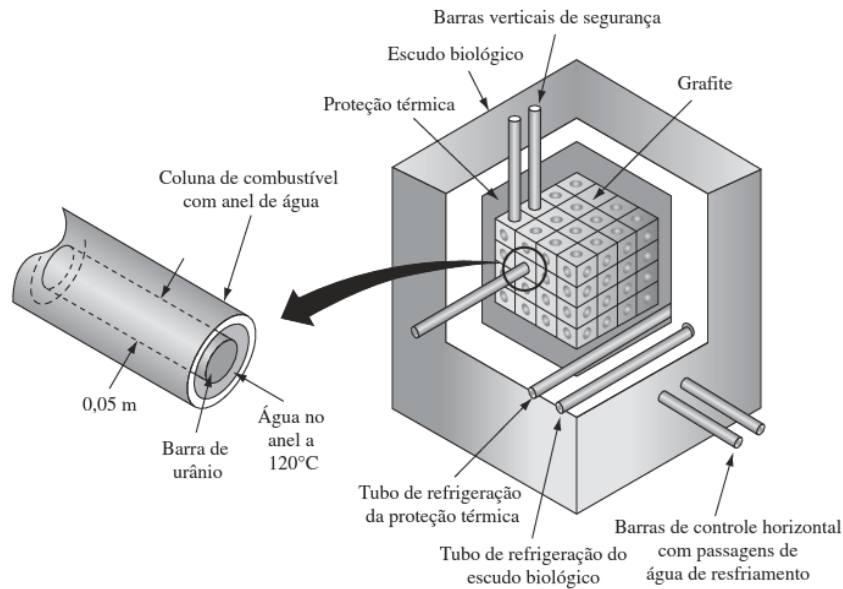
CONSTRUINDO CONHECIMENTOS
PARA A REDUÇÃO DAS DESIGUALDADES

1 A 5 DE OUTUBRO DE 2018



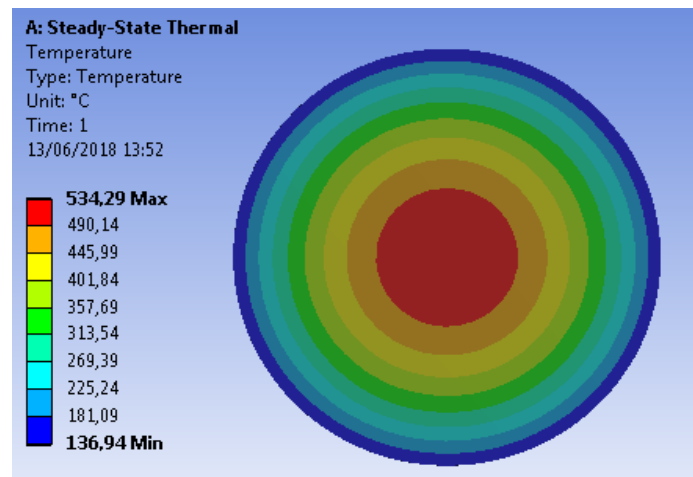
ANEXOS

Figura 1 - Diagrama esquemático do reator nuclear.



Fonte: Kreith, Manglik e Bohn (2012).

Figura 2 – Distribuição de temperatura obtida pelo método numérico.



Fonte: Autores (2018).