



TM-114 Transferência de calor e massa
4ª Aula de Simulação

Caso 1: $\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{hP}{kA}(T - T_\infty) = 0$

Aleta com área da seção transversal uniforme, em regime permanente, sem geração de calor.

Definição da geometria:

- Meio, Geometria, Cartesiana, Próximo
- Dimensões: largura = 1.0; altura = 0.2
- Volumes nas direções: I = 50; J = 10
- Finalizar

Definição das propriedades do meio:

- Meio, Propriedades Físicas, >>
- Duplo clique sobre a “cobrer”
- Aplicar em tudo, Fechar.

Definição das condições de contorno:

- Condições, Contorno
- Norte, Adicionar
- Tipo “Convecção”,
- h = 100; T_∞ = 20;
- Sul e Leste: iguais ao Norte
- Oeste, Adicionar
- Tipo “Temperatura”, T Personalizar,
- Tipo constante, k = 100, OK, OK, Fechar

Definição das condições iniciais:

- Condições, Iniciais

Temperatura inicial = 100, OK

Definição dos parâmetros da simulação:

- Simulação, Parâmetros
- Tempo: Avanço no tempo(s) = 1000
- Tempo: Número de Avanços no Tempo = 15000
- Tempo: Tolerância = 1E-10
- Solver: Número de iterações = 10000
- Solver: Tolerância = 1E-5
- OK

Execução da simulação:

- Simulação, Iniciar, Iniciar
- Aguardar o fim dos cálculos
- Note que devem ter sido feitos 10040 avanços no tempo
- Fechar

Visualização de isorregiões:

- Automático após a simulação, ou
- Visualizar, Temperatura
- Para ver a escala: clique no ícone “i”, “campos”

Visualização de isotermas:

- Visualizar, Isotermas

Visualização de vetores de fluxo de calor:

- Visualizar, Vetores de Fluxo de calor
- Clique no botão “Auto ajuste”
- Altere o tamanho dos vetores na escala ao lado, se quiser

Visualização de gráficos:

- Visualizar, Gráficos Dinâmicos
- Os gráficos serão de vetores de fluxo ou de temperatura dependendo da opção que estiver acionada em Visualizar

Visualização dos resultados numéricos:

- Simulação, Resultados
- Temperatura no centro de cada volume de controle
- Taxa de transferência de calor (watts) em cada face dos volumes de controle, no sentido oeste-leste (ou esquerda-

direita) e no sentido sul-norte (ou inferior-superior)

- Também é apresentada a soma da taxa de transferência de calor (watt) em cada linha vertical e horizontal

Observação: na listagem dos resultados numéricos o parâmetro “fluxo” refere-se ao fluxo por unidade de comprimento (na direção z) (watts/metro)

Questões para análise:

1. Como são as isorregiões/isotermas? Por que elas apresentam esse aspecto?
2. Realize um balanço de energia na aleta. O princípio da conservação de energia é satisfeito?
3. Compare os resultados numéricos obtidos para o fluxo de calor na aleta com os resultados esperados empregando-se as expressões analíticas para aletas (condução unidimensional). A hipótese de condução unidimensional é válida? Justifique sua resposta.

Caso 2:

Em relação ao Caso 1, altere o seguinte, mas confirme todos os dados novamente:

Definição da geometria:

- Meio, Geometria, Cartesiana, Próximo
- Dimensões: largura = 1.0; altura = 0.2
- Volumes nas direções: I = 10; J = 5
- Finalizar

A simulação deverá ser concluída em 1301 avanços de tempo.

Questões para a análise:

4. Realize um balanço de energia na aleta. O princípio da conservação de energia é satisfeito?
5. Compare os resultados dos Casos 1 e 2. Qual deles se aproximou mais do resultado esperado para o modelo unidimensional?
6. Os resultados numéricos obtidos (em especial para os fluxos de calor) nos Casos 1 e 2 são idênticos? Se não, o que poderia determinar as diferenças encontradas?
7. Com base nos resultados encontrados nos Casos 1 e 2, discuta brevemente a importância da escolha da malha e seu impacto sobre os resultados encontrados e sobre o tempo de simulação necessário.

Caso 3

Em relação ao Caso 2, altere apenas o seguinte, mas confirme os demais parâmetros:

Definição da geometria:

- Meio, Geometria, Cartesiana, Próximo
- Dimensões: largura = 0.4; altura = 0.2
- Volumes nas direções: I = 20; J = 10
- Finalizar

A simulação deverá ser concluída em 2804 avanços de tempo.

