TM-225 - LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO I
TURMA A

AVISO 1

Prof. Luciano K. Araki.

Exercício extraclasse: Excel – 1 (utilize o mesmo documento para os três exercícios seguintes, deixando cada um em uma planilha).
SALVE O DOCUMENTO COM SEU NOME.

A condução de calor em superfícies estendidas (aletas) é um importante caso estudado em transferência de calor, envolvendo a condução de calor no interior de um sólido e a convecção (e/ou radiação) nas fronteiras desse sólido. Tais superfícies são empregadas para aumentar o calor trocado entre um sólido e um fluido (ou ambiente), pela maximização da área de contato em que ocorre o processo de transferência de calor. Aletas são comumente observadas em refrigeradores, radiadores de automóveis/motocicletas e computadores (coolers), entre outras aplicações. Matematicamente, o fenômeno é modelado através da seguinte equação diferencial (Incropera et al., 2008):

$$\frac{d^2T}{dx^2}+\left(\frac{1}{A_{tr}}\frac{dA_{tr}}{dx}\right)\frac{dT}{dx}-\left(\frac{1}{A_{tr}}\frac{h}{k}\frac{dA_s}{dx}\right)(T-T_\infty)=0, \qquad (1.1)$$

sendo T a temperatura [K]; x a posição ao longo da aleta [m]; A_{tr} a área da seção transversal da aleta [m^2]; h o coeficiente convectivo [W/m^{2}K]; k a condutividade térmica do material da aleta [W/mK]; A_s a área superficial em contato com o fluido [m^2]; e T_∞ a temperatura do fluido [K]. No caso de uma aleta de seção transversal uniforme, a equação anterior pode ser simplificada fornecendo:

$$\frac{d^2T}{dx^2}-\frac{hP}{kA_{tr}}(T-T_\infty)=0, \qquad (1.2)$$

onde P é o perímetro da seção transversal da aleta [m]. Essa equação diferencial apresenta solução analítica, considerando-se as propriedades constantes. No caso mais realístico, que envolve a transferência de calor convectiva na ponta da aleta, obtém-se a seguinte expressão:

$$T(x)=T_\infty+(T_b-T_\infty)\frac{\cosh[m(L-x)]+\left(\frac{h}{mk}\right)\sinh[m(L-x)]}{\cosh(mL)+\left(\frac{h}{mk}\right)\sinh(mL)}, \qquad (1.3)$$

sendo T_b a temperatura da base da aleta [K]; L o comprimento total da aleta [m]; e m um parâmetro adimensional, estimado através da seguinte relação:

$$m=\left(\frac{hP}{kA_{tr}}\right)^{1/2}. \qquad (1.4)$$

Já o desempenho da aleta é verificado estimando-se sua eficiência, que relaciona a taxa real de trocas térmicas ocorridas na aleta com a taxa máxima teórica, que seria obtida se toda a aleta possuísse a mesma temperatura observada em sua base. Considerando-se uma aleta do tipo plana, com seção transversal retangular, a eficiência (η) pode ser estimada pela seguinte expressão

$$\eta = \frac{\tanh(mL_c)}{mL_c}, \tag{1.5}$$

onde L_c é o comprimento corrigido da aleta [m], dado por $L_c = L + (t/2)$, sendo t a espessura da aleta [m].

1. A partir das informações anteriores, considere uma aleta retangular, de cobre (k = 400 W/mK), de comprimento L = 0,200 m, perímetro P = 0,110 m, área de seção transversal A_{tr} = 2,5x10^{-4} m^2 e espessura t = 0,005 m. Esta aleta possui temperatura de base T_b = 400 K, estando imersa em um ambiente cuja temperatura é T_∞ = 300 K e que oferece um coeficiente convectivo h = 100 W/m^{2}K. Neste contexto, calcule a temperatura em cada ponto da aleta, para intervalos de 0,005 m. A seguir, faça um gráfico da temperatura (eixo vertical) *versus* posição.

