

**TMEC-030 TRANSFERÊNCIA DE CALOR E MASSA (TransCal), turma BD**

**Exame final, com consulta, 3 Jul 2019, 13:30 às 16:00 h**

**DIRETRIZES OBRIGATÓRIAS:**

- a) A prova é individual com consulta livre ao seu material impresso, incluindo livros e anotações.
  - b) Durante a prova, não será permitido usar qualquer aparelho eletrônico com acesso à internet: celular, tablet, notebook etc.
  - c) Cada aluno poderá usar a sua calculadora e fazer a prova à lápis ou caneta.
  - d) A interpretação das questões faz parte da prova. Portanto, não pergunte nada ao professor.
  - e) Coloque em sua prova as equações, deduções, cálculos e explicações ou hipóteses assumidas para resolver cada questão.
  - f) Erros de cálculo e de unidades dos parâmetros serão descontados. Portanto, revise sua prova.
  - g) Essa folha da prova pode ser utilizada como rascunho e levada com você ao concluir a prova.
- 
- 1) [20 pontos] Um cilindro circular de cobre ( $k = 401 \text{ W/m.K}$ ) com 100 mm de comprimento, raio interno de 5 cm e espessura de 2 cm é recoberto com uma camada de 3 cm de fibra de vidro ( $k = 0,038 \text{ W/m.K}$ ). A temperatura na superfície interna do cilindro é de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ . A superfície externa da fibra de vidro está em contato com um fluido a  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  com coeficiente de convecção de  $5 \text{ W/m}^2\text{.K}$ . Qual é a taxa de transferência de calor que este cilindro perde para o ar admitindo-se que a transferência de calor ocorre apenas no sentido radial?
  
  - 2) [30 pontos] Fluxo de calor de  $1400 \text{ W/m}^2$  incide sobre a superfície superior de uma moeda. Esta moeda é feita de níquel puro, tem raio de 1 centímetro e altura de 2 milímetros. Suas laterais e superfície inferior estão isoladas. Admitir que o campo de temperaturas da moeda seja função apenas do tempo. Sabendo-se que a temperatura inicial desta moeda é de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ , calcular:
    - a) a temperatura da moeda após 3 minutos (10 pontos);
    - b) a taxa de transferência de calor após um e três minutos (10 pontos); e
    - c) a energia total que a moeda recebeu durante os três minutos iniciais de aquecimento. (10 pontos)
  
  - 3) [30 pontos] Calcular o comprimento de duto necessário para aquecer ar de  $12 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $43 \text{ }^\circ\text{C}$ . O duto tem seção transversal do tipo retangular com 50 mm de altura e 100 mm de largura. A sua temperatura superficial interna é de  $127 \text{ }^\circ\text{C}$ . A vazão de ar escoando neste duto é de 86,1 litros/segundo. Calcular também a taxa total de transferência de calor do duto para o ar.
  
  - 4) [20 pontos] Tem-se um duto com 5 m de comprimento cuja seção transversal é semicircular. A superfície plana está à temperatura de  $27 \text{ }^\circ\text{C}$  e apresenta emissividade de 0,05. A superfície curva está à temperatura de  $727 \text{ }^\circ\text{C}$  e apresenta emissividade de 0,60. O raio do duto é de 50 mm. Considerar que as superfícies são difusas e cinzas. Calcular a taxa de transferência de calor líquida, por radiação térmica, entre estas duas superfícies.

Cilindro  
 $L = 0.1 \text{ m}$

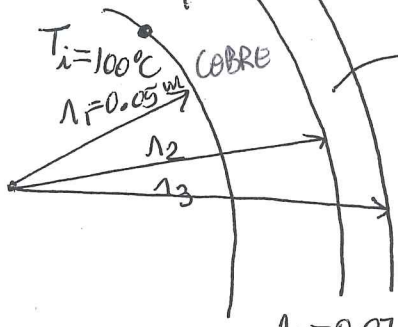
1a

$e = 0.02 \text{ m}$   
 cobre  $k = 401$

~~20 pts~~  
 20 pts

~~20 pts~~

10'



$e = 0.03 \text{ m}$   
 fibra de vidrio  $k = 0.038$   
 $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$   
 $h = 5 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$

$q = ?$

$r_2 = 0.07$   $r_3 = 0.1$

$$q = \frac{(T_i - T_{\infty})}{R_{\text{tot}}} \quad (5)$$

$$R_{\text{tot}} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi L k_{12}} + \frac{\ln(r_3/r_2)}{2\pi L k_{23}} + \frac{1}{h A_3}$$