Questão para análise:

8. Compare os resultados obtidos numericamente com aqueles obtidos analiticamente para a aleta em questão. O modelo unidimensional de

transferência de calor ainda é válido para este caso? Justifique sua resposta.

Caso 4: $\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} = 0$

Equação de Laplace bidimensional (difusão de calor bidimensional).

Definição da geometria:

- Meio, Geometria, Cartesiana, Próximo
- Dimensões: largura = 1.0; altura = 1.0
- Volumes nas direções: I = 20; J = 20
- Finalizar

Definição das propriedades do meio:

- Meio, Propriedades Físicas, >>
- Duplo clique sobre a “cobrer”
- Aplicar em tudo, Fechar.

Definição das condições de contorno:

- Condições, Contorno
- Norte, Adicionar
- Tipo “Temperatura”,
- T = 0 + 1sin(3.14159x);
- Sul, Adicionar
- Tipo “Temperatura”, T = 0, OK,
- Leste e Oeste: iguais ao Sul,
- Fechar.

Definição das condições iniciais:

- Condições, Iniciais
- Temperatura inicial = 0, OK

Definição dos parâmetros da simulação:

- Simulação, Parâmetros
- Tempo: Avanço no tempo(s) = 100
- Tempo: Número de Avanços no Tempo = 2000
- Tempo: Tolerância = 1E-10
- Solver: Número de iterações = 10000
- Solver: Tolerância = 1E-5
- OK

Execução da simulação:

- Simulação, Iniciar, Iniciar
- Aguardar o fim dos cálculos
- Note que devem ter sido feitos 558 avanços no tempo
- Fechar

Visualização de isorregiões:

- Automático após a simulação, ou
- Visualizar, Temperatura
- Para ver a escala: clique no ícone “i”, “campos”

Visualização de isotermas:

- Visualizar, Isotermas

Visualização de vetores de fluxo de calor:

- Visualizar, Vetores de Fluxo de calor
- Clique no botão “Auto ajuste”
- Altere o tamanho dos vetores na escala ao lado, se quiser

Visualização de gráficos:

- Visualizar, Gráficos Dinâmicos
- Os gráficos serão de vetores de fluxo ou de temperatura dependendo da opção que estiver acionada em Visualizar

Visualização dos resultados numéricos:

- Simulação, Resultados
- Temperatura no centro de cada volume de controle
- Taxa de transferência de calor (watts) em cada face dos volumes de controle, no

sentido oeste-leste (ou esquerda-direita) e no sentido sul-norte (ou inferior-superior)

- Também é apresentada a soma da taxa de transferência de calor (watt) em cada linha vertical e horizontal

Observação: na listagem dos resultados numéricos o parâmetro “fluxo” refere-se à taxa de transferência de calor (watts)

Questões para analisar:

9. Determine qual o ponto em que a variação da temperatura (fluxo de calor) é máxima. Determine seu valor.
10. Realize um balanço de energia para a geometria. O princípio de conservação da energia é satisfeito?

Caso 5:

Em relação ao Caso 4, altere o seguinte, mas confirme todos os dados novamente:

Definição das propriedades do meio:

- Meio, Propriedades Físicas, >>
- Duplo clique sobre o “aço carbono”
- Aplicar em tudo, Fechar.

A simulação deverá ser concluída em 994 avanços de tempo.

Questões para analisar:

11. Há variação significativa nos resultados do Caso 5 em relação ao Caso 4 quanto ao perfil de temperaturas encontrado? Por que isso ocorre?
12. Realize um balanço de energia para a geometria. O princípio de conservação da energia é satisfeito? Os resultados obtidos diferem daqueles do Caso 4? Por quê?

Caso 6:

Em relação ao Caso 5, altere o seguinte, mas confirme todos os dados novamente:

Definição das propriedades do meio:

- Meio, Propriedades Físicas, >>
- Duplo clique sobre o “cobre”
- Aplicar em I = 11 a 20 (lado direito da geometria), Fechar.

A simulação deverá ser concluída em 634 avanços de tempo.

Questões para analisar:

13. Há variação significativa do Caso 6 em relação aos Casos 4 e 5 quanto ao perfil de temperaturas obtido? Por que isso ocorre?
14. Realize um balanço de energia para a geometria. O princípio de conservação da energia é satisfeito? Os resultados obtidos diferem daqueles obtidos dos Casos 4 e 5? Por quê?