2. Mantenha todas as informações do item anterior inalteradas, exceto pelo comprimento L, que apresentará uma faixa de valores, variando de 0,020 a 0,500 m, com um passo de 0,020 m. Neste contexto, calcule a temperatura na extremidade da aleta ($x = L$) e compare o valor obtido com o caso limite, no qual considera-se uma aleta de comprimento infinito. No caso de uma aleta de comprimento infinito, a temperatura é obtida através da seguinte expressão

$$T(x) = T_\infty + (T_b - T_\infty)\exp(-mx) \tag{1.6}$$

   e informe se a diferença entre a temperatura dada pela expressão (1.3) e a dada pela expressão (1.4) é inferior a 1% (tolerância). Utilize, para tanto, a função lógica "se". A diferença percentual é definida como:

$$dif = \left| \frac{T_{x=L}\big|_{\text{convectiva}} - T_{x=L}\big|_{\text{comp.infinito}}}{T_{x=L}\big|_{\text{convectiva}}} \right| \times 100\% \tag{1.7}$$

3. Mantenha todas as informações do item (1) inalteradas, exceto pelo comprimento L da aleta, que apresentará uma faixa de valores, variando de 0,000 a 0,500 m, com um passo de 0,025 m. Neste contexto, calcule a eficiência da aleta, para cada comprimento. Plote um gráfico da eficiência (eixo vertical) *versus* alpha, sendo *alpha* definido como

$$alpha = L_c^{3/2}\left(\frac{h}{kL_c t}\right)^{1/2}. \tag{1.8}$$

Exercício extraclasse: Excel - 2.

Uma forma bastante útil de representar funções contínuas e diferenciáveis é através da série de Taylor, cuja expressão geral é:

$$f(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\left\{f^{(n)}(x_0)\frac{[x-x_0]^n}{n!}\right\}$$
$$= f(x_0)+f'(x_0)\cdot[x-x_0]+\frac{1}{2!}f''(x_0)\cdot[x-x_0]^2+\frac{1}{3!}f'''(x_0)\cdot[x-x_0]^3+\ldots \tag{2.1}$$

De um modo geral, tal expansão é mais utilizada quando se deseja trabalhar com métodos numéricos como o método de diferenças finitas, para a aproximação de derivadas. Pode-se, contudo, utilizar tais funções em diversas situações e para diferentes funções, como é o caso das funções trigonométricas. Considere a função sin(x), cuja expansão em série de Taylor, em torno do ponto $x_0 = 0$, é dada por:

$$\sin(x)=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(-1)^n}{(2n+1)!}x^{2n+1} \tag{2.2}$$

Com base nestas informações, desenvolva o seguinte procedimento:

1. Em uma dada coluna da planilha, informe ângulos em graus, no intervalo de 0 a 360, com passo de 10 graus.
2. Na coluna seguinte, converta o ângulo em radianos. A partir desse momento, tais ângulos serão denominados de *x*.
3. Nas próximas 8 colunas, calcule o somatório da expressão (2.2) de forma aproximada. Neste caso, ter-se-á:
   a. Na primeira coluna, o somatório será aproximado por

   $$\sin(x)\approx\frac{(-1)^0}{(2\cdot 0+1)!}x^{2\cdot 0+1}=x\,. \tag{2.3}$$

   b. Na segunda coluna, o somatório será

   $$\sin(x)\approx\frac{(-1)^0}{(2\cdot 0+1)!}x^{2\cdot 0+1}+\frac{(-1)^1}{(2\cdot 1+1)!}x^{2\cdot 1+1}=x-\frac{1}{3!}x^3\,. \tag{2.4}$$

   c. Na terceira coluna, o somatório será

   $$\sin(x)\approx\frac{(-1)^0}{(2\cdot 0+1)!}x^{2\cdot 0+1}+\frac{(-1)^1}{(2\cdot 1+1)!}x^{2\cdot 1+1}+\frac{(-1)^2}{(2\cdot 2+1)!}x^{2\cdot 2+1}=x-\frac{1}{3!}x^3+\frac{1}{5!}x^5\,. \tag{2.4}$$

   E assim sucessivamente. Note que *x* refere-se ao ângulo (em radianos).

4. Na coluna posterior, calcule o valor exato de sin(x). Para esta coluna e as anteriores, apresente o resultado utilizando 4 casas decimais.
5. Faça o gráfico do valor do somatório aproximado (item 3) e do seno (item 4) *versus* ângulo em graus. O eixo das ordenadas deve ser configurado de modo que o intervalo mostrado varie de -1 a 1.

Exercício extraclasse: Excel - 3.

Deseja-se estudar a variação de propriedades de escoamento para diversos valores de velocidades. Para tanto, considere um tubo de aço, com diâmetro (D) de 0,50 m, rugosidade superficial interna(e) de 50×10^{-6} m; comprimento total (L) de 10 m; e temperatura superficial constante ($Tsup$) de 75ºC. Como fluido em estudo, considere a água, com as seguintes propriedades: viscosidade absoluta (μ) de 855×10^{-6} Ns/m^2; número de Prandtl (Pr) de 5,83; densidade (ρ) de 997 kg/m^3; calor específico (cp) de 4179 J/kgK; condutividade térmica (k) de 0,613 W/mK. Considere, também, que a temperatura de entrada da água ($Tent$) é de 15ºC.