10

ou 5 c/alguma erro

$$A_3 = 2\pi r_3 L$$

$$R_{\text{tot}} = \frac{\ln(0.07/0.05)}{2\pi \times 0.1 \times 401} + \frac{\ln(0.1/0.07)}{2\pi \times 0.1 \times 0.038} + \frac{1}{5 \times 2\pi \times 0.1 \times 0.1}$$

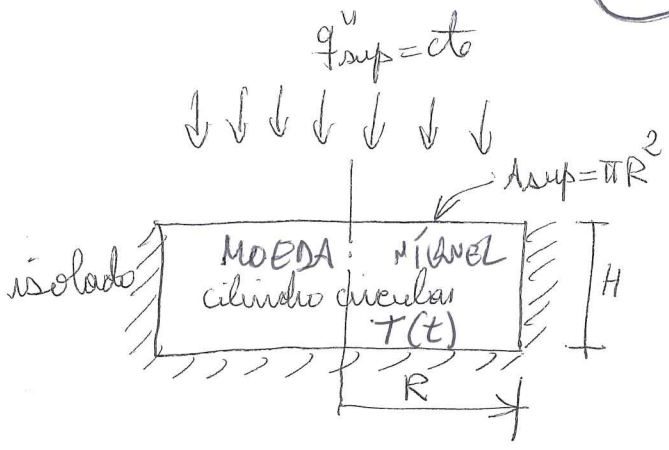
$$R_{\text{tot}} = 0.001335 + 14.938574 + 3.183099 = 18.123 \text{ K/W}$$

$$q = \frac{100 - 20}{18.123} \approx 4,4 \text{ W} \quad (5)$$

2a

30 pts

~~2a~~



$$q''_{sup} A_{sup} = \rho V c \frac{dT}{dt} \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho c}$$

$$q''_{\Delta} \pi R^2 = \rho \pi R^2 H c \frac{dT}{dt}$$

$$dT = \frac{q''_{\Delta}}{\rho c H} dt \quad \int_{T_i}^T dT = \frac{q''_{\Delta}}{\rho c H} \int_0^t dt$$

$$T = T_i + \frac{q''_{\Delta} t}{\rho c H}$$

$$V = \pi R^2 H$$

Material: níquel puro

Hipótese: T do cilindro não é função do espaço, só do tempo

Perguntas: a) qual T p/ t = 3'

b) qual q p/ t = 1' e 3' ~~esse resultado~~

c) qual Q n t = 0 a 3'

$$(5) Q = \int_0^t q dt = \int_0^t q'' \pi R^2 dt = q'' \pi R^2 \int_0^t dt$$

b)  $q = q'' A_{sup} = 1400 \times \pi (0,01)^2$   
 $\frac{q}{A} = q'' = \frac{0,44 W}{\pi R^2}$  (5) ~~da moeda~~  
 q (cto no tempo)

c)  $Q = q'' \pi R^2 t$   
 $= 1400 \times \pi \times (0,01)^2 \times 180 \approx 79,2 J //$  (5)

- Dados:  $T_i = 15^\circ C$   
 $\rho = 8900 \text{ kg/m}^3$   
 $c = 444 \text{ J/kg.K}$   
 $k = 90,7 \text{ W/m.K}$   
 $H = 0,002 \text{ m} = 2 \text{ mm}$   
 $q''_{\Delta} = 1400 \frac{W}{m^2}$   
 $R = 1 \text{ cm} = 0,01 \text{ m}$

$$\rho c H = 7903,2 \frac{J}{m^2.K}$$

$$t = 180 \text{ s} = 3'$$

(5)

a)  $T_f = 15 + 31,9 \approx 46,9^\circ C //$

3a

30 pts

Qual L necessario de duto para aquecer ar de 12°C a 43°C?

Duto retangular H=50 mm, w=100 mm. T<sub>sup</sub>=127°C. α<sub>ar</sub>=0,08612/s

Qual q=?