Caso 7:

Em relação ao Caso 6, altere o seguinte, mas confirme todos os dados novamente:

Definição das propriedades do meio:

- Meio, Propriedades Físicas, >>
- Duplo clique sobre o “cobre”
- Aplicar em tudo,
- Meio, Propriedades Físicas, >>
- Duplo clique sobre o “aço carbono”
- Aplicar em J = 1 a 10 (lado inferior da geometria), Fechar.

A simulação deverá ser concluída em 632 avanços de tempo.

Questões para analisar:

15. Há variação significativa do Caso 7 em relação aos Casos 4, 5 e 6 quanto ao perfil de temperaturas obtido? Por que isso ocorre?
16. Realize um balanço de energia para a geometria. O princípio de conservação da energia é satisfeito? Os resultados obtidos diferem daqueles obtidos dos Casos 6? Por quê?

$$\text{Caso 8: } \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} = 0$$

Equação de Laplace bidimensional (difusão de calor bidimensional) em geometria complexa.

Definição da geometria:

- Meio, Geometria, Mista, Próximo
- Dimensões: largura = 1.0; altura = 1.0, Raio = 0.25, U = 0.5
- Volumes nas direções: I = 4, J = 8
- Finalizar

Definição das propriedades do meio:

- Meio, Propriedades Físicas, >>
- Duplo clique sobre a “cobre”
- Aplicar em tudo, Fechar.

Definição das condições de contorno:

- Condições, Contorno
- Norte, Adicionar
- Tipo “Fluxo”,
- q=0, OK;
- Sul, igual ao Norte
- Leste: Adicionar
- Tipo “Temperatura”, T = 0, OK,
- Oeste: Adicionar,
- Tipo “Temperatura, T = 1, OK,
- Fechar.

Definição das condições iniciais:

- Condições, Iniciais
- Temperatura inicial = 0, OK

Definição dos parâmetros da simulação:

- Simulação, Parâmetros
- Tempo: Avanço no tempo(s) = 100
- Tempo: Número de Avanços no Tempo = 20000
- Tempo: Tolerância = 1E-10
- Solver: Número de iterações = 10000
- Solver: Tolerância = 1E-5
- OK

Execução da simulação:

- Simulação, Iniciar, Iniciar

- Aguardar o fim dos cálculos
- Note que devem ter sido feitos 50 avanços no tempo
- Fechar

Visualização de isorregiões:

- Automático após a simulação, ou
- Visualizar, Temperatura
- Para ver a escala: clique no ícone “i”, “campos”

Visualização de isotermas:

- Visualizar, Isotermas

Visualização de vetores de fluxo de calor:

- Visualizar, Vetores de Fluxo de calor
- Clique no botão “Auto ajuste”
- Altere o tamanho dos vetores na escala ao lado, se quiser

Visualização de gráficos:

- Visualizar, Gráficos Dinâmicos
- Os gráficos serão de vetores de fluxo ou de temperatura dependendo da opção que estiver acionada em Visualizar

Visualização dos resultados numéricos:

- Simulação, Resultados
- Temperatura no centro de cada volume de controle
- Taxa de transferência de calor (watts) em cada face dos volumes de controle, no sentido oeste-leste (ou esquerda-direita) e no sentido sul-norte (ou inferior-superior)

- Também é apresentada a soma da taxa de transferência de calor (watt) em cada linha vertical e horizontal

Observação: na listagem dos resultados numéricos o parâmetro “fluxo” refere-se à taxa de transferência de calor (watts)

Questões para analisar:

17. Qual a aparência das isotermas/isorregiões? A solução numérica parece adequada? Justifique sua resposta.
18. Faça um balanço de energia sobre a geometria. O princípio de conservação da energia é satisfeito?

Caso 9:

Em relação ao Caso 8, altere o seguinte, mas confirme todos os dados novamente:

Definição da geometria:

- Meio, Geometria, Mista, Próximo
- Dimensões: largura = 1.0; altura = 1.0, Raio = 0.25, U = 0.5
- Volumes nas direções: I = 60, J = 120
- Finalizar

A simulação deverá ser concluída em 5827 avanços de tempo.

Questão para analisar:

19. Qual a aparência das isotermas/isorregiões? Há mudança significativa em relação ao Caso 8? A solução numérica parece adequada? Justifique sua resposta.