1. Digite todos os dados do enunciado em células do Excel, identificando cada propriedade - por exemplo, célula A1: "Propriedades do tubo"; célula A2: "Diâmetro"; célula B2: 0,25; célula C2: "m"; e assim por diante.
2. Em uma coluna, digite os seguintes valores de velocidades (u): 0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 5. Tais velocidades estão todas em [m/s]. Apresente as velocidades em formato científico, com uma casa decimal.
3. Calcule o número de Reynolds (Re) para cada uma das velocidades, utilizando a seguinte expressão:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho u D}{\mu}. \tag{3.1}$$

   Faça referências absolutas aos valores das propriedades digitadas no item (a), onde couber.
4. Determine o regime de escoamento. Para tanto, considere que:
   se Re ≤ 2300: regime laminar;
   se 2300 < Re ≤ 10000: regime de transição
   se Re > 10000: regime turbulento.
   Utilize a função lógica "se".
5. Calcule o fator de atrito de Darcy (f), a partir das seguintes expressões:

   se Re ≤ 2300: $f = \dfrac{64}{\mathrm{Re}}$

   se Re > 2300: $f = \dfrac{1}{4}\left[\log\left(\dfrac{e/D}{3,7} + \dfrac{5,74}{\mathrm{Re}^{0,9}}\right)\right]^{-2}$

   Faça referências absolutas onde couber. Utilize a função lógica "se".
6. Calcule o número de Nusselt (Nu), empregando as seguintes expressões:

   se Re ≤ 2300: $Nu = 3,66$

   se Re > 2300: $Nu = \dfrac{(f/8)(\mathrm{Re} - 1000)\mathrm{Pr}}{1 + 12,7\,(f/8)^{1/2}\left(\mathrm{Pr}^{2/3} - 1\right)}$.

   Utilize referências absolutas onde couber. Utilize a função lógica "se".
7. Estime o valor do coeficiente convectivo (h), de acordo com a seguinte expressão:
   $h = \dfrac{Nu\,k}{D}$, empregando referências absolutas onde couber.
8. Calcule o fluxo de massa de água ($\dot{m}$) no duto para cada velocidade, empregando:

$$\dot{m} = \frac{\rho u \pi D^2}{4}. \quad (3.2)$$

Faça referências absolutas e utilize funções do Excel, onde couber.

9. Calcule a temperatura de saída do fluido, empregando a seguinte expressão:

$$Tsai = T\sup - \left(T\sup - Tent\right)\exp\left(-\frac{\pi D L h}{\dot{m} cp}\right). \quad (3.3)$$

Faça referências absolutas e utilize funções do Excel, onde couber.

10. Calcule a diferença média logarítmica das temperaturas (ΔTml), empregando a seguinte expressão:

$$\Delta Tml = \frac{\Delta Ts - \Delta Te}{\ln\left(\Delta Ts / \Delta Te\right)}, \quad (3.4)$$

sendo: $\Delta Ts = T\sup - Tsai$ e $\Delta Te = T\sup - Tent$.

Faça referências absolutas e utilize funções do Excel, onde couber.

11. Calcule a taxa de transferência de calor (q), empregando a seguinte expressão:

$$q = h \pi D L \, \Delta Tml. \quad (3.5)$$

Faça referências absolutas e utilize funções do Excel, onde couber.

12. Plote um gráfico da variação do coeficiente convectivo com a velocidade. Empregue um gráfico do tipo dispersão, com escala log-log e formate-o de modo que os eixos se interceptem no canto inferior esquerdo do gráfico.
13. Plote um gráfico da variação da taxa total de transferência de calor com a velocidade. **Atenção:** utilize apenas as velocidades iguais ou superiores a 0,01 m/s no gráfico. Empregue um gráfico do tipo dispersão, com escala do tipo log-log e formate de modo que os eixos se interceptem no canto inferior esquerdo do gráfico. Adicione uma linha de tendência do tipo potência, mostrando a equação correspondente no gráfico.

Data de entrega: 29/06/2011 (quarta-feira)

e-mails: lucianoaraki@gmail.com e/ou lucaraki@ufpr.br

ou pessoalmente no Lena-2.