α=86,12/s=0,0861 m³/s

A=HW=0,005m²

T<sub>m,e</sub>=12°C

T<sub>m,s</sub>=43°C

T<sub>sup</sub>=127°C

T<sub>f</sub> = (T<sub>m,e</sub> + T<sub>m,s</sub>) / 2 = 27,5°C ≈ 300 K

Tab. A.4 at a T<sub>f</sub>:

ḡ = ρα = 0,1 kg/s

ρ = 1,1614 kg/m³

P = 2(H+w) = 0,3 m

c<sub>p</sub> = 1007 J/kg.K

D<sub>h</sub> = 4A / P = 4HW / 2(H+w) = 0,0667 m

μ = 184,6 × 10<sup>-7</sup> Pa.s

k = 26,3 × 10<sup>-3</sup> W/m.K

P<sub>r</sub> = 0,707

v = ḡ / ρ = 1,59 × 10<sup>-5</sup> m²/s

Re<sub>Dh</sub> = 7ḡ / (μ D<sub>h</sub>) = 103

v̄ = α / A = 17,22 m/s

Para T<sub>sup</sub> = cte:

Re<sub>Dh</sub> = P v̄ D<sub>h</sub> / μ = 72,26 × 10<sup>3</sup> (turbulento)

Eq. (8.42a):

ln((T<sub>sup</sub> - T<sub>m,s</sub>) / (T<sub>sup</sub> - T<sub>m,e})) = -P h̄ L / (ḡ c<sub>p</sub>)</sub>

Eq. (8.60): Nu<sub>D</sub> = 0,023 Re<sub>D</sub><sup>4/5</sup> P<sub>r</sub><sup>0,4</sup> = h̄ D<sub>h</sub> / k

Nu<sub>D</sub> ≈ 154,4

L = -ḡ c<sub>p</sub> / (P h̄) ln((T<sub>sup</sub> - T<sub>m,s</sub>) / (T<sub>sup</sub> - T<sub>m,e}))</sub>

h̄ = Nu<sub>D</sub> k / D<sub>h</sub> ≈ 60,9 W/m².K

Q = v̄ A = ḡ / ρ

L ≈ -5,512 ln(84/115)

Com Eq. (8.61) Nu<sub>D</sub> = 0,027 Re<sub>D</sub><sup>4/5</sup> P<sub>r</sub><sup>1/3</sup> (μ / μ<sub>sup</sub>)<sup>0,14</sup>

OUTRAS VÁLIDAS:

- PETUKOV
• GNIELINSKI

180 → h̄ = 70,9

L = 1,36 m

q̇ = 2,82 kW

L ≈ 1,73 m

L / D<sub>h</sub> ≈ 26

q̇ = ḡ c<sub>p</sub> (T<sub>m,s</sub> - T<sub>m,e})</sub>

q̇ ≈ 3,12 kW

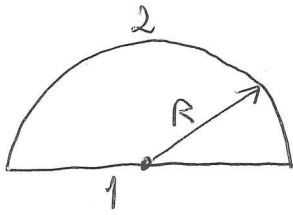
Handwritten signature

20 pts.

~~20 pts.~~

4) ~~Determine~~ <sup>traseira de</sup> Estime a perda de calor de um.

Um duto ~~com~~ com 5 m de comprimento ~~transmitido~~ <sup>transmitido</sup> por sua seção transversal semicircular. A superfície plana está à temperatura de 300 K e ~~tem~~ <sup>possui</sup> emissividade de 0,05. A superfície curva está à temp de 1000 K e " " " " 0,6. O raio do duto é de 50 mm. Considere que as superfícies são difusas e cinzas. Calcule a taxa líquida de troca de calor, por radiação, entre as superfícies plana e a curva.



$$T_1 = 300 \text{ K} \quad 27^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_1 = 0,05$$

$$R = 0,05 \text{ m}$$

$$T_2 = 1000 \text{ K} \quad 727^\circ\text{C}$$

$$\epsilon_2 = 0,6$$

$$\sigma = 5,670 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$L = 5 \text{ m}$$

$$q_{12} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{(1-\epsilon_1)}{\epsilon_1 A_1} + \frac{1}{A_1 F_{12}} + \frac{(1-\epsilon_2)}{\epsilon_2 A_2}}$$

(10)

$$F_{12} = 1$$

(5)

$$A_1 = 2RL = 0,50 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \pi RL = 0,785 \text{ m}^2$$

$$q_{12} = \frac{5,670 \times 10^{-8} \times (300^4 - 1000^4)}{\frac{(1-0,05)}{0,05 \times 0,5} + \frac{1}{0,50 \times 1} + \frac{(1-0,6)}{0,6 \times 0,785}} = \frac{-56241}{38 + 2 + 0,849}$$

$$q_{12} = \frac{-56241}{40,849}$$

$q_{12} \approx 1,38 \text{ kW}$

(5)

(